



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E ENGENHARIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA**

CARLOS EDUARDO DE OLIVEIRA ROBERTO

**PARÂMETROS MORFOFISIOLÓGICOS ENVOLVIDOS NA TOLERÂNCIA À SECA
DE *Coffea canephora* EM CENÁRIOS DE DÉFICIT HÍDRICO CONTROLADO**

ALEGRE - ES

Abril, 2023

CARLOS EDUARDO DE OLIVEIRA ROBERTO

**PARÂMETROS MORFOFISIOLÓGICOS ENVOLVIDOS NA TOLERÂNCIA À SECA
DE *Coffea canephora* EM CENÁRIOS DE DÉFICIT HÍDRICO CONTROLADO**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia do Centro de Ciências Agrárias e Engenharias da Universidade Federal do Espírito Santo, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Doutor em Agronomia, na área de concentração de Produção de Plantas Cultivadas e Nativas.

Orientadora: Prof^ª. Dra. Taís Cristina Bastos Soares

Coorientador: Prof^º. Dr. Willian Silva Barros

ALEGRE - ES

Abril, 2023

R639p Roberto, Carlos Eduardo de Oliveira, 1992-
Parâmetros morfofisiológicos envolvidos na tolerância à seca de Coffea canephora em cenários de déficit hídrico controlado / Carlos Eduardo de Oliveira Roberto. - 2023.
123 f.

Orientadora: Taís Cristina Bastos Soares.

Coorientador: Willian Silva Barros.

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

1. Irrigação. 2. Estresse hídrico. 3. Desenvolvimento. 4. Morfofisiologia. I. Soares, Taís Cristina Bastos. II. Barros, Willian Silva. III. Universidade Federal do Espírito Santo. Centro de Ciências Agrárias e Engenharias. IV. Título.

CDU: 63


CARLOS EDUARDO DE OLIVEIRA ROBERTO

PARÂMETROS MORFOFISIOLÓGICOS ENVOLVIDOS NA TOLERÂNCIA À SECA DE *Coffea canephora* EM CENÁRIOS DE DÉFICIT HÍDRICO CONTROLADO

Tese apresentada à Universidade Federal do Espírito Santo como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, para a obtenção do título de Doctor Scientiae em Agronomia, na área de concentração em Produção de Plantas Cultivadas e Nativas.


Aprovada em 14 de abril de 2023

COMISSÃO EXAMINADORA:

Documento assinado digitalmente
 TAIS CRISTINA BASTOS SOARES
Data: 18/07/2023 09:22:22-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>


Dra. Taís Cristina Bastos Soares (Orientadora)

UFES

Documento assinado digitalmente
 LEANDRO PIN DALVI
Data: 18/07/2023 17:29:13-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>


Dr. Leandro Pin Dalvi

UFES

Documento assinado digitalmente
 MARCELO ANTONIO TOMAZ
Data: 19/07/2023 08:45:34-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>


Dr. Marcelo Antônio Tomaz

UFES

Documento assinado digitalmente
 LUCIMARA CRUZ DE SOUZA
Data: 18/07/2023 15:35:41-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Dra. Lucimara Cruz de Souza

UFLA

Documento assinado digitalmente
 RODRIGO MONTE LORENZONI
Data: 18/07/2023 16:12:38-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Dr. Rodrigo Monte Lorenzoni

Sebra Agrícola

DEDICO

A meus pais amados, Rosângela e Heverton,
minha irmã Jéssica, familiares e amigos por
todo suporte, apoio, paciência e
principalmente amor!

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus por minha vida, pela saúde e oportunidades;

Aos meus pais, Heverton e Rosângela, por serem os maiores patrocinadores e incentivadores dos meus sonhos; à minha irmã Jéssica, por todo amor e cumplicidades dedicadas;

A UFES e ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia por possibilitar a realização do curso de doutorado; A CAPES, pelo apoio financeiro, pela concessão da bolsa de pesquisa:

À minha orientadora e professora Taís Cristina Bastos Soares, pelo acolhimento no mestrado e agora no doutorado, por todo o apoio, estímulo e puxões de orelha;

Aos meus familiares, em especial aos meus avós Zulmira, Evilásio e Rosa, por todo apoio, confiança e ensinamentos de vida;

Ao professor Paulo César Cavatte por contribuiu e muito com inúmeras ideias e pelos equipamentos utilizados no decorrer dos experimentos.

Ao professor Willian Barros pelo suporte com os dados.

Aos professores Leandro e Marcelo, por todos ensinamentos transmitidos e pela prontidão em sempre me ajudar, vocês são exemplos, grandes mestres!

A Lucimara e o Rodrigo, pela amizade de sempre e por aceitarem compor a banca e pelas contribuições em toda caminhada.

Em especial, aos colegas Franciele, Josimar, Rodrigo Dadalto, Ramon, Gabriel e Mariana, pela proatividade, pelas dicas, conselhos, paciência e amizade.

Aos meus amigos Carla, Pedro e tesouro, Renata, Carol, por todo apoio, cumplicidade e paciência nessa fase final e pelos inúmeros momentos de família em Alegre;

Ao Trio fantástico, meus amigos/irmãos de alma: Davi, Paola e Polyana França por todo apoio e pelo amor incondicional;

Ao meu amigo irmão cearense Davi bandidaço e Paty, por toda ajuda, paciência e amor;

A Nath e o Bruno por todo suporte na vida e durante todas etapas do doutorado;

Aos demais amigos especiais que tanto amo, Amanda Ceccon, Gabriel Silvão, Gilmar Ferreira, Andreia, Viviani e Tayla por todas as experiências e incentivos e por tornarem meus dias mais felizes.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	15
2. HIPÓTESES	17
3. OBJETIVO GERAL	18
3.1. Objetivos específicos	18
4. REVISÃO DE LITERATURA	19
4.1 <i>Coffea canephora</i> Pierre ex Froehner	19
4.2. Produção de café no Espírito Santo	20
4.3. Impactos das mudanças climáticas na agricultura	22
4.4. Efeitos do déficit hídrico na morfologia de plantas	24
4.5. Efeitos do déficit hídrico na fisiologia de plantas	26
4.6. Melhoramento de <i>Coffea canephora</i> visando tolerância à seca	29
5. MATERIAL E MÉTODOS	32
5.1. Local e delineamento experimental	32
5.2. Material Vegetal	32
5.3. Montagem do experimento e simulação do déficit hídrico	33
5.4. Medidas de Crescimento	35
5.5. Potencial hídrico foliar	36
5.6. Trocas Gasosas	36
5.7. Determinação de índices de pigmentos	37
5.8. Ganho genético previsto e seleção (FAI-BLUP)	38
5.9. Análises Estatísticas	39
6. RESULTADOS E DISCUSSÃO	40
6.1. Crescimento	40
6.2. Trocas Gasosas	55
6.3. Índices de Pigmentos	62
6.4. Comportamento da água no solo e Potencial hídrico foliar	67

6.5. Correlação entre as variáveis morfofisiológicas estudadas	76
6.6. Análise de componentes principais	79
6.7. Ganho Genético e Índice FAI-BLUP para <i>Coffea canephora</i>	82
7.CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	86
8. REFERÊNCIAS.....	85
9.ANEXOS.....	120

LISTA DE ABREVIATURAS

AF= área foliar total
ALT= altura das plantas
CPR= comprimento dos ramos plagiotropicos
DIAM= diâmetro do caule
Ci= Concentração interna de CO₂
VWC = teor volumétrico de água
DEF = déficit de água
CC= capacidade de campo
R= Recuperação
COMPNOS= comprimento dos internódios
NROSE= número de rosetas
MSCAULE= massa seca do caule
MSRAIZ= massa seca das raízes
MSF= massa seca das folhas
MSRPLAG= massa seca dos ramos plagiotropicos
VOLCAL= volume do caule
E= transpiração
CHL= índice de clorofila total
FLAV= índice de flavonoides
ANTH = índice de antocianinas
NBI= índice de balanço de nitrogênio
GG= ganho na seleção genética
A – Fotossíntese
gs – Condutância estomática
ETR – Taxa de transporte de elétrons
Rubisco – ribulose-1,5-bisfosfato carboxilase oxigenase
EROs – Espécies reativas de oxigênio

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Efeitos da redução da irrigação na área foliar em clones de <i>C. canephora</i> nos diferentes níveis de estresse hídrico.....	47
Figura 2. Efeitos do estresse hídrico sobre volume caulinar em clones <i>C. canephora</i>	50
Figura 3. Efeitos do estresse hídrico sobre comprimento dos entrenós em clones de <i>C. canephora</i>	51
Figura 4. Efeitos do estresse hídrico sobre o número de rosetas em clones de <i>C. canephora</i> clones submetidos ao estresse hídrico.....	52
Figura 5. Efeitos do estresse hídrico sobre massa seca da raiz em clones de <i>C. canephora</i>	54
Figura 6. Efeitos do estresse hídrico sobre massa seca de folhas em clones de <i>C. canephora</i>	55
Figura 7. Efeitos da irrigação e do estresse hídrico sobre a fotossíntese em clones de <i>C. canephora</i>	57
Figura 8. Efeitos dos níveis de déficit hídrico sobre a fotossíntese em clones de <i>C. canephora</i>	58
Figura 9. Efeitos dos níveis de déficit hídrico sobre a concentração interna de CO ₂ em clones de <i>C. canephora</i>	59
Figura 10. Efeitos dos níveis de déficit hídrico para as taxas de transporte de elétrons em clones de <i>C. canephora</i>	61
Figura 11. Efeitos das avaliações dos níveis de estresse hídrico para as taxas transpiratórias nos clones de <i>C. canephora</i>	62
Figura 12. Efeitos das avaliações dos níveis de estresse hídrico para clorofila nos clones de <i>C. canephora</i>	65
Figura 13. Efeitos das avaliações de estresse hídrico para índice de antocianinas nos clones de <i>C. canephora</i>	67
Figura 14. Efeitos das avaliações de estresse hídrico para transpiração da água no solo (%) em clones de <i>C. canephora</i>	70

Figura 15. Efeitos das avaliações de estresse hídrico para déficit de água no solo (mm) nos clones de <i>C. canephora</i>	72
Figura 16. Efeitos dos níveis de estresse hídrico sobre potencial hídrico foliar nos clones de <i>C. canephora</i>	75
Figura 17 - Coeficiente de correlação entre as variáveis agronômicas avaliadas nos clones de <i>C. canephora</i>	76

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Resumo da análise de variância para altura das plantas, diâmetro do caule, comprimento do ramo plagiotropico e área foliar em condição irrigada e de estresse hídrico nos clones de <i>C. canephora</i>	40
Tabela 2. Média da altura das plantas, diâmetro do caule e comprimento do ramo plagiotrópico nos clones de <i>C. canephora</i> irrigados e de estresse hídrico.....	41
Tabela 3. Média dos desdobramentos para altura das plantas e comprimento do ramo plagiotrópico nos clones de <i>C. canephora</i> em função de diferentes níveis de estresse hídrico.....	43
Tabela 4. Resumo da análise de variância para volume caulinar, densidade do lenho, número de rosetas, comprimento dos entrenós, massa seca do caule, das raízes, dos ramos plagiotrópicos e das folhas nos clones <i>C. canephora</i> em condições irrigada e de estresse hídrico.....	49
Tabela 5. Resumo da análise de variância da fotossíntese, condutância estomática, concentração interna de CO ₂ , taxa de transporte de elétrons e transpiratória nos clones <i>C. canephora</i> irrigados e nos diferentes níveis de estresse hídrico.....	56
Tabela 6. Resumo da análise de variância dos índices de clorofila, flavonoides, antocianina e balanço de nitrogênio hídrico nos clones <i>C. canephora</i> , em condição irrigada e de estresse.....	63
Tabela 7. Resumo da análise de variância do déficit, transpiração e teor volumétrico de água de água do solo em condição irrigada e hídrico.....	68
Tabela 8. Resumo da análise de variância para o potencial hídrico foliar nos clones de <i>C. canephora</i> em condição irrigada e de estresse hídrico.....	73
Tabela 9 – Estimativas dos autovalores e variância acumulada dos dezenove componentes principais (CP) avaliados.....	80
Tabela 10 – Valores de comunalidade, ideótipo e estimativas de ganhos genotípicos predito para todas as variáveis avaliadas em genótipos de <i>Coffea canephora</i> usando o índice FAI-BLUP.....	83
Tabela 11 - Ranqueamento dos clones de <i>C. canephora</i> pelo índice de seleção FAI-BLUP para tolerância a seca.....	85

RESUMO

Os efeitos negativos das mudanças climáticas são esperados sobre inúmeras espécies de plantas, incluindo o cafeeiro. O café Conilon é a cultura com maior importância econômica para o estado do Espírito Santo, entretanto a falta de irrigação é a maior limitação da cafeicultura capixaba. Este trabalho teve como objetivo identificar indivíduos que apresentam características morfofisiológicas de melhor desempenho em diferentes condições de estresse hídrico entre os parentais estudados contrastantes à seca, 120 (tolerante) e o clone 109 (suscetível). O delineamento aplicado em casa de vegetação foi o de blocos ao acaso com quatro repetições, 14 clones (seis progênies do cruzamento 120 x 109, seis progênies do cruzamento 109 x 120 e os dois genitores, sendo o clone pai 109 suscetível e o pai 120 tolerante) em duas condições (controle irrigado e níveis de estresse hídrico), divididos em 4 blocos, totalizando 112 plantas avaliadas. Os dados foram coletados para os níveis de estresse hídrico (25, 40, 55, 70 e 0%) entre os meses de abril e junho/2019: 1ª) 19/04, 2ª) 03/05, 3ª) 17/05, 4ª) 31/05 e 5ª) 15/06 (Recuperação), encerrando as avaliações em 28/06/2019. Todos os parâmetros avaliados foram afetados pelo déficit hídrico e os efeitos mais severos foram observados de acordo com o aumento da intensidade dos níveis de estresse hídrico. O clone 7T apresentou a menor altura porém foram os maiores resultados para potencial hídrico foliar, massa seca de raiz e comprimento do ramo plagiotrópico sob estresse hídrico. A massa seca de folhas reduziu quase pela metade no déficit hídrico para todos os clones. Os níveis de estresse hídrico influenciaram todas as variáveis fotossintéticas estudadas, destacando os clones 120 e o 4S que mantiveram sua taxa de fotossíntese reguladas independente da condição de irrigação e na recuperação. O índice FAI_BLUP permitiu a seleção de genótipos superiores de *C. canephora* para as características selecionadas de tolerância à seca e o clone 7T foi o mais promissor, enquanto o clone P6 o mais suscetível em relação ao ideótipo criado. As características estudadas apresentaram ganhos genotípicos desejáveis. Uma vez caracterizados, os clones poderão ser utilizados em trabalhos de melhoramento, utilizando estratégias adequadas e novos cruzamentos para a obtenção de materiais genéticos mais adaptados.

Palavras-chave: Irrigação; Estresse hídrico; Desenvolvimento; Morfofisiologia.

ABSTRACT

The negative impacts of climate change are expected to affect various plant species, including coffee. In the state of Espírito Santo, Conilon coffee holds significant economic importance. However, the main obstacle faced in coffee cultivation in Espírito Santo is the lack of irrigation. This work aimed to identify individuals that present morphophysiological characteristics of greater performance in different conditions of water stress among the studied parents contrasting to drought, 120 (tolerant) and the clone 109 (susceptible). To address this issue, a randomized block design was implemented in a greenhouse, with four replications and a total of 112 evaluated plants. The study involved 14 clones, including progenies from the 120 x 109 cross and the 109 x 120 cross, along with the two parent clones (109 susceptible and 120 tolerant). Two conditions were considered: an irrigated control and varying levels of water stress. Data was collected between April and June 2019, measuring water stress levels at 25%, 40%, 55%, 70%, and 0%. The evaluation dates were as follows: 1st) April 19, 2nd) May 3, 3rd) May 17, 4th) May 31, and 5th) June 15 (recovery period), concluding on June 28, 2019. The results revealed that all parameters examined were influenced by water deficit, with more severe effects observed as the intensity of water stress levels increased. Clone 7T exhibited the lowest height, while the most favorable outcomes were obtained for leaf water potential, root dry mass, and plagiotropic branch length under water stress conditions. Leaf dry mass was nearly halved across all clones due to water deficit. Furthermore, water stress levels influenced all photosynthetic variables investigated, with clones 120 and 4S maintaining their regulated photosynthesis rate irrespective of irrigation or recovery. The FAI_BLUP index enabled the selection of superior genotypes with drought tolerance characteristics in *C. canephora*. Among the clones, 7T displayed the most promise, while clone P6 was the most susceptible in relation to the target ideotype. The traits studied exhibited desirable genotypic gains. Once characterized, these clones can be utilized in improvement efforts, employing suitable strategies and new crosses to obtain more adapted genetic materials.

Keywords: Irrigation; Hydrical stress; Development Morphophysiology.

1.INTRODUÇÃO

O gênero *Coffea* é composto por 124 espécies pertencentes à família Rubiaceae, porém, somente duas espécies, *Coffea arabica* L. e *Coffea canephora* Pierre ex Froehner, possuem relevância econômica na produção de café no Brasil (DAVIS et al. 2011; CONAB, 2022). O café é um dos produtos agrícolas mais importantes no comércio global e o Brasil lidera a produção e exportação mundial, ocupando o segundo lugar no *ranking* de consumo da bebida (CONAB, 2022). Em 2022, o Brasil produziu 50,9 milhões de sacas de café e o primeiro levantamento realizado pela Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB) aponta para uma produção média de 54,94 milhões de sacas para o ano de 2023, sinalizando um aumento na produção interna (CONAB, 2023).

No Espírito Santo (ES) a espécie *C. canephora* é conhecida como conilon e destaca-se como o maior estado produtor do Brasil com cerca de 17,51 milhões de sacas de conilon beneficiadas só no ano de 2022. Para 2023 é esperada uma produção média de 10.57 milhões de sacas, simbolizando uma queda de 14,4% em relação à safra de conilon em 2022 no ES, isso é devido principalmente, aos longos períodos de estiagem e baixas temperaturas nas regiões de cultivo (CONAB, 2023). O cultivo de conilon tem se expandido para regiões marginalizadas, onde a disponibilidade de água e as altas temperaturas são fatores limitantes para a produtividade de diferentes culturas (FRACASSO et al., 2016). As áreas atribuídas as lavouras cafeeiras de arábica e conilon no Brasil em 2023 chegam a 2,26 milhões de hectares (CONAB, 2023).

Os períodos de estiagem mais prolongados em função das mudanças climáticas prejudicam diversas culturas e o cafeeiro requer atenção nesse sentido, pois, curtos períodos de seca podem ocasionar danos na produtividade do cafeeiro pois a irrigação é essencial em todas as fases da cultura, tornando-se necessário na maioria das vezes o uso da irrigação para se obter alta produtividade (BRAGANÇA et al., 2017). No entanto, a implantação da irrigação nas lavouras cafeeiras capixabas nem sempre é possível pois fatores como o relevo desfavorável e indisponibilidade do volume de água elevam os custos de implantação, tornando-se necessária a busca por materiais genéticos mais tolerantes ao estresse hídrico (SILVA et al., 2013).

Existe uma grande preocupação com as variações no ciclo da chuva e no aumento da temperatura com relação ao cultivo do cafeeiro (Bilen et al., 2023), uma vez que a variação da produtividade de café está associada principalmente à temperatura e a disponibilidade hídrica (DAMATTA; RAMALHO, 2006; RAMALHO et al., 2018). A seca destaca-se como a característica principal na redução do desenvolvimento, produção e na qualidade do café e nos anos menos chuvosos essa produtividade tende a ser reduzida, podendo atingir até 80% da produtividade nas áreas não irrigadas de cafeeiro (DAMATTA et al., 2010; VENÂNCIO et al., 2020).

O déficit hídrico afeta negativamente diversas características morfofisiológicas das plantas, e de acordo com sua duração e/ou intensidade, esses danos podem ser irreversíveis. Portanto, os estudos dessas mudanças são fundamentais na seleção de genótipos superiores sob condições adversas (MOHAMMED, 2015; TALHINHAS et al., 2017). A capacidade de tolerância à seca e de recuperação após períodos de estiagem, envolve uma série de características nas plantas sendo variáveis até entre a mesma espécie, conforme a severidade, exposição, idade da planta e condições nutricionais (DAMATTA et al., 2018; SEMEDO et al., 2021).

Diante do exposto, o programa de melhoramento do INCAPER (Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural) tem desenvolvido pesquisas para identificar genótipos de *C. canephora* que possam ser utilizados como referência para seleção de tolerância à seca. Os genótipos tolerantes devem apresentar produção elevada em condições de seca, sistemas radiculares profundos, controle estomático satisfatório da transpiração, manutenção da área foliar mais verticalizada, sistema antioxidativo robusto, e boa capacidade de exportação de água e nutrientes (RONCHI; DAMATTA, 2007). Sendo assim, é fundamental avaliar o crescimento, fotossíntese e outros parâmetros morfofisiológicos como ferramenta na identificação de plantas em condições de estresse (CALVO et al., 2021).

Nesse sentido, estudar os níveis de estresse hídrico que os clones tolerantes e não tolerantes de cafeeiro conilon podem suportar e as consequências morfofisiológicas desse estresse sobre as plantas, levando em consideração a sua capacidade de recuperação após a exposição, permite ou não distinguir indivíduos mais tolerante frente aos diferentes cenários de déficit hídrico controlado.

2.HIPÓTESES

Considerando a tolerância à seca de *C. canephora* e as mudanças climáticas globais que diminuem a disponibilidade hídrica no solo afetando o desenvolvimento das plantas de cafeeiro que acometem sua produtividade, surgem as seguintes hipóteses:

- Os clones promissores quanto a tolerância à seca pré-selecionados mantêm características morfofisiológicas desejáveis sob condições de estresse hídrico.
- Em condições de estresse hídrico a capacidade de recuperação das plantas tolerantes à seca é maior que em genótipos susceptíveis.

3. OBJETIVO GERAL

Analisar as respostas morfofisiológicas de progênies jovens de *C. canephora* obtidas dos cruzamentos entre os parentais contrastantes à seca, clone109 (suscetível) e o 120 (tolerante) e identificar clones com maior desempenho inicial em condições de déficit hídrico.

3.1. Objetivos específicos

- Analisar o desenvolvimento inicial dos 14 clones tolerantes e susceptíveis à seca quando expostos a diferentes níveis de restrição hídrica;
- Determinar o potencial hídrico foliar, os índices de pigmentação foliar e as características morfofisiológicas envolvidas no desempenho das plantas tolerantes e susceptíveis sob condições de estresse hídrico;
- Mensurar a assimilação líquida de CO₂, a condutância estomática ao vapor de água, a taxa de transporte de elétrons, fotossíntese e transpiração em clones tolerantes e susceptíveis de nos diferentes níveis de déficit hídrico;
- Identificar a partir dos parâmetros avaliados o ideótipo mais tolerante e o menos tolerante entre os 14 clones pré-selecionados;

4. REVISÃO DE LITERATURA

4.1 *Coffea canephora* Pierre ex Froehner

A espécie *Coffea canephora* Pierre ex Froehner é originária do continente Africano, onde é encontrada em ambientes com temperaturas médias entre 24-26°C, baixas variações térmicas e chuvas constantes, com média anual em torno de 2000 mm, distribuídas durante quase todo o ano. O *C. canephora* é uma espécie que tem um bom desenvolvimento em altitudes abaixo de 500 m até 1200 m (CAMARGO, 2010; MARTINS et al., 2017). No Brasil são cultivadas principalmente duas variedades de *C. canephora* que pertencem a grupos distintos, a robusta e o conilon (MAURIN et al., 2007; BATISTA-SANTOS et al., 2011; SOUZA et al., 2013).

O *C. canephora* é um arbusto que pertence à classe Dicotyledonea, ordem Rubiales, membro da família Rubiaceae, tribo Coffeae, subtribo Coffeinae, gênero e subgênero *Coffea*, na seção *Eucoffea* e subseção *Erythrocoffea* classificada como *Coffea canephora* Pierre ex Froehner (BERTHAUD et al., 1988 apud TOMAZ et al., 2008; CARVALHO, 2008). Essa espécie é diploide ($2n = 2x = 22$ cromossomos) e alógama, com autoincompatibilidade gametofítica comprovado em sua enorme variabilidade genética (DUSSERT et al., 1999).

A variedade Conilon apresenta o porte arbustivo, suas folhas são alongadas e os frutos apresentam maturação precoce, é mais promissora quanto a tolerância à seca, porém são mais suscetíveis ao ataque de pragas e doenças comparados ao robusta, que por sua vez, possui crescimento mais ereto, suas folhas são maiores, apresentam maturação tardia dos frutos, e possuem maior resistência a pragas e doenças, porém são menos tolerantes à seca (MONTAGNON et al., 2012; SANTOS et al., 2017; OLIVEIRA et al., 2018). Os seus frutos são drupas com cor verde e quando maduros apresentam-se vermelhos ou amarelados (FAZUOLI, 1986; CARVALHO et al., 1965 apud MENDES et al., 2011). As sementes possuem endosperma duro e cor verde clara sobreposto por uma película prateada (SILVAROLLA et al., 2004; CARVALHO et al., 1965 apud MENDES et al., 2011). Além

do ES a Bahia tem grandes cultivos em larga escala com mudas clonais de conilon (PARTELLI; ESPÍNDULA, 2021).

Além disso, tal diversidade pode ser justificada também pela sua vasta distribuição demográfica, destacando-se como a espécie mais amplamente distribuída do gênero *Coffea* (Maurin et al., 2007), contribuindo para sua grandiosa diversificação e adaptabilidade as variações ambientais (MARRACCINI et al., 2012).

Dentro de um mesmo plantio existe grande heterogeneidade com alta variabilidade genética natural e polinização cruzada entre suas gerações (OLIVEIRA et al., 2018). Essa autoincompatibilidade genética de *C. canephora* ocasiona problemas nos cruzamentos entre indivíduos aparentados devido sua prole ser heterozigota e heterogênea na fecundação cruzada. Conseqüentemente, para estabelecer cultivares compostos da combinação de clones de conilon é fundamental identificar a existência de compatibilidade genética entre eles para efetivar o agrupamento, sendo o uso de seleção recorrente mais eficiente e recomendado para aumentar a frequência de alelos favoráveis no conilon (DUBBERSTEIN et al., 2021).

4.2. Produção de café no Espírito Santo

O Brasil é o maior produtor e exportador e o segundo maior consumidor de café do mundo, os lucros decorrentes da sua produção contribuíram diretamente para o crescimento do país se tornando uma das mais importantes commodities para o PIB em 2022 foram cerca de US\$ 9,2 bilhões com a exportação do café batendo o recorde com o praticamente o dobro de lucro em relação ao ano de 2021 registrando o maior valor do produto na série histórica (CONAB, 2023).

O cafeeiro conilon foi introduzido no Brasil em 1911 no estado do Espírito Santo, e teve suas primeiras áreas plantadas em Cachoeiro de Itapemirim, município localizado na região sul do estado (FERRÃO et al., 2007; FERRÃO et al., 2015; MERLO, 2012). No estado do Espírito Santo o plantio de conilon geralmente é feito nas regiões mais quentes e com altitudes abaixo de 500 m onde a precipitação não ocorre de maneira bem distribuída, passando por longos períodos de estiagem (INCAPER, 2022).

O Espírito Santo é o segundo maior estado produtor de cafés, ficando atrás apenas de Minas Gerais, mas é o maior na produção nacional de *Coffea canephora*. A produção de conilon no Espírito Santo representa 78% da produção nacional e a produção de robusta do estado representa 30% da produção mundial dessa variedade. A safra de 2022 foi de 16.575 milhões de sacas de café conilon e uma área de cultivo estimada em 285 mil hectares (CONAB, 2022). A cafeicultura é a principal fonte econômica do Espírito Santo, correspondendo a cerca de 37% do valor bruto da produção agrícola do estado (INCAPER, 2022).

A seca ocasionada por longos períodos de estiagem, associada a altas temperaturas causam prejuízos irreversíveis nas fases de desenvolvimento, florescimento, formação e enchimento de grãos, reduzindo a produtividade e qualidade da cultura do café conilon no Espírito Santo (DAMATTA et al., 2018; SEMEDO et al., 2021). Entre as safras de 2015 e 2016 a má distribuição das chuvas reduziram a produção capixaba de café significativamente (Conab, 2016), e a produtividade em lavouras sem irrigação reduzem em até 80% nos anos mais secos (DAMATTA et al., 2010; VENÂNCIO et al., 2020).

A maior parte das regiões de cultivo de *C. canephora* encontra-se nas áreas de baixa altitude, onde as temperaturas são mais elevadas, favorecendo seu desenvolvimento (INCAPER, 2022). A busca por novas variedades com características de tolerância à seca tem sido requerida para a sustentabilidade da cafeicultura capixaba, devido principalmente a utilização de um número limitado de cultivares clonais na maioria das lavouras que diminuem a diversidade genética, tornando as lavouras mais vulneráveis a doenças, pragas e condições climáticas adversas. Identificar clones com características de tolerância à seca pode acelerar o processo de seleção e contribuir para os programas de melhoramento de *C. canephora*, pois o déficit hídrico causa prejuízos em toda cadeia de produção do café (RODRIGUES et al., 2016).

4.3. Impactos das mudanças climáticas na agricultura

As mudanças climáticas têm trazido impactos significativos em diversas regiões do mundo, sendo o aumento da temperatura global, uma das maiores preocupações por colocar em risco a segurança alimentar (DAMATTA; RAMALHO, 2006; RAUF et al., 2016). Em 2022 houve um aumento nos registros dos termômetros com os valores recordes e máximos desde a Revolução Industrial, refletindo em longos períodos de estiagem (IPCC, 2022). A escassez de chuvas tem afetado a disponibilidade de água para as culturas, reduzindo a produtividade mesmo em períodos curtos de déficit hídrico (BRAGANÇA et al., 2017).

As plantas assimilam CO_2 de forma distintas e variam de acordo com as diferenças morfofisiológicas existentes entre os tipos C3 e C4. Tais mudanças climáticas supracitadas vêm ocasionando adaptações nessas plantas, principalmente com relação a fotossíntese e a plasticidade fenológica nos diferentes tipos de assimilação de CO_2 . Em plantas do tipo C3, como é o caso do café e da maior parte das espécies vegetais a Rubisco, capta além do CO_2 o oxigênio de acordo com o favorecimento das suas funções carboxilase (gera 2 trioses–fosfato) ou oxigenasse (fotorrespiração) e formam moléculas de 3-fosfoglicerato, utilizadas na formação de ATP e NADPH dissipando o excesso de energia produzido sob altas temperaturas ou estresse hídrico, afetando dessa forma produtividade das C3 (TAIZ ET AL., 2021). As espécies C3 são plantas mais eficientes em condições de clima temperado, principalmente sob temperaturas amenas onde as perdas por fotorrespiração são minimizadas, sendo mais eficientes que as C4 (SAGE et al., 2011).

As respostas das plantas ao estresse hídrico envolvem mecanismos morfofisiológicos distintos entre as espécies C3 e C4 (GHANNOUM, 2009; OSAKABE et al., 2014). O fechamento dos estômatos é uma resposta comum ao déficit hídrico em plantas C3 e C4 com intuito de diminuir a perda de água por transpiração e a condutância estomática (HABERMANN et al., 2019). De modo geral, a fotossíntese de espécies C4 apresentam sob condições de elevadas temperaturas e luminosidade as maiores taxas e eficiência do que as C3 devido a presença de bainha vascular nas C4 que diminuem a fotorrespiração principalmente em baixas concentrações de CO_2 (LAMBERSET al., 2008). As plantas C4 apresentam ainda maior eficiência no uso da

água sob déficit hídrico enquanto as espécies C3 suportam menos essa exposição (GOWIK; WESTHOFF, 2011).

As mudanças climáticas ainda incluem um conjunto de alterações profundas, rápidas, que afetam os processos de manutenção e equilíbrio das características bióticas e abióticas do planeta. Na maioria das vezes essas alterações refletem em efeitos negativos sobre o ecossistema. Além da temperatura e da pluviosidade, outras consequências que incluem as condições atmosféricas, umidade, aspectos relativos do ar, solo e da água são observadas em virtude dessas mudanças no clima (CROWLEY, 2000). As diversas espécies de plantas apresentam uma temperatura ótima para o seu desenvolvimento e pleno funcionamento de seu metabolismo, e temperaturas que divergem do ideal provocam alterações nesses processos, ocasionando danos fisiológicos irreparáveis (KERBAUY, 2019).

A agropecuária é o setor que mais tende a ser impactados por essas mudanças. As plantas quando são expostas a altas temperaturas tendem a desenvolver uma série de distúrbios em seu metabolismo, influenciando diretamente seu crescimento respiração, fotorrespiração e perdas de carbono podendo diminuir a atividade fotossintética (YAMORI et al., 2014; WANG et al., 2020). As temperaturas elevadas também estimulam os processos que envolvem a evapotranspiração (Taiz et al., 2021), alterando completamente o ciclo celular. Em outro cenário, as temperaturas reduzidas diminuem a taxa fotossintética como consequência da menor condutância estomática (LIMA et al., 2013; NÓIA JÚNIOR et al., 2018).

Para o Brasil, detentor de uma das maiores reservas de biodiversidade natural e de áreas cultivadas, a expectativa é de perdas graves nos ecossistemas naturais e agrícolas devido as mudanças climáticas (JESUS, 2012; MARTINS, 2017; TANURE, 2020). Algumas plantas podem apresentar adaptações que resultam em maior sensibilidade ou resistência aos impactos do aquecimento (ZANDALINA et al., 2022). O planejamento e manejo das áreas de cultivo para atingir boa produção deve ser de acordo com as previsões e mudanças climáticas dependem de estudos sobre as condições locais, os ecossistemas e o uso de cultivares tolerantes à seca (FERRÃO, 2021).

O estresse térmico é definido a partir da elevação da temperatura acima do nível crítico em um determinado tempo afetando a integridade, o desenvolvimento e

crescimento, esses prejuízos ocasionados variam de acordo com a resistência da espécie (JAGADISH et al., 2021). Essas respostas das plantas são influenciadas pelo déficit de pressão de vapor e disponibilidade hídrica (SERRANO et al., 2013; AMARAL et al., 2021). Nas próximas décadas além das mudanças nos regimes térmico e hídrico espera-se um aumento na concentração de CO₂ (HOLTMANN et al., 2021).

Com esse cenário cada vez mais frequente, a seleção de genótipos que mantenham o crescimento e bons rendimentos em ambientes sob restrição hídrica e térmica (Damatta et al., 2018; Semedo et al., 2021), com alta produtividade, rendimentos estáveis e maturação uniforme (Ferrão et al., 2007) são importantes para a sustentabilidade da cafeicultura.

4.4. Efeitos do déficit hídrico na morfologia de plantas

O conhecimento de como as plantas respondem às mudanças climáticas e ao aumento na concentração de CO₂ e sua interação com outros fatores ambientais, como o déficit hídrico, por exemplo, é de suma importância para identificar respostas ecofisiológicas e suas variações de acordo com a disponibilidade de água para a planta (CERNUSAK et al., 2013). O déficit hídrico do solo é um fator que afeta o crescimento e a produtividade das plantas perenes (LISAR et al., 2012).

As respostas das plantas à deficiência hídrica envolvem inúmeros processos bioquímicos e morfofisiológicos, que limitam o seu desenvolvimento (GERSONY, 2020). As plantas tolerantes mantêm maior potencial hídrico e maior teor relativo de água em seus tecidos, quando impostas ao déficit hídrico em comparação aos clones de café sensíveis à seca (PINHEIRO et al., 2004). Os efeitos mais comuns nas plantas, são classificados como primários e secundários, sendo o primeiro relacionado a redução do potencial hídrico e desidratação celular alterando as propriedades físicas e bioquímicas nas células, que vão desencadear os efeitos secundários. Os efeitos secundários, por sua vez, vão modificando a atividade metabólica, os íons e a produção de espécies reativas de oxigênio (EROs), que podem comprometer a integridade celular ou até sua morte (FAHAD et al., 2017).

A conservação da água pela planta e a taxa de assimilação de CO₂ são antagônicas para produção de carboidratos, o fechamento estomático diminui a atividade de carboxilação da Rubisco, reduzindo também a concentração de carbono interna (LEAKEY et al., 2009; PILON et al., 2018). Esse comportamento varia de acordo com o genótipo, com a duração, a severidade do déficit hídrico e do estágio de desenvolvimento da planta, podendo limitar a fotossíntese e o seu potencial hídrico, pois afeta os níveis de assimilados nas folhas, reduz a pressão de turgescência (Wolf; Greiner, 2012) e muda a morfologia (BALDUCCI et al., 2014).

Se tratando da cultura do cafeeiro que tem um ciclo fenológico com duração de dois anos e inclui várias etapas, entre elas: o desenvolvimento vegetativo; com formação das gemas foliares; surgimento e maturação das gemas florais e floração; e formação e maturação dos frutos (GASPARI-PEZZOPANE, 2009). Dentro de um mesmo período de florada é possível observar uma forte influência das oscilações climáticas (PETEK, 2009; RICCI, 2013). Como o cafeeiro é uma planta com fase juvenil longa (Ribas; 2006; Damatta; Ramalho, 2006), os danos do déficit hídrico são mais problemáticos nesse período do desenvolvimento (MELO, 2014). Na seca as flores podem sofrer aborto já que os tubos polínicos são comprometidos devido à desidratação, o que também prejudica a interação planta x polinizadores (CAMARGO, 2001; PETEK, 2009). O suprimento hídrico se faz essencial para a fase de granação dos frutos de café, pois a falta de água nesse momento leva ao chochamento do fruto. Além disso a evapotranspiração potencial é reduzida na fase de maturação dos frutos podendo nesse caso o déficit hídrico controlado e moderado beneficiar a qualidade final da bebida (PETEK, 2009; CHESEREK; GICHIMU, 2012; AGNOLETTI, 2015).

A disponibilidade hídrica não é apenas essencial em todas as fases fenológicas, ela é considerada uma ferramenta de manejo, especialmente para o estabelecimento do início das floradas e recuperação vegetativa (FURLAN, 2021). De acordo com a cultivar e o local, a planta pode apresentar diferentes graus de tolerância à seca e diferentes atividades fotossintéticas (CARVALHO, 2008; RICCI, 2011, 2013). Essa tolerância pode ser observada através das alterações morfológicas, radiculares e foliares que acabam influenciando na assimilação, concentração e distribuição de nutrientes (COVRE, 2018; MAGALHÃES, 2021; PETEK, 2009; CHESEREK, GICHIMU, 2012; AGNOLETTI, 2015).

As cultivares de conilon apresentam relação positiva entre o potencial hídrico no solo e características de crescimento, como diâmetro do caule, diâmetro da copa, altura da planta e taxas fotossintéticas. Além disso, as plantas promissoras a tolerância à seca possui sistemas radiculares profundos, controle estomático eficiente na transpiração, área foliar menor, sistema antioxidativo robusto e maior capacidade de exportação de água e nutrientes (GONZÁLEZ, 2017; FURLAN, 2021). Em clones de cafeeiros com tolerância à seca foi observado o maior potencial hídrico no tecido foliar e maior eficiência no uso de água em condições de déficit hídrico (DAMATTA, 2004; SILVA, 2021). De acordo com Lima (2002), a tolerância à seca no café conilon pode estar associada à atividade elevada das enzimas antioxidantes e pigmentos, sendo comum observar a redução da área foliar, redução do porte, altura e do comprimento entre os brotos florais (SILVA, 2013).

A capacidade de transporte de fotoassimilados da parte aérea para as raízes pode resultar em um crescimento radicular mais profundo (Damatta; Ramalho, 2006), consequentemente, maior absorção de água nas plantas tolerantes ao déficit hídrico (SILVA et al., 2010). Já nas plantas susceptíveis ocorre maior desidratação mesmo nos menores períodos de estiagem devido a alterações da demanda evaporativa sob déficit hídrico (Pinheiro et al., 2005), baixo controle da transpiração devido a limitação dos estômatos na absorção de água, e sistemas radiculares mais superficiais (RONCHI; DAMATTA, 2007). Nesse sentido, as folhas são fundamentais nas funções fotossintéticas e as raízes no suporte, absorção de nutrientes, água do solo e síntese de hormônios (CALLEJA-CABRERA et al., 2020; SCHNEIDER; LYNCH, 2020).

4.5. Efeitos do déficit hídrico na fisiologia de plantas

A avaliação de características morfofisiológicas permite identificar quais os mecanismos de adaptações das plantas quando estão submetidas a condições de estresse, seja hídrico, salino ou de temperaturas (AL-SAMMARRAIE et al., 2020; HOSSAIN et al., 2022; BILEN et al., 2023). Com o aumento crescente da concentração de carbono ($[CO_2]$), a fisiologia das plantas sofre alterações na modulação da atividade da Rubisco, nos processos de sensibilidade das células-

guarda dos estômatos e na respiração mitocondrial (Sage, 2002), aumento da fotossíntese devido à influência da Rubisco e na assimilação de CO₂ pelas plantas. Na maior parte das plantas, o aumento da [CO₂] além de estimular a fotossíntese, diminui a condutância estomática e a transpiração, elevando a eficiência do uso da água (LEAKEY et al., 2009). Sendo assim, é importante conhecer como os mecanismos fisiológicos afetam o crescimento das plantas. Por exemplo, esses efeitos da [CO₂] na fotossíntese são reduzidos com as mudanças climáticas que aumentam a temperatura atmosférica e limitam a disponibilidade hídrica (WALTER et al., 2015). Estudo com espécies de *Solanum* mostram que ocorre redução na fotossíntese, condutância estomática, taxa de transpiração, conteúdo relativo de água e de clorofila (SANCHITA et al., 2015).

A resposta das plantas frente aos estresses afeta o seu desenvolvimento sua genética e modificações fisiológicas, reduzindo o consumo de água e fotossíntese. (KUMAR et al., 2021; (MARRACCINI et al., 2012; VIEIRA et al., 2013 (MCKAY et al., 2003). As avaliações das trocas gasosas permitem determinar a adaptação e estabilidade das plantas em diferentes ecossistemas, ajudando a compreender os mecanismos regulatórios dos processos de fechamento estomático e outros fenômenos fisiológicos. Essas avaliações são não-destrutivas e incluem técnicas como fluorescência da clorofila a que pode ser usada para diagnosticar a eficiência fotossintética sob estresse ambiental (TAIZ et al., 2021). Nas espécies mais cultivadas de cafeeiro a fotossíntese é limitada quando ocorre estresse hídrico e altas temperaturas, fechamento estomático e as atividades fisiológicas da planta, principalmente em *C. arabica* (DAMATTA; RAMALHO, 2006). Sendo a irrigação o fator mais limitante na produção de café (DAMATTA; RAMALHO, 2006).

O déficit hídrico pode ocasionar alteração nos pigmentos das folhas, transformando a relação da clorofila a e b, sendo um excelente indicativo nas respostas de plantas sob condições de estresse hídrico. O mecanismo de defesa da planta consome as EROS em razão da degradação da clorofila b, que passa por um processo de conversão de clorofila b para clorofila a durante o estresse. Nesse sentido, plantas que apresentarem alta relação de clorofila a/b são consideradas mais resistentes à seca e ao estresse oxidativo (PINHEIRO et al., 2004; RODRÍGUEZ-LÓPEZ et al., 2013). Assim, os métodos de análises e aferimento da clorofila, vem

sendo utilizados como ferramenta para a seleção de genótipos tolerantes ao déficit hídrico (SILVA et al., 2017). A redução das concentrações teciduais de clorofilas, carotenoides e flavonoides aumenta os compostos fenólicos em folhas (Cavatte et al., 2012) e danos ligados à radiação (GILL; TUTEJA, 2010).

A disponibilidade inadequada de água afeta negativamente o metabolismo de compostos nitrogenados em plantas. A atividade da enzima nitrato redutase, responsável pela assimilação do nitrogênio, é afetada pela falta de água. Maior disponibilidade de nitrogênio pode melhorar a tolerância da planta à seca (DAMATTA; RAMALHO, 2006). Por outro lado, a ausência de nitrogênio reduz a condutividade da água e sua absorção, induzindo o fechamento dos estômatos na parte aérea alterando a fotossíntese (DING et al., 2014). As avaliações da taxa de fotossíntese demonstram ser confiáveis na distinção em nível de campo entre genótipos tolerantes à seca e suscetíveis (GOLABADI et al., 2006). Em condições irrigadas, mudas de Conilon apresentam desempenho hidráulico diferenciado e contrastantes quanto à tolerância à seca Machado Filho et al., (2021), reduzindo a transpiração e elevando a produtividade, melhorando o desempenho da cultura em regiões com altas temperaturas e períodos de estiagem e secas (DAMATTA, 2003).

As análises de desempenho fisiológico sob déficit hídrico proporcionam a identificação de indivíduos resistentes à seca e cerca de 90% da produção das plantas ocorre em resposta à atividade fotossintética (COVRE et al., 2018; THIOUNE et al., 2020; SILVA et al., 2020). Com relação ao cafeeiro conilon, as taxas de fotossíntese líquida são consideradas baixas em comparação a outras espécies de plantas (DAMATTA et al., 2003; PINHEIRO et al., 2005).

Avaliar a dinâmica da fotossíntese, produção, alocação de carbono e o crescimento das plantas, constituem importantes ferramentas de avaliação das respostas fisiológicas nas condições de déficit hídrico controlado (CALVO-RODRIGUES et al., 2021). Uma das respostas das plantas à seca está relacionada ao potencial hídrico foliar, já que a redução do potencial pode levar à senescência foliar em plantas sensíveis (Zlatev et al., 2012), enquanto em plantas tolerantes o potencial hídrico tende a se manter estável (BALDUCCI et al., 2014). Em condições de estresse hídrico moderado, as taxas fotossintéticas reduzem e de acordo que o estresse aumenta as restrições das plantas limitam a fixação fotossintética de CO₂,

afetando a transferência de elétrons, formação de radicais de oxigênio (ROS), de radicais livres, superóxido, hidroxila gerando danos fotoinibitórios e fotooxidativos (LIMA et al., 2002).

4.6. Melhoramento de *Coffea canephora* visando tolerância à seca

O melhoramento genético do cafeeiro, em especial de *C. canephora* tem permitido a expansão do cultivo dessa espécie para regiões marginais onde a disponibilidade de água é o fator limitante da produção do fruto (FERRÃO et al., 2012). A espécie conilon apresenta ampla variação genética com alta capacidade de adaptação ao déficit hídrico e excelente recuperação do vigor após períodos de escassez de água (SANTOS et al. 2017; OLIVEIRA et al. 2018). A tolerância à seca está associada com a aclimatação de determinadas espécies de sobrevivência e capacidade de produzir sob condições de déficit hídrico e temperaturas incomuns (SILVA et al., 2010). Essa tolerância à seca é uma resultante de parâmetros (anatômicas, morfológicas, fisiológicas, moleculares), que se expressam dependendo da severidade e da taxa de imposição do déficit hídrico, da idade e das condições nutricionais da planta, entre outros fatores. Os genótipos mais tolerantes à seca são menos prejudicados pelo déficit hídrico e maior estabilidade de produção.

Os maiores ganhos decorrentes do melhoramento ao longo da história estão associados às técnicas clássicas de melhoramento e cultivo (ANDRADE, 2003). Uma dessas técnicas pioneiras é a seleção fenotípica a partir da propagação de indivíduos com características morfológicas consideradas agronomicamente superiores, a fim de garantir sua conservação. O café, está entre os cultivos sob maior pressão pelo melhoramento e lançamento de novas variedades, principalmente devido a sua importância na economia nacional e mundial. Os avanços recentes nas análises moleculares do café, como o sequenciamento com tag, marcadores moleculares, possibilitam a identificação de clones tolerantes que podem ser usados para acelerar ou facilitar os programas de melhoramento do café, revelando sequência de RNA e permitindo identificar clones sensíveis e tolerantes de *Coffea canephora* como os estudos de Guedes et al. (2018) que descreveram 826 genes envolvidos em

mecanismos de plantas tolerantes e 135 genes de mecanismos nas sensíveis, indicando uma possível resposta ao estresse oxidativo frente ao estresse hídrico.

Um dos impasses no melhoramento do conilon é presença de autoincompatibilidade genética onde o grão de pólen germina e a reação de incompatibilidade ocorre entre o tubo polínico e o estilete nos cruzamentos feitos entre indivíduos geneticamente aparentados resultantes da fecundação cruzada. Consequentemente, para estabelecer cultivares compostos da combinação de clones é essencial a compreensão prévia da compatibilidade entre os clones que se visa agrupar, fazendo-se necessário para manutenção de genes potenciais nas gerações, o uso de seleções recorrentes (FERRÃO et al., 2017).

Geneticamente, tanto a tolerância à seca quanto a eficiência do uso da água envolvem vários loci com distribuições distantes no genoma (FERRÃO et al., 2015). Os efeitos ocasionados pela seca podem ser observados a nível molecular, celular e fenotípico (FAROOQ et al., 2009; RAUF et al., 2016; AVILA, 2020). Para estabelecer cultivares compostos da combinação de clones de conilon é fundamental identificar a existência de compatibilidade genética entre eles para efetivar o agrupamento, sendo o uso de seleção recorrente mais eficiente e recomendado para o conilon (DUBBERSTEIN et al., 2021). Esse processo de seleção recorrente é o cíclico de seleção sistemática de plantas desejáveis de uma população, seguida pela recombinação e avaliação destas, para formação da nova população melhorada para aumentar a frequência de alelos favoráveis.

Entre as características desejadas na seleção de plantas tolerância à seca estão: aumento da resistência difusiva, desenvolvimento de sistemas radiculares prolíficos e profundos que otimizam o uso da água, estrutura da coroa do cafeeiro, aumento da densidade estomática, diminuição da área foliar e desenvolvimento de folhas que reduzem a perda por transpiração (LIMA 2015; KIWUKA, 2020; SANTOS, 2021). De acordo com Ferrão (2021) ao selecionar genótipos visando a tolerância à seca é necessário considerar o nível, ou ausência, de estresse hídrico sofrido pelos cultivares e sua produtividade ao longo do tempo. Nas fazendas experimentais do INCAPER os cultivos irrigados e sequeiros proveram as condições necessárias para a comparação e identificação de plantas matrizes superiores (FERRÃO et al., 2012). A identificação a partir de parâmetros morfofisiológicos amplia à manutenção da

variabilidade genética das variedades de cafeeiro (ANTHONY, 2001; FERRÃO et al., 2012; SIMON-GRUITA et al., 2019).

Embora o controle estomático seja eficiente na transpiração possa favorecer a tolerância à seca do *C. canephora*, não há uma única característica isolada que determine de forma precisa a tolerância ao déficit hídrico para essa espécie (DAMATTA; RAMALHO, 2006; FERRÃO, 2021). Assim, obter informações das variações morfofisiológicas relacionadas ao déficit hídrico em *C. canephora* auxilia na identificação de materiais genéticos tolerantes (COVRE et al., 2018; THIOUNE et al., 2020; SILVA et al., 2020).

A identificação de plantas superiores através do índice FAI-BLUP é uma metodologia baseada na análise de fatores e na distância entre genótipo e ideótipo, apontando para a seleção de genótipos que estão mais próximos ao ideótipo elaborado a partir do o conjunto de caracteres morfofisiológicos de interesse no melhoramento genético da cultura estudada. A utilização de um ideótipo, por sua vez, é um protótipo hipotético elaborado a partir de um conjunto de variáveis agrônômicas de interesse, de acordo com sua finalidade no melhoramento genético auxiliam na definição de um objetivo final, sucedendo as inúmeras tentativas de erros e acertos e aumentando progressivamente o desempenho da planta para características distintas (VAN OIJEN et al. 2016).

5.MATERIAL E MÉTODOS

5.1. Local e delineamento experimental

O estudo foi conduzido em casa de vegetação da área experimental do Centro de Ciências Agrárias e Engenharias da Universidade Federal do Espírito Santo (CCAUE-UFES) - Campus de Alegre/ES, localizada na região sul do estado - coordenadas (-20.7483; -41.4880). O delineamento aplicado foi o de blocos ao acaso com quatro repetições, 14 tratamentos (6 progênies do cruzamento 120 x 109, 06 progênies do cruzamento 109 x 120 e os dois genitores) e duas condições (Irrigado e em níveis de déficit hídrico – (parcelas subdivididas), foram 112 parcelas onde cada uma foi constituída de uma planta; totalizando 112 plantas; todos os tratamentos estavam em cada bloco. Os dados foram coletados por planta em cinco avaliações do déficit hídrico, entre os meses de abril e junho/2019: 1ª) 19/04, 2ª) 03/05 3ª) 17/05, 4ª) 31/05 e 5ª) 15/06 (Recuperação), sendo encerradas avaliações em casa de vegetação em 28/06/2019. Para cada nível de estresse hídrico avaliado foram obtidos os dados das características morfofisiológicas.

5.2. Material Vegetal

Os materiais vegetais utilizados neste trabalho foram concedidos pelo Programa de Melhoramento Genético de café do Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural (INCAPER) de Marilândia no noroeste do Espírito Santo. As mudas foram cultivadas na casa de vegetação até completarem 10 meses de idade, e quando estavam vigorosas e saudáveis foram transplantadas para os vasos para montagem do experimento. Os materiais 109 e 120 foram os primeiros materiais dos ensaios e foram coletados em lavouras de produtores de conilon do estado do ES por técnicos do INCAPER através de seleção massal fenotípica, entre os anos 1986 e 1988. Essas lavouras apresentavam alta variabilidade de plantas, umas com performance boa para uniformidade de maturação e produtividade e outras ruins.

Nas análises das populações dos progenitores dos cruzamentos de café conilon foram identificados os clones 120 e 109 que apresentam porte médio, maturação média e são suscetíveis à ferrugem, porém o clone 120 é tolerante à seca diferentemente do clone 109 que é suscetível. Do cruzamento entre os clones 120x109 foram selecionadas (58 progênies) e 109x120 (19 progênies), que foram cultivadas em espaçamento de 3,0 x 1,0 m, sem irrigação e adotando o manejo convencional da cultura no campo entre agosto de 2008 a maio de 2009. Os 14 genótipos selecionados obtidos através dos cruzamentos controlados foram separadas famílias de irmãos completos do estudo realizado por Souza-Sobreira, (2017) foram selecionados os genótipos dos cruzamentos: T01_PAI120; T02_PAI109; T03_109x120_T (3); T04_109x120_T (P6); T05_120x109_T (7T); T06_109x120_S (P2); T07_120x109_S (4S); T08_109x120_T (P10); T09_109x120_S (1T); T10_120x109_S (6T); T11_109x120_T (P50); T12_109x120_T (P40); T13_109x120_S (44S); T14_109x120_S (P59). Em seguida foi estimulada brotações para produção de mudas clonais por estaquia sendo 3 pré-selecionados como tolerantes (3T, P6 e 7T) e 3 como suscetíveis (P2, P4 e P10) da população 120x109, 3 pré-selecionados como tolerantes (1T, 6T e P50) e 3 como suscetíveis (P40, P44 e P59) da população 109x120 e os genótipos parentais 120 e 109.

5.3. Montagem do experimento e simulação do déficit hídrico

As plantas foram cultivadas em vasos de 18 litros para os ensaios em casa de vegetação, esses vasos foram pintados de branco para mitigar a influência de absorção de calor da cor preta, assim como, foram utilizadas 100 gramas de palhada de grama seca para a cobertura do substrato nos vasos. Para composição do substrato foram utilizados solo, areia e esterco bovino na proporção de (2:1:1), respectivamente. Após as misturas dos materiais dos substratos foram realizadas as análises químicas e físicas para verificar principalmente se as concentrações de P e K reduziram aos padrões aceitáveis para cultura do cafeeiro, uma vez que, o esterco bovino utilizado na composição também é rico em P, N e K, a fim de evitar a toxidez das plantas, que influenciariam nos resultados do estudo. O resultado da análise granulométrica do substrato permaneceu com textura argilosa e porcentagens de

(29,58% de Areia Total; 10,37% de silte; e 60,05% de argila). Para análise química do substrato o pH foi de 5,17; P: 5,44 mg/dm³; K: 96,41 mg/dm³; Ca: 0,64 cmolc/dm³; Mg: 0,21 cmolc/dm³; Al: 0,42 cmolc/dm³; H + Al: 5,0 cmolc/dm³; SB: 1,10 cmolc/dm³; t: 1,52 cmolc/dm³; CTC: 6,10 cmolc/dm³; V:18,03%; e m: 27,63%.

A adubação foi realizada para todos os vasos semanalmente e durante todo o período do experimento com solução de nutrientes de Hoagland (HOAGLAND; ARNON, 1950).

A capacidade de campo do solo foi aferida por saturação e drenagem gravitacional, a partir da retenção da quantidade máxima de água no substrato, sendo realizadas pesagens dos vasos para obtenção dessa diferença no percentual de perda de massa representada pela quantidade de água. Antes de iniciar os tratamentos com déficit hídrico controlado a capacidade de campo do solo foi mantida para todos os 112 vasos de plantas com irrigações diárias durante 10 meses. O tratamento controle foi irrigado para que sua capacidade de campo fosse restabelecida durante todo o experimento. Quando as plantas atingiram aproximadamente 10 meses de idade, foram submetidas ao tratamento sob estresse hídrico gradativo no decorrer dos dias de avaliações.

As mudas foram submetidas ao estresse hídrico por meio da limitação progressiva da irrigação, que se iniciou no dia 05 de abril 2019 (dia 0) aplicando-se 75 % de água no tratamento com déficit hídrico em relação ao tratamento controle irrigado que foi mantido na capacidade de campo solo. As avaliações foram realizadas de 14 em 14 dias obtendo-se os resultados das avaliações das variáveis em estudo. Dessa forma, no dia 0 foi avaliado o nível de estresse de 0%, no dia 15 o nível de estresse hídrico passou a ser limitada em 25%, no dia 29 o nível de estresse foi reduzido a 40%, no dia 43 foi 55% de estresse e no dia 57 o nível de estresse hídrico foi de 70% com relação ao tratamento controle irrigado 100% de irrigado. A partir do dia 71, todos os 112 vasos de plantas voltaram a receber a irrigação na capacidade de campo do solo no nível de estresse de 0% onde todas as plantas foram recuperadas e receberam 100% de irrigação. O controle da irrigação foi realizado a cada dois dias com a pesagem de todos os vasos e obtenção da quantidade de água a ser restabelecida com auxílio de provetas conforme a transpiração das plantas. Além disso, a cada dois dias também eram avaliados o VWC = teor volumétrico de

água (%), TRANS= transpiração da água do solo e DEF = déficit de água (mm) a fim de entender o comportamento da água no solo com o auxílio da sonda *Time Domain Reflectometry* (TDR).

5.4. Medidas de Crescimento

Foram efetuadas análises das variáveis morfológicas em todos os níveis de estresse hídrico empregados. Durante o período experimental foram analisadas as variáveis: altura das plantas (ALT) em cm; comprimento dos ramos plagiotrópicos (CPRAMO) em cm, com o auxílio de uma régua graduada em centímetros; e o diâmetro do caule (DMCAULE) em mm, utilizando-se um paquímetro digital graduado em milímetros. A ALT foi medida adotando-se, como critério, a distância entre o colo da planta e a extremidade do broto terminal do ramo ortotrópico. A área foliar total (AF) cm² foi realizada através da análise não destrutiva aferindo-se o comprimento e a largura de cada folha para todas as plantas e em todos níveis de estresse hídrico empregado no decorrer do experimento de acordo com metodologia proposta por (ANTUNES et al., 2008).

Para análise do comprimento dos ramos plagiotrópicos (CPRAMOS) em cm, foram selecionados na primeira avaliação dois ramos por planta e depois foram mantidos os mesmos para todas as demais avaliações dos níveis de estresse hídrico, sendo o padrão de seleção desses ramos, a escolha do 4º ramo plagiotrópico (de cima para baixo) que melhor representasse as plantas. Os ramos avaliados foram sempre os mesmos ao longo do experimento e foram identificados com uma fita durex vermelha. Nestes ramos ainda foram avaliados o comprimento dos entrenós (COMPNOS) cm e o número de rosetas (NROSE).

Ao final do experimento as plantas foram seccionadas em caules, folhas e raízes separadamente, em sacos de papel e acomodados em estufa a 60 °C por sete dias para secagem forçada. Posteriormente, as partes das plantas foram pesados em balança analítica (precisão de 0.0001 g) para obtenção da massa seca do caule (MSCAULE) em g; massa seca das raízes (MSRAIZ) em g; massa seca das folhas (MSF) em g; e massa seca dos ramos plagiotrópicos (MSRPLAG) em g. Através das avaliações do diâmetro do caule (maior e menor) em mm e da MSCAULE foram

obtidas as variáveis volume do caule (VOLCAL) em cm^3 e densidade do lenho caulinar (DENSLA) g cm^{-3} conforme modelo proposto por (SILVA et al.,2013).

5.5. Potencial hídrico foliar

Para determinações do potencial hídrico foliar (Ψ_w) em MPa foram coletadas folhas maduras, sadias e totalmente expandidas do terço médio de todas as plantas de cada tratamento. Foram analisadas quatro folhas em cada uma das parcelas, sempre no período de antemanhã, entre 4 e 5 horas (horário de BSB), utilizando uma câmara de pressão *Scholander* modelo 1505D-EXP (PMS Instrument Company, Albany, OR, USA) conforme metodologia descrita por Scholander et al., (1965). As folhas foram avaliadas imediatamente após a coleta em casa de vegetação, para evitar riscos de alterações no potencial hídrico dos tecidos foliares.

As observações do potencial hídrico foliar aconteceram a cada 14 dias para todos os níveis de estresse (NE%): (NE0); (NE25); (NE40); (NE55); (NE70) de água disponibilizada para as plantas em relação ao controle irrigado. A partir do (NE70%), quando as plantas receberam apenas 30 % de irrigação do controle, foram avaliadas diariamente até atingirem o potencial de -1,5 MPA (estresse moderado) - (NEM) e - 3,00 MPA, (estresse hídrico severo) - (NES). Ao atingirem o potencial de - 3,00 MPA (NES) as plantas foram recuperadas recebendo a irrigação em 100% no (NE0R) – Recuperação.

5.6. Trocas Gasosas

As leituras foram realizadas nas avaliações de déficit hídrico controlado utilizando um analisador de gás infravermelho portátil (*IRGA*, modelo LI-COR 6400, LI-COR Inc., Lincoln, NE, EUA): no nível de estresse hídrico de 60 % da irrigação do controle - estresse baixo; no nível de estresse hídrico de 45 % - estresse moderado; no nível de estresse hídrico de 30 % - estresse severo; e na recuperação após todos os níveis de estresse hídrico recebendo 100% de irrigação As leituras foram

realizadas em sistema aberto, sob luz e concentração de CO₂ do ambiente e pressão parcial de CO₂ de 40 Pa sob PAR artificial, isto é 1200 e 200 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ao nível da folha entre 8 e 11 horas (horário de BSB). As medições foram realizadas sob radiação fotossinteticamente ativa, nas folhas saudáveis e totalmente expandidas do terço médio (terceiro ou quarto par de folhas de ramos plagiotrópicos). Foram selecionadas quatro folhas de cada um dos indivíduos e realizadas duas aferições em cada lado da nervura central, na porção mediana das folhas para obtenção das médias.

As variáveis analisadas foram: concentração interna de CO₂ (C_i) em $\mu\text{mol CO}_2 \text{ Pa}^{-1}$; condutância estomática ao vapor de água (g_s) em mol (H₂O.m². s². s⁻¹) transpiração (E) em mmol (H₂O m⁻². s⁻¹) a taxa de transporte de elétrons (ETR) e fotossíntese (A) em ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$).

5.7. Determinação de índices de pigmentos

As avaliações de pigmentos também foram realizadas no período da manhã entre 8 e 12 horas (horário de BSB). Foram avaliados todos os indivíduos de cada um dos quatorze clones, sendo selecionadas quatro folhas de cada um dos indivíduos, totalmente expandidas, do terço médio (terceiro ou quarto ramo plagiotrópico) em todos os níveis de estresse (NE%): (NE0); (NE25); (NE40); (NE55) e (NE70). Foi utilizado o clorofilômetro portátil *Dualox scientific* ("dual excitation", Force-A, Orsay, França) para estimativa dos índices de pigmentos fotossintéticos, sendo realizadas duas leituras em cada lado da nervura central, na porção mediana das folhas para estimativa das médias.

Com o uso do *Dualox* foram estimados o índice de clorofila total (CHL) $\mu\text{g cm}^2$, índice de flavonoides (FLAV), índice de antocianinas (ANTH) e índice de balanço de nitrogênio (NBI).

5.8. Ganho genético previsto e seleção (FAI-BLUP)

Os fatores comuns foram gerados pela análise fatorial que expressam os valores cuja proporção é dada por comunalidade. As comunalidades (communalities) são quantidades das variâncias (correlações) de cada variável explicada pelos fatores. Quanto maior a comunalidade, maior será o poder de explicação daquela variável pelo fator (CRUZ et al., 2014). Com base nos quatorze genótipos selecionados pelos índices de seleção foram preditos os ganhos genéticos em porcentagem (GG%) para cada caráter para cada índice, conforme a seguinte equação:

$$GG\% = \frac{\bar{X}_m - \bar{X}_o}{\bar{X}_o} * 100$$

Onde: GG% é o ganho na seleção do melhor genótipo da população para a variável;

\bar{X}_m é a média aritmética da característica dos genótipos selecionados;

\bar{X}_o é a média aritmética da característica para todos os genótipos.

O índice FAI-BLUP identifica genótipos a partir de agrupamentos de características de interesse para a cultura. Esse índice realiza a seleção simultânea dessas características, baseando-se em análise de fatores e na distância do genótipo estudado para o ideótipo (genótipo ideal) criado. Dessa forma, ele pode identificar quais são os genótipos mais próximos ao ideótipo que representa melhor o conjunto de características selecionadas para a tolerância ao déficit hídrico, auxiliando os melhoristas na identificação. O ideótipo é definido a partir da escolha de valores considerados desejáveis e indesejáveis proposto por (ROCHA et al., 2018).

O número de fatores é determinado com base na combinação de fatores desejáveis e indesejáveis para o objetivo da seleção que deve ser igual a variância dos componentes principais. O ideótipo, por sua vez, é um protótipo hipotético elaborado com a determinação de valor máximo, médio e mínimo de acordo com a

literatura para cada característica selecionada envolvida no mecanismo de tolerância à seca a partir de um conjunto de variáveis agrônômicas de interesse. De acordo com sua finalidade no melhoramento genético auxiliam na definição de um objetivo final, sucedendo as inúmeras tentativas de erros e acertos e aumentando progressivamente o desempenho da planta para características distintas (VAN OIJEN et al. 2016). Esses valores convertidos em probabilidade com a seguinte equação:

$$P_{ij} = \frac{\frac{1}{d_{ij}}}{\sum_{i=1; j=1}^{i=n; j=m} \frac{1}{d_{ij}}}$$

Onde: P_{ij} : probabilidade do genótipo i ($i= 1, 2, \dots, n$) ser similar ao ideótipo j ($j= 1, 2, \dots, m$); n : número de fatores; d_{ij} : distância genótipo – ideótipo, do genótipo i ao ideótipo j baseado na distância euclidiana padronizada.

5.9. Análises Estatísticas

As análises de variância foram realizadas pelo teste de Scott e Knott foram realizadas utilizando os Programas: R (R Core Team, 2022), com o pacote EXpDes.pt (Ferreira et al., 2018), e os gráficos foram elaborados através do pacote ggplot (Wickham; Cheng, 2016) e Statistix 9.0 Analytical software, USA (TALLAHASSEE, 2008).

O Teste de média Tukey ($p \leq 0.05$) foi realizado quando necessário. A análise de correlação entre as características foi realizada com base na matriz de correlações, e a significância das correlações ($p \leq 0.01$) utilizando o pacote corrplot (Wei; Simko, 2021) na plataforma R (R CORE TEAM, 2022). O índice de seleção FAI-BLUP, foi realizado de acordo com Rocha et al., (2018), para identificar os genótipos com maior e menor tolerância à seca a partir das características morfofisiológicas desejáveis e seus respectivos ganhos genéticos.

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1. Crescimento das plantas

Os resultados evidenciaram o efeito significativo da irrigação sobre as variáveis altura e área foliar e para os clones sobre altura e comprimento do ramo plagiotrópico. O nível de estresse hídrico foi significativo para todas as variáveis de crescimento estudadas assim como para a interação da irrigação com os níveis de estresse hídrico. A interação dos clones com os níveis de estresse hídrico foi significativa para altura, comprimento do ramo plagiotrópico e área foliar, já para interação da irrigação com os clones e os níveis de estresse hídrico apenas a área foliar foi significativa (Tabela 1).

Tabela 1 - Resumo da análise de variância para altura das plantas (ALT), diâmetro do caule (DIM), comprimento do ramo plagiotrópico (CRP) e área foliar (AF) em condição irrigada e de estresse hídrico em clones de *C. canephora*

FV	GL	Quadrados Médios			
		ALT (cm)	DIM (mm)	CRP (cm)	AF (cm ²)
Irrigação	1	3459,29*	42,98	158,24	0,48*
Resíduo I	3	72,08	11,10	50,89	0,01
Clones	13	673,04*	9,23	82,71*	0,04
I x C	13	146,14	6,00	18,67	0,03
Resíduo C	78	107,50	5,17	36,35	0,03
Nível Estresse	5	2417,05*	348,35*	428,05*	0,64*
I x NE	5	200,92*	4,04*	14,26*	0,10*
C x NE	65	8,95*	0,45	3,20*	0,00*
I x C x NE	65	4,03	0,68	1,53	0,00*
CV _p (%)		17,54	20,94	39,28	42,11
CV _{sp} (%)		3,09	6,91	8,20	11,20
CV _{ssp} (%)		14,36	30,66	46,36	25,65
Resíduo NE	420	3,32	0,56	1,59	0,00
Média		59,11	10,86	15,38	0,43

* Significativo ($p < 0,05$), I= Irrigação; C= clones de conilon; NE= níveis de estresse hídrico; CV_p (%) = coeficiente de variação da parcela; CV_{sp} (%) = coeficiente de variação da parcela subdivida; CV_{ssp} (%) = coeficiente de variação da parcela subsubdivida,

Na Tabela 2 é apresentada a taxa de crescimento observado em altura, diâmetro do caule e comprimento do ramo plagiotrópico dos clones de Conilon tolerantes e suscetíveis, submetidos ao estresse hídrico nos níveis de 100 (tempo 0), 75, 60, 45, 30 e 100%-(Recuperação de água disponível). A influência do estresse hídrico sobre essas três características do cafeeiro conilon foi observada nesse estudo pela redução de todas as médias das plantas submetidas ao estresse hídrico em comparação ao controle irrigado. Para altura das plantas em todos os níveis de estresse hídrico houve redução das médias e diferença significativa entre estresse e controle.

Tabela 2. Altura das plantas (ALT), diâmetro do caule (DIM) e comprimento do ramo plagiotrópico (CRP) em clones de *C. canephora* irrigado e em função dos níveis de estresse hídrico

Variável	Irrigação	NE0	NE25	NE40	NE55	NE70	NE0R
ALT (cm)	Controle	53,00 Af	57,40 aE	59,70 aD	62,50 aC	66,70 aB	69,00 aA
	Estresse	51,10 Be	55,20 bD	56,90 bC	57,70 bC	59,20 bB	61,00 bA
DIM (mm)	Controle	8,39 aF	9,81 aE	10,42 aD	11,76 aC	12,78 aB	13,57 aA
	Estresse	8,22 Af	9,58 aE	10,21 aD	11,22 aC	11,98 bB	12,47 bA
CRP (cm)	Controle	12,00 Ad	14,90 aC	15,80 aB	16,40 aB	18,10 aA	18,10 aA
	Estresse	11,90 aD	14,40 aC	15,00 aBC	15,50 aB	16,30 bA	16,30 bA

*Comparação entre linhas e para mesma variável. Médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna e maiúsculas na linha não diferem pelo teste Tukey ($p < 0.05$). NE= nível de estresse; (NE0) = 100% irrigação; (NE25) = 75%; (NE40) = 60%; (NE55) = 45%; (NE70) = 30%; e (NE0R) 100% irrigação na recuperação.

As plantas que apresentaram maior altura foram as irrigadas durante todo o experimento (controle), isso ocorreu para todos os níveis de estresse hídrico empregado, onde ocorreram diferenças estatísticas entre as plantas que foram submetidas ao déficit hídrico, não importando o nível de estresse hídrico aplicado (Tabela 2). Esses resultados estão de acordo com Dardengo et al. (2006), que estudou o déficit hídrico no desenvolvimento inicial do cafeeiro conilon. Esses resultados corroboram com Busato et al. (2007), que também identificaram menores alturas para o cafeeiro conilon submetidos à redução hídrica no solo, reforçando os danos do estresse hídrico sobre a cultura.

Para o diâmetro do caule e comprimento do ramo plagiotrópico os efeitos da irrigação foram observados no nível de estresse hídrico (NE70) quando as plantas receberam 30% da irrigação e 100% na recuperação (NE0R) sendo significativos. Para os demais níveis de estresse hídrico (NE0, NE25, NE40 e NE55) as médias de diâmetro do caule não se diferenciaram em relação ao controle apesar de terem apresentados menores valores para o estresse. Dardengo et al. (2006), estudando os efeitos do estresse hídrico no crescimento inicial do cafeeiro conilon, verificaram redução do diâmetro do caule. Martins et al. (2004) e Zonta et al. (2009) observaram menores valores de diâmetro do caule com grandes intervalos de irrigação. O estresse hídrico influencia diversos processos morfofisiológicos nas plantas com efeitos diretos sobre o crescimento do cafeeiro, que assim como as demais culturas, necessita de água disponível no solo em seu desenvolvimento inicial, nas fases vegetativas, reprodutivas e para produzir de forma satisfatória (SILVA et al., 2007).

Considerando que os clones estudados apresentam características contrastantes com relação à resposta à seca nos diferentes níveis de estresse hídrico (Tabela 1 e 2, ANEXO), os clones 4S (71,4) e 44S (67,8) apresentaram maiores médias para altura e os clones 120 (56,0) e 7T (58,0) as menores médias no nível de estresse hídrico (NE70) onde receberam 30% de irrigação. Na condição de recuperação (NE0R) quando a plantas receberam 100% da irrigação, como no controle, os clones 4S (74,7) e 44S (70,0) apresentaram maiores médias para altura e os clones 7T (60,0) e 120 (58,0) as menores médias (Tabela 3). A menor altura observada em plantas sob estresse hídrico pode ser um mecanismo estratégico comum em plantas tolerantes (INMAN-BAMBER; SMITH, 2005; INMAN-BAMBER et al., 2008). Algumas plantas quando apresentam menor porte tendem a desenvolver maior sistema radicular, mais profundos, possibilitando o melhor controle estomático na transpiração, devido a maior capacidade de exportação de água e nutrientes (GONZÁLEZ, 2017; FURLAN, 2021).

Tabela 3. Média para altura das plantas (ALT) e comprimento do ramo plagiotrópico (CRP) em clones de *C. canephora* em função dos níveis de estresse hídrico (Continua)

Altura (cm)												
Clones	NE0		NE25		NE40		NE55		NE70		NE0R	
120	44,60	dE	48,90	cD	51,40	dCD	53,60	dBC	56,00	eAB	58,10	eA
109	50,30	abcdD	54,20	abcC	56,30	abcdBC	58,90	bcdB	61,80	bcdeA	63,50	bcdeA
3T	51,60	abcdE	55,10	abcD	56,90	abcdCD	58,00	bcdB	60,40	bcdeAB	62,20	cdeA
P6	50,10	abcdD	55,90	abcC	57,90	abcdBC	59,40	bcdB	62,00	bcdeA	63,60	bcdeA
7T	49,20	cdD	52,30	bcC	53,80	cdBC	55,00	bcdB	58,00	deA	60,10	deA
P2	48,80	cdD	52,70	bcC	55,50	bcdB	58,00	bcdB	61,30	bcdeA	63,50	bcdeA
4S	55,30	abcE	61,10	aD	63,30	aD	67,50	aC	71,40	aB	74,70	aA
P10	53,40	abcd	58,30	abC	59,60	abcBC	59,50	bcdBC	61,70	bcdeB	64,50	bcdeA
1T	57,80	aE	61,10	aD	62,90	abCD	64,30	abBC	66,30	abcAB	68,20	abcA
6T	50,00	bcdE	54,30	abcD	55,80	abcdCD	57,20	bcdBC	59,80	cdeAB	61,20	cdeA
P50	53,60	abcE	58,70	abD	60,40	abcCD	61,80	abcBC	63,80	abcdAB	64,80	bcdeA
P40	55,50	abcD	58,50	abC	60,70	abcBC	62,90	abB	65,70	abcdA	68,20	abcA
44S	57,50	abD	61,20	aC	62,80	abBC	64,20	abB	67,80	abA	70,00	abA
P59	51,60	abcdD	56,00	abcC	58,60	abcdBC	61,10	abcdB	65,00	abcdA	67,00	abcdA

CRP (cm)												
Clones	NE0		NE25		NE40		NE55		NE70		NE0R	
120	13,19	aC	15,26	aB	16,07	aAB	16,02	abAB	17,26	abcA	17,26	abcA
109	10,62	aC	13,79	aB	14,64	aB	15,29	abAB	16,55	abcA	16,55	abcA
3T	12,80	aC	14,79	aB	15,56	aB	16,28	abAB	17,71	abcA	17,71	abcA
P6	12,54	aC	15,56	aB	16,17	aB	16,69	abAB	18,12	abcA	18,12	abcA
7T	13,81	aC	16,00	aB	16,74	aB	17,21	abB	19,51	abA	19,51	abA
P2	11,04	aD	15,57	aC	16,52	aBC	17,57	abAB	19,04	abcA	19,04	abcA
4S	12,62	aD	16,57	aC	18,27	aBC	19,36	aAB	21,01	aA	21,01	aA
P10	9,96	aB	13,30	aA	13,78	aA	13,97	bA	14,71	cA	14,71	cA

Tabela 3. Média para altura das plantas (ALT) e comprimento do ramo plagiotrópico (CRP) em clones de *C. canephora* em função dos níveis de estresse hídrico (Conclusão)

Clones	CRP (cm)											
	NE0	NE25	NE40	NE55	NE70	NE0R						
1T	12,46 aB	14,39 aA	14,91 aA	15,37 abA	15,61 bcA	15,61 bcA						
6T	11,67 aC	13,93 aB	14,56 aB	14,97 abAB	16,73 abcA	16,73 abcA						
P50	11,55 aC	13,89 aB	14,76 aAB	15,41 abAB	16,10 bcA	16,10 bcA						
P40	11,32 aC	13,36 aB	14,04 aB	14,87 abAB	15,88 bcA	15,88 bcA						
44S	13,71 aB	15,38 aAB	15,54 aA	15,80 abA	16,64 abcA	16,64 abcA						
P59	10,06 aC	13,44 aB	14,09 aAB	14,34 bAB	15,76 bcA	15,76 bcA						

*Comparação entre linhas e para mesma variável. Médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna e maiúsculas na linha não diferem pelo teste Tukey ($p < 0.05$). NE= nível de estresse; (NE0) = 100% irrigação; (NE25) = 75%; (NE40) = 60%; (NE55) = 45%; (NE70) = 30%; e (NE0R) 100% irrigação na recuperação.

Para o comprimento do ramo plagiotrópico no nível de estresse hídrico de 30% da irrigação (NE70) o menor valor observado foi para o clone P10 (14,71) e os maiores valores para os clones 4S (21,09) e 7T (19,51), não foi verificada diferenças significativas para esses clones na condição experimental de recuperação (NE0R) 100% da irrigação (Tabela 3). O maior comprimento do ramo plagiotrópico em plantas de cafeeiro conilon é promissor pois o espaçamento das gemas reprodutivas é reduzido, influenciando positivamente na produção, por outro lado quando se tem o menor comprimento pode ocorrer uma diminuição na formação das gemas (FERRÃO et al., 2021). A formação das gemas reprodutivas ocorre nos ramos plagiotrópicos, dessa forma, os maiores valores dessa característica tornam-se interessantes para utilização na seleção de genótipos mais produtivos (SOBREIRA, 2017). Estudos de características associadas ao crescimento das plantas que evidenciam hábitos distintos dos indivíduos submetidos a situações de disponibilidade hídrica e estresse hídrico auxiliam na identificação de genótipos superiores (MARTINEZ et al., 2007).

A área foliar do cafeeiro não foi significativa no nível de estresse 4NE com 70% de estresse hídrico para os clones 120, P2,4S, P10, 1T, 6T e P50 (Tabela 3, ANEXO). A área foliar tem forte relação com o do rendimento da cultura e influenciam na qualidade da bebida devido a maior ou menor quantidade de carboidratos acumulados nos grãos de café (VALADARES et al., 2016, RUTTANAPRASERT et al., 2016).

Analisando os resultados obtidos do clone 109 para área foliar foi observado em condição de estresse hídrico um aumento das médias em todos os níveis de estresse 0NE (0,36), 1NE (0,48), 2NE (0,53), 3NE (0,58) e 4NE (0,58) exceto para 5NER (0,41) recuperação, sendo esses valores maiores que os encontrados no controle irrigado 0NE (0,32), 1NE (0,37), 2NE (0,43), 3NE (0,47) e 4NE (0,50), respectivamente (Figura 1; Tabela 4 e 5, ANEXO). O genótipo 109, suscetível à seca, quando exposto ao estresse hídrico apresenta controle deficiente da transpiração pois seus estômatos têm respostas limitadas ao estresse hídrico e a demanda evaporativa da atmosfera acarretando na redução da área folia (RONCHI; DAMATTA, 2007).

O clone 120 tolerante por sua vez apresentou certa estabilidade da área foliar para ambas condições de irrigação estudadas, no controle irrigado 0NE (0,27), 1NE (0,36), 2NE (0,40), 3NE (0,48) e 4NE (0,48), 5NER (0,48) recuperação e para o

estresse 0NE (0,25), 1NE (0,34), 2NE (0,38), 3NE (0,45) e 4NE (0,45), 5NER (0,45) recuperação, esse comportamento satisfatório tanto em condições de seca como irrigadas é relevante por se trata de um clone dupla aptidão (RONCHI; DAMATTA, 2007). Os clones P59 (0,28) e 6T (0,30) sob estresse hídrico apresentaram as menores médias para área foliar (Figura 1; Tabela 4 e 5, ANEXO). A área foliar é uma característica interessante de ser estudada pois no melhoramento genético prioriza-se selecionar cafeeiros com manutenção foliar eficiente (ALKIMIM et al., 2017). De acordo com Damatta et al., (2003), as reduções nos valores dessa variável ocasionadas pelo déficit hídrico podem provocar a diminuição dos assimilados para outras partes da planta afetando a produtividade (COSTA et al., 2006). A boa manutenção da área foliar e plantas com porte médio são características desejadas por facilitarem os tratos culturais e o processo de colheita do cafeeiro (CARVALHO et al., 2013).

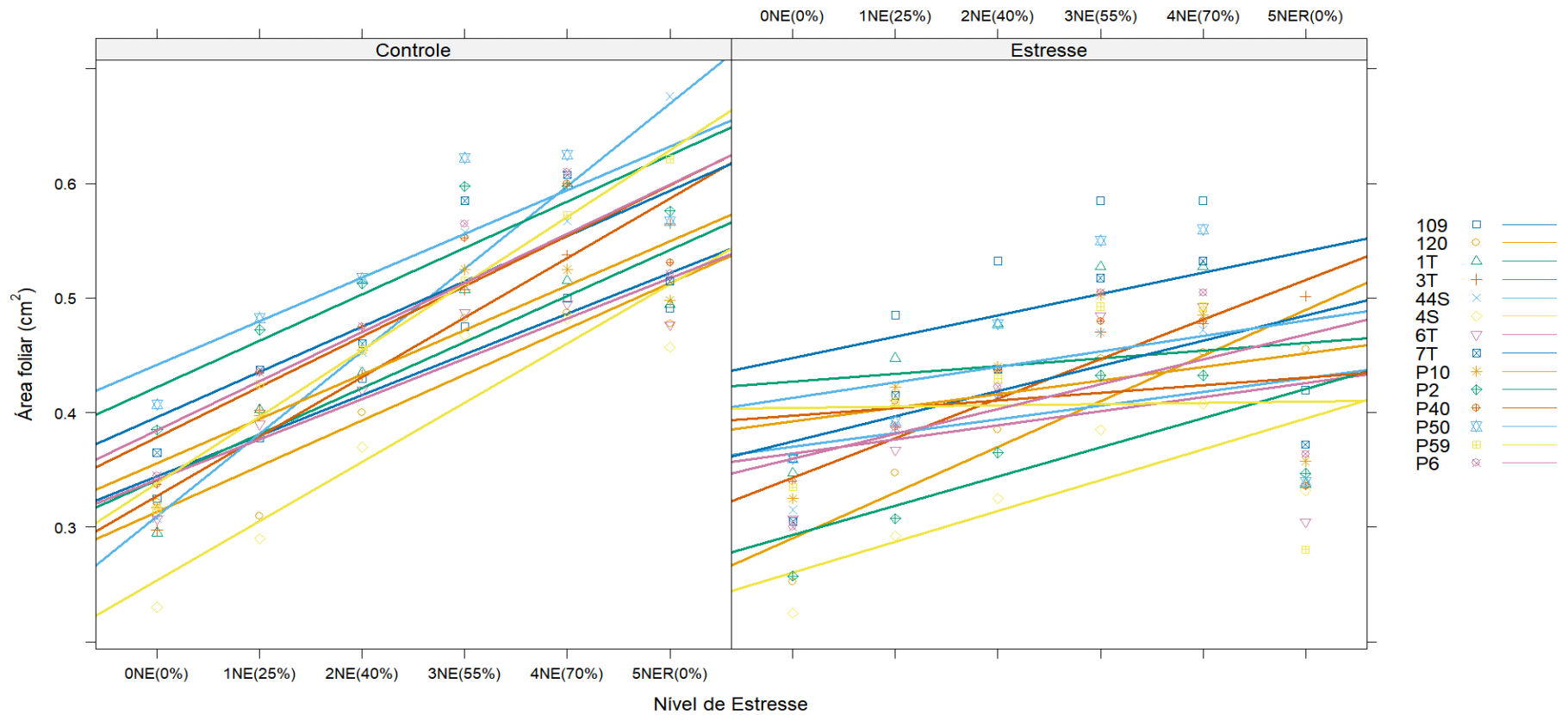


Figura 1- Efeitos da redução da irrigação na área foliar nos clones de *C. canephora* nos diferentes níveis de estresse hídrico (NE) e no controle 100% irrigado durante todo experimento. A legenda indicando as cores e símbolos representando cada clone se encontra ao lado da figura.

Na Tabela 4 são apresentadas as variáveis densidade do lenho, comprimento dos entrenós, massa do caule, massa seca das raízes, massa dos ramos plagiotrópicos e massa seca das folhas que foram significativas para irrigação, as variáveis volume do caule e número de rosetas não foram significativas. Silva et al. (2013) estudando os clones 109 e 120, com irrigação e com déficit hídrico, verificaram que o clone 120 apresentou maior densidade do lenho caulinar que o 109, independente da condição de disponibilidade de água. Segundo Reichard (2004), à medida que se aumenta o déficit hídrico do solo, a disponibilidade de água pela planta é dificultada, principalmente devido ao aumento das forças de retenção e ocasiona, na maioria das vezes, murchas e posterior queda de folhas, sendo as folhas responsáveis pela maior parte da massa seca da parte aérea em conilon.

Outro estudo de déficit hídrico com conilon, aponta que o estresse hídrico exerceu influência negativa no crescimento inicial das plantas, diminuindo a matéria seca total em plantas de cafeeiro (DARDENGO et al. 2006). A irrigação permite a disponibilidade hídrica no solo potencializando o acúmulo de matéria seca na parte aérea e das raízes em conilon (MARTINS et al. 2006). Segundo Taiz et al. (2021) a diminuição da área foliar é a principal resposta das plantas ao estresse hídrico, evidenciando a influência negativa do déficit hídrico.

Tabela 4. Resumo da análise de variância para volume caulinar (VCAL)- (cm³), densidade do lenho (DENSL)- (kg/m³), número de rosetas (NROS), comprimento dos entrenós (CPNOS) - (cm), massa do caule (MSCAU); massa seca das raízes (MSRAIZ); massa dos ramos plagiotrópicos (MSRPG) e massa seca das folhas MSF em (g)-sob condição irrigada e de estresse hídrico em clones de *C. canephora*

FV	GL	VCAL	DENSL	NROS	CPNOS	MSCAU	MSRAIZ	MSRP	MSF
Irrigação	1	268,30*	0,52	0,01	8,21*	974,91*	5811,53*	276,03*	7622,50*
Blocos	3	6,86	0,44	2,55	0,85	5,61	154,48	41,52*	126,99*
Erro I	3	8,68	1,19	2,81	0,30	15,71	49,49	0,27	7,13
Clones	13	11,04	0,61	2,18*	2,46*	37,61*	218,89*	15,85	42,16
I x C	13	11,91	0,80	0,98	0,19	11,26	69,06	10,69	77,93
Erro C	78	7,72	0,85	1,02	0,42	10,21	88,89	10,58	72,63
CVp (%)		32,66	121,35	32,81	10,74	20,68	14,53	3,98	6,64
CVsp (%)		30,80	102,40	19,81	12,60	16,67	19,48	24,71	21,18
Média		9,02	0,90	5,00	5,15	19,17	48,40	13,17	40,22

* Significativo ($p < 0.05$). I = irrigação C= clones de conilon; CVp = coeficiente de variação da parcela; CVsp= coeficiente de variação da subparcela.

O volume do caule apresentou uma redução considerável sob estresse hídrico (7,48) quando comparado ao controle irrigado (10,57) (Figura 2). Essa diminuição do volume do caule influencia na velocidade do uso da água e na eficiência hidráulica das plantas, pode provocar aumento da biomassa das raízes como mecanismo de tolerância aos maiores acúmulos de carbono (SILVA et al., 2013).

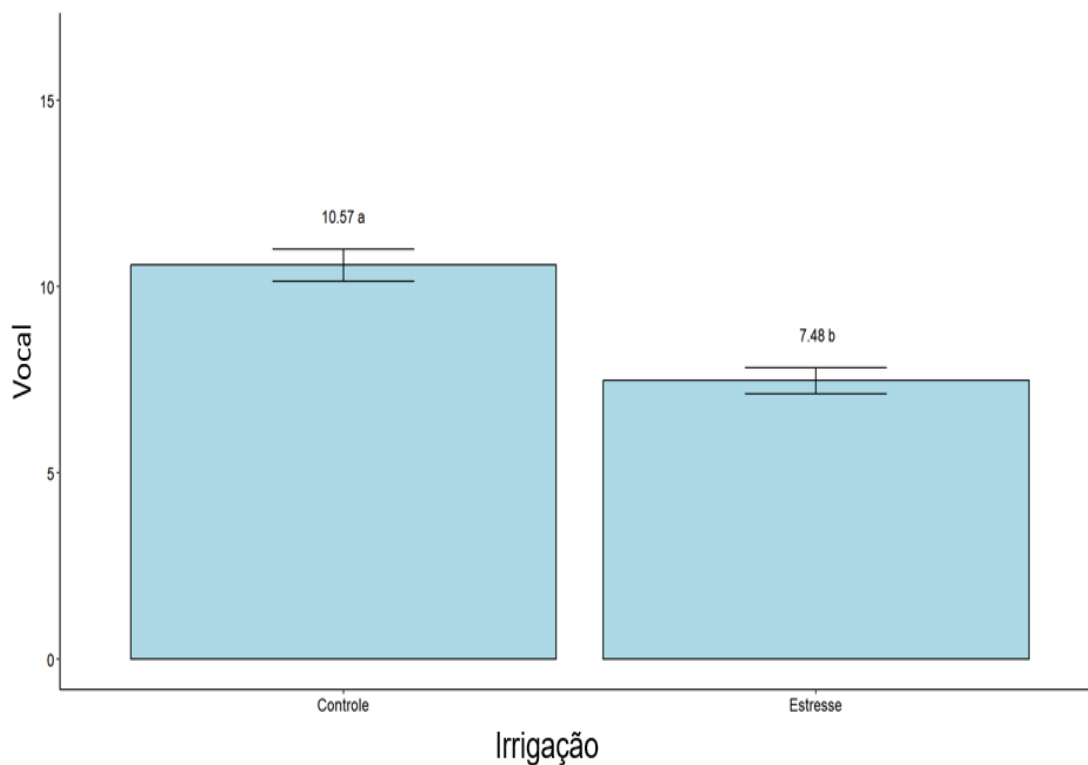


Figura 2. Efeitos do estresse hídrico sobre volume caulinar (cm^3) em clones de *C. canephora*. Médias seguidas por letras diferentes diferem pelo teste Tukey ($p < 0.05$).

A avaliação do comprimento dos entrenós apresentou diferenças significativas entre as médias dos clones estudados sob condições de déficit hídrico e os menores valores de médias foram encontrados nos clones 120 (4,62) e 3T (4,62), e a maior média observada no clone 4S (6,57) (Figura 3). De acordo com Rocha et. al., (2013) quanto menor o comprimento dos entrenós nos ramos plagiotrópicos maior será o número de rosetas nesses ramos, corroborando com os resultados encontrados nesse estudo. Outros autores indicam que o estresse hídrico pode ter impactos negativos na germinação e no crescimento de mudas (KAYA et al., 2006; FAROOQ et al., 2009). Tais impactos incluem a redução do crescimento precoce, da massa seca da raiz e da parte aérea, bem como do crescimento vegetativo, pois a planta submetida a condições de déficit hídrico apresentam dificuldade de absorção de água

devido a elevação das forças de retenção e diminuição da disponibilidade de água no solo (REICHARDT et al., 2004).

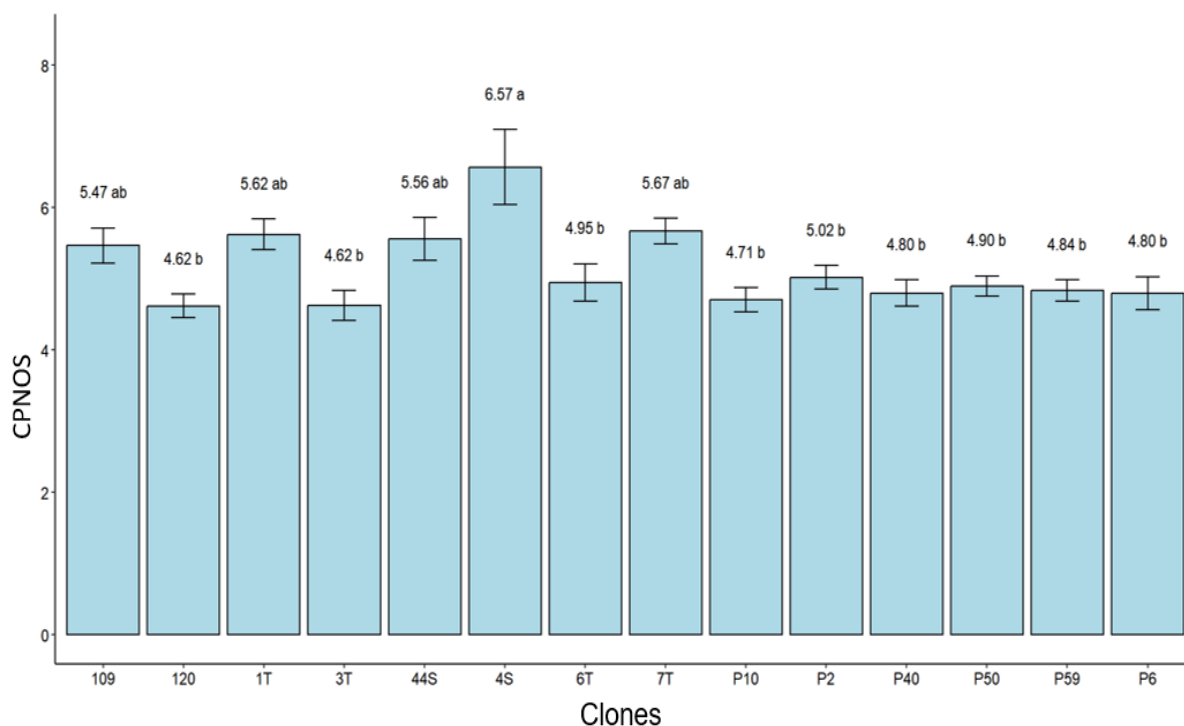


Figura 3. Efeitos do estresse hídrico sobre comprimento dos entrenós (cm) em clones de *C. canephora*. Médias seguidas da mesma letra não diferem pelo teste Tukey ($p < 0.05$).

Silvarolla et al. (1997) e Bonono et. al., (2004) estudando o número de rosetas mencionam que essa característica é uma das principais entre os componentes indicativos de alta produtividade nas plantas de cafeeiros. Os clones 3T, 120T e P6, com 6 rosetas cada, foram os maiores resultados observados nas condições de controle irrigado e no estresse, o clone 4S apresentou o menor número de rosetas (4) representando uma redução de 34% do número de gemas produtivas no estresse (Figura 4).

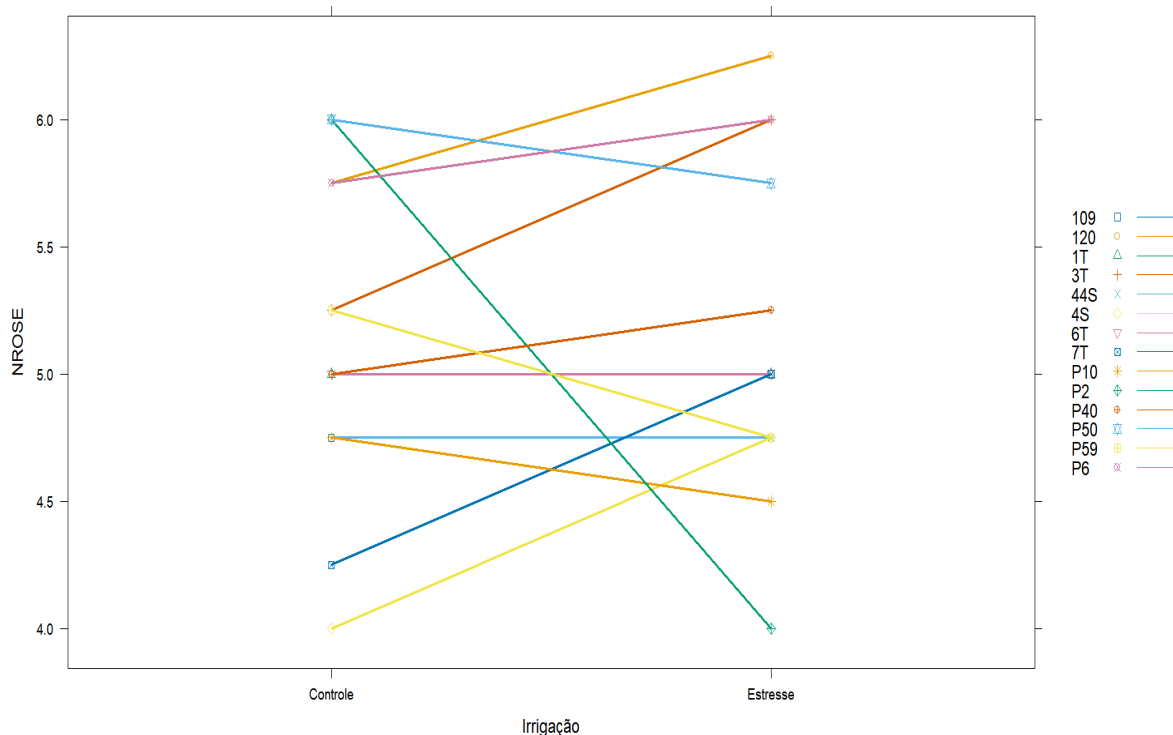


Figura 4. Efeitos do estresse hídrico sobre o número de rosetas em clones de *C. canephora* sob estresse hídrico. A legenda indicando as cores e símbolos representando cada clone se encontra ao lado da figura.

O estudo desses caracteres morfofisiológicos são fundamentais na identificação de genótipos superiores (FREITAS et al., 2007; CARVALHO et al., 2010; NOGUEIRA et, al., 2012). Avaliando o comportamento dos indivíduos e o desempenho da cultura em condições de estresse possibilitam a seleção de indivíduos promissores (DUBBERSTEIN et al., 2021; ALKIMIM et. al., 2017; MONTAGNON et al. 2012). Com relação a tolerância à seca, um bom desenvolvimento e formação de raízes mais robustas e profundas irão refletir no maior acúmulo de massa seca da raiz, esse acúmulo está correlacionado com a eficiência no uso da água. O clone 7T (55,1) apresentou o maior acúmulo de massa seca de raiz e os clones 4S (39,9) e 6T (39,2) as menores massa seca de raiz (Figura 5). A boa formação do sistema radicular beneficia as plantas na extração da água e

nutrientes do solo e permitem maior tolerância aos períodos secos (SILVA et al., 2010). As estruturas do sistema radicular do cafeeiro envolvem uma série de fatores, como a idade da planta Bragança (2005), o manejo da irrigação e adubação Barreto et al., (2006), os tratos culturais Rena; Guimarães (2000) e quantidade de plantas distribuídas na lavoura (RONCHI et al., 2015).

A boa formação do sistema radicular garante um bom suporte mecânico, maior absorção de nutrientes pela água e pelo solo, armazenamento de nutrientes e síntese de hormônios vegetais (CALLEJA-CABRERA et al., 2020; SCHNEIDER; LYNCH, 2020). O tamanho e a profundidade da raiz determinam o volume do solo que o sistema radicular pode explorar (BRODRIBB et al., 2015). Os clones tolerantes à seca de conilon apresentam sistema de raízes mais profundas Damatta et al., (2003) e sua capacidade de transporte de fotoassimilados da área foliar para as raízes resulta em um crescimento radicular mais profundo Damatta; Ramalho (2006) e maior absorção de água nas plantas tolerantes ao déficit hídrico (SILVA et al., 2010).

Nas plantas susceptíveis ocorre maior desidratação mesmo em curtos períodos de exposição ao estresse hídrico Pinheiro et al., (2005), principalmente devido aos sistemas radiculares mais superficiais (RONCHI; DAMATTA, 2007). Os resultados desse estudo não apresentaram diferenças significativas para massa seca das raízes com relação aos 14 clones avaliados (Figura 5), mas de modo geral os clones de conilon com características fenotípicas de tolerantes à seca, comparados aos suscetíveis, revelam um potencial hídrico elevado, correlacionado a um bom crescimento de área foliar, raízes profundas, maior eficiência no uso da água (DAMATTA et al., 2006). Além disso, clones tolerantes à seca apresentam ampliação na captação de água no solo, regulando os valores de transpiração e condutância estomática (BLUM et. al., 2009).

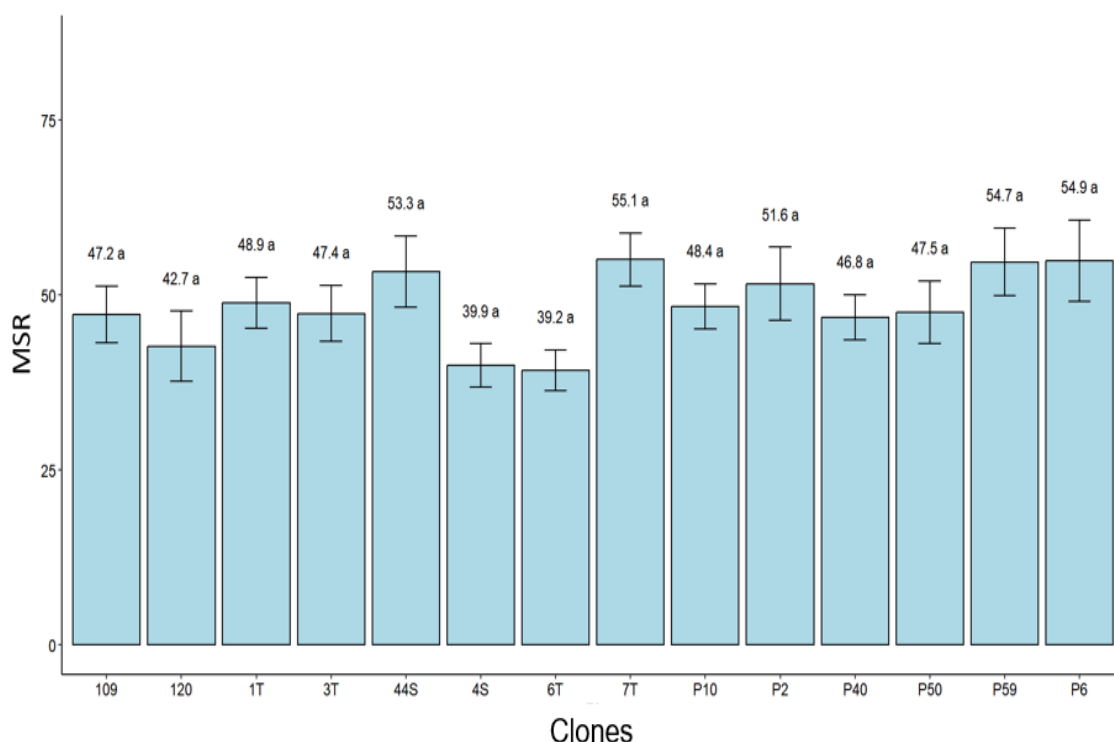


Figura 5. Efeitos do estresse hídrico sobre massa seca da raiz em clones de *C. canephora*. Médias seguidas da mesma letra não diferem pelo teste Tukey ($p < 0.05$).

A massa seca das folhas sob estresse hídrico diminuiu 40% no seu peso final quando comparado a condição de controle irrigado para maior parte dos clones estudados, exceto para o clone 120 que praticamente manteve a massa seca foliar no controle e no estresse (Figura 6). A redução da massa seca foliar pode não ter relação com a área foliar, pois essa pode ser modificada em plantas tolerantes, apresentando maior espessura, que protegem a planta e reduzem a perda de água, mesmo quando essa área foliar é reduzida em decorrência do déficit hídrico (LIMA et al., 2015). Além disso as plantas que apresentam boa manutenção da área foliar em situações de déficit hídrico apresentam folhas mais lignificadas e de acordo com a severidade do déficit hídrico, os impactos podem ser irreversíveis pois afeta a quantidade e qualidade dos grãos do cafeeiro (RAMALHO et al., 2018).

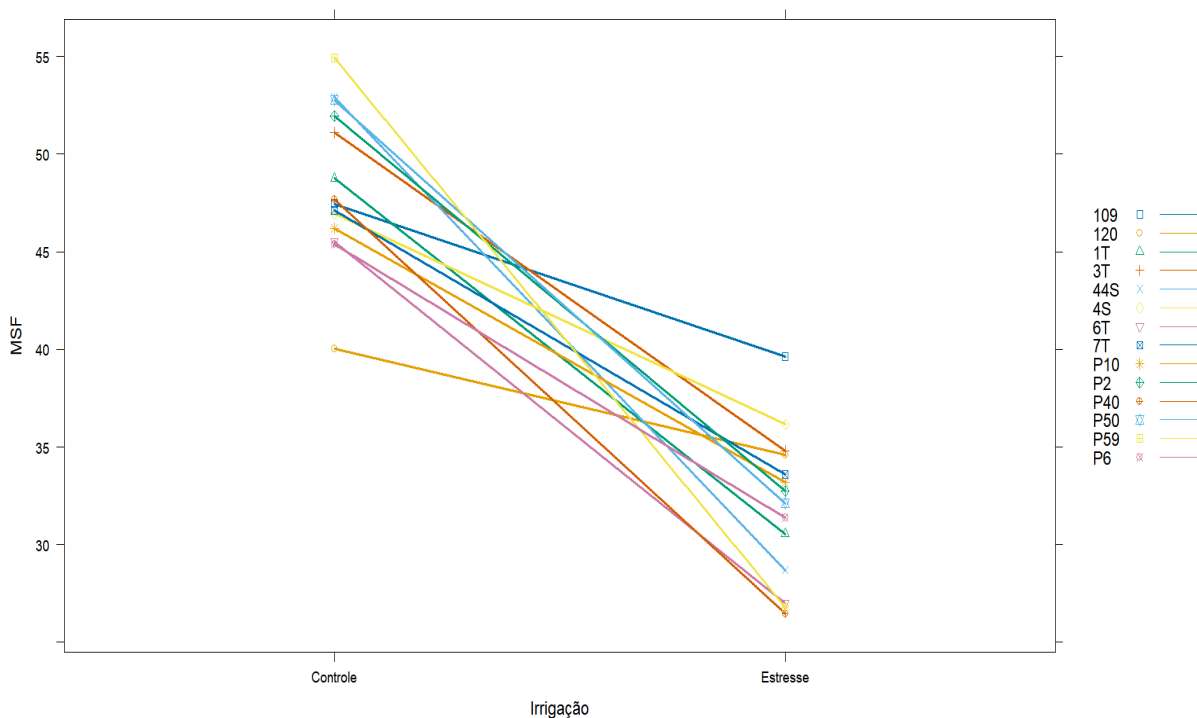


Figura 6. Efeitos do estresse hídrico sobre a massa seca de folhas em clones de *C. canephora*. A legenda indicando as cores e símbolos representando cada clone se encontra ao lado da figura.

6.2. Trocas Gasosas

Houve influência dos níveis de estresse hídrico para todas as variáveis fotossintéticas estudadas aumentando ou reduzindo sendo significativa para fotossíntese (PHOTO), condutância estomática (COND), concentração interna de CO_2 (C_i), taxa de transporte de elétrons (ETR) e taxa transpiratória (Trmmol) para os clones de cafeeiros conilon avaliados sob as condições de estresse hídrico. Para irrigação e para interação da irrigação com os níveis de estresse hídrico apenas a ETR não foi significativa, em relação aos clones somente COND e Trmmol apresentaram significância (Tabela 5). Com a redução da área foliar ocasionada pelo

déficit hídrico, espera-se que ocorram reduções das atividades fotossintéticas (INMAN-BAMBER, 2005; SHIGAKI et al., 2004).

Tabela 5. Resumo da análise de variância Fotossíntese (PHOTO), condutância estomática (COND), concentração interna de CO₂ (Ci), taxa de transporte de elétrons (ETR) e taxa transpiratória (Trmmol) sob condição irrigada e de estresse hídrico em clones de *C. canephora*

FV	GL	Quadrados Médios				
		PHOTO	COND	Ci	ETR	Trmmol
Blocos	3	70,79	0,00	5827,00	1026,4	1,25
Irrigação	1	52,99*	0,02*	23764*	1636,82	10,62*
Erro B x I	3	3,67	0,00	1144,00	181,25	0,25
Clones	13	6,44	0,00*	1993,00	276,02	0,76*
I x C	13	3,87	0,01	459,00	251,24	0,28
Erro B x I x C	78	4,91	0,08	1458,00	256,42	0,30
Nível Estresse	3	354,08*	0,24*	253719,00*	4643,73*	42,80*
I x NE	3	120,85*	0,02*	23887,00*	243,39	8,92*
C x NE	39	5,02	0,00	1880,00	211,44	0,29
I x C x NE	39	4,33	0,00	1257,00	185,48	0,27
Erro B x I x C x NE	171	6,12	0,00	1727,00	198,66	0,36
CV (%) – B x I		30,87	48,81	13,81	25,46	32,08
CV (%) – B x I x C		35,71	37,61	15,59	30,29	35,01
CV (%) – B x I x C x NE		39,88	44,63	16,97	26,66	38,07
Média		6,20	0,08	244,94	52,87	1,58

*Significativo ($p < 0.05$). B= blocos; I= Irrigação; C= clones de conilon; NE= níveis de estresse hídrico; CV (%) = coeficiente de variação

O valor médio para a taxa de fotossíntese nos clones 120 e 4S (5,3) foi mantido independente da condição de irrigação, o clone P50 (4,2) reduziu sua taxa fotossintética sob estresse hídrico podendo indicar um mecanismo de proteção da planta ao déficit para garantir a eficiência do uso da água (Figura 7). Segundo Blum (2009) para o melhor desempenho sob estresse hídrico, as plantas devem apresentar maior eficiência no uso da água, aumento da captação da água disponível no solo, regulação da transpiração e da condutância estomática, quando a planta não

apresenta capacidade de regular esses fatores, ocorre uma maior assimilação de CO₂ e menor taxa de fotossíntese como consequência apresentará uma menor eficiência no uso da água.

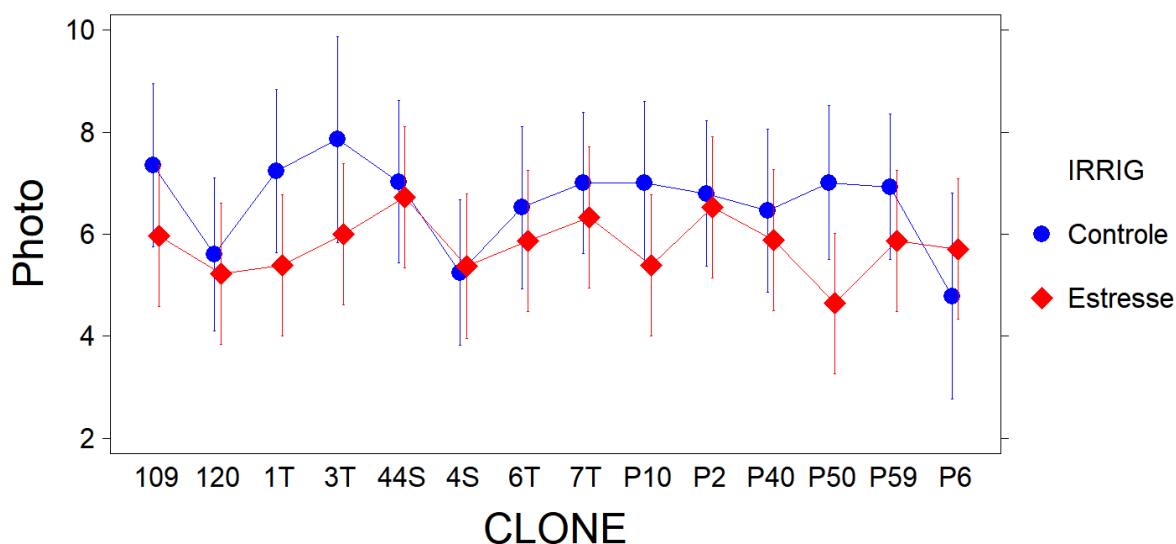


Figura 7. Efeitos da irrigação e estresse hídrico sobre a fotossíntese ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) nos clones de *C. canephora*.

As taxas fotossintéticas para todos os clones aumentaram quando passaram do nível de estresse de 40% - dia 30 e foram submetidas ao nível de estresse de 55% -dia 45, para no nível de estresse de 30% praticamente não foram alteradas em relação ao nível anterior e só voltaram a diminuir na recuperação da planta com nível de estresse 0% - dia 75 quando as plantas receberam 100% de irrigação como no controle irrigado. Os clones 120 (3) e o 4S (4) se destacaram na recuperação dessa característica (Figura 8). Em cenários de estresse hídrico as taxas fotossintéticas tendem a diminuir por conta do fechamento estomático (LIMA et al., 2002).

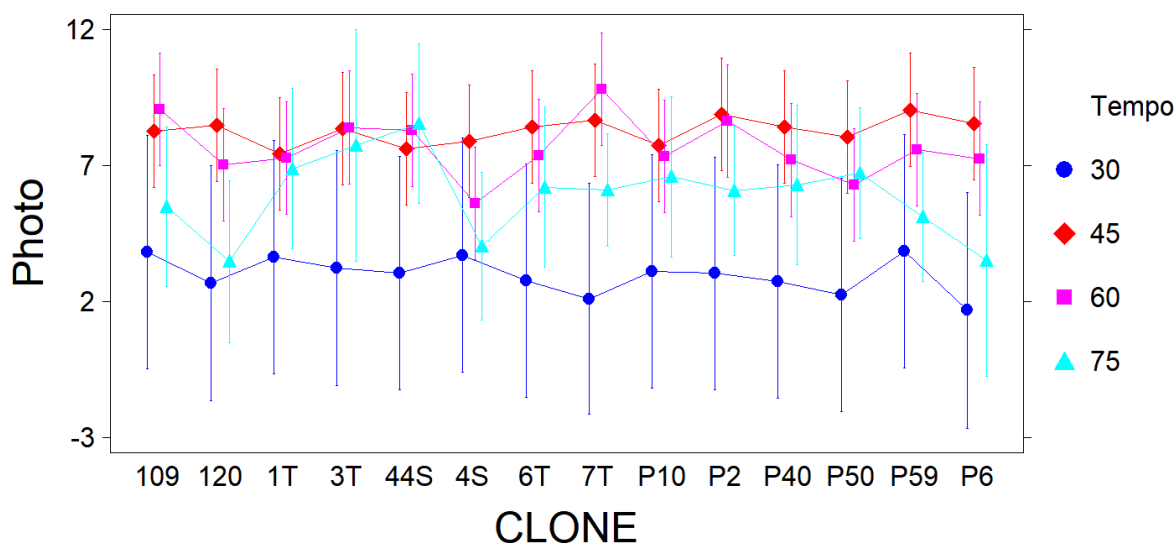


Figura 8. Efeitos dos níveis de déficit hídrico sobre a fotossíntese ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) nos clones de *C. canephora*. A legenda indicando as cores e símbolos representando cada nível de estresse hídrico se encontra ao lado da figura. O tempo se refere aos dias do experimento, iniciado o tempo 0 (dia 1).

As concentrações internas de CO_2 mais elevadas foram observadas no nível de estresse hídrico de 55% no dia 45 e todos os clones apresentaram a maior concentração (310), no dia 60 e nível de estresse de 70% a concentração reduziu para todos os clones, principalmente para o clone P50 (150) no nível de estresse de 30%, para a recuperação os valores foram semelhantes o nível anterior e os clones 109 e 6T (170) tiveram a concentração mais reduzida na condição 100% irrigada (Figura 9). Como pode ser observado nesse estudo os diferentes níveis de estresse hídrico desregulam a concentração interna de CO_2 e normalizam quando as plantas voltam a receber 100 % de água. O estresse hídrico leva à redução da condutância estomática, conseqüente redução nos níveis internos de CO_2 (OSAKABE et al., 2014). Estudos relacionados às mudanças climáticas mostraram que podem existir efeitos benéficos no aumento de CO_2 atmosférico para a produtividade do cafeeiro por aumentarem as taxas fotossintéticas Damatta et al., (2016), permitindo a redução dos

impactos do déficit hídrico e do aumento da temperatura na cultura do café (AVILA et al., 2020).

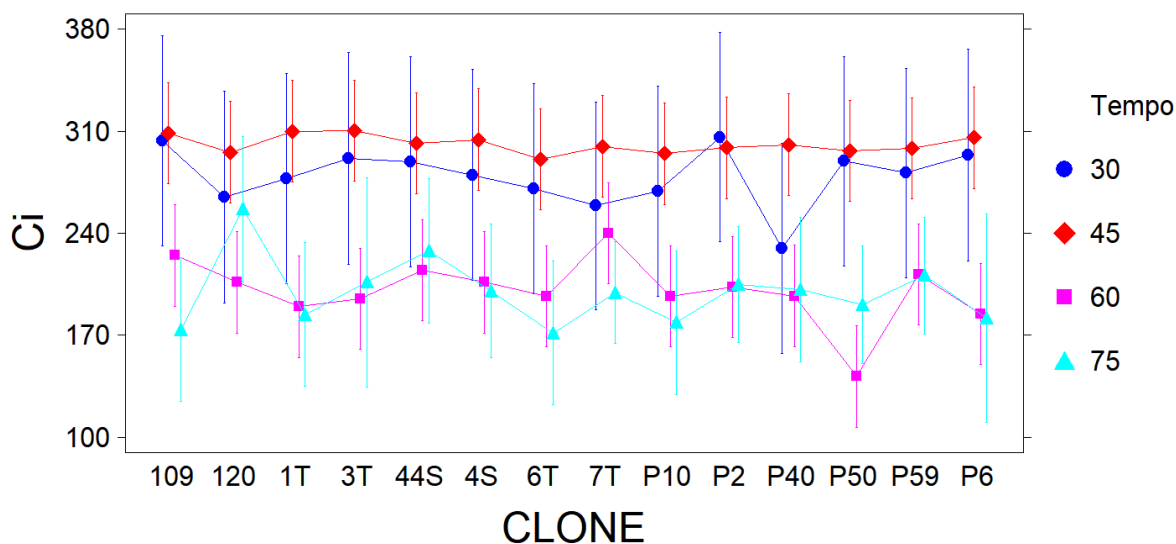


Figura 9. Efeitos dos níveis de déficit hídrico sobre a concentração interna de CO_2 ($\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) nos clones de *C. canephora*. A legenda indicando as cores e símbolos representando cada nível de estresse hídrico se encontra ao lado da figura. O tempo se refere aos dias do experimento, iniciado o tempo 0 (dia 1).

Os resultados desse estudo mostram um grande aumento para a taxa de transporte de elétrons em todos os clones quando submetidos ao nível de estresse de 70% no dia 60, onde as plantas foram irrigadas com 30% da irrigação do controle. O clone 120 quando comparado ao 109 apresentou taxas de transporte de elétrons menores, independentemente do nível de estresse aplicado (Figura 10). As alterações no metabolismo da planta em decorrência da limitação hídrica afetam além da fotossíntese, redução da quantidade de CO_2 fixado e aumentam a taxa de transporte de elétrons. Sendo assim, manter a cadeia transportadora de elétrons ativa é essencial para limitar o acúmulo de elétrons e a formação de EROs em plantas de

café submetidas ao déficit hídrico, evitando, portanto, os prejuízos relacionados aos efeitos fotoinibidores (LIMA et al., 2002; PINHEIRO et al., 2004).

Os clones 3T e 6T (80) apresentaram os maiores valores para essa variável ao nível de estresse de 70% no dia 60, enquanto o P50 (30) foi o menor valor obtido no nível de estresse de 40% dia 30 com 60 % de hidratação do controle irrigado (Figura 10). O equilíbrio homeostático é comprometido em plantas submetidas ao estresse hídrico, uma das respostas é o aumento da produção endógena de ácido abscísico (ABA) ocasionando a expressão de diversos genes associados a respostas à seca que levam à redução da condutância estomática e dos níveis internos de CO₂ Osakabe et al., (2014), alterando a atividade de carboxilação da Rubisco (XU et al., 2013). A redução das atividades carboxilases provocam o acúmulo de NADPH gerando aumento na concentração de elétrons. Esses elétrons vão para os radicais superóxidos que geram EROS e podem ocasionar danos ao aparelho fotossintético da planta, peroxidação de membranas lipídicas e das clorofilas (NISHIYAMA et al., 2011).

Nesse sentido, com o aumento da exposição ao estresse hídrico, aumentam as restrições bioquímicas que limitam a fixação fotossintética de CO₂ interferindo diretamente nas reações ETR. Além disso, plantas de café expostas a alta luminosidade provocam redução da: área foliar específica; razão da área foliar; fotossíntese líquida em 46%; eficiência no uso da água intrínseca em 60%; e da ETR em 31% independente da situação hídrica (CAVATTE et al. 2012).

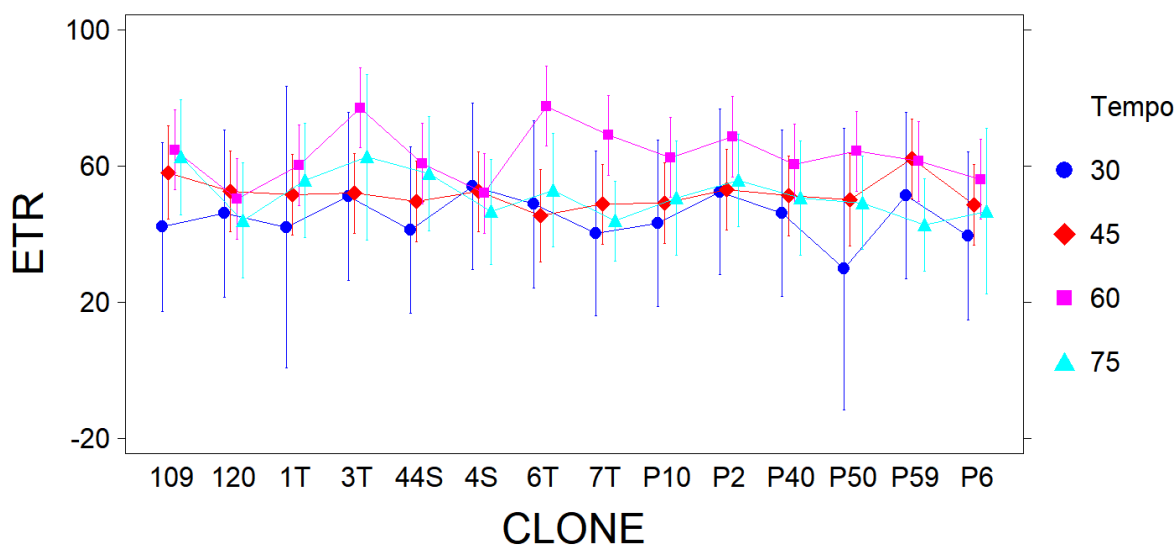


Figura 10. Efeitos dos níveis de déficit hídrico para as taxas de transporte de elétrons ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) nos clones de *C. canephora*. A legenda indicando as cores e símbolos representando cada nível de estresse hídrico se encontra ao lado da figura. O tempo se refere aos dias do experimento, iniciado o tempo 0 (dia 1).

No presente estudo, foram observadas alterações para as médias das taxas transpiratórias com os maiores valores no nível de estresse de 55% no dia 45 para todos os clones avaliados. Na análise de recuperação no dia 75 quando todas as plantas receberam 100% da irrigação, as taxas transpiratórias diminuíram significativamente para todos os clones e o clone P6 apresentou o menor valor observado (Figura 11). Os clones avaliados apresentaram uma boa tendência de recuperação para essa variável indicando que podem ter relação com a maior captação de CO_2 atmosférico que aumenta a fotossíntese e condutância estomática (Castro et al., 2009; Batista et al., 2010; Oliveira et al., 2014), diminuindo o período de abertura dos estômatos e reduzindo a transpiração (OLIVEIRA et al., 2018). As reduções nas taxas transpiratórias estão associadas a capacidade de adaptação de um genótipo ao déficit hídrico e sua capacidade de manter o crescimento e a produção das culturas em condições de seca (GALLÉ; FELLER, 2007). Quando ocorre o fechamento estomático em condições de seca, é acarretada a redução da condutância estomática e consequentemente redução do potencial hídrico

(CAVATTE et al., 2012). A redução de condutância estomática por sua vez, ocasiona menor concentração de CO₂ nos cloroplastos e reduzem as taxas da fotossíntese e os indivíduos que regulam a transpiração sob estresse hídrico, sendo esse comportamento requerido na seleção de plantas promissoras quanto a tolerância à seca.

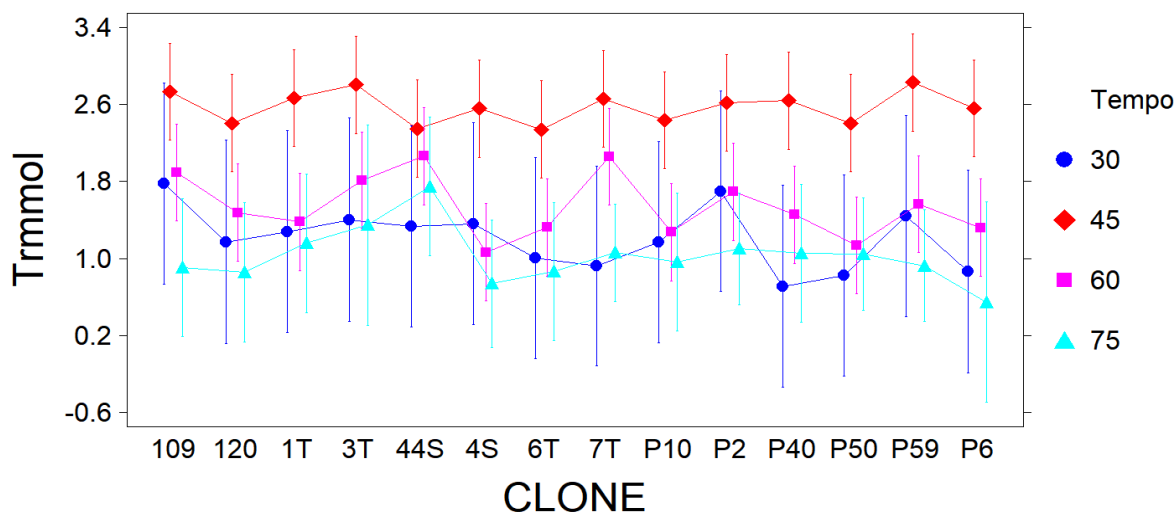


Figura 11. Efeitos das avaliações dos níveis de estresse hídrico para as taxas transpiratórias ($\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$) para os 14 clones de *C. canephora*. A legenda indicando as cores e símbolos representando cada nível de estresse hídrico se encontra ao lado da figura. O tempo se refere aos dias do experimento, iniciado o tempo 0 (dia 1).

6.3. Índices de Pigmentos

A irrigação não foi significativa para nenhum índice de pigmento avaliado, já para os clones só não houve diferença significativa para o índice de balanço de nitrogênio (NBI), para o nível de estresse hídrico apresentaram diferenças para clorofila e NBI. As interações entre os fatores irrigação, clones e nível de estresse hídrico não foram significativas para os índices de pigmentos avaliados (Tabela 6).

Tabela 6. Resumo da análise de variância Clorofila (CHL); índice de flavonoides (FLAV); índice de antocianina (ANTH); índice de balanço de nitrogênio – (NBI). sob condição irrigada e de estresse hídrico nos clones de *C. canephora*

FV	GL	Quadrados Médios			
		CHL	FLAV	ANTH	NBI
Blocos	3	12,67	0,00	0,00	2,34
Irrigação	1	73,21	0,02	0,00	93,48
Erro B x I	3	68,74	0,01	0,00	75,78
Clones	13	258,71*	0,10*	0,001*	163,19
I x C	13	78,34	0,04	0,00	150,36
Erro B x I x C	78	54,61	0,05	0,00	112,85
Nível estresse	3	790,32*	0,01	0,00	720,56*
I x NE	3	33,23	0,05	0,00	85,76
C x NE	39	19,67	0,02	0,00	54,83
I x C x NE	39	22,19	0,03	0,00	55,24
Erro	252	23,38	0,02	0,00	48,7
CV (%) – B x I		23,33	10,28	16,80	27,35
CV (%) – B x I x C		20,79	20,57	18,59	33,37
CV (%) – Erro		13,61	14,32	15,09	21,92
Média		35,53	1,15	0,12	31,83

*Significativo ($p < 0.05$). B= blocos; I= Irrigação; C= clones de conilon; NE= níveis de estresse hídrico; CV (%) = coeficiente de variação

O clone 4S apresentou os maiores resultados para índice de clorofila no controle irrigado e sob estresse hídrico, reduzindo significativamente no nível de estresse de 40% e oscilou aumentando no nível de estresse de 55% quando recebeu 45% de irrigação reduzindo no nível de estresse de 70%. O clone 120 apresentou comportamento semelhante no controle irrigado e sob estresse hídrico apresentando o menor resultado do índice que clorofila no nível de estresse de 40% com valores inferiores ao demais clones em até o nível de estresse 55% atingindo o seu maior resultado no nível de estresse de 70%. Esse comportamento de aumento do índice de clorofila observado no clone 120 a partir do nível de estresse de 40% pode ter relação com capacidade de proteção das plantas tolerantes aos efeitos do estresse hídrico por estarem envolvidos na fotoproteção de plantas (TAIZ et al. 2021). O clone 109 apresentou valores superiores ao clone 120 no controle irrigado e sob estresse,

em contrapartida seus índices diminuíram no estresse hídrico no nível de estresse de 25% e a partir do nível de estresse de 40% foi aumentando gradativamente de acordo com o aumento de nível de estresse, expressando o maior resultado observado entre os clones no nível de estresse de 70% (Figura 12).

A clorofila é o pigmento responsável pela conversão da radiação luminosa em energia para as plantas na forma de ATP e NADPH estando diretamente ligados com a fotossíntese, sendo essencial para processos fisiológicos e permitem inferir sobre o estado fisiológico das plantas (TAIZ et al., 2021). Os níveis de clorofilas e carotenoides nos tecidos vegetais sofrem danos sob déficit hídrico, aumentando a produção de EROs, sendo a clorofila muito afetada (LISAR et al., 2012). De acordo com Pompeli et al., (2010) e Silva et al., (2015) o aumento de pigmentos está associado com a proteção das folhas aos danos ocasionados pelo excesso de clorofilas excitadas. O déficit hídrico acarreta o aumento da concentração de fenóis nos tecidos vegetais (Cavatte et al., 2012), contribuindo para mecanismos de defesa contra excesso de energia, danos da radiação e foto-oxidativos (GILL; TUTEJA, 2010; WILHELM; SELMAR, 2011). Esses metabólitos secundários refletem na interface química das plantas e o ambiente em que ela está exposta sendo afetada pelas condições ambientais Cruz, et al., (2012) e estão associados com a defesa da planta (VIZZOTTO et al., 2010). Sob condições de estresse hídrico, é possível que ocorra uma ativação do metabolismo secundário como forma de proteção da planta ao estresse (SANTOS et al., 2004).

Os pigmentos fotossintéticos de clorofilas, carotenóides e outros, vêm sendo estudados como indicadores de estresse principalmente pela facilidade por estarem presentes nas folhas (OLIVEIRA et al., 2018). A redução nas concentrações de clorofila e o aumento de carotenóides e demais pigmentos indicam estresse de plantas (SCHOEFS, 2002). Segundo Peterson et al., (1993), existe uma correlação positiva entre o aumento na concentração de nitrogênio reservado nas folhas e moléculas de clorofila. Nos estudos de relações dos pigmentos fotossintéticos em genótipos de sorgo com características promissoras quanto à seca no decorrer de um

período sob déficit hídrico, Ogbaga et al., (2014) não observaram reduções nos teores de clorofila em genótipos tolerantes durante todo período de estresse, diferentemente do observado para os clones de conilon desse estudo (Figura 12).

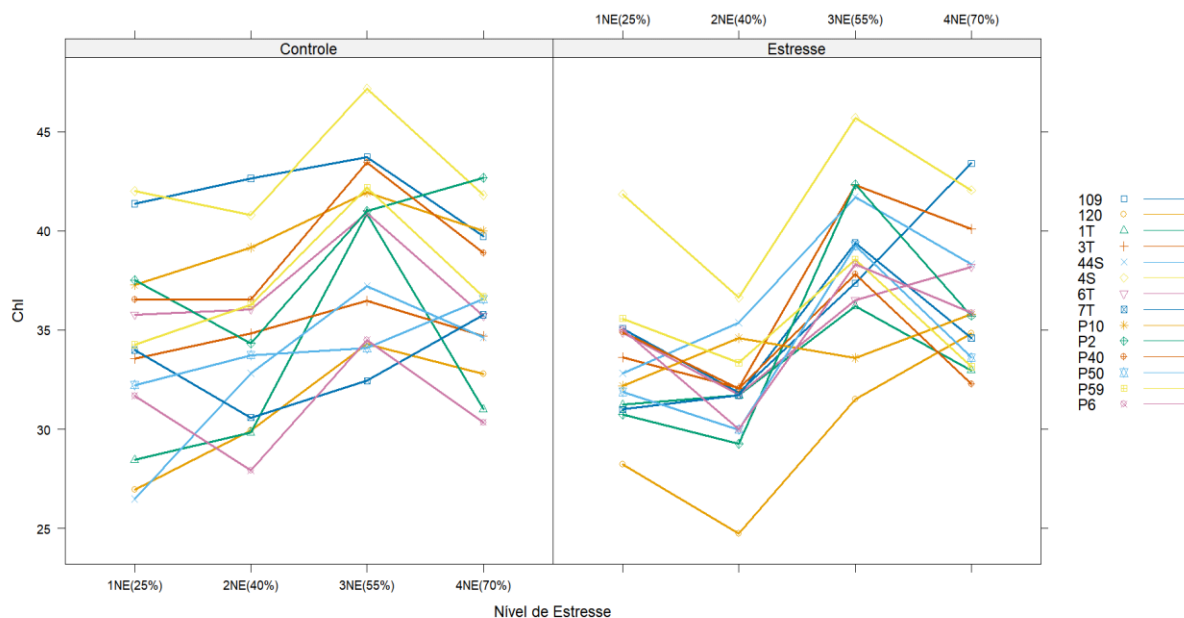


Figura 12. Efeitos das avaliações dos níveis de estresse hídrico para clorofila nos clones de *C. canephora*. A legenda indicando as cores e símbolos representando cada clone se encontra ao lado da figura.

O clone P50 apresentou o maior índice de antocianinas (ANTH), enquanto o clone P2 o menor para o controle irrigado. Em condição de estresse hídrico o clone 120 apresentou os maiores valores nos níveis de estresse de 25, 40 e 55% só reduzindo no nível de estresse de 70% e o clone P59 teve seu índice elevado nos níveis de estresse de 25, 40 e 55% e apresentou o maior valor observado entre os clones no nível de estresse de 70% os clones 3T e 4S apresentaram os menores resultados no nível de estresse de 70% (Figura 13). Esses resultados observados para o clone 120 podem estar relacionados com mecanismos de proteção de plantas tolerantes e o aumento do índice de ANTH no clone P59 pode estar relacionado com

desregulação das funções secundárias de plantas susceptíveis ao estresse hídrico (TAIZ et al. 2021).

O déficit hídrico provoca danos oxidativos causado pelo acúmulo de EROs, o estresse ocasionado nas plantas aumenta a atividade dos mecanismos de defesa contra os danos oxidativos. Esses mecanismos de defesa são complexos e envolvem sistemas antioxidativos compostos não enzimáticos, entre eles o ácido ascórbico, glutamina, prolinas, flavonoides, antocianinas e os carotenoides (BARBOSA et al., 2014; STEFFENS; STEFFENHEINS; SAUTER, 2013). Todo indício de respostas das plantas é importante para identificação das plantas tolerantes à seca, sendo o sistema protetor antioxidante mencionado na literatura como o mais importante (ANJUM et al., 2011; MANAVALAN; NGUYEN, 2017). Segundo Borrell et al., (2014), a capacidade da planta em preservar os maiores índices de pigmentos durante o estresse hídrico podem amenizar a senescência das folhas devido a melhor manutenção desses pigmentos fotossintéticos e dos processos que envolvem a fotossíntese, esse comportamento.

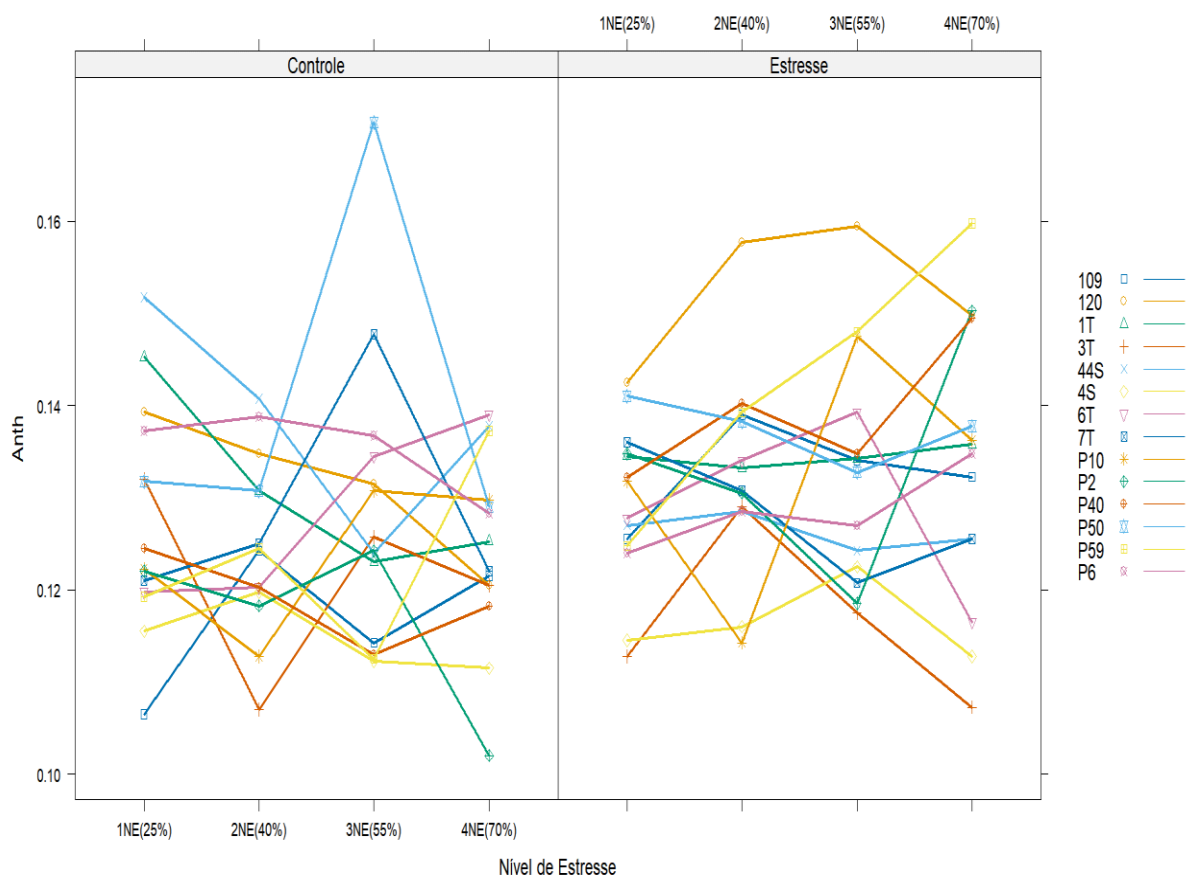


Figura 13. Efeitos das medições de estresse hídrico para índice de antocianinas nos clones de *C. canephora*. A legenda indicando as cores e símbolos representando cada clone se encontra ao lado da figura.

6.4. Comportamento da água no solo e Potencial hídrico foliar

Os resultados desse trabalho para as variáveis de comportamento da água no solo déficit de água do solo (DEF), transpiração da água no solo (TRANS) e teor volumétrico de água (VWC) foram significativos para irrigação, clones de conilon e nível de estresse hídrico. A interação da irrigação com o nível de estresse hídrico foi significativa para as três variáveis do solo, já para interação dos clones com o nível

de estresse hídrico e da interação entre os três fatores avaliados, apenas o VWC não foi significativo (Tabela 7).

Tabela 7. Resumo da análise de variância déficit de água do solo (DEF), transpiração da água no solo (TRANS) e teor volumétrico de água (VWC) sob condição irrigada e de estresse hídrico em clones de *C. canephora*

FV	GL	Quadrados Médios		
		TRANS (%)	VWC (%)	DEF (mm)
Irrigação	1	16417,19*	9295,15*	13145,84*
Clones	13	267,11*	105,83*	195,31*
I x C	13	175,40	85,21	117,83
Nível estresse	4	2772,99*	896,54*	1190,12*
I x NE	4	2410,10*	939,19*	1177,18*
C x NE	52	22,34*	13,04	30,32*
I x C x NE	52	22,86*	13,65	30,71*
CV (%) – I		61,73	35,66	38,22
CV (%) – C		24,24	16,98	18,91
CV (%) – NE		91,31	57,88	62,29
Resíduos	336	16,25	10,69	16,41
Média		16,63	19,25	21,41

* Significativo ($p < 0.05$). B= blocos; I= Irrigação; C= clones de conilon; NE= níveis de estresse hídrico; CV (%) = coeficiente de variação

Estudos envolvendo esses componentes do solo auxiliam na compreensão da eficiência no uso da água pelas plantas, sendo as taxas envolvidas nesse processo consideradas os mecanismos fisiológicos mais importantes de tolerância à seca entre genótipos de Conilon (DAMATTA; RAMALHO, 2006). Os genótipos que apresentam altas produtividades sob déficit hídrico conservam o alto potencial hídrico foliar, que é essencial para o funcionamento de todo o metabolismo da planta. Esse potencial está associado com um sistema radicular bem desenvolvido e regulação dos mecanismos estomáticos (SILVA et al., 2010).

Considerando a variável transpiração da água no solo, os clones se comportaram de maneira semelhantes no controle irrigado, exceto o clone 109 que no decorrer de todo o período de experimento apresentou o maior valor para essa característica, diferentemente da situação de estresse hídrico onde seus valores foram amplamente reduzidos em todos os níveis de estresse estudados (Figura 14). Ronchi; Damatta (2007), observando o clone 109, suscetível à seca, descrevem que ele possui um controle deficiente da transpiração e estômatos limitados frente ao estresse hídrico no solo. Silva et al. (2013) estudando o clone 109 em condições irrigadas observaram que ele possui características morfofisiológicas melhores que o clone 120 tolerante, porém quando submetidos ao estresse hídrico, o clone 120 é superior. O clone 120 apresentou o maior valor de transpiração do solo, sob estresse hídrico, seguido do clone 7T na recuperação, enquanto os clones 44S, P10 e 109 apresentaram os menores valores ao final do experimento (Figura 14). Esses resultados podem estar associados a estratégias de tolerância à seca que reúnem uma série de respostas nas plantas referentes a esses mecanismos que são desencadeados quando o déficit hídrico do solo está em níveis mais severos (FANG; XIONG, 2015).

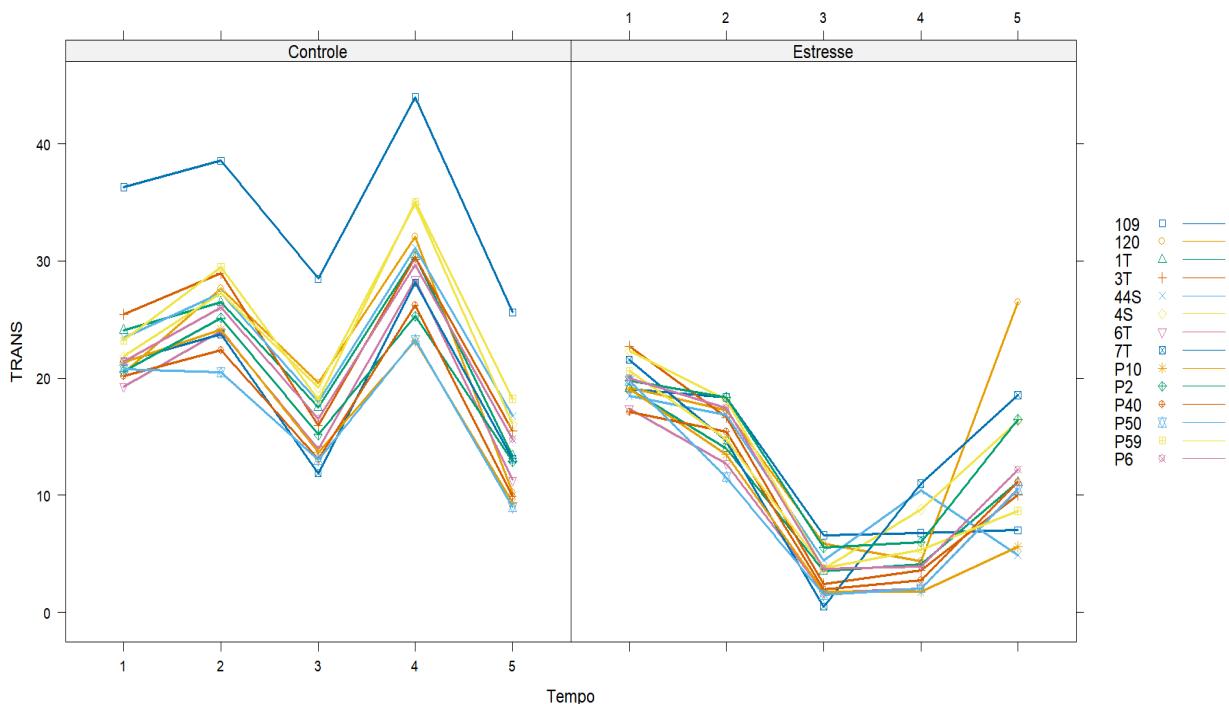


Figura 14. Efeitos das medições de estresse hídrico para transpiração da água no solo (%) nos clones de *C. canephora*. A legenda indicando as cores e símbolos representando cada clone se encontra ao lado da figura. No tempo 1 foi avaliado o nível de estresse (NE) de 25%, no tempo 2 NE de 40%, no tempo 3 NE de 55%, no tempo 4 NE de 70% e no tempo 5 as plantas foram recuperadas NE de 0%.

Tais mudanças no comportamento da água no solo desencadeiam mecanismos distintos nas plantas e alteram a manutenção dos processos fisiológicos sob estresse hídrico. Entre essas modificações estão o acúmulo de osmólitos, tais como, prolina, glicinas, betaina e a regulação dos índices de pigmentos fotossintéticos como clorofilas e os carotenóides. Além disso, aumentam a cavitação que é a ocorrência de bolhas de ar no interior do xilema, fenômeno que acontece quando existe desequilíbrio entre absorção de água pelas raízes e a perda de água pelas folhas, defesa antioxidante reativa e redução do potencial hídrico foliar (ANJUM et al., 2011; FANG; XIONG, 2015; MANAVALAN; NGUYEN, 2017).

Os clones P10 apresentaram o maior valor de déficit de água do solo e os clones 4S e 120 os menores resultados no controle irrigado. Em condições de

estresse hídrico os clones P50, 7T e 120 apresentaram os maiores DEF e os clones P2 e 109 os menores resulta na análise de recuperação com nível de estresse de 0% (Figura 15). Os clones susceptíveis ao déficit hídrico apresentam baixo controle da transpiração e estomático quando limitados a baixa disponibilidade de água do solo, por apresentarem menor capacidade de absorção de água devido aos sistemas radiculares mal desenvolvidos (RONCHI; DAMATTA, 2007). Por outro lado, os clones tolerantes tendem a controlar as taxas de transpiração de acordo com o estresse hídrico.

Estudar esse comportamento da água no solo pode auxiliar no estabelecimento das relações com o desenvolvimento das raízes e suas implicações na fotossíntese, respiração, transporte de nutrientes e relações estomática, principalmente no cultivo do cafeeiro conilon no estado do Espírito Santo que apresenta ocorrência de secas prolongadas, áreas não irrigadas e risco climático para o aspecto hídrico (DAMATTA; RAMALHO, 2006; PEZZOPANE et al., 2010). Segundo Damatta et al., (2003) o déficit de água no solo mesmo em curto período, reduz o desenvolvimento das plantas devido à redução da condutância estomática e menor taxa de assimilação líquida de carbono. A influência do déficit hídrico do solo sobre o cafeeiro conilon foi observada por Busato et al. (2007). A redução do potencial hídrico e perda de água pelas plantas, estão associadas à absorção de água do solo Segundo Morgan, (1984). Além disso, clones de Conilon tolerantes à seca, comparados aos suscetíveis, revelam um potencial hídrico elevado, correlacionado a um bom crescimento de área foliar, raízes profundas, maior eficiência no uso da água Damatta et al. (2006), ampliação na captação de água no solo, regulando os valores de transpiração e condutância estomática (BLUM et. al., 2009).

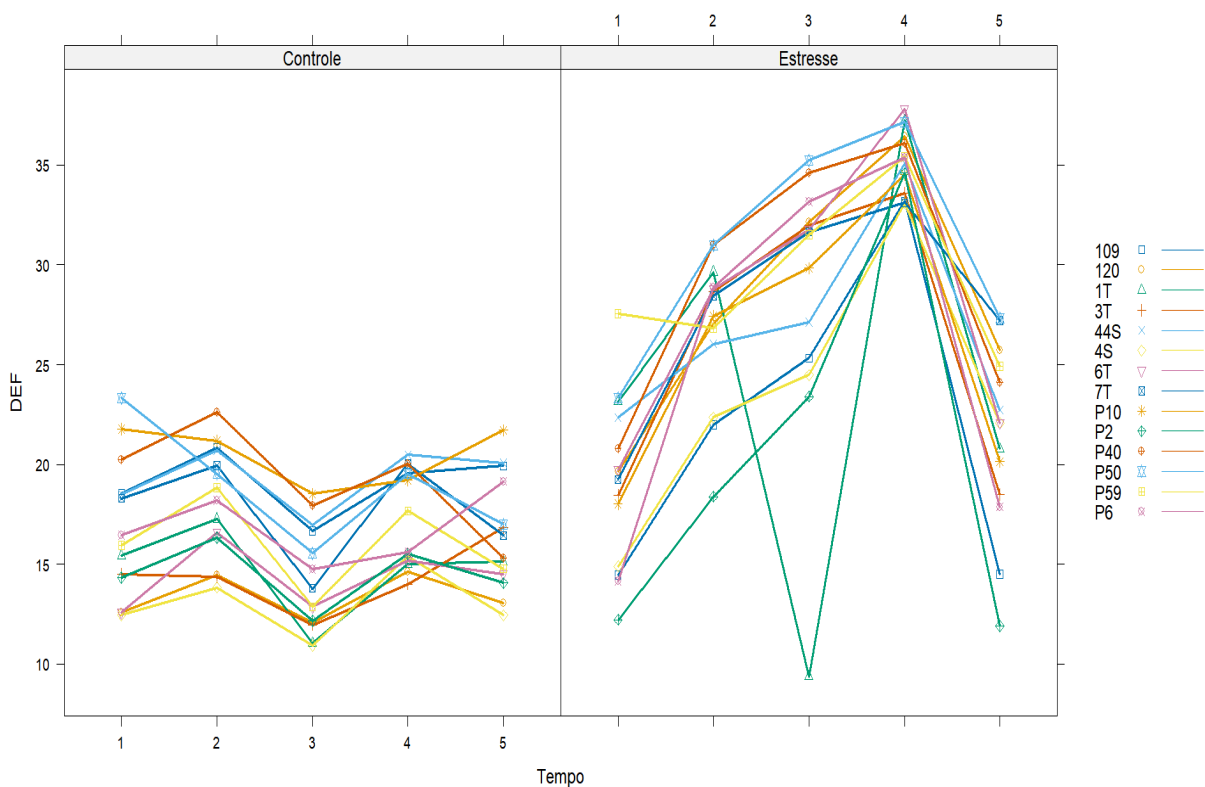


Figura 15. Efeitos das medições de estresse hídrico para déficit de água no solo (mm) nos clones de *C.canephora*. A legenda indicando as cores e símbolos representando cada clone se encontra ao lado da figura. No tempo 1 foi avaliado o nível de estresse (NE) de 25%, no tempo 2 NE de 40%, no tempo 3 NE de 55%, no tempo 4 NE de 70% e no tempo 5 as plantas foram recuperadas NE de 0%.

A análise do potencial hídrico foliar demonstrou significativas para as interações da irrigação com os clones, para interação da irrigação com os níveis de estresse hídrico e também para interação da irrigação com os clones e os níveis de estresse hídrico, não apresentando significância apenas para interação dos clones com os níveis de estresse hídrico (Tabela 8). Essa diferença significativa para o potencial hídrico sob estresse hídrico era esperada pois essa característica é altamente variável entre as espécies e até mesmo dentro de uma mesma espécie (PIMENTEL, 2004; INMAM-BAMBER; SMITH, 2005).

Tabela 8. Resumo da análise de variância para o potencial hídrico foliar em clones de *C. canephora*

Potencial Hídrico (Mpa)		
FV	GL	QM
Blocos	3	1,86
Irrigação	1	127,68*
Erro B x I	3	1,07
Clones	13	0,18
I x C	13	1,07*
Erro B x I x C	78	0,48
Nível estresse	6	43,61*
C x NE	78	0,08
I x NE	6	31,10*
I x C x NE	78	0,44*
Erro	504	0,15
CV – B x I	144,29 %	
CV – B x I x C	96,89 %	
CV – Erro	55,59 %	
Média	0,71	

* Significativo ($p < 0.05$). B= blocos; I= Irrigação; C= clones de conilon; NE= níveis de estresse hídrico; CV (%) = coeficiente de variação.

O potencial hídrico foliar (PHF) de todos os clones no controle irrigado se manteve elevado e de maneira similar devido a permanência da irrigação na capacidade de campo do solo em 100% durante todo período de avaliações, destacando o comportamento do clone 7T que apresentou PHF menor que os demais. Para as condições de estresse hídrico o PHF não apresentou diferença significativas para os níveis de estresse de 25, 40 e 55% já no nível de estresse de 70% o clone P2 reduziu seu PHF (-1,5) atingindo o déficit moderado. De acordo com Damatta et al., (2006), o potencial hídrico foliar até -1,5 MPa em plantas jovens de cafeeiros não afetou a fotossíntese. O clone 7T manteve PHF alto mesmo recebendo 30% da irrigação do controle no nível de estresse de 70% (Figura 16). Os genótipos com boa produção em situação de déficit hídrico mantêm o potencial hídrico adequado por mais tempo, tal fato está associado com o sistema radicular bem desenvolvido e

eficiência dos mecanismos estomáticos, permitindo uma boa formação e manutenção da área foliar (DAMATTA et al., 2019; PINHEIRO et al., 2005).

No decorrer dos dias de avaliação do nível de estresse de 70% todas os clones reduziram seu PHF no nível de estresse (-1,5) déficit moderado e gradativamente foram diminuindo até atingiram o nível de estresse (-3,0) déficit severo, exceto o clone 7T que apresentou o PHF mais alto em todos os níveis de estresse avaliados (Figura 16). Através de mecanismos específicos as plantas tolerantes preservam seu metabolismo e se desenvolve bem, mantendo o maior potencial hídrico dos tecidos sob estresse hídrico (TAIZ et al., 2021; VERSLUES et al., 2006). O potencial hídrico foliar é um excelente indicador fisiológico e apresenta correlação positiva com a produtividade (SILVA et al., 2008). As análises de estabilidade do potencial hídrico e mecanismos estomáticos são indispensáveis na seleção de genótipos superiores tolerantes ao estresse hídrico (CHESEREK; GICHIMU, 2012).

O estresse hídrico além do fechamento estomático, reduz a concentração interna de carbono, afetando negativamente todos os processos morfofisiológicos, limitando a fotossíntese e o potencial hídrico por aumentar o consumo de assimilados nas folhas (LEAKEY et. al., 2009; PILON et al., 2018). Nas condições de déficit hídrico, a fim de favorecer a turgescência celular, ocorrem acúmulo de carboidratos solúveis que levam as reduções no potencial hídrico foliar (OSAKABE et al., 2014; GERSONY et. al. 2020).

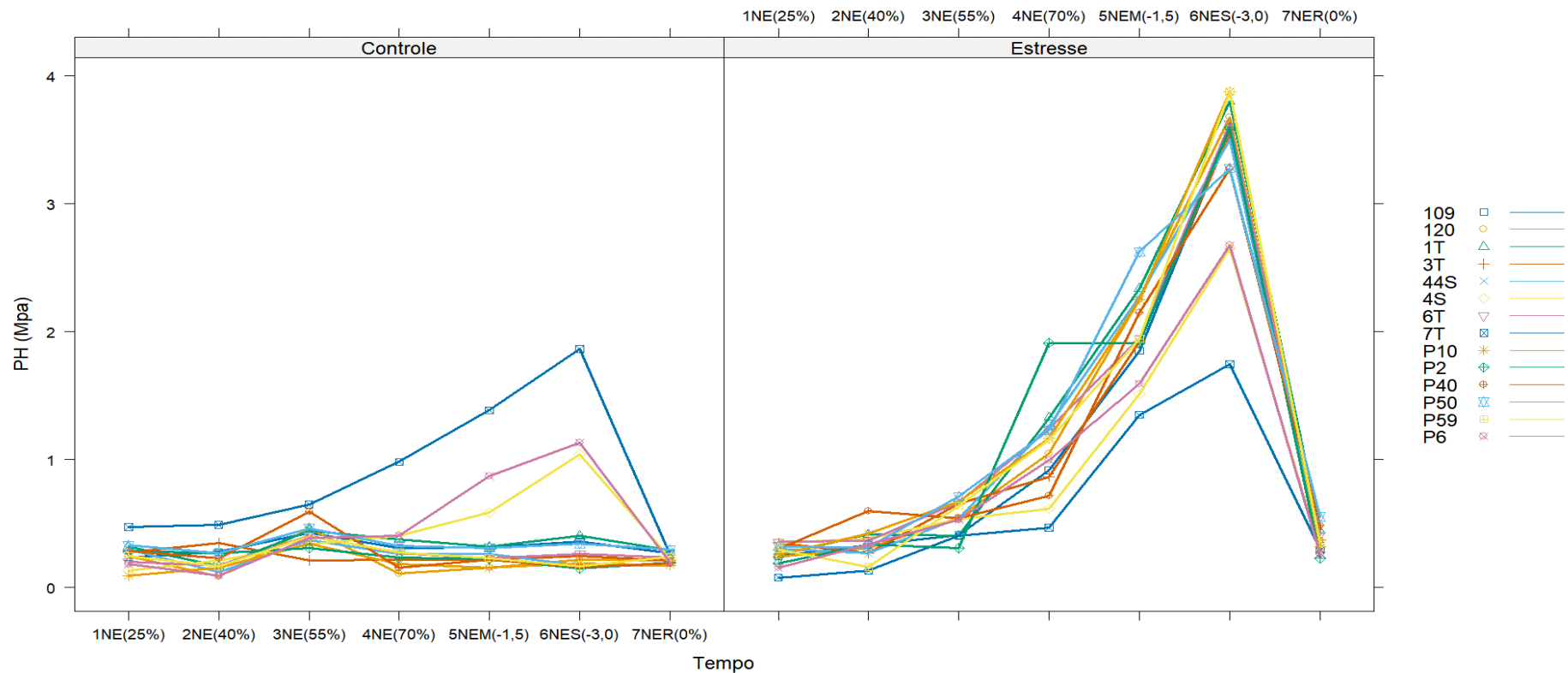


Figura 16. Efeitos da irrigação (controle) e dos níveis de estresse hídrico sobre potencial hídrico foliar nos clones de *C. canephora*. A legenda indicando as cores e símbolos representando cada clone se encontra ao lado da figura.

6.5. Correlação entre as variáveis morfofisiológicas estudadas

Na Figura 17 são apresentadas as correlações entre as características avaliadas. Quanto maior o raio do círculo, maior é a correlação, podendo ser positiva (azul) ou negativa (vermelho), conforme indicado pela escala e correlações não significativas ($p > 0,01$) ficaram em branco.

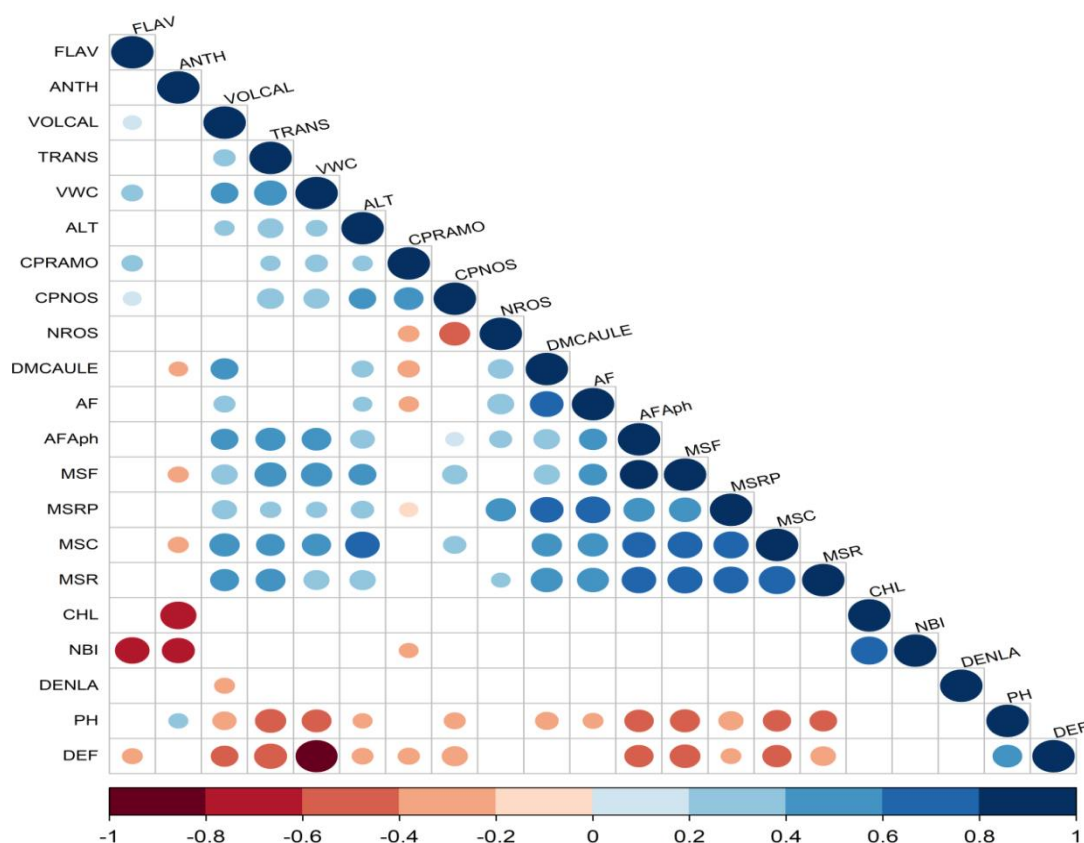


Figura 17 - Coeficiente de correlação entre as variáveis agrônomicas avaliadas nos clones de *C. canephora*. FLAV=flavonoides; ANTH = antocianinas; NBI= balanço de nitrogênio; CHL= clorofila; VWC = teor volumétrico de água; DEF = déficit de água; AF= área foliar t; ALT= altura; CPRAMO= comprimento dos ramos plagiotrópicos; DMCAULE= diâmetro do caule; COMPNOS= comprimento entrenós; NROSE= número de rosetas; MSCAULE= massa seca do caule; MSRAIZ= massa seca raiz; MSF= massa seca folha; e MSRPLAG= massa seca dos ramos plagiotrópicos; VOLCAL= volume do caule; TRANS= transpiração; DENSLA= densidade do lenho; PH= potencial hídrico foliar.

É possível observar correlações positivas entre as variáveis volume do caule, teor volumétrico e transpiração de água no solo e altura e correlação negativa do potencial hídrico foliar e déficit de água do solo para a maioria das características estudadas. A altura das plantas apresentou correlação forte positiva com massa seca do caule (0,66). Para comprimento do ramo plagiotrópico houve correlação negativa forte com índice de balanço de nitrogênio (-0,66), esse resultado pode ser atribuído a baixa disponibilidade de água e conseqüentemente menor absorção de nitrogênio. A apresentação dos valores da correlação define que valores próximos de 1 independentemente de ser negativo ou positivo indica maior grau de dependência entre as variáveis (Figura 17). As variáveis classificadas pelos valores de 0,00 a 0,39 apresenta correlação fraca; 0,40 a 0,59 correlação moderada e de 0,60 a 0,80 correlação forte (HU et al., 2020).

Nesse estudo foi observada correlação positiva entre altura e comprimento do ramo plagiotrópico (0,22) resultados divergentes dos encontrados por Freitas et al. (2007), que ao estudar a correlação entre caracteres vegetativos, observaram correlação negativa entre altura e comprimento do ramo plagiotrópico. Outros estudos identificaram que existe correlação positiva entre altura e a produção (PAULO et al. 2005; VALADARES et al., 2016). A altura, comprimento dos entrenós e área foliar se correlacionaram positivamente, mostrando que estes caracteres são estatisticamente associados umas as outras. A altura, o comprimento do ramo plagiotrópico e o número de rosetas são as principais características morfológicas que influenciam na produtividade (ASSIS et al., 2014; PEREIRA et al., 2016).

O acúmulo de massa seca em clones de Conilon tem as maiores taxas de crescimento no período entre o 1º e 5º ano, conforme observado por (BRAGANÇA et al., 2010). Nesse contexto, são indispensáveis estudos nesses períodos de crescimento em plantas de Conilon e para as análises de massa seca avaliadas nesse estudo as correlações positivas mais forte observadas foram entre massa seca do ramo plagiotrópico x diâmetro do caule (0,62); seca do ramo plagiotrópico x área foliar (0,67); massa seca do caule x altura (0,66); massa seca do caule x massa seca de

folha (0,67); massa seca do caule x massa seca do ramo plagiotrópico (0,69); massa seca da raiz x massa seca da folha (0,67); massa seca da raiz x massa seca do ramo plagiotrópico (0,68;) e massa seca da raiz x massa seca do caule (0,74). Os maiores valores de correlações positivas desse estudo foram para massa seca da folha e área foliar (0,81). A altura apresentou correlação positiva com a transpiração e esses resultados podem ser explicados pela influência da transpiração no crescimento e desenvolvimento das plantas (DUBBERSTEIN et al., 2020); (AVELLAN et al., 2015).

Os atributos de pigmentos apresentaram correlações negativas e positivas significativas, sendo as mais fortes para índice de clorofila x índice de balanço de nitrogênio (0,74) positiva e negativa índice de clorofila x índice de antocianinas (-0,72) e; índice de clorofila x índice de balanço de nitrogênio x índice de flavonoides e índice de antocianinas - (-0,60), ou seja, quando índice de clorofila aumenta, o índice de antocianinas diminui e o índice de balanço de nitrogênio aumenta. Comportamento também observado por Reis et al., (2006), que observaram que a concentração de clorofila se correlacionou positivamente com índice de balanço de nitrogênio nas folhas de cafeeiro.

O potencial hídrico foliar apresentou correlação positiva com o déficit de água no solo (0,48) e negativa com as demais características analisadas do solo. A densidade do lenho caulinar apresentou apenas uma correlação significativa com a variável volume do caule e índice de clorofila com antocianinas (Figura 17). A avaliação desses caracteres morfofisiológicos é muito utilizada na seleção de novos cultivares de cafeeiros (CARVALHO et al., 2010; NOGUEIRA et al., 2012).

Nossos resultados mostraram uma correlação moderada negativa entre comprimento dos entrenós e número de rosetas (-0,53), ou seja, quando uma variável aumenta a outra tende a diminuir respectivamente. Esses dados corroboram com os apontados por Carvalho et. al., (2010). A correlação negativa entre número de rosetas e comprimento dos entrenós e positiva com a altura, permite identificar genótipos com portes menores e mais produtivos (ROCHA et al., 2013). Os resultados desse estudo

se assemelham aos demonstrados por outros autores que identificaram que quanto maior o comprimento dos entrenós menor será o número de rosetas, o que consequentemente reduzirá a produtividade do cafeeiro conilon (FREITAS et al., 2007; TOMAZ et al., 2005; TEIXEIRA et al., 2012).

Identificar a correlação entre os caracteres morfofisiológicos desejáveis é fundamental na seleção de genótipos com porte médio, alta produção e uniformes que facilitaram os processos de manejo da cultura e colheita (CARVALHO et al., 2013; FREITAS et al., 2007). As análises conjuntas possibilitam correlacionar todas as variáveis estudadas e a identificar as possíveis utilizações de grupos de caracteres morfofisiológicos de interesse para seleção de genótipos superiores tolerantes as condições climáticas adversas.

6.6. Análise de componentes principais

A aplicação da análise de componentes principais (CPs) tem sido utilizada em estudos com genótipos de bancos de germoplasma, permitindo a identificação das características que mais contribuem para a variação integral e para a seleção, bem como das variações que têm menor contribuição dentro da variação total. Na Tabela 9 a relevância dos componentes principais CPs é decrescente do primeiro para o último componente, sendo esses últimos componentes definidos como a menor parcela de importância da variância podendo ser eliminados do conjunto de dados (CRUZ et al. 2012).

Tabela 9 – Estimativas dos autovalores e variância acumulada dos dezoito componentes principais (CP) avaliados

Comp. Principais	Autovalores	Variância Acumulada
CP1	5,20	27,36%
CP2	3,84	47,59%
CP3	2,29	59,61%
CP4	2,03	70,28%
CP5	1,70	79,23%
CP6	1,36	86,37%
CP7	0,78	90,47%
CP8	0,64	93,86%
CP9	0,46	96,26%
CP10	0,32	97,97%
CP11	0,27	99,40%
CP12	0,09	99,87%
CP13	0,03	100%
CP14	0	100%
CP15	0	100%
CP16	0	100%
CP17	0	100%
CP18	0	100%
CP19	0	100%

Com base nas análises desse trabalho foram obtidos autovalores e variâncias acumuladas para os dezoito componentes principais, sem descartar nenhum dos CPs da matriz de correlação genotípica entre as variáveis, onde o CP1 explica 27,36% da variância total entre os genótipos e o CP2 20,23%, somados esses dois primeiros autovalores representam 47,59% dos componentes principais (Tabela 9).

De acordo com Kaiser, (1958) a quantidade de fatores será determinada pelo número de autovalores iguais ou maiores que a variável analisada, e os caracteres unidos por cada um dos fatores são altamente correlacionados entre si, com fraca correlação com as variáveis dos outros fatores.

Para os resultados observados nesse estudo, o primeiro fator explicou 27.36% da variância e agrupou as seguintes variáveis relacionadas VOLCAL, CHL, ANTH, NBI, DEF e NROS. O segundo fator apresentou 20,23% da variância e foi composto pelas variáveis DMCAULE, AF e MSRP, enquanto o terceiro fator, com 12,03% da variância, foi composto pelas variáveis CPRAMO, PH, TRANS e MSF. O quarto fator apresentou 10,67% da variância e é formado pela ALT, CPNOS e MSC, enquanto o quinto fator foi constituído apenas pela MSR com variância de 8,94% e o sexto e último fator compõe a DENLA e FLAV com variância de 7,15%.

Os autovalores obtidos na análise de CPs mostram a variação no conjunto de dados de cada componente e quando são superiores a um, significa que a reposta dos CPs está associada a outras variâncias além das analisadas no conjunto de dados padrão (ASHINIE et al. 2020). Diante do exposto, é possível observar que os seis primeiros CPs são os mais importantes entre os 19 caracteres analisados para seleção quanto a tolerância à seca, explicando 86.37% da variação total nos clones *C. canephora* estudados (Tabela 9). Segundo Regazzi (2000) para aplicações em inúmeras áreas do conhecimento o número de componentes utilizados tem sido aquele que acumula no mínimo 70% ou mais de proporção da variância total e quanto maior o autovalor acumulado maior será a variância acumulada. Além disso, as cargas fatoriais indicam a correlação de cada variável com um determinado fator e os valores obtidos para as características que mais se correlacionaram com cada fator, e essas cargas são definidas de acordo com as magnitudes e os sinais desejados de acordo com o objetivo final no melhoramento genético da cultura (FERREIRA et al., 2010).

6.7. Ganho Genético e Índice FAI-BLUP

O conhecimento da correlação entre características possibilita identificar conhecer o efeito da seleção de determinada característica sobre as demais, sendo a correlação negativa com algumas características e positiva com outras, devendo-se ter cautela para não provocar mudanças indesejáveis nessas características na seleção (CRUZ et al. 2012). Quando as características estão agrupadas no mesmo fator, essas apresentam maior correlação entre si quando comparadas com outras variáveis de fatores diferentes (CRUZ et al., 2014; ROCHA et al., 2018). Os seis fatores comuns, gerados pela análise de comunalidade manifestaram valores variando de 0,67 a 0,96 (Tabela 10). A variabilidade entre os clones estudados foi manifestada através dos dezenove caracteres sendo descrito por seis fatores comuns através da comunalidade (CRUZ et al., 2014). Na Tabela 10 todas as variáveis analisadas nesse estudo apresentaram altos valores de comunalidade, estando em um intervalo de 0,77 (MSF) e 0,96 (ALT), exceto para DEF (0,67) e PHF (0,68) que expressaram os menores valores de comunalidade, tais resultados indicam que os fatores tiveram uma boa associação entre as variáveis estudadas (HAIR et al., 2009).

Tabela 10 – Valores de comunalidade, ideótipo e estimativas de ganhos genotípicos predito para todas as variáveis avaliadas em genótipos de *Coffea canephora* usando o índice FAI-BLUP

Características	Ideótipo		Comunalidade	Fator FAI-BLUP	Ganho Genético (%)
	D	I			
VOLCAL	max	min	0,90	1	-13,87
CHL	med	min	0,91	1	-1,54
ANTH	med	min	0,88	1	-0,54
NBI	med	min	0,89	1	-1,95
DEF	min	max	0,67	1	6,34
NROS	max	min	0,92	1	-2,43
DMCAULE	max	min	0,89	2	1,41
AF	med	min	0,92	2	6,32
MSRP	max	min	0,89	2	-6,14
CPRAMO	max	min	0,78	3	8,57
PH	max	min	0,68	3	8,75
TRANS	min	max	0,89	3	18,19
MSF	max	min	0,77	3	5,06
ALT	med	min	0,96	4	-7,52
CPNOS	min	max	0,86	4	9,37
MSC	max	min	0,90	4	-0,77
MSR	max	min	0,90	5	26,20
DENLA	max	min	0,85	6	-6,11
FLAV	med	min	0,87	6	2,05

Índices de FLAV= flavonoides; ANTH =antocianina; NBI= balanço de nitrogênio; CHL= clorofila ; VWC = teor volumétrico de água; DEF = déficit; AF= área foliar; ALT= altura; CPRAMO= comprimento dos ramos plagiotropicos; DMCAULE= diâmetro do caule; COMPNOS= comprimento dos entrenós; NROSE= número de rosetas; Massa seca MSCAULE= caule; MSRAIZ= raízes; MSF= folhas; e MSRPLAG= ramos plagiotrópicos; VOLCAL= volume do caule; DENS-LA= densidade do lenho; PH= potencial hídrico foliar; D=desejado; I=indesejado; min=mínimo; med-=médio; max=máximo.

Os ganhos genéticos obtidos a partir da seleção em clones de *C. canephora* tolerância à seca foram analisados conjuntamente para todas as variáveis. Observou-se que a MSR se isolou no fator 5 e apresentou um alto ganho genético 26.20 %. De todas as características avaliadas dez apresentaram ganhos genéticos na direção requerida, evidenciando a eficiência do índice em propiciar ganhos para um conjunto de caracteres (Tabela 10).

Para construção de um ideótipo determina-se valores “ideais” – desejados e valores “não desejados” usados na seleção de multicares similtâneos através do índice FAI-BLUP que pode tanto aumentar quanto diminuir os valores das características de interesse (ROCHA et al. 2018). Nesse contexto, considera-se valores de máximos, médios e mínimos para cada variável estudada, que são determinados de acordo com os objetivos do melhoramento. Na Tabela 10, o ideótipo desejável criado nesse estudo foi visando a seleção de clones mais tolerantes ao déficit hídrico. Nossos resultados concluem que o índice FAI-BLUP foi eficiente na seleção a partir dos ganhos genéticos obtidos na maior parte das variáveis avaliadas (DMCAULE, AF, CPRAMO, PH, TRANS MSF, CPNOS e MSR). Essas variáveis também foram estudadas por Ferrão et al. (2007), especialmente visando a tolerância à seca. Tais características também foram estudadas por Ferreira et al., (2005) para seleção de clones de *C. canephora* mais tolerantes ao déficit hídrico, evidenciando a influência negativa do déficit hídrico

O índice de seleção FAI-BLUP é considerado eficiente para seleção de genótipos superiores e vem sendo aplicado em diversas culturas como o sorgo (Oliveira et al., 2019; Silva et al., 2018), soja (Woyann et al., 2019), feijão (rocha et al., 2019) e café arábica (BOTEGA et. al., 2019). Mesmo tendo um ideótipo definido existem grandes variações das características nos clones estudados, e essa variação influencia no comportamento desses genótipos sob as condições de diferentes níveis de estresse hídrico.

Na Tabela 11 encontra-se o ranqueamento dos clones segundo o índice de seleção FAI-BLUP para plantas tolerantes ao estresse hídrico de *C. canephora*, de acordo com as análises dos fatores o indivíduo que mais se aproximou do ideótipo criado nesse estudo foi o clone tolerante 7T e o mais distante o clone P6. As características que explicam o clone 7T estar na posição 1 do ranqueamento entre os 14 clones estudados são valores máximos das variáveis (VOLCAL, NROS, DMCAULE, CPRAMO, PHF, MSRP, MSF, MSC, MSR e DENLA), valores médios para (CHL, ANTH, NBI, AF, ALT e FLAV) e valores mínimos para (DEF, TRANS e CPNOS) favoráveis à tolerância ao estresse hídrico, em oposição a esses resultados o clone P6.

Tabela 11 - Ranqueamento dos clones de *C. canephora* pelo índice de seleção FAI-BLUP para tolerância a seca

POSIÇÃO	FAI-BLUP
1	7T
2	120
3	3T
4	4S
5	P50
6	P2
7	1T
8	6T
9	P59
10	109
11	44S
12	P10
13	P40
14	P6

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante o exposto, verifica-se que os resultados revelaram que clones de cafeeiro conilon possuem uma alta capacidade de modificações morfofisiológicas conforme as condições de hidratação que estão submetidos, podendo ser observadas nas diferenças em condições irrigada e de progressão dos níveis de estresse hídrico avaliados. Essas respostas morfofisiológicas adotadas pelos diferentes clones têm como propósito diminuir a vulnerabilidade aos danos provocados pelo aumento do estresse hídrico, sendo esse comportamento comuns aos clones tolerantes à seca.

Com relação aos parâmetros morfofisiológicas de crescimento avaliados destacam-se a altura, diâmetro do caule e comprimento do ramo plagiotrópico de cafeeiro conilon onde foram observadas redução nas plantas submetidas ao estresse hídrico, reforçando os danos do estresse hídrico sobre a cultura. Os clones 120 e 7T apresentaram os menores portes e os clones 4S e 44S os maiores em condições de estresse hídrico. A análise de área foliar dos clones P59 e 6T, sob estresse hídrico, apresentou valores reduzidos em relação ao controle. Ao contrário, o clone 109 em condição de estresse apresentou aumento da área foliar, com valores superiores às condições irrigadas e o clone 120 por sua vez apresentou certa estabilidade para ambas as condições de irrigação estudadas.

Analisando o comportamento dos clones com relação ao comprimento de entrenós e número de rosetas, os clones com os menores comprimentos apresentaram maiores números de rosetas e o contrário também foi verificado. O clone 7T apresentou maior massa de raiz, menor altura e maior comprimento do ramo plagiotrópico essas características de tolerância à seca são observadas em clones promissores a tolerância à seca. O clone 4S com maior altura, maior comprimento dos entrenós, apresentou menor massa de raiz cujas respostas ao estresse hídrico não pareceram tão eficientes.

Os níveis de estresse hídrico influenciaram todas as variáveis fotossintéticas estudadas sendo significativa para fotossíntese, condutância estomática, concentração interna de CO₂, taxa de transporte de elétrons e taxa transpiratória para os clones de cafeeiros conilon avaliados. Os clones 120 e o 4S mantiveram sua taxa de fotossíntese reguladas independente da condição de irrigação e na recuperação, o clone P50 reduziu a taxa fotossintética sob estresse hídrico podendo indicar uma proteção da planta ao déficit. As taxas fotossintéticas para todos os clones aumentaram drasticamente a partir do nível de estresse de 40% e só voltaram a diminuir na recuperação das plantas com nível de estresse 0%. A concentração interna de CO₂ foram mais elevadas no nível de estresse hídrico de 55%, para as taxas de transporte de elétrons o aumento foi ao nível de estresse de 70% e taxas transpiratórias diminuíram significativamente na recuperação para todos os clones.

De acordo com as correlações das características morfofisiológicas existe correlação positiva entre as variáveis altura, volume do caule, teor volumétrico e transpiração da água no solo, e correlação negativa do potencial hídrico foliar e do déficit de água do solo para a maioria das características estudadas.

O índice FAI BLUP permitiu a seleção de genótipos superiores nas características de tolerância à seca selecionadas e o clone 7T foi o mais promissor, enquanto o clone P6 o mais suscetível em relação ao ideótipo criado para o conjunto de caracteres morfofisiológicos de interesse, destacando a importância desses indivíduos em um programa de melhoramento genético que envolve tolerância à seca.

As características diâmetro do caule, área foliar, comprimento do ramo plagitrópico, potencial hídrico foliar, transpiração do solo, massa seca de folha, comprimento dos entrenós e massa seca da raiz apresentaram ganhos genotípicos desejáveis. O potencial uso dos clones testados traz perspectivas de investigações futuras relacionadas à análise dos componentes integrantes nas distintas vias metabólicas, as quais os respectivos genes estão associados, no intuito de maior caracterização.

A partir das informações extraídas nesse estudo, que foi realizado em casa de vegetação observa-se a necessidade de conduzir um experimento em campo, para verificar como seria o comportamento dessas características morfofisiológicas em plantas adultas, partindo para um estudo mais aprofundado que envolvem análises de produtividade mediante à seca. Uma vez caracterizados, os clones poderão ser utilizados em trabalhos de melhoramento genético, utilizando de estratégias adequadas e novos cruzamentos para a obtenção de materiais genéticos mais adaptados às condições adversas do meio ambiente, com elevada produtividade, boa qualidade dos grãos e estabilidade produtiva.

8.REFERÊNCIAS

AGNOLETTI, B. Z. Avaliação das propriedades físico-químicas de café arábica (*Coffea arabica*) e conilon (*Coffea canephora*) classificados quanto à qualidade da bebida, 2015.

ALKIMIM E. R., CAIXETA E. T., SOUSA T. V., PEREIRA A. A., OLIVEIRA A. C. B., ZAMBOLIM L, SAKIYAMA N. S. Marker-assisted selection provides arabica coffee with genes from other *Coffea* species targeting on multiple incidences to rust and coffee berry disease. **Molecular Breeding**, 37(1): p.1–10, 2017.

ALMEIDA, B. G. et al., Padronização de métodos para análise granulométrica no Brasil. **Embrapa Solos**-Comunicado Técnico (INFOTECA-E),2012

AL-SAMMARRAIE, O. N. A.; ALSHARAF, K. Y.; AL-LIMOUN, M. O.; KHLEIFAT, K. M.; AL-SARAYREH, S. A.; AL-SHUNEIGAT, J. M.; KALAJI, H. M. Effect of various abiotic stressors on some biochemical indices of *Lepidium sativum* plants. **Nature Scientific Reports**, v. 10, n. 21131, 2020.

AMARAL, G.C., ET AL., PEZZOPANE, J.E.M., NÓIA JÚNIOR, R.S., FONSECA, M.D.S., TOLEDO, J.V., XAVIER, T.M.T., OLIVEIRA, B.S., MARTÍNEZ, M.F., JERÔNIMO JÚNIOR, R.A.C., GONÇALVES, E.O. Ecophysiology of *Pilocarpus microphyllus* in response to temperature, water availability and vapour pressure deficit. **Trees**. 35, 543– 555, 2021.

ANDRADE, S. D. Transformação de plantas. Planaltina, DF: **Embrapa Cerrados**, 2003.

ANJUM, S. A. et al. Morphological, physiological and biochemical responses of plants to drought stress. **African Journal of Agricultural Research**, Nairobi, v. 6, n. 9, p. 2026-2032, May 2011.

ANTHONY, François et al. Genetic diversity of wild coffee (*Coffea arabica* L.) using molecular markers. **Euphytica**, v. 118, n. 1, p. 53-65, 2001.

ANTUNES, W. C. et al. Allometric models for non-destructive leaf area estimation in coffee (*Coffea arabica* and *Coffea canephora*). **Annals of Applied Biology**, n. 153, p. 33-40, 2008.

ASHINIE, SK; BIZUAYEHU, T; WAKEYO, GK; FENTA, BA. Genetic diversity for immature pod traits in Ethiopian cowpea [*Vigna unguiculata* (L.) Walp.] landrace collections. **African Journal of Biotechnology** 19(4): p. 171–182, 2020.

ASSAD, E.D. et al. Zoneamento climático da cultura do café (*Coffea arabica*) para o Estado de Goiás. **Comunicado Técnico**. Planaltina-DF, n.35, p. 1-6, 2000.

ASSIS, G.A.; GUIMARÃES, R.J.; SCALCO, M.S.; COLOMBO, A.; MORAIS, A.R.; CARVALHO, J.P.S. Correlação entre crescimento e produtividade do cafeeiro em função do regime hídrico e densidade de plantio. **Bioscience Journal**, v. 30, n. 3, p. 666-676, 2014.

AVELLÁN L. F. P., LOOR S. R. G., GUERRERO C. H. E., DUCIELA GUAMBI L. Caracterización fenotípica del germoplasma de *Coffea canephora* Pierre base para su mejoramiento en Ecuador. **Revista Espam ciencia**, Ecuador, 7(1): p. 23–35, 2015.

AVILA, RODRIGO T. et al. Coffee plants respond to drought and elevated [CO₂] through changes in stomatal function, plant hydraulic conductance, and aquaporin expression. **Environmental and Experimental Botany**, v. 177, p. 104148, 2020.

BALDUCCI, L.; DESLAURIERS, A.; GIOVANNELLI, A.; BEAULIEU, M.; DELZON, S.; ROSSI, S.; RATHGEBER, C.B.K. How do drought and warming influence survival and wood traits of *Picea mariana* saplings. **Journal Experimental Botany**. 4, 1–13, 2014.

BANZIGER, M., EDMEADES, G.O., BECK, D., & BELLON, M. Breeding for drought and nitrogen stress tolerance in maize. From theory to practice. Mexico, D.F., CIMMYT. p. 23-29, 2000.

BARBOSA, M. R. et al. Plant generation and enzymatic detoxification of reactive oxygen species. **Ciência Rural**, Santa Rural, v. 44, n. 3, p. 453-460, 2014.

BARRETO, C.V.G.; SAKAI, E.; ARRUDA, F.B.; SILVA, E.A.; PIRES, R.C.M. Distribuição espacial do sistema radicular do cafeeiro fertirrigado por gotejamento em Campinas. **Bragantia**, v.65, p.641-647, 2006.

BATISTA-SANTOS P., LIDON F. C., FORTUNATO A. Impact of cold on photosynthesis in genotypes of *Coffea* spp. Photosystem sensitivity, photoprotective mechanisms and gene expression. **J Plant Physiol** 168: p.792–806, 2011.

BERTHAUD, J.; CHARRIER, A. Genetic resources of *Coffea*. 1988. In: TOMAZ, M. A.; DO AMARAL, J. F. T.; JESUS JUNIOR, W. F.; PEZZOPANE, J. R. M. **Seminário para a Sustentabilidade da Cafeicultura**. Alegre, ES: UFES, Centro de Ciências Agrárias, p. 342, 2008.

BILEN, C.; EL CHAMI, D.; MEREU, V.; TRABUCCO, A.; MARRAS, S.; SPANO, D. A Systematic Review on the Impacts of Climate Change on Coffee Agrosystems. **Plants**, v. 12, n. 1, p. 102, 2023.

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.

BORRELL, A. K. et al. Drought adaptation of stay-green sorghum is associated with canopy development, leaf anatomy, root growth, and water uptake. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 65, n. 21, p. 6251-6263, 2014.

BOTEGA, G. P. EFICIÊNCIA DO ÍNDICE FAI-BLUP NA SELEÇÃO DE GENÓTIPOS BOURBON. 2019. **Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas)** -Universidade Federal de Lavras. Lavras - MG. 2019.

BRAGANÇA, S. M. et al. Acumulação de matéria seca pelo cafeeiro conilon. **Ceres**, Viçosa, v. 57, n. 1, p. 48- 52, jan./fev. 2010.

BRAGANÇA, S. M. Crescimento e acúmulo de nutrientes pelo cafeeiro conilon (*Coffea canephora* Pierre). **Tese (Doutorado em Fitotecnia)** – Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, p. 99, 2005.

BRAGANÇA, S. M.; PREZOTTI, L. C.; LANI, J. A. Nutrição do Cafeeiro Conilon. In: FERRÃO, R.G; FONSECA, A.F.A.; FERRÃO, M. A.; DE MUNER, L. H. (2 ed.). **Café conilon**. Vitória, ES: INCAPER, p. 327-345, 2017.

BRODRIBB, T. J.; HOLLOWAY-PHILLIPS, M.-M.; BRAMLEY, H. Improving Water Transport for Carbon Gain in Crops. 2nd ed. In: SADRAS, V. O.; P. CALDERINI, D. F. B. T. C. (Eds.). **Academic Press**, San Diego, 2015. pp. 251-281.

BUSATO, C. et al. **Lâminas de irrigação aplicadas ao café conilon na fase inicial de desenvolvimento**. Revista Ceres, Viçosa, v. 54, n. 314, p. 351-357, 2007.

CAIXETA, E. T.; PESTANA, K. N.; PESTANA, NOGUEIRA R. K. Melhoria do cafeeiro: ênfase na aplicação dos marcadores moleculares. **Embrapa Café**, 2015.

CALLEJA-CABRERA, J., BOTER, M., ONATE-SANCHEZ, L., PERNAS, M. Root growth adaptation to climate change in crops. **Frontiers in Plant Science**, v.11, p.544, 2020.

CALLEJA-CABRERA, J., BOTER, M., ONATE-SANCHEZ, L., PERNAS, M. Root growth adaptation to climate change in crops. **Frontiers in Plant Science**, v.11, p.544, 2020.

CALVO-RODRIGUEZ, S.; SÁNCHEZ-AZOFEIFA, G.A.; DURÁN, S.M.; ESPÍRITO-SANTO, M.M.; NUNES, Y.R.F. Dynamics of Carbon Accumulation in Tropical Dry Forests under Climate Change Extremes. **Forests**, 12, 106, 2021.

CAMARGO, Â. P. e CAMARGO M. Bento P. “Definição e esquematização das fases fenológicas do cafeeiro arábica nas condições tropicais do Brasil.” **Bragantia** 60: p.65-68, 2001.

CAMARGO, MARCELO BENTO PAES. The impact of climatic variability and climate change on arabic coffee crop in Brazil. **Bragantia**, v. 69, n. 1, p. 239-247, 2010.

CARVALHO, A. M., L.C. Natural cross pollination in *Coffea arabica*. 1965. In: MELO, B.; S., L. B. *Biologia da Reprodução de Coffea arabica*. L. e *Coffea canephora* Pierre. **Revista Verde**, v. 6, p. 1-7, 2011.

CARVALHO, A. M.; MENDES, A.N.G.; CARVALHO, G.R.; BOTELHO, C.E.; GONÇALVES, F.M.A.; FERREIRA, A.D. Correlação entre crescimento e produtividade de cultivares de café em diferentes regiões de Minas Gerais, Brasil. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 45, n. 3, p. 269-275, 2010.

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

CARVALHO, S.P. Divergência genética entre cafeeiros do germoplasma Maragogipe. *Bragantia*, v. 72, n. 2, p. 127-132, 2013.

CAVATTE, P. C.; OLIVEIRA, A. A.; MORAIS, L. E.; MARTINS, S. C.; SANGLARD, L. M.; DAMATTA, F. M. Could shading reduce the negative impacts of drought on coffee? A morphophysiological analysis. **Physiologia Plantarum**, v. 144, p. 111-122, 2012.

CERNUSAK, L. A. Gas exchange and water-use efficiency in plant canopies. **Plant Biology**, p. 1–16, 2018.

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

COELHO, R. I. (Org). **Tópicos Especiais em Produção Vegetal IV**. Alegre: CCAUFES, p. 421-444, 2013.

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento (2021) **Acompanhamento da safra brasileira de café**: quarto levantamento – Safra 2021.

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento (2022). **Acompanhamento da safra brasileira de café**: quarto levantamento – Safra 2022.

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento (2023). **Acompanhamento da safra brasileira de café**: primeiro levantamento – Safra 2023.

CONAB. Compêndio de Estudos Conab / Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira de café** V. 6 - SAFRA 2020 - N.1 - Primeiro levantamento, janeiro, p. 1-62, 2020.

CONAB. Compêndio de Estudos Conab / Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira de café**, v. 4 – Safra 2016. n.4- Quarto levantamento, Brasília, p. 1-82, 2016.

CONAGIN, C. H. T. M.; MENDES, A. J. T. Pesquisas citológicas e genéticas de três espécies de *Coffea*: auto-incompatibilidade em *C. canephora*. *Bragantia*, v.20, n.34, p.787- 80, 1961. In: DE MELO, B.; DE SOUSA, L. B. *Biologia da Reprodução de Coffea arabica* L. e *Coffea canephora* Pierre. **Revista Verde**, v. 6, p. 01-07, 2011.

COVRE A. M., PARTELLI F. L., BONOMO R., TOMAZ M. A., RAMALHO J. C. Impacts of water availability on macronutrients in fruit and leaves of conilon coffee. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 53: p.1025-1037, 2018.

CROWLEY, Thomas J. Causes of climate change over the past 1000 years. **Science**, v. 289, n. 5477, p. 270-277, 2000.

CRUICKSHANK, A. W.; WRIGHT, G. C.; RACHAPUTI, N. C.; FOSTER, S. Multi environment analysis for Queensland sites. In: CRUICKSHANK, A. W.; RACHAPUTI, N. C.; WRIGHT, G. C.; NIGAM, S. N. (Eds) Breeding of drought resistant peanuts. **Australian Centre for International Agricultural Research**, Canberra, p. 72–76, 2003.

CRUZ, CD; REGAZZI, AJ; CARNEIRO, PCS. 2012. Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético. Viçosa, BR: UFV. 514p.

CRUZ, C. D., Carneiro, P. C. S. e Regazzi, A. J. (2014). Modelos Biométricos aplicados ao melhoramento genético (3rd ed. 2nd vol). Viçosa, MG: UFV

DAMATTA F. M., AVILA R. T., CARDOSO A. A., MARTINS S. C., RAMALHO J. C. 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(21): p.5264-5274, 2018.

DAMATTA, F. M., RONCHI C. P., MAESTRI M., BARROS R. S. Café: Ambiente e fisiologia da cultura. In F. M. DAMATTA (Eds.), *Ecofisiologia de Culturas de Árvores Tropicais*. **Nova Science Publishers**, Nova York, p. 181–216, 2010.

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.; GODOY, A.G.; MENEZES-SILVA, P.E.; MARTINS, S.C.; SANGLARD, L.M.; MORAIS, L.E.; GHINI, R. Sustained enhancement of photosynthesis in coffee trees grown under free-air CO₂ enrichment conditions:

disentangling the contributions of stomatal, mesophyll, and biochemical limitations. **Journal of Experimental Botany**, v.67, n.1, p.341-352, 2016.

DAMATTA, F.M.; RAHN, E.; LÄDERACH, P.; GHINI, R.; RAMALHO, J.C. Why Could the Coffee Crop Endure Climate Change and Global Warming to a Greater Extent Than Previously Estimated? **Climatic Change**, v. 152, p. 167-178, 2019.

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

DAMATTA, FÁBIO MURILO. Exploring drought tolerance in coffee: a physiological approach with some insights for plant breeding. **Brazilian journal of plant physiology**, v. 16, p. 1-6, 2004.

DARDENGO, M. C. J. D. **Influência da Disponibilidade Hídrica no Crescimento Inicial do Cafeeiro Conilon**.2006. 57 f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Espírito Santo, Alegre, 2006.

DAVIS, A. P.; TOSH, J.; RUCH, N.; FAY, M. Growing coffee: *Psilanthus (Rubiaceae)* subsumed on the basis of molecular and morphological data; implications for the size, morphology, distribution and evolutionary history of *Coffea*. **Botanical Journal of the Linnean Society**. v. 167, p. 357-377, 2011.

DUBBERSTEIN D., OLIVEIRA M. G., AOYAMA E. M., GUILHEN J. H., FERREIRA A., MARQUES I., PARTELLI F. L. Diversity of Leaf Stomatal Traits among *Coffea canephora* Pierre ex A. Froehner Genotypes. **Agronomy**, 11(6):p.1126, 2021.

DUBBERSTEIN D., PARTELLI F. L., GUILHEN J. H. S., RODRIGUE W. P., RAMALHO J. C., RIBEIRO B., (2020). Características biométricas como ferramenta para identificação e reprodução de *Coffea canephora* genótipos. **Genética e Pesquisa Molecular**, 19(2).

DUBBERSTEIN, D.; RODRIGUES, W.P.; SEMEDO, J.N.; CAMPOSTRINI, E.; REBOREDOA.I.; DAMATTA, F.M.; RAMALHO, J.C. Mitigation of the Negative Impact of Warming on the Coffee Crop: The Role of Increased Air [CO₂] and Management Strategies. In: Shanker, A. (Edi). Londres: **In tech Open**, Cap. 4, p. 58-85, 2018.

DUSSERT, S.; LASHERMES, P.; ANTHONY, F.; MONTAGNON, C.; TROUSLOT, P.; COMBES, M.C.; BERTHAUD, J.; NOIROT, M.; HAMON, S. Le caféier *Coffea canephora*, 1999. In: CARVALHO, C. H. S. Cultivares de café: origem, características e recomendações. Brasília: **Embrapa Café**, p. 334, 2008.

FAHAD, S.; BAJWA, A. A.; NAZIR, U.; ANJUM, S. A.; FAROOQ, A.; ZOHAIB, A.; SADIA, S.; NASIM, W.; ADKINS, S.; SAUD, S.; IHSAN, M. Z.; ALHARBY, H.; ADKINS, S.; WU, C.; WNAG, D.; HUANG, J. Crop production under drought and heat stress: Plant responses and management options. **Frontiers in Plant Science**, v.8, 2017.

FANG, Y.; XIONG, L. General mechanisms of drought response and their application in drought resistance improvement in plants. **Cellular and Molecular Life Sciences**, Basel, v. 72, p. 673-689, 2015.

FAROOQ, MUHAMMAD et al. Plant drought stress: effects, mechanisms and management. **Sustainable agriculture**, p. 153-188, 2009.

FAZUOLI, L. C. Genética e melhoramento do cafeeiro. 1986. In: TOMAZ, M. A.; DO AMARAL, J. F. T.; JESUS JUNIOR, W. F.; PEZZOPANE, J. R. M. **Seminário para a Sustentabilidade da Cafeicultura**. Alegre, ES: UFES, Centro de Ciências Agrárias, p. 342, 2008.

FERRAO M. A. G., MENDONCA R. F. D., FONSECA A. F. A., FERRAO R. G., SENRA J. F. B., VOLPI P. S., COMERIO M. Characterization and genetic diversity of *Coffea canephora* accessions in a germplasm bank in Espirito Santo, Brazil. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, 21: p.1–10, 2021.

FERRÃO R. G., FERRÃO M. A. G., FONSECA A. F. A., VOLPI P. S., VERDIN F. A. C., LANI J. A., MAURI A. L., TÓFFANO J. L., TRAGINO P. H., BRAVIM A. J. B., MORELLI A. P. **ES8122 - Jequitibá**: nova 69 variedades clonal de café conilon de maturação intermediária para o Espírito Santo. Vitória, ES: Incaper, p. 220, 2015.

FERRÃO, R. G.; FERRÃO, M. A. G.; FONSECA, A. F. A.; PACOVA, B. E. V. Melhoramento genético de *Coffea canephora*. In: FERRÃO, R. G.; FONSECA, A. F. A., BRAGANÇA, S. M.; FERRÃO, M. A. G.; DE MUNER, L. H. (Eds.). **Café Conilon**. Vitória, Seag/Incaper, cap. 05, p. 123-173, 2007.

FERRÃO, R. G.; FONSECA, A. F. A.; FERRÃO, M. A. G.; VERDIN FILHO, A. C.; VOLPI, P. S.; DE MUNER, L. H.; LANI, J. A.; PREZOTTI, L. C.; VENTURA, J. A.; MARTINS, D. S.; MAURI, A. L.; MARQUES, E. M. G.; ZUCATELLI, F. **Café Conilon: técnicas de produção com variedades melhoradas**. 4. ed. revisada e ampliada. Vitória, ES: Incaper: Circular Técnica, p. 74, 2012.

FERRÃO, ROMÁRIO GAVA et al. **Café Conilon: 2º Edição Revisada e Ampliada**. 2017.

FERRÃO, ROMÁRIO GAVA et al. Melhoramento genético para obtenção da cultivar Marilândia ES 8143, variedade clonal de café conilon tolerante a seca, 2018.

FERREIRA, A., CECON, P. R., CRUZ, C. D., FERRÃO, R. G., SILVA, M. F., FONSECA, A. F. A. e FERRÃO, M. A. G. Seleção simultânea de *Coffea canephora* por meio da combinação de análise de fatores e índices de seleção. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 40, p. 1189-1195, 2005.

FERREIRA, E. B.; CAVALCANTI, P. P.; NOGUEIRA, D. A. ExpDes. pt: pacote experimental designs (Portuguese). **R package version** 1.2. 0. 2018.

FRACASSO A, TRINDADE L, AMADUCCI, S. Drought tolerance strategies highlighted by two Sorghum bicolor races in a dry-down experiment. **Journal of plant physiology**, p.190: 1-14, 2016.

FREITAS, Z.M.T.S.; OLIVEIRA, F.J.; CARVALHO, S.P.; SANTOS, V.F.; SANTOS, J.P.O. Avaliação de caracteres quantitativos relacionados com o crescimento vegetativo entre cultivares de café arábica de porte baixo. **Bragantia**, v. 66, n. 2, p. 267-275, 2007. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0006-87052007000200010>.

FURLAN, Diego Albani, et al. "Potencial hídrico foliar e desenvolvimento vegetativo do cafeeiro conilon sob diferentes lâminas de irrigação na região e campos dos Goytacazes-RJ". **Irriga**, 26.1, p.13-28, 2021.

GALLÉ, A.; FELLER U. R. S. Changes of photosynthetic traits in beech saplings (*Fagus sylvatica*) under severe drought stress and during recovery. **Physiologia Plantarum**, n. 131, p. 412-421, 2007.

GASPARINI-PEZZOPANE et al. "Atributos fenológicos e agronômicos em cultivares de cafeeiro arábica." **Ciência Rural**, 39: p.711-717, 2009.

GERSONY, J.T.; HOCHBERG, U.; ROCKWELL, F.E.; PARK, M.; GAUTHIER, P.P.G.; HOLBROOK, N.M. Leaf Carbon Export and Nonstructural Carbohydrates in Relation to Diurnal Water Dynamics in Mature Oak Trees. **Plant Physiology**, August, Vol. 183, pp. 1612–1621, 2020.

GHANNOUM, O. C4 photosynthesis and water stress. **Annals of Botany**, v. 103, n. 4, p. 635–644, 2009.

GILL, S. S.; TUTEJA, N. Reactive oxygen species and antioxidant machinery in abiotic stress tolerance in crop plants. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 48, n. 12, p. 909-930, 2010.

GOLABADI M, Arzani ASAM, Maibody SM. Avaliação da tolerância à seca em populações segregantes em trigo duro. **Jornal Africano de pesquisa agrícola**, 1(5):p. 162-171,2006.

GONZALEZ-ROBAINA, F., ENRIQUE C. Z. e EUGENIO M."The coffee tree (*Coffea arabica* L.) response to water deficit in different development phases." **Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias**, 26.3: 4-11, 2017.

GOWIK U, WESTHOFF P. The path from C3 to C4 photosynthesis. **Plant Physiology**, 155: 56-63, 2011.

GUEDES, F. A. DE F.; NOBRES, P.; RODRIGUES FERREIRA, D. C.; MENEZESSILVA, P. E.; RIBEIRO-ALVES, M.; CORREA, R. L.; ALVES-FERREIRA, M. Transcriptional memory contributes to drought tolerance in coffee (*Coffea canephora*) plants. **Environmental and Experimental Botany**, [S.I.], v. 147, p. 220–233, 2018.

HABERMANN, E. et al. Warming and water deficit impact leaf photosynthesis and decrease forage quality and digestibility of a C4 tropical grass. **Physiologia Plantarum**, v. 165, n. 2, p. 383–402, 2019.

HAIR, J. F., Black, W. C., Babin, B. J., Anderson, R. E. & Tatham, R. L. (2009). **Análise multivariada de dados** (6th ed.). Porto Alegre: Bookman.

HOLTMANN, A.; HUTH, A.; POHL, F.; REBMANN, C.; FISCHER, R. Carbon Sequestration in Mixed Deciduous Forests: The Influence of Tree Size and Species Composition Derived from Model Experiments. **Forests**, 12(6):726, 2021.

HOSSAIN, A.; et al. - Wild relatives of plants as sources for the development of abiotic stress tolerance in plants. **Plant Perspectives to Global Climate Changes**. Developing Climate-Resilient Plants. p. 471-518, 2022.

HU, G. et al. Effect of roasting degree of coffee beans on sensory evaluation: research from the perspective of major chemical ingredients. **Food Chemistry**, p. 127- 329, 2020.

INMAN-BAMBER, N. G.; BONNETT, G. D.; SPILLMAN, M. F.; HEWITT, M. L.; JACKSON, A. Increasing sucrose accumulation in sugarcane by manipulating leaf, **Research**, v. 59, p. 13-26, 2008.

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 CAPIXABA DE PESQUISA, ASSISTÊNCIA TÉCNICA E EXTENSÃO RURAL - INCAPER. **Cafeicultura**. Governo do Estado do Espírito Santo - Secretaria de Estado da Agricultura, Abastecimento, Aquicultura e Pesca, 2022.

IPCC, 2022. Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge UNIVERSITY Press. Cambridge, UK and New York, NY, USA, **Climate Change**, p. 3056, 2022.

JAGADISH, S.V.K.; WAY, D.A.; SHARKEY, T.D. Plant heat stress: Concepts directing future research. **Plant Cell Environ**, 1–14, 2021.

JALEEL, C. A.; MANIVANNAN, P.; LAKSHMANAN, G. M. A.; GOMATHINAYAGAM, M.; PANNEERSELVAM, R. Alterations in morphological parameters and photosynthetic pigment responses of *Catharanthus roseus* under soil water deficits. *Colloids and surfaces. B, Biointerfaces*, v. 6, p. 298– 303, 2008.

JESUS JUNIOR, W. C.; FONSECA, A. F. A.; FERRÃO, R. G.; FERRÃO, M. A. G.; MARTINS, L. D.; RODRIGUES, W. N. (Org.). **Inovação, difusão e integração: bases para a sustentabilidade da cafeicultura**. Alegre: CAUFES, p. 179-202, 2012.

KAISER, H. The varimax criterion for analytic rotation in factor analysis. **Psychometrika**, 23, 187–200, 1958.

KAYA, M.D, OKCUB, G., ATAKA, M., CIKILIC, Y. E KOLSARICIA, O. Tratamentos de sementes para superar o estresse salino e hídrico durante a germinação do girassol (*Helianthus annuus* L.). *EUR. J. Agron.* 24, p. 291–295, 2006.

KERBAUY, G.B. **Fisiologia Vegetal**. 3ª Ed. Guanabara, p. 420, 2019.

KIWUKA, C. Genetic diversity and phenotypic variation of wild, feral and cultivated *Coffea canephora* in relation to drought stress. **Tese de Doutorado Wageningen University**, 2020.

KUMAR, M.; KUMAR PATEL, M.; KUMAR, N.; BAJPAI, A. B.; SIDDIQUE, K. H. M. Metabolomics and Molecular Approaches Reveal Drought Stress Tolerance in Plants. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 22, n. 17, p. 9108, 2021.

LAMBERS H, Chapin FS, Pons TL. Plant **Physiological Ecology**, 2. ed. New York, USA: Springer, 2008.

LEAKEY, A. D. B.; AINSWORTH, E. A.; BERNACCHI, C. J.; ROGERS, A.; LONG, S. P.; ORT, D. R. Elevated CO₂ effects on plant carbon, nitrogen, and water relations: six important lessons from FACE. **Journal of Experimental Botany**, v. 60, n.10, p. 2859-2876, 2009. DOI:10.1093/jxb/erp096

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, p. 187-98, 1998.

LI-COR. LI-3100 Area Meter Instructional Manual, Lincoln, 34 p, 1996.

LIMA, A. L. S.; DAMATTA, F. M.; PINHEIRO, H. A.; TOTOLA, M. R.; LOUREIRO, M. E. Photochemical responses and oxidative stress in two clones of *Coffea canephora* under water deficit conditions. **Environmental and Experimental Botany**, v. 47, p. 239-247, 2002.

LIMA, E. A. et al. The multi-resistant reaction of drought-tolerant coffee 'Conilon clone 14'to *Meloidogyne* spp. and late hypersensitive-like response in *Coffea canephora*. **Phytopathology**, v. 105, n. 6, p. 805-814, 2015.

LIMA, R.B.; SANTOS, DOS, T.B.; VIEIRA, L.G.E.; DE LOURDES LÚCIO FERRARESE, M.; FERRARESE-FILHO, O.; DONATTI, L.; BOEGER, M.R.T.; DE OLIVEIRA

PETKOWICZ, C.L. Heat stress causes alterations in the cell-wall polymers and anatomy of coffee leaves (*Coffea arabica* L.). **Carbohydr. Polym.**, 93, 135–143, 2013.

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., **Tech: New York**, USA, 2012.

LISAR, S.Y.S.; MOTAFAKKERAZAD, R.; HOSSAIN, M.M.; RAHMAN, I.M.M. Water stress in plants: Causes, effects and responses. In Water Stress; Rahman, M., Hasegawa, H., Ed.; **Tech: Rijeka**, Croatia, pp. 1–14. 2012.

MACHADO FILHO, J.A.; RODRIGUES, W.P.; BARONI, D.F.; PIREDA, S.; MAGALHÃES, W. B. "Sistema radicular e suas interações com o desenvolvimento e nutrição do cafeeiro.", 2021.

MANAVALAN, L. P.; NGUYEN, H. T. Drought tolerance in crops: physiology to genomics. In: SHABALA, S. (Ed.). **Plant stress physiology**. 2nd ed. Wallingford: CABI, 2017.

MARRACCINI P, Vinecky F, Alves GSC, et al. Differentially expressed genes and proteins upon drought acclimation in tolerant and sensitive genotypes of *Coffea canephora*. **J Exp Bot** 63: p.4191–4212, 2012.

MARRÉ WB, da Fonseca AFA. Indicação de Procedência (IP) Espírito Santo para o Café Conilon (*Coffea canephora*). **Incaper** em Revista 11-12: p.99–107, 2021.

MARTINEZ HEP, Augusto HS, Cruz CD, Pedrosa AW, Sampaio NF. Vegetative growth of the coffee plant (*Coffea arabica* L.) and its correlation with the production in narrower spacing. **Acta Sci. Agron.** 29: p.481–489, 2007.

MARTINS, C. C. et al. Desenvolvimento Inicial do Cafeeiro conilon (*Coffea canephora* Pierre) Submetido a Diferentes Turnos de Rega e Doses de Hidroabsorvente. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v. 12, n. 3, p. 222-228, 2004.

MARTINS, L. D.; EUGENIO, F. C.; RODRIGUES, W. N.; JESUS JÚNIOR, W. C.; TOMAZ, M. A.; RAMALHO, J. D. C.; SANTOS, A. R. **Climatic vulnerability in robusta coffee – mitigation and adaptation**. Alegre: CCAUFES, p. 52, 2017.

MAURIN O, DAVIS AP, CHESTER M, MVUNGI EF, JAUFEERALLY-FAKIM Y, FAY MF. TOWARDS a Phylogeny for *Coffea* (*Rubiaceae*): Identifying Well-supported Lineages Based on Nuclear and Plastid DNA Sequences. **Annals of Botany** 100: p.1565–1583, 2007.

MCKAY, J.K.; RICHARDS, J.H.; MITCHELL-OLDS, T. Genetics of drought
MELO, E.F.; FERNANDES-BRUM, C.N.; PEREIRA, F. J.; CASTRO, E.M.;
CHALFUNJÚNIOR, A. Anatomic and physiological modifications in seedlings of *Coffea arabica* cultivar under drought conditions. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 38, n. 1, p. 25-33, 2014.

MERLO PMS. Conilon capixaba: 100 anos de desafios, crescimento e evolução. Vitória, ES: **Bumerangue Produção de Comunicação**. P.100, 2012.

MOHAMMED, A. Importance and Characterization of Coffee Berry Disease (*Colletotrichum kahawae*) in Borena and Guji Zones, Southern Ethiopia. **J Plant Pathol Microbiol**. P. 06(09), 2015.

MONCADA, MDP, TOVAR E, MONTOYA JC, GONZÁLEZ A, SPINDEL J, MCCOUCH S. A genetic linkage map of coffee (*Coffea arabica* L.) and QTL for yield, plant height, and bean size. **Tree genetics e genomes**, 12(1): p.1–17, 2016.

MONTAGNON C, CUBRY P, LEROY T. Genetic differentiation of wild and cultivated populations: Diversity of *Coffea canephora* Pierre in Uganda. **Genome** 52: p.634–646, 2012.

MORAES, M.S.; TEIXEIRA, A.L.; RAMALHO, A.R.; ESPÍNDULA, M.C.; FERRÃO, M.A.G.; ROCHA, R.B. Characterization of gametophytic self in compatibility of superior clones of *Coffea canephora*. **Genetics and Molecular Research**, v. 17, n. 1, 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.4238/gmr16039876>.

MORGAN, J. M. Osmoregulation and water stress in higher plants. **Annual Review of Plant Physiology**, Palo Alto, v. 35, p. 299-319. 1984.

NIGAM, S. N.; ARUNA, R. Stability of soil plant analytical development (SPAD) chlorophyll meter reading (SCMR) and specific leaf area (SLA) and their association across varying soil moisture stress conditions in groundnut (*Arachis hypogaea* L.). **Euphytica**, v. 160, n. 1, p.111-117, 2008.

NISHIYAMA, Y.; ALLAKHVERDIEV, S.I.; MURATA, N. Protein synthesis is the primary target of reactive oxygen species in the photoinhibition of photosystem II. **Physiologia Plantarum**. v. 142 n. (1), p.35–46, 2011.

NOGUEIRA, A.P.O.; SEDIYAMA, T.; SOUSA, L.B.; HAMAWAKI, O.T.; CRUZ, C.D.; PEREIRA, D.G.; MATSUO, E. Análise de trilha e correlações entre caracteres em soja cultivada em duas épocas de semeadura. **Bioscience Journal**, v. 28, n. 6, p. 877-888, 2012.

NÓIA JÚNIOR, R. S.; AMARAL, G. C.; PEZZOPANE, J. E. M.; TOLEDO, J. V.; XAVIER, T. M. T. Ecophysiology of C3 and C4 plants in terms of responses to extreme

soil temperatures. *Theoretical Experimental Plant Physiology*, v. 30, p. 261-274, 2018.
DOI: <https://doi.org/10.1007/s40626-018-0120-7>.

OGBAGA, C. C.; STEPIEN, P.; JOHNSON, G. N. Sorghum (*Sorghum bicolor*) varieties adopt strongly contrasting strategies in response to drought. **Physiologia Plantarum**, Copenhagen, v. 152, n. 2, p. 389-401, 2014.

OLIVEIRA LNL DE, ROCHA RB, FERREIRA FM, et al. Selection of *Coffea canephora* parents from the botanical varieties Conilon and Robusta for the production of intervarietal hybrids. p.1–7, 2018.

OLIVEIRA, ICM, MARÇAL, TS, BERNARDINO, KC, RIBEIRO, PCO, PARRELLA, RAC, CARNEIRO, PCS. Capacidade combinatória de linhagens de sorgo biomassa para caracteres agroindustriais e seleção multicausal de híbridos fotossensíveis para cogeração de energia. **Crop Science** v. 59, p. 1554-1566, 2019.
OSAKABE, Y.; OKASABE, K.; SHINOZAKI, K.; TRAN, L.P. Response of plants to water stress. **Frontiers in Plant Science**. Tsukuba v. 5, n. 86, 2014.

PARTELLI FL, OLIOSI G, DALAZEN JR, SILVA CA, VIEIRA HD, ESPINDULA MC. Proportion of ripe fruit weight and volume to green coffee: Differences in 43 genotypes of *Coffea canephora*. **Agronomy Journal**, 113(2): p.1050-1057, 2021.

PASSIOURA, J. B. Grain yield, harvest index and water use of wheat. **Journal of Australian Institute of Agricultural Science** v. 43, p. 117–120, 1977.

PAULO, E.M.; FURLANI JUNIOR, E.; FAZUOLI, L.C. Comportamento de cultivares de cafeeiro em diferentes densidades de plantio. **Bragantia**, v. 64, n. 3, p. 397-409, 2005.

PEREIRA, A.A.; MORAIS, A.R.; SCALCO, M.S.; FERNANDES, T.J. Modelagem do diâmetro de copa do cafeeiro podado cultivado em diferentes densidades e regimes hídricos. **Coffee Science**, v. 11, n. 4, p. 495-501, 2016.

PETEK, Marcos Rafael, Tumoru Sera, and Inês Cristina de Batista Fonseca. “Exigências climáticas para o desenvolvimento e maturação dos frutos de cultivares de *Coffea arabica*.” **Bragantia** v. 68: p. 169-181, 2009.

PETERSON, T. A.; BLACKMER, T. M.; FRANCIS, D. D.; SCHEPERS, J. S. Using a Chlorophyll Meter to Improve N Management. Historical Materials from University of Nebraska, **Lincoln Extension**, p.1-7, 1993.

PILON, CRISTIANE; et. Al., J. Assessing stomatal and non-stomatal limitations to carbon assimilation under progressive drought in peanut (*Arachis hypogaea* L.). **Journal of Plant Physiology**, 231: 124–134. 2018.

PIMENTEL GOMES, F. Curso de Estatística Experimental. São Paulo: Nobel, 1985. p. 467, R Core Team. R: A language and environment for statistical computing. **R Foundation for Statistical Computing**, Vienna, Austria, 2018.

PINHEIRO, H. A. Physiological and morphological adaptations as associated with drought tolerance in robusta coffee (*Coffea canephora* Pierre var. Kouillou). 2004.

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.

POMPELLI, M.F., MARTINS, S.C.V., ANTUNES, W.C., CHAVES, A.R.M., DAMATTA, F.M. Photosynthesis and photoprotection in coffee leaves is affected by nitrogen and

light availabilities in winter conditions. **Journal of Plant Physiology**, v. 167, p. 1052-1060, 2010. DOI: <https://dx.doi.org/10.1016/j.jplph.2010.03.001>.

PRIORI, D; BARBIERI, RL; MISTURA, CC; VILLELA, JCB. Caracterização morfológica de variedades crioulas de abóboras do sul do Brasil. **Revista Ceres** v. 65: p. 337–345, 2018.

R CORE TEAM. R: A language and environment for statistical computing and graphics. **R Foundation for Statistical Computing**, 2022.

RAMALHO, J.C.; PAIS, I.P.; LEITÃO, A.E.; GUERRA, M.; REBOREDO, F.H.; MÁGUAS, C.; DAMATTA, F.M. Can Elevated Air [CO₂] Conditions Mitigate the Predicted Warming Impact on the Quality of Coffee Bean? **Frontiers in Plant Science**, v. 9: art. 287, 2018.

RAUF, Saeed et al. Breeding strategies to enhance drought tolerance in crops. In: *Advances in plant breeding strategies: agronomic, abiotic and biotic stress traits*. **Springer**, Cham, p. 397-445, 2016.

REICHARDT, K; TIMM, L. C. **Solo Planta e Atmosfera: conceitos, processos e aplicações**. Barueri: Manole, 2004.

REGAZZI, A.J. Análise multivariada, notas de aula INF 766, **Departamento de Informática da Universidade Federal de Viçosa**, v.2, 2000.

REIS, A. R. D., FURLANI JUNIOR, E., BUZETTI, S., ANDREOTTI, M. Diagnóstico da exigência do cafeeiro em nitrogênio pela utilização do medidor portátil de clorofila. **Bragantia**, v. 65, p. 163-171, 2006.

RENA, A. B. A água na fisiologia do cafeeiro. In: SIMPÓSIO ESTADUAL DO CAFÉ, 3., 1998, Vitória. Anais. Vitória: CETCAF, p. 132-152, 1998 RENA, A.B.; GUIMARÃES, P.T.G. Sistema radicular do cafeeiro: estrutura, distribuição, atividade e fatores que o influenciam. Belo Horizonte: **EPAMIG**. p. 80, 2000.

RENA, A.B.; GUIMARÃES, P.T.G. Sistema radicular do cafeeiro: estrutura, distribuição, atividade e fatores que o influenciam. In: DE MELO, B.; DE SOUSA, L. B. Biologia da Reprodução de *Coffea arabica*. L. e *Coffea canephora* Pierre. **Revista Verde**, v. 6, p. 01-07, 2011.

RIBAS A. F., PEREIRA, L. F. P., e VIEIRA, L. G. E. Genetic transformation of coffee. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, 18(1), 83-94, 2006.

RICCI, M. dos S. F. et al. Vegetative and productive aspects of organically grown coffee cultivars under shaded and unshaded systems. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 68, n. 4, p.424-430, 2011.

RICCI, Marta S. F., DAVID G. C. JUNIOR, e DELGADO A. F. F. “Condições microclimáticas, fenologia e morfologia externa de cafeeiros em sistemas arborizados e a pleno sol.”, 2013.

ROCHA, J. R. A. S. C., Nunes, K. V., Carneiro, A. L. N., Marçal, T. D. S., Salvador, F. V., Carneiro, P. C. S. & Carneiro, J. E. S. 2019. Selection of superior inbred progenies toward the common bean ideotype. **Agronomy Journal**, 11, 1181–1189.

ROCHA, JRASC, MACHADO, JC e CARNEIRO, PCS. Índice multicaracterística baseado em análise fatorial e ideotipo-design: Proposta e aplicação no melhoramento do capim-elefante para bioenergia. **Global Change Biology Bioenergy**, 10, p. 52-60,2018.

ROCHA, R.B.; VIEIRA, D.S.; RAMALHO, A.R.; TEIXEIRA, A.L. Caracterização e uso da variabilidade genética de banco ativo de germoplasma de *Coffea canephora* Pierre ex Froehner. **Coffee Science**, v. 8, n. 4, p. 478-485, 2013. DOI: <http://dx.doi.org/10.25186/cs.v8i4.504>.

RODRIGUES RR, PIZETTA SC, SILVA NKC, RIBEIRO WR, DOS REIS EF. Growth initial conilon coffee under water deficit in soil. **Coffee Science**, 11(1):p.33-38, 2016.

RODRÍGUEZ-LÓPEZ, N. F.; CAVATTE, P. C.; SILVA, P. E.; MARTINS, S. C.; RONCHI, C. P.; DAMATTA, F. M. Aspectos fisiológicos do café conilon. In: FER-RÃO, G. F. et al. (Orgs.). Café Conilon. Vitória: **Incaper**, p. 94-119, 2007.

RONCHI, C.P.; ARAÚJO, F.C.; ALMEIDA, W.L.; SILVA, M.A.A.; Respostas ecofisiológicas de cafeeiros submetidos ao déficit hídrico para concentração da florada no Cerrado de Minas Gerais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 50, n. 1, p. 24-32, 2015.

RUTTANAPRASERT, R.; BANTERNG, P.; JOGLOY, S.; Diversity of physiological traits in Jerusalem artichoke genotypes under non-stress and drought stress. **Pakistan Journal of Botany**, v. 48, n. 1, p.11-20, 2016.

SAGE, R. HOW terrestrial organisms sense, signal and respond to carbon dioxide. **Integrative and Comparative Biology**, 42:469-480., 2002.

SANCHITA.; SINGH, R.; MISHRA, A.; DHAWAN, S.S.; SHIRKE, P.A.; GUPTA, M.M.; SHARMA, A. Physiological performance, secondary metabolite and expression profiling of genes associated with drought tolerance in *Withania somnifera*. **Protoplasma**. v. 252, n. (6), p. 1439-50, 2015.

SANTOS A. V., ROCHA R. B., FERNANDES C. F., et al; Reaction of *Coffea canephora* clones to the root knot nematode, *Meloidogyne incognita*, 2017.

SANTOS, M. O. et al. Photochemical efficiency correlated with candidate gene expression promote coffee drought tolerance. **Scientific Reports**, v. 11, n. 1, p. 1-14, 2021.

SANTOS, T. T.; SANTOS, M.; MENDONÇA, M.; SILVA JUNIOR, C.; SILVAMANN, R.; ARRIGONI-BLANK, M. D. F.; BLANK, A. F. Efeito do estresse hídrico na produção de massa foliar e teor de óleo essencial em sambacaitá (*Hyptis pectinata* L.). **Anais do Congresso Brasileiro de Olericultura**, Campo Grande: SOB, v. 22, p. 1- 4, 2004.

SCHNEIDER, H.M.; LYNCH, J.P. Should root plasticity be a crop breeding target? **Frontiers in Plant Science**. v. 11, p. 546, 2020.

SCHOLANDER, P. F et al. Sap pressure in vascular plants. **Science, Washington**, v. 148, n. 3668, p. 339-46, Apr. 1965.

SEMEDO J. N., RODRIGUES A. P., LIDON F. C., PAIS I. P., MARQUES I., GOUVEIA D., RAMALHO J. C. Intrinsic non-stomatal resilience to drought of the photosynthetic apparatus in *Coffea* spp. is strengthened by elevated air [CO₂]. **Tree Physiology**, 41(5): p.708-727, 2021.

SERRANO A. L., GOLÇALVES R. S., GONÇALVES A. O. Avaliação do impacto de políticas públicas federais no processo de desmatamento na Amazônia. **Revista de Administração e Negócios da Amazônia**, 5(1): p.1-19, 2013.

SILVA C. A., SANTOS E. A., VIANA A. P. DIAS J. R. M., PARTELLI F. L. Genetic diversity in *Coffea canephora* genotypes for leaf nutrient concentration. **Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias**, UNCuyo, 53(1): p.22-34, 2021.

SILVA L. O. E., SCHMIDT R., VALANI G. P. FERREIRA A., RIBEIRO B. A., e PARTELLI F. L. Root trait variability in *Coffea canephora* genotypes and its relation to plant height and crop yield. **Agronomy**, 10(9), p. 1394, 2020.

SILVA, J. G. F.; REIS, E. F. Irrigação do cafeeiro conilon. In: FERRÃO, R. G. et al. Café conilon. Vitória: Incaper, p. 345-389, 2007.

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

SILVA, D. V.; ANJOS, L.; BRITO R., E.; DALMOLIN, A. C.; MILKE, M. S. Calibration of a multi-species model for chlorophyll estimation in seedlings of 74 Neotropical tree species using hand-held leaf absorbance meters and spectral reflectance. **Forest Biogeosciences and Forestry**, v. 9, n. 5, p.829-834, 2015.

SILVA, M. J., CARNEIRO, P. C. S., CARNEIRO, J. E. S., DAMASCENO, C. M. B., PARRELLA, N. N. L. D., PASTINA, M. M., PARRELLA, R. A. C. Avaliação do potencial de linhagens e híbridos de sorgo biomassa. **Culturas e produtos industriais**, 125, 379–385, 2018.

SILVA, P. E. M. et al. The functional divergence of biomass partitioning, carbon gain and water use in *Coffea canephora* in response to the water supply: Implications for breeding aimed at improving drought tolerance. **Environmental and Experimental Botany**, n. 87, p. 49-57, 2013.

SILVA, P.A.; COSME, V.S.; RODRIGUES, K.C.B.; DETMANN, K.S.C.; LEÃO, F.M.; CUNHA, R.L.; BUSELLI, R.A.F.; DAMATTA, F.M.; PINHEIRO, H.A. Drought tolerance in two oil palm hybrids as related to adjustments in carbon metabolism and vegetative growth. **Acta Physiologiae Plantarum**, 39(2): p.58, 2017.

SILVA, V. A.; ANTUNES, W. C.; GUIMARÃES, B. L. S.; PAIVA, R. M. C.; SILVA, V. F.; FERRÃO, M. A. G.; DAMATTA, F. M. LOUREIRO, M. E. Resposta fisiológica de clone de café conilon sensível à deficiência hídrica enxertado em porta-enxerto tolerante. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 45, n. 5, p. 457-464, 2010.

SILVAROLLA, M. B.; MAZZAFERA, P.; FAZUOLI, L. C. A naturally decaffeinated arabica coffee. *Nature*, London, v. 429, p. 826, 2004. In: CARVALHO, C. H. S. Cultivares de café: origem, características e recomendações. Brasília: **Embrapa Café**, p. 334, 2008.

SILVAROLLA, M.B.; TOMA-BRAGHINI, M. Divergência genética entre progênies de café robusta. **Bragantia**, v. 67, n. 4, p. 823-831, 2008.

SIMON G. A., POJOGA, M. D., CONSTANTIN, N., e DUTA C. G. Genetic Engineering in Coffee. In *Caffeinated and Cocoa Based Beverages* (pp. 447- 488). **Woodhead Publishing**. 2019.

SOUSA T. V., CAIXETA E. T., ALKIMIM E. R. Molecular markers useful to discriminate *Coffea arabica* cultivars with high genetic similarity. **Euphytica**, 213: p.75, 2018.

SOUZA F. F., CAIXETA E.T., FERRÃO L. F. V., PENA G. F., SAKIYAMA N. S., ZAMBOLIM L., CRUZ C. D. Molecular diversity in *Coffea canephora* germplasm

conserved and cultivated in Brazil. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, 13: p.221– 227, 2013.

SOUZA S. F. B. Respostas morfofisiológicas e herança materna para tolerância à seca em progênies de café conilon. **Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento)** -Universidade Federal do Espírito Santo, Alegre. p. 96, 2017.

STEFFENS, B.; STEFFENHEINS, A.; SAUTER, M. Reactive oxygen species mediate growth and death in submerged plants. **Frontiers in Plants Science**, Lausanne, v. 4, p. 179, June 2013.

TAIZ, Lincoln et al. **Fundamentos de Fisiologia Vegetal-6**. Artmed Editora, 2021.

TALHINHAS P., BATISTA D., DINIZ I., VIEIRA A., SILVA D. N., LOUREIRO A., TAVARES S., PEREIRA A. P., AZINHEIRA H. G., GUERRA G. L., et al. The coffee leaf rust pathogen *Hemileia vastatrix*: one and a half centuries around the tropics. **Mol Plant Pathol**. 18(8): p.1039–1051, 2017.

TALLAHASSEE. STATISTIX, Statistix 9.0. **Analytical software**. USA, 2008.

TANURE, T. M. P. **Mudanças climáticas e agricultura no Brasil**; “Impactos econômicos regionais e por cultivo familiar e patronal”. 2020.

TEIXEIRA, A. L.; GONÇALVES, F. M. A.; REZENDE, J. C.; CARVALHO, S. P.; PEREIRA, A. A.; MORAES, B. F. X.; TEIXEIRA, L. G. V. Seleção precoce para produção de grãos em café arábica pela avaliação de caracteres morfológicos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 47, n. 8, p. 1110-1117, 2012.

THIOUNE EH, STRICKLER S, GALLAGHER T, CHARPAGNE A, Decombes P, Osborne B, McCarthy J. Temperature impacts the response of *Coffea canephora* to decreasing soil water availability. **Tropical Plant Biology**, 13(3): p.236-250, 2020.

TOMAZ, M. A.; SAKIYAMA, N. S.; MARTINEZ, H. E. P.; CRUZ, C. D.; PEREIRA, A. A.; FREITAS, R. S. Porta-enxertos afetando o desenvolvimento de plantas de *Coffea arabica* L. **Ciência Rural**, v. 35, n. 3, p. 570-575, 2005.

VALADARES, F. V.; SANTOS, R. M.; DUTRA, I. P.; SOUZA N., J. D.; MOULIN, M. M. Análise morfoagronômica e molecular das cultivares de café do IFES campus de Alegre. **Enciclopédia Biosfera**, v. 13, n. 23, p. 87-102, 2016.

VAN OIJEN, M. e HOGLIND, M. Rumo a um procedimento bayesiano para o uso de modelos baseados em processos no melhoramento de plantas, com aplicação ao design de ideotipos. **Euphytica**, 207, p.627-643, 2016.

VENANCIO L. P., FILGUEIRAS R., MANTOVANI E. C., AMARAL C. H., CUNHA F. F., SANTOS F. C., CAVATTE P. C. Impact of drought associated with high temperatures on *Coffea canephora* plantations: a case study in Espírito Santo State, Brazil. **Scientific Reports**, 10(1): p.1-21, 2020.

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.

VIEIRA, N. et al. Different molecular mechanisms account for drought tolerance in *Coffea canephora* var. Conilon. **Tropical plant biology**, v. 6, n. 4, p. 181-190, 2013.

VIZZOTO, M.; KROLOW, A. C.; WEBER, G. E. B. Metabólitos secundários encontrados em plantas e sua importância. Documento: **Embrapa Clima Temperado**, Pelotas, n. 316, p. 7-15, 2010.

WALTER, L. C.; ROSA, H. T.; STRECK, N. A. Mecanismos de aclimação das plantas à elevada concentração de CO₂. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.45, n.9, p.1564-1571, set, 2015.

WANG, B. WEIWEI C. A. I. B., JIANLING L. I. A., C., YUNFAN WANA, YU'E LIA, CHEN GUOD, ANDREAS WILKESA, SONGCAI YOUA, XIAOBO QINA, QINGZHU GAOA, KAIWEN LIU. Leaf photosynthesis and stomatal conductance acclimate to elevated [CO₂] and temperature thus increasing dry matter productivity in a double rice crop-ping system. **Field Crops Research**, 248, 2020.

WEI, T; SIMKO V. **R package 'corrplot': visualization of a correlation**, 2021.

WICKHAM, HADLEY; WINSTON Chang. **Ggplot2: R package version 2.2.1.**, 2016.

WILHELM, C.; SELMAR, D. Energy dissipation is an essential mechanism to sustain the viability of plants: The physiological limits of improved photosynthesis. **Journal of Plant Physiology**, v. 168, n.2, p.79-87, 2011.

WOLF, S.; GREINER, S. Growth control by cell wall pectins. *Protoplasma*, 249, 169–175, 2012.

WOYANN, L. G., MEIRA, D., ZDZIARSKI, A. D., MATEI, G., MILILOI, A. S., ROSA, A. C., ... BENIN, G. Seleção multicaracterística da soja para produção de biodiesel no Brasil. **Culturas e produtos industriais**, 140, 111721, 2019.

XU, L.; YU, J.; HAN, L.; HUANG, B. Photosynthetic enzyme activities and gene expression associated with drought tolerance and post-drought recovery in Kentucky bluegrass. **Environmental and Experimental Botany**. v. 89, p. 28–35, 2013.

YAMORI, W., HIKOSAKA, K. W. A. Temperature response of photosynthesis in C3, C4, and CAM plants: temperature acclimation and temperature adaptation. **Photosynth. Res.** 119, 101–117, 2013.

ZANDALINAS, S.I.; MITTLER, R. Plant responses to multifactorial stress combination. **New Phytologist**. v. 234, n. (4), p. 1161-1167, 2022.

ZANGALINA, S. I.; FRITSCHI, F. B.; MITTLER, R. Global Warming, Climate Change, and Environmental Pollution: Recipe for a Multifactorial Stress Combination Disaster. Trends in **Plant Science**, June, Vol. 26, No. 6, 2021.

ZLATEV, Z.; CEBOLA LIDON, F. An overview on drought induced changes in plant growth, water relations and photosynthesis. Emir. J. **Food Agric.** 24, 57–72, 2012.

ZONTA, J. H. et al. Influência de diferentes turnos de rega e doses de hidroabsorvente no desenvolvimento inicial da cultura do café conillon (*Coffea canephora* Pierre). **IDESIA**, Arica, v. 27, n. 3, p. 29-34, 2009.

9.ANEXOS

Tabela 1 - Resumo da análise de variância para interação I*NE e os desdobramentos da interação de NE dentro de cada nível de I sobre altura das plantas (ALT), diâmetro do caule (DIM), comprimento do ramo plagiotrópico em condição irrigada e de estresse hídrico nos clones de *C. canephora*

FV	GL	Quadrados Médios		
		ALT (cm)	DIM (mm)	CRP (cm)
I x NE	10	1308,99*	176,19*	221,15*
I: NE - Controle	5	1960,02*	210,92*	293,11*
I x NE - Estresse	5	657,95*	141,46*	149,20*
I x NE	6	743,98*	10,53*	38,25*
NE0	1	102,98*	0,80	0,12
NE25	1	137,06*	1,39	7,69
NE40	1	228,57*	1,18	15,93
NE55	1	629,85*	8,14	19,09
NE70	1	1572,00*	17,88*	93,34*
NE0R	1	1793,44*	33,79*	93,34*
Resíduos	5	14,78	2,32	9,80

* Significativo ($p < 0.05$). I= Irrigação; NE= níveis de estresse hídrico;

Tabela 2 - Resumo da análise de variância para interação (C*NE) e os desdobramentos da interação de (C) dentro de cada nível de (NE) sobre altura das plantas (ALT) e comprimento do ramo plagiotrópico (CRP) nos clones de *C. canephora*

FV	GL	Quadrados Médios	
		ALT (cm)	CRP (cm)
C x NE	70	180,95*	33,54*
Clone 120	5	193,79*	18,31*
Clone 109	5	192,72*	39,33*
Clone 3T	5	114,57*	28,13*
Clone P6	5	186,18*	34,30*
Clone 7T	5	122,63*	38,07*
Clone P2	5	239,66*	71,57*
Clone 4S	5	400,99*	81,29*
Clone P10	5	109,96*	25,25*
Clone 1T	5	111,20*	11,65*
Clone 6T	5	130,76*	28,87*
Clone P50	5	131,26*	23,96*
Clone P40	5	173,73*	24,1*
Clone 44S	5	163,30*	9,37*
Clone P59	5	262,63*	35,37*
NE x C	78	119,63*	16,45*
NE0	13	107,72*	12,71
NE25	13	110,43*	9,20
NE40	13	102,45*	12,64
NE55	13	116,00*	16,14*
NE70	13	131,83*	24,00*
NE0R	13	149,33*	24,00*
Resíduos	104	20,69	7,41

* Significativo ($p < 0.05$). I= Irrigação; C= clones de conilon; NE= níveis de estresse hídrico.

Tabela 3 - Resumo da análise de variância para interação (NE)* (C e I) e os desdobramentos da interação de (C)* (I e NE) sobre área foliar das plantas (AF), em condição irrigada e de estresse hídrico nos clones de *C. canephora*

FV NE x (C e I)	GL 84	Quadrados Médios					
		0,01*					
		NE0	NE25	NE40	NE55	NE70	NE0R
Clone 120	1	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,01
Clone 109	1	0,00*	0,00	0,01	0,00	0,04*	0,00
Clone 3T	1	0,00	0,01	0,23*	0,00	0,05*	0,03*
Clone P6	1	0,00	0,02*	0,00	0,00	0,05*	0,00
Clone 7T	1	0,00	0,07*	0,02*	0,00	0,10*	0,00
Clone P2	1	0,00	0,00	0,02*	0,02*	0,00	0,00
Clone 4S	1	0,05*	0,00	0,02*	0,04*	0,00	0,00
Clone P10	1	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00
Clone 1T	1	0,01	0,01	0,01	0,00	0,01	0,00*
Clone 6T	1	0,00	0,01	0,22*	0,00	0,00	0,03*
Clone P50	1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00
Clone P40	1	0,00	0,10*	0,00	0,00	0,04*	0,00
Clone 44S	1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03*	0,00
Clone P59	1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05*	0,00
Resíduo	140	0,004					
C x (I e NE)	140	0,03*					
Resíduo	140	0,007					

* Significativo ($p < 0.05$). I= Irrigação; C= clones de conilon; NE= níveis de estresse hídrico.

Tabela 4. Média da área foliar dos desdobramentos da interação da (I) dentro dos (C) e das avaliações dos (NE) e de (C dentro de I e NE) nos clones de *C. canephora* (Continua)

		I (C e NE)						C x (I e NE)					
		NE0	NE25	NE40	NE55	NE70	NE0R	NE0	NE25	NE40	NE55	NE70	NE0R
Clone 120	Controle	0,27 a	0,36 a	0,40 a	0,48 a	0,48 a	0,47 a	0,27 a	0,36 a	0,40 a	0,48 a	0,48 a	0,48 ab
	Estresse	0,25 a	0,34 a	0,38 a	0,44 a	0,45 a	0,45 a	0,25 a	0,34 a	0,38 a	0,45 a	0,45 a	0,45 ab
Clone 109	Controle	0,36 a	0,48 a	0,53 a	0,58 a	0,58 a	0,49 a	0,32 a	0,37 a	0,43 a	0,47 a	0,50 a	0,49 ab
	Estresse	0,32 a	0,37 b	0,43 b	0,47 b	0,50 a	0,41 a	0,36 a	0,48 a	0,53 a	0,58 a	0,58 a	0,41 ab
Clone 3T	Controle	0,32 a	0,40 a	0,43 a	0,50 a	0,53 a	0,56 a	0,29 a	0,40 a	0,43 a	0,50 a	0,53 a	0,56 ab
	Estresse	0,29 a	0,38 a	0,41 a	0,47 a	0,47 a	0,50 a	0,32 a	0,38 a	0,41 a	0,47 a	0,47 a	0,50 a
Clone P6	Controle	0,34 a	0,43 a	0,47 a	0,56 a	0,61 a	0,52 a	0,34 a	0,43 a	0,47 a	0,56 a	0,61 a	0,52 ab
	Estresse	0,30 a	0,38 a	0,42 a	0,50 a	0,50 b	0,36 b	0,30 a	0,38 a	0,42 a	0,50 a	0,53 a	0,37 ab
Clone 7T	Controle	0,36 a	0,43 a	0,46 a	0,58 a	0,60 a	0,51 a	0,36 a	0,43 a	0,46 a	0,58 a	0,60 a	0,51 ab
	Estresse	0,30 a	0,41 a	0,43 a	0,51 a	0,53 a	0,37 b	0,30 a	0,41 a	0,43 a	0,51 a	0,53 a	0,37 ab
Clone P2	Controle	0,38 a	0,47 a	0,51 a	0,59 a	0,59 a	0,57 a	0,38 a	0,47 a	0,51 a	0,59 a	0,48 a	0,57 ab
	Estresse	0,25 b	0,30 b	0,36 b	0,43 b	0,43 b	0,34 b	0,25 a	0,30 a	0,36 a	0,43 a	0,43 a	0,34 ab
Clone 4S	Controle	0,23 a	0,29 a	0,37 a	0,46 a	0,48 a	0,45 a	0,23 a	0,29 a	0,37 a	0,46 a	0,52 a	0,45 b
	Estresse	0,22 a	0,29 a	0,32 a	0,38 a	0,40 a	0,33 b	0,22 a	0,29 a	0,32 a	0,38 a	0,40 a	0,33 ab
Clone P10	Controle	0,32 a	0,42 a	0,45 a	0,52 a	0,52 a	0,49 a	0,31 a	0,39 a	0,45 a	0,52 a	0,52 a	0,49 ab
	Estresse	0,31 a	0,39 a	0,44 a	0,50 a	0,48 a	0,35 b	0,32 a	0,42 a	0,44 a	0,50 a	0,48 a	0,35 ab
Clone 1T	Controle	0,34 a	0,44 a	0,47 a	0,52 a	0,52 a	0,49 a	0,29 a	0,40 a	0,43 a	0,50 a	0,51 a	0,49 ab
	Estresse	0,29 a	0,40 a	0,43 a	0,50 a	0,51 a	0,33 b	0,34 a	0,44 a	0,47 a	0,52 a	0,52 a	0,33 ab

Tabela 4. Média da área foliar dos desdobramentos da interação da (I) dentro dos (C) e das avaliações dos (NE) e de (C dentro de I e NE) nos clones de *C. canephora* (Conclusão)

		I (C e NE)						C x (I e NE)					
		NE0	NE25	NE40	NE55	NE70	NE0R	NE0	NE25	NE40	NE55	NE70	NE0R
Clone 6T	Controle	0,30 a	0,39 a	0,42 a	0,48 a	0,49 a	0,47 a	0,30 a	0,48 a	0,42 a	0,48 a	0,49 a	0,47 ab
	Estresse	0,30 a	0,36 a	0,41 a	0,48 a	0,49 a	0,36 a	0,30 a	0,36 a	0,41 a	0,48 a	0,49 a	0,30 ab
Clone P50	Controle	0,40 a	0,48 a	0,51 a	0,62 a	0,62 a	0,56 a	0,40 a	0,48 a	0,51 a	0,62 a	0,62 a	0,56 ab
	Estresse	0,36 a	0,39 a	0,47 a	0,55 a	0,56 a	0,33 b	0,36 a	0,39 a	0,47 a	0,55 a	0,56 a	0,33 ab
Clone P40	Controle	0,34 a	0,43 a	0,47 a	0,55 a	0,60 a	0,53 a	0,33 a	0,43 a	0,47 a	0,55 a	0,60 a	0,53 ab
	Estresse	0,33 a	0,41 a	0,43 a	0,48 a	0,48 b	0,33 b	0,34 a	0,41 a	0,43 a	0,48 a	0,48 a	0,33 ab
Clone 44S	Controle	0,31 a	0,39 a	0,45 a	0,55 a	0,56 a	0,67 a	0,30 a	0,37 a	0,45 a	0,55 a	0,56 a	0,67 a
	Estresse	0,30 a	0,37 a	0,41 a	0,47 a	0,47 a	0,33 b	0,31 a	0,39 a	0,41 a	0,47 a	0,47 a	0,33 ab
Clone P59	Controle	0,33 a	0,42 a	0,45 a	0,51 a	0,57 a	0,62 a	0,31 a	0,42 a	0,45 a	0,51 a	0,57 a	0,62 ab
	Estresse	0,31 a	0,41 a	0,43 a	0,49 a	0,49 a	0,28 b	0,33 a	0,41 a	0,43 a	0,49 a	0,49 a	0,28 b

*Comparação entre linhas e para mesma variável. Médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna e maiúsculas na linha não diferem pelo teste Tukey ($p < 0.05$). NE= nível de estresse; (NE0) = 100% irrigação; (NE25) = 75%; (NE40) = 60%; (NE55) = 45%; (NE70) = 30%; e (NE0R) 100% irrigação na recuperação.

Tabela 5. Média da área foliar do desdobramento da interação das análises de (NE) para os níveis de (I) e os (C) nos clones de *C. canephora*

FV	GL	QM	Média						
			NE0	NE25	NE40	NE55	NE70	NE0R	
NE x (I - C)	140	0,03*							
Clone 120	5	Controle	0,03*	0,27 c	0,36 bc	0,40 ab	0,48 a	0,48 a	0,47 a
	5	Estresse	0,02*	0,25 c	0,34 bc	0,38 ab	0,44 a	0,45 a	0,45 a
Clone 109	5	Controle	0,01*	0,32 c	0,37 bc	0,43 ab	0,47 ab	0,50 a	0,49 a
	5	Estresse	0,03*	0,36 d	0,48 bc	0,53 ab	0,58 a	0,58 a	0,41 cd
Clone 3T	5	Controle	0,03*	0,29 d	0,40 c	0,43 bc	0,50 ab	0,53 a	0,56 a
	5	Estresse	0,01*	0,32 c	0,38 bc	0,41 abc	0,47 ab	0,47 ab	0,50 a
Clone P6	5	Controle	0,03*	0,34 d	0,43 cd	0,47 bc	0,56 ab	0,61 a	0,52 abc
	5	Estresse	0,02*	0,30 c	0,38 bc	0,42 ab	0,50 a	0,50 a	0,36 bc
Clone 7T	5	Controle	0,03*	0,36 c	0,43 bc	0,46 bc	0,58 a	0,60 a	0,51 ab
	5	Estresse	0,02*	0,30 c	0,41 b	0,43 ab	0,51 a	0,53 a	0,37 bc
Clone P2	5	Controle	0,02*	0,38 c	0,47 bc	0,51 ab	0,59 a	0,59 a	0,57 a
	5	Estresse	0,01*	0,25 c	0,30 bc	0,36 ab	0,43 a	0,43 a	0,34 abc
Clone 4S	5	Controle	0,04*	0,23 d	0,29 cd	0,37 bc	0,46 ab	0,48 a	0,45 ab
	5	Estresse	0,01*	0,22 c	0,29 bc	0,32 ab	0,38 ab	0,40 a	0,33 ab
Clone P10	5	Controle	0,02*	0,31 c	0,39 bc	0,45 ab	0,52 a	0,52 a	0,49 a
	5	Estresse	0,01*	0,32 c	0,42 abc	0,44 ab	0,50 a	0,48 a	0,35 bc
Clone 1T	5	Controle	0,02*	0,29 c	0,40 b	0,43 ab	0,50 ab	0,51 a	0,49 ab
	5	Estresse	0,02*	0,34 b	0,44 a	0,47 a	0,52 a	0,52 a	0,33 b
Clone 6T	5	Controle	0,02*	0,30 c	0,39 bc	0,42 ab	0,48 ab	0,49 a	0,47 ab
	5	Estresse	0,02*	0,30 c	0,36 bc	0,41 ab	0,48 a	0,49 a	0,30 c
Clone P50	5	Controle	0,02*	0,40 c	0,48 bc	0,51 b	0,62 a	0,62 a	0,56 ab
	5	Estresse	0,03*	0,26 c	0,39 bc	0,47 ab	0,55 a	0,56 a	0,33 c
Clone P40	5	Controle	0,03*	0,33 d	0,43 cd	0,47 bc	0,55 ab	0,60 a	0,53 abc
	5	Estresse	0,01*	0,24 bc	0,41 abc	0,43 ab	0,48 a	0,48 a	0,33 c
Clone P44	5	Controle	0,07*	0,30 d	0,37 cd	0,45 c	0,55 b	0,56 b	0,67 a
	5	Estresse	0,01*	0,31 c	0,39 bc	0,41 ab	0,47 ab	0,47 a	0,33 bc
Clone P59	5	Controle	0,04*	0,31 d	0,42 c	0,45 c	0,51 bc	0,57 ab	0,62 a
	5	Estresse	0,02*	0,33 bc	0,41 abc	0,43 ab	0,49 a	0,49 a	0,28 c
Resíduo	420				0,002				

*Comparação entre linhas e para mesma variável. Médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna e maiúsculas na linha não diferem pelo teste Tukey ($p < 0.05$). NE= nível de estresse; (NE0) = 100% irrigação; (NE25) = 75%; (NE40) = 60%; (NE55) = 45%; (NE70) = 30%; e (NE0R) 100% irrigação na recuperação.