

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO UNIVERSITÁRIO NORTE DO ESPÍRITO SANTO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRICULTURA TROPICAL**

CARLA EFFEGEM

**EFICIÊNCIA DO USO DE ÁGUA E INDICADORES
FISIOLÓGICOS NO CAFEIRO CONILON IRRIGADO
COM MOLHAMENTO ALTERNADO DO SISTEMA
RADICULAR**

São Mateus - ES

Abril de 2022

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO UNIVERSITÁRIO NORTE DO ESPÍRITO SANTO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRICULTURA TROPICAL**

CARLA EFFEGEM

**EFICIÊNCIA DO USO DE ÁGUA E INDICADORES
FISIOLÓGICOS NO CAFEIEIRO CONILON IRRIGADO
COM MOLHAMENTO ALTERNADO DO SISTEMA
RADICULAR**

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

Orientador: Prof. Dr. Robson Bonomo

São Mateus - ES

Abril de 2022

CARLA EFFEGEM

EFICIÊNCIA DO USO DE ÁGUA E INDICADORES FISIOLÓGICOS NO CAFEIEIRO CONILON IRRIGADO COM MOLHAMENTO ALTERNADO DO SISTEMA RADICULAR

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

Aprovada em 28 de abril de 2022.

COMISSÃO EXAMINADORA

Documento assinado digitalmente
 ROBSON BONOMO
Data: 09/05/2022 10:22:54-0300
Verifique em <https://verificador.iti.br>

Prof. Dr. Robson Bonomo (CEUNES/UFES)
Presidente

Documento assinado digitalmente
 JOABE MARTINS DE SOUZA
Data: 06/05/2022 11:49:29-0300
Verifique em <https://verificador.iti.br>

Prof. Dr. Joabe Martins de Souza (PPGAT/UFES)
Examinador Interno

Documento assinado digitalmente
 DANIEL FONSECA DE CARVALHO
Data: 05/05/2022 21:10:35-0300
Verifique em <https://verificador.iti.br>

Prof. Dr. Daniel Fonseca de Carvalho (UFRRJ)
Examinador Externo

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

E27e Effegem, Carla, 1992-
Eficiência do uso de água e indicadores fisiológicos no cafeeiro Conilon irrigado com molhamento alternado do sistema radicular / Carla Effegem. - 2022.
56 f. : il.

Orientador: Robson Bonomo.

Coorientador: Joabe Martins de Souza.

Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical) -
Universidade Federal do Espírito Santo, Centro Universitário Norte do Espírito Santo.

1. Manejo de irrigação com secamento parcial do sistema radicular em lavoura de cafeeiro Conilon irrigado por gotejamento. 2. Indicadores fisiológicos do cafeeiro Conilon submetido ao secamento parcial do sistema radicular. I. Bonomo, Robson. II. Martins de Souza, Joabe. III. Universidade Federal do Espírito Santo. Centro Universitário Norte do Espírito Santo. IV. Título.

CDU: 63

A Deus pelo seu infinito poder, amor e sabedoria. Aos meus pais, pelos ensinamentos, princípios e exemplos de vida. Aos meus irmãos e namorado pelo incentivo e compreensão.

Dedico!

À comunidade científica

Ofereço!

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, por me conceder a graça da vida e por ser luz em minha caminhada; por me dar forças e muita persistência para lutar sempre e não me deixar abater diante dos desafios e dificuldades e permitir que eu alcance meus objetivos;

Agradeço infinitamente à minha mãe Zélia e ao meu pai Antônio Carlos, pelos exemplos de vida e, mesmo distantes, sempre se mostraram participativos na minha formação pessoal e profissional, me apoiando em todos os momentos da minha vida, com suas orações e amor incondicional;

Aos meus irmãos, Rafael e Gabriela, pela amizade, carinho e força, e por estarem sempre presentes em minha caminhada, e aos meus cunhados pelo incentivo;

Ao meu namorado Pedro Júnior Zucatelli, pelo carinho, amor e compreensão.

Ao professor Dr. Robson Bonomo, pelos ensinamentos teórico e metodológico, por todo esforço e criatividade para o desenvolvimento do trabalho, pela compreensão, incentivo, amizade e contribuição para minha formação profissional.

A Universidade Federal do Espírito Santo, Campus São Mateus, e ao Programa de Pós-Graduação em Agricultura Tropical (PPGAT) pela oportunidade concedida para o mérito do título de mestre;

A Capes pela concessão da bolsa de estudos;

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Agricultura Tropical, por partilharem suas experiências de vida e conhecimentos;

Aos amigos e colegas da graduação e pós-graduação pela ajuda necessária para realização de todas as etapas do trabalho. De forma especial agradeço ao João Lucas, pelo apoio e pela ajuda imprescindível que me ofereceu ao longo do trabalho, e ao Joabe, por todo ensinamento no início do mestrado e na orientação para execução do experimento;

Aos amigos e colaboradores da Fazenda Experimental do CEUNES. Em especial ao Gleison Olios e Alex Campanharo, pelo suporte às diversas atividades para o desenvolvimento do experimento em campo;

Aos membros da banca pela disponibilidade e valiosa contribuição;

A todos que direta ou indiretamente contribuíram para meu crescimento, não só profissional, mas também e de não menor importância, pessoal. Muito obrigada!

*“Por vezes sentimos que aquilo que fazemos é apenas
uma gota no oceano. Mas, o oceano seria menor se lhe
faltasse uma gota.”*

Madre Teresa de Calcutá

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS	viii
LISTA DE FIGURAS	ix
RESUMO.....	x
ABSTRACT	xi
1. INTRODUÇÃO GERAL.....	1
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	2
2.1 Origem e importância econômica do cafeeiro Conilon.....	2
2.2 Otimização dos recursos hídricos	4
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	8
CAPÍTULO 1	12
MANEJO DE IRRIGAÇÃO COM SECAMENTO PARCIAL DO SISTEMA RADICULAR EM LAVOURA DE CAFEIEIRO CONILON IRRIGADO POR GOTEJAMENTO.....	12
1 RESUMO.....	13
2 ABSTRACT	13
3 INTRODUÇÃO	14
4 MATERIAL E MÉTODOS.....	15
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	18
6 CONCLUSÃO.....	24
7 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	24
CAPÍTULO 2	28
INDICADORES FISIOLÓGICOS DO CAFEIEIRO CONILON SUBMETIDO AO SECAMENTO PARCIAL DO SISTEMA RADICULAR.....	28
1 RESUMO.....	29
2 ABSTRACT	29
3 INTRODUÇÃO	30
4 MATERIAL E MÉTODOS.....	31
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	34
6 CONCLUSÃO.....	39
7 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	40
3. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	56

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO 1

Tabela 1. Análise física do solo da área experimental da linha e entrelinha do cafeeiro.....

Tabela 2.

Tabela 3. Valores médios para as variáveis comprimento do ramo ortotrópico e do ramo plagiotrópico, diâmetro do ramo ortotrópico e número de nós do ramo plagiotrópico do cafeeiro Conilon nos regimes de irrigação.....

Tabela 4. Resumo da análise de variância da produtividade, rendimento e eficiência do uso da água nos regimes de irrigação.....

Tabela 5. Valores médios para as variáveis produtividade, rendimento e eficiência do uso da água nos regimes de irrigação.....

Tabela 6. Percentual de grãos chatos, grãos moca e fundagem retidos em peneiras nos regimes de irrigação.....

CAPITULO 2

Tabela 1. Análise física do solo da área experimental da linha e entrelinha do cafeeiro.....

Tabela 2. Resumo da análise de variância do conteúdo relativo de clorofila (CRA), Clorofila *a* e *b* e total nos regimes de irrigação.....

Tabela 3. Valores médios para as variáveis conteúdo relativo de água (CRA), Clorofila *a* e *b* e total nos regimes de irrigação.....

Tabela 4. Resumo da análise de variância da fluorescência inicial (F_o), fluorescência máxima (F_m), fluorescência variável (F_v) e do rendimento quântico (F_v/F_m) nos regimes de irrigação.....

Tabela 5. Valores médios para as variáveis fluorescência inicial (F_o), fluorescência máxima (F_m), fluorescência variável (F_v) e do rendimento quântico (F_v/F_m) nos regimes de irrigação.....

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO 1

Figura 1. Precipitação pluvial mensal acumulada, lâmina bruta, temperatura do ar, Evapotranspiração de referência (ET_o) e da cultura (ET_c) para irrigação localizada, Fazenda Experimental CEUNES/UFES, São Mateus – ES.....

Figura 2. Taxa de crescimento dos ramos ortotrópicos do cafeeiro Conilon sob efeito dos tratamentos.....

Figura 3. Taxa de crescimento dos ramos plagiotrópicos do cafeeiro Conilon sob efeito dos tratamentos.....

CAPÍTULO 2

Figura 1. Precipitação pluvial mensal acumulada, lâmina bruta, temperatura do ar, Evapotranspiração de referência (ET_o) e da cultura (ET_c) para irrigação localizada, Fazenda Experimental CEUNES/UFES, São Mateus – ES.....

Figura 2. Índice de clorofila *a*, *b* e total nos regimes de irrigação.....

RESUMO

EFFEGEM, Carla; M.Sc.; Universidade Federal do Espírito Santo; Abril de 2022; **Eficiência do uso de água e indicadores fisiológicos no cafeeiro Conilon irrigado com molhamento alternado do sistema radicular**; Orientador: Robson Bonomo, Coorientador: Joabe Martins de Souza.

O presente trabalho teve como objetivo avaliar os efeitos da técnica do molhamento alternado do sistema radicular (APRI) radicular associado a estratégia de déficit hídrico sobre as variáveis fisiológicas, de crescimento, produtividade e eficiência do uso de água do cafeeiro Conilon. O experimento foi instalado e conduzido na Fazenda Experimental do Centro Universitário Norte do Espírito Santo, Universidade Federal do Espírito Santo, no município de São Mateus-ES. O experimento seguiu o delineamento em blocos casualizados com nove tratamentos ou nove estratégias de manejos de irrigação (APRI 3 - aplicação de 50 e 100% da evapotranspiração da cultura (ETc), com alternância de 3 dias; APRI 7 - aplicação de 50 e 100% da evapotranspiração da cultura (ETc), com alternância de 7 dias; APRI 14 - aplicação de 50 e 100% da evapotranspiração da cultura (ETc), com alternância de 14 dias; DI - irrigação com déficit hídrico controlado, aplicação de 50% da ETc; IF 2 - irrigação fixa, aplicação de 100% da ETc, por duas linhas de gotejadores, uma em cada lado do sistema radicular da planta; IF 1 - irrigação fixa, aplicação de 100% da ETc, por uma linha de gotejadores, em apenas um lado do sistema radicular. Não houve diferenças significativas nas variáveis de crescimento e rendimento para a estratégia de manejo de irrigação com déficit hídrico controlado e alternância do lado irrigado. A técnica de secamento parcial do sistema radicular associada ao déficit hídrico de 50% da ETc com aumento da frequência de alternância do lado irrigado apresentou uma tendência de maiores produtividades e eficiência do uso da água. A restrição hídrica empregada (APRI 50% e DI 50%) não afetou o conteúdo relativo de água nas folhas. As avaliações do índice relativo de clorofila demonstraram que a estratégia de APRI não afetou a eficiência fotossintética das plantas. As plantas submetidas a condição de déficit hídrico (APRI 50% e DI 50%) apresentaram valores dos parâmetros de fluorescência significativamente iguais às plantas que não foram submetidas a deficiência hídrica (APRI 100% e IF 100%).

ABSTRACT

EFFEGEM, Carla; M.Sc.; Universidade Federal do Espírito Santo; April, 2022; **Efficiency of water use and physiological indicators in Conilon coffee irrigated with alternating wetting of the root system**; Advisor: Robson Bonomo, Co-advisor: Joabe Martins de Souza.

This study aimed to evaluate the effects of the technique of alternating root system wetting (APRI) associated with the water deficit strategy on physiological variables, growth, productivity and water use efficiency of Conilon coffee. The experiment was installed and conducted at the Experimental Farm of the Centro Universitário Norte do Espírito Santo, Federal University of Espírito Santo, in the municipality of São Mateus-ES. The experiment followed a randomized block design with nine treatments or nine irrigation management strategies (APRI 3 - application of 50 and 100% of crop evapotranspiration (ET_c), alternating 3 days; APRI 7 - application of 50 and 100 % of crop evapotranspiration (ET_c), alternating 7 days; APRI 14 - application of 50 and 100% of crop evapotranspiration (ET_c), alternating 14 days; DI - irrigation with controlled water deficit, application of 50% of ET_c; IF 2 - fixed irrigation, application of 100% of ET_c, by two lines of drippers, one on each side of the root system of the plant; IF 1 - fixed irrigation, application of 100% of ET_c, by a line of drippers , on only one side of the root system. There were no significant differences in growth and yield variables for the irrigation management strategy with controlled water deficit and alternation of the irrigated side. The technique of partial drying of the root system associated with a water deficit of 50% of the ET_c with an increase in the frequency of alternation on the irrigated side showed a tendency towards higher productivity and water use efficiency. The water restriction used (APRI 50% and DI 50%) did not affect the relative water content in the leaves. The evaluations of the relative chlorophyll index showed that the APRI strategy did not affect the photosynthetic efficiency of the plants. The plants submitted to water deficit condition (APRI 50% and DI 50%) presented values of the fluorescence parameters significantly equal to the plants that were not submitted to water deficit (APRI 100% and IF 100%).

1. INTRODUÇÃO GERAL

A água possui extrema importância na preservação dos ecossistemas, no desenvolvimento das civilizações e é componente fundamental na existência de uma agricultura sustentável. Com a crescente demanda e os conflitos existentes entre os usos dos recursos hídricos, torna-se necessário alternativas que visem a utilização desses recursos de forma racional e otimizada (SILVA et al., 2015).

Diante desse cenário, as tecnologias desenvolvidas para a agricultura irrigada tornam-se cada vez mais viáveis e indispensáveis, pois promovem o uso racional da água de irrigação, de modo a proporcionar incrementos na produtividade por favorecer a disponibilidade de nutrientes existentes no solo, além do sistema conduzir nutrientes e, até mesmo, defensivos agrícolas, os quais são necessários ao desenvolvimento e proteção das lavouras (SILVA & REIS, 2017).

A baixa precipitação observada no estado do Espírito Santo, em especial nos anos de 2015 e 2016, trouxe grandes prejuízos a cafeicultura capixaba, com queda de produtividade mesmo em áreas irrigadas, em razão da baixa disponibilidade hídrica dos mananciais, havendo casos de racionamento de água para irrigação em função da necessidade de priorizar o abastecimento humano. Dessa forma, o emprego de estratégias com o intuito de reduzir os efeitos negativos das atuais e futuras incertezas climáticas e que visem elevar a eficiência do uso da água (EUA) tornam-se indispensável.

Uma das estratégias consiste em reduzir a evapotranspiração ou transpiração, podendo ser obtido por meio do uso das tecnologias da irrigação com déficit controlado (IDC) e da irrigação com alternado secamento parcial do sistema radicular (APRI) (SANTOS et al., 2016). A técnica APRI vem sendo empregada como alternativa aos métodos convencionais de manejo de irrigação, como estratégia para o uso racional da água nos perímetros irrigados e em regiões com restrições hídricas (FAO, 2002).

A técnica de secamento parcial do sistema radicular consiste em irrigar alternadamente lados opostos da planta em frequências que dependerão das características físico-hídricas do solo, da cultura e do clima (KRIEDEMANN & GOODWIN, 2003). Segundo Sampaio et al. (2010) por meio da estratégia de APRI, é

possível reduzir o uso de água pelas culturas mantendo a produção em um nível satisfatório, mesmo com impactos no crescimento vegetativo das plantas.

No Brasil, poucos estudos empregando esta alternativa foram realizados, a exemplo dos de Silva (2005) para a cultura da videira e Coelho Filho et al. (2009) para cultura da Manga, Sampaio et al. (2010) para a cultura dos citros e Santos et al. (2021) para o mamoeiro. De modo geral, as pesquisas desenvolvidas tentam responder como e com que intensidade as respostas bioquímicas desta técnica têm influenciado na produtividade de uma dada cultura (SAMPAIO et al., 2010).

Dentro deste contexto, verifica-se a necessidade de avaliar tecnologias e aprimorar conhecimentos acerca do método de alternância do secamento parcial do sistema radicular para a recomendação do uso em campo, em especial em relação a cultura do cafeeiro Conilon, caracterizando a cultura, solo, tempo de alternância dos lados de irrigação, épocas de aplicação, eficiência do uso de água e produtividade, de modo a promover um aumento na eficiência do uso dos recursos hídricos e colaborar para a sustentabilidade de cultivos agrícolas.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Origem e importância econômica do cafeeiro Conilon

O cafeeiro Conilon (*Coffea canephora*) é originário de regiões tropicais e equatoriais da África, mais precisamente de Guiné na Bacia do Congo. São identificados dois materiais genéticos distintos na espécie, classificados como Congolense e Guineano. O primeiro grupo é oriundo da África Central, região de temperaturas elevadas e estação seca moderada, e inclui o cafeeiro conhecido como Robusta, que advém da expressão rusticidade e resistências a doenças em plantas, material com características ideais para cultivo em regiões equatoriais. Já o grupo Guineano, tem origem no oeste da África, caracterizado por temperaturas elevadas e estação seca moderada e acentuada, e inclui o cafeeiro do tipo Conilon, o qual tem seu nome devido ao rio Kouillou no Congo, com a substituição das letras “K” e “U” por “C” e “N” após sua chegada no Brasil (FERRÃO et al., 2007).

Atualmente, possui ampla distribuição geográfica, sendo cultivado em outras regiões da África, Ásia e América Latina, principalmente em países subdesenvolvidos ou em desenvolvimento, adaptado a regiões quentes e úmidas, chegando ao Brasil em 1912 (FERRÃO et al., 2017).

Nas últimas três décadas, o cultivo da espécie *Coffea canephora* no Brasil cresceu de forma significativa, além do aumento expressivo na produção e produtividade. Ao mesmo tempo, verificou-se grande distinção e o reconhecimento do valor que a cultura apresenta, tendo como pilares a geração, difusão e transferência de tecnologias e a agregação de esforços das diferentes instituições e elos da cadeia do café (FERRÃO et al., 2019).

O Brasil é o maior produtor e exportador de café mundial, e responde por 30% desta produção. O país produziu 47,176 milhões de sacas de café beneficiadas na safra 2020/21, uma redução de 24,4% em comparação a safra anterior 2019/20, a produção foi proveniente de uma área plantada de 1,81 milhão de hectares. O volume total de café Conilon produzido no país foi 16,296 milhões sacas, com produtividade média de 43,40 sacas ha⁻¹, incremento de 13,8% em relação a safra anterior. Essa performance posiciona o país em segundo lugar na produção mundial de café robusta (CONAB, 2021).

Dentre os Estados brasileiros produtores de café, o Espírito Santo destaca-se como maior produtor de café Conilon, com 11,221 milhões de sacas de café beneficiada de 60 kg em 2021, sendo responsável por aproximadamente 68,9% da produção nacional. Essa produção é proveniente de uma área cultivada de 273,7 mil hectares, cuja produtividade média é de 40,9 sacas ha⁻¹ (CONAB, 2021), com destaque para a região norte do Estado, a qual concentra boa parte da produção.

Em razão de distribuições pluviais irregulares, mudanças de temperatura e ocorrência de elevados déficits hídricos nesta região (PEZZOPANE et al., 2010), o cultivo tem sido feito predominantemente sob irrigação, com lavouras altamente produtivas com destaque na produção cafeeira brasileira.

2.2 Agricultura irrigada no Brasil e otimização dos recursos hídricos

Atualmente, a irrigação é responsável por cerca de 50% da captação de água bruta em mananciais superficiais e subterrâneos no Brasil (o abastecimento urbano, responde por 24% da retirada total). Essa participação da irrigação é semelhante à observada na média global (ANA, 2021). Neste contexto Oliveira et al. 2010 ressaltam que na escassez dos recursos hídricos, torna-se necessário o emprego de modelos de irrigação que permitam o aumento da eficiência e uniformidade dos sistemas de irrigação, como forma de garantir o uso racional e sustentável dos recursos hídricos.

Segundo um levantamento publicado pela Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) em 2021, a área irrigada no Brasil chega atualmente a 8,2 milhões de hectares, entre os quais 64,5% (5,3 milhões de hectares) são irrigados por água de mananciais, com potencial de expansão da área irrigada no país em 4,2 milhões de hectares até 2040, atingindo 12,4 milhões de hectares, 51% acima da área atual.

Na agricultura brasileira a irrigação vem ganhando espaço, com crescente aumento em todas as regiões produtoras do Brasil. Segundo dados do Censo Agropecuário realizado em 2017, a área total irrigada apresentou aumento de 47,6% em comparação com o ano de 2006, o qual representa uma área total de 6,7 milhões de hectares em mais de 500 mil estabelecimentos (IBGE, 2020). De acordo com levantamento realizado pela ANA em 2021, identificou-se 449,3 mil hectares irrigados de café no Brasil – 25% da área destinada à cultura do cafeeiro Conilon. O Espírito Santo lidera com 46,2% da área irrigada, seguido por Minas Gerais (29,9%), Bahia (10,2%), Rondônia (9,6%), São Paulo (2,0%) e Goiás (1,7%).

A irrigação eficiente consiste em fornecer a quantidade de água necessária para o desenvolvimento potencial da cultura, de modo a não exceder a capacidade de aproveitamento e absorção do sistema radicular da planta. O fornecimento em excesso pode favorecer a degradação do solo por meio de erosão hídrica, além de promover problemas quanto a drenagem do solo (SAMPAIO, 2010).

A alteração de diversos mecanismos das plantas promovida pela ocorrência de déficit hídrico ocasionou a dependência das plantas quanto a disponibilidade de

água (TAIZ & ZEIGER, 2013). Dessa forma, a irrigação assume papel importante de forma a possibilitar uma agricultura com menores riscos e maior rentabilidade (MANTOVANI et al., 2009). No entanto, para que a cafeicultura irrigada se mantenha de forma sustentável é fundamental a eficiência quanto ao uso da água na irrigação.

2.3 Estratégia de otimização por meio do déficit hídrico

A escassez de recursos hídricos e energéticos e o crescimento da área irrigada, tem incentivado a utilização de sistemas de irrigação que garantem aumento na eficiência do uso da água (EUA). Dentre as estratégias disponíveis para aumentar este índice, a irrigação localizada por gotejamento tem enorme relevância, por apresentar grande potencialidade na redução do volume de água aplicado (FOLEGATTI et al., 2004). Destaca-se também o emprego de déficit hídrico durante estádios de desenvolvimento das plantas com menor sensibilidade, o qual promove economia do recurso hídrico, com menor impacto sobre a produtividade (CHALMERS et al., 1981).

Uma das estratégias para elevar a eficiência do uso da água na irrigação de cultivos é a redução da transpiração ou evapotranspiração, podendo ser obtido por meio do uso das tecnologias da irrigação com déficit controlado (IDC) e da irrigação com alternado secamento parcial do sistema radicular (APRI). As técnicas de irrigação IDC e APRI aplicam quantidade de água inferior à evapotranspirada num dado período, com aumento da eficiência de aplicação e redução das perdas por percolação (SANTOS et al., 2016). Segundo Sánchez–Blanco & Torrecillas (1995) a irrigação com déficit hídrico permite elevada eficiência no uso da água, por meio da adoção de estratégias capazes de reduzir o volume de água a ser aplicada, com mínimo efeito sobre a produtividade.

A técnica APRI é constituída da alternância do lado de irrigação no sistema radicular, enquanto parte das raízes é irrigada, a outra parte é exposta ao secamento do solo. Os lados de umedecimento e secamento são alternados com uma frequência que depende do tipo de solo e da planta analisada (KRIEDEMANN & GOODWIN, 2003).

As condições da água no clima e no solo podem influenciar nas condições hídricas das plantas, interferindo nas trocas gasosas e temperatura foliar o que influencia o crescimento, o desenvolvimento e a produção das plantas (SANTOS et al., 2013). A técnica APRI utiliza respostas bioquímicas das plantas quanto ao estresse hídrico para promover o equilíbrio vegetativo e reprodutivo, promovendo melhor produção por unidade de água aplicada (MCCARTHY et al., 2002). Segundo Faria (2016), as reduções de lâminas de irrigação em lados alternados da planta promovem menores valores de fotossíntese, transpiração e potencial hídrico foliar, sem comprometer a produtividade e não apresentando sintomas de estresse acentuado, além de proporcionar maior eficiência de uso da água.

A alternância do secamento parcial do sistema radicular tem enorme importância principalmente em regiões em que a distribuição de água ocorre de maneira irregular ou torna-se escassa. As técnicas empregadas permitem a formação de diferentes perfis de solo úmido, com ocorrência de déficit hídrico total ou parcial do solo, causando diferentes caracterizações de disponibilidade de água para a cultura. Em condições de déficit hídrico o desenvolvimento da parte aérea das plantas pode ser comprometido em razão da diminuição do status da água da parte aérea (WAHBI et al., 2005). Essa abordagem é baseada na teoria de que o déficit hídrico do solo induz a produção do hormônio ácido abscísico (ABA) pelo sistema radicular, o qual transloca-se através do eixo vascular, concentra-se na parte aérea da planta e promove o fechamento parcial dos estômatos, e conseqüentemente, redução da perda de água para a atmosfera (GOWING et al., 1993; DAVIES & ZHANG, 1991; DAVIES et al., 2002).

O processo de abertura e fechamento estomático, assim como a limitação do crescimento vegetativo, envolve processos interdependentes, os quais são regulados por alguns fitormônios e substâncias inorgânicas (PIMENTEL, 2007). Além do ácido abscísico outros hormônios participam do processo de sinalização química, como a citocinina (STOLL et al., 2000), etileno (HARE et al., 1997), auxina e giberelina (JACKSON, 2002).

O fechamento parcial dos estômatos pode reduzir de forma considerável a perda de água com menor efeito sobre a absorção de CO₂ e no processo fotossintético (JONES, 1992). Com a redução da utilização de água durante a transpiração foliar, responsável por cerca de 95% da água absorvida pela planta (COMSTOCK, 2002),

pelo menor efeito sobre a produtividade e manutenção da qualidade do produto, haverá elevada eficiência do uso da água pelas plantas (SAMPAIO et al., 2010). Segundo Santos et al. (2021) a técnica APRI, comparado com a IDC, induziu o maior fechamento estomático em mamoeiro, considerando as mesmas tensões de água no solo, por influência do lado não irrigado do sistema radicular, em que o déficit hídrico induziu a maior produção de ácido abscísico.

Sampaio et al. (2010) em estudo com lima ácida 'Tahiti' enxertada em limão 'Cravo', em Itaberaba-BA, observaram que o déficit de 50% e 75% da lâmina aplicada com secamento parcial do sistema radicular (APRI) promoveu efeitos significativos na produção de frutos e no aumento da eficiência do uso de água (EUA). Resultados semelhantes foram observados por Coelho et al. (2015) em trabalho realizado em bananeira sob gotejamento no norte de Minas Gerais, em que verificaram resposta significativa na produtividade e qualidade dos frutos, além de otimizar o uso da água.

Na Etiópia estudo conduzido por Tesfaye et al. (2013), em cafeeiro arábica adulto mostraram que a irrigação sem déficit (WW) resultou em maiores conteúdos de água no solo, condutância estomatal, comparado com tratamento com déficit normal de irrigação (DNI) e irrigação alternada de parte do sistema radicular (APRI). No entanto, a diferença entre WW e APRI não foi significativa para o rendimento das culturas e para a maioria dos componentes de rendimento, e ainda APRI e DNI melhorou significativamente a qualidade dos grãos de café. Além disso, o APRI economizou 50% da água de irrigação necessária para WW e resultou significativamente em maior eficiência do uso da água de irrigação que WW e DNI. Assim, os autores concluem que a técnica APRI demonstra ser uma estratégia de irrigação efetiva que possibilitaria economia do recurso hídrico, aumento da eficiência de uso de água e melhor qualidade dos produtos, sem uma redução significativa na produtividade da cultura em áreas onde a água é escassa para a irrigação e os veranicos são prolongados.

De acordo com Yactayo et al. (2013) um grande desafio no emprego da técnica de irrigação por APRI para uma dada cultura é estabelecer o momento adequado para início, o período de duração e a intensidade da restrição de água, e compreender os mecanismos que suportam a tolerância ao estresse hídrico sem redução na produtividade da cultura. Os mesmos autores, em estudo com tubérculos de batata empregando APRI, verificaram tolerância da cultura a restrição hídrica sem

prejudicar o rendimento de tubérculos. Os estudos com APRI ainda são incipientes, e não há um consenso dos resultados da técnica, em razão da heterogeneidade dos solos cultivados e da variação de respostas de crescimento da planta nas diferentes estações do ano, sobretudo em regiões onde as chuvas se concentram no verão. O que se busca no estudo com a técnica é otimizar o uso da água e possibilitar a produção comercial dos frutos. De modo geral, diversos trabalhos avaliam apenas a lâmina de irrigação aplicada, desprezando o período de alternância dos lados de irrigação, embora seja fator de enorme relevância para o êxito da técnica (SAMPAIO et al., 2010).

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CHALMERS, D.J.; MITCHELL, P. D.; VANHEEK, L. Control of peach tree growth and productivity by regulated water supply, tree density and summer pruning. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, v. 106, p. 307-312, 1981.

COELHO FILHO, M. A.; COELHO, E. F.; OLIVEIRA, V. V. M.; VELLAME, L. M.; SANTANA, J. A. do VALE. Manejo de irrigação com déficit (PRD) em pomar de manga 'KENT' no semiárido baiano. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 16., 2009. Belo Horizonte. **Anais...** Minas Gerais, p.202, 2009.

COELHO, E. F.; SIMÕES, W. L.; SANTOS, F. P.; MELO, D. M. de; LIMA, L. W. F. Produtividade e eficiência do uso de água da bananeira caipira sob diferentes densidades de plantio e lâminas de irrigação. **Enciclopédia Biosfera**, v. 11, p. 2430-2437, 2015.

CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira: café**. Safra 2021: 4º levantamento. Brasília: CONAB, v. 8, n.4, p. 56. 2021.

COMSTOCK, J. P. Hydraulic and chemical signalling in the control of stomatal conductance and transpiration. **Journal of Experimental Botany**. v. 53, n. 367, p. 195-200. 2002.

DAVIES, W. J.; S. WILKINSON, LOVEYS, B. Stomatal control by chemical signalling and the exploitation of this mechanism to increase water use efficiency in agriculture. **New Phytol**, v. 153, p. 449-460, 2002.

DAVIES, W. J.; ZHANG, J. Root signals and the regulation of growth and development of plants in drying soil. *Ann. Rev. Plant Physiol. Plant Molecular Biol.* v. 42, p. 55-76, 1991.

FAO – **Food and Agriculture Organization of the United Nations**. *Deficit irrigation*. Rome: FAO p. 102, 2002.

FAO – **Food and Agriculture Organization of the United Nations**. *FAO Statistical Yearbook – World Food and Agriculture*. Rome, 2013. 289 p.

FARIA, LEANDRO N.; SOARES IN MEMORIAM, ANTÔNIO A.; DONATO, SÉRGIO L. R.; SANTOS, MARCELO R. dos; CASTRO, LUCIANA G. The effects of irrigation management on floral induction of 'Tommy Atkins' mango in bahia semiarid. **Engenharia Agrícola** (Online), v. 36, p. 387-398, 2016.

FERRÃO, R. G.; FONSECA, A. F. A. da; FERRÃO, M. A. G.; DE MUNER, L. H. **Café Conilon**. 3 ed. atual. e expandida. Vitória, ES: INCAPER, P.974, 2019.

FERRÃO, L. F. V.; FERRÃO, R. G ; FERRÃO, M. A. G.; AYMBIRÉ ; F. G.; FRANCO, A. A. A mixed model to multiple harvest-location trials applied to genomic prediction in *Coffea canephora*. **TREE GENETICS & GENOMES**, v. 13, p. 01-13, 2017.

FERRÃO, R. G.; FONSECA, A. F. A.; FERRÃO, M. A. G.; BRAGANÇA, S. M.; VERDIN FILHO, A. C.; VOLPI, P. C. Cultivares de café Conilon. *In: Ferrão, R. G.; Fonseca, A. F. A. da Bragança, S. M.; Ferrão, M. A. G.; De Muner, L. H. (eds.). Café Conilon*. Vitória: Incaper, Cap 7, p.205-225. 2007.

FOLEGATTI, M. V.; SILVA, T. J. A.; CASARINI, E. O manejo da irrigação como elemento essencial na utilização racional dos recursos hídricos. *In: THAME, L. C. M. (Ed.). A cobrança pelo uso da água na agricultura*. **Embu: Igual Editora**, p. 213-219, 2004.

GOWING, D. J.; DAVIES, W. J.; JONES, H. G. A positive rootsourced signal as na indicator of soil drying in apple, *Malus domestica* Borkh. **J. Exp. Bot.**, v. 41, p. 1535-1540, 1993.

HARE, P. D.; CRESS, W. A.; VAN STADEN, J. The involvement ocytokinins in plant responses to environmental stress. **Plant Growth Regulation**, vol. 23, pp. 79-103, 1997.

IBGE -Instituto de Brasileiro de Geografia e Estatística. **Estabelecimentos com uso de agricultura irrigada crescem em mais de 50% em 11 anos**. Agência IBGE Notícias, 2020.

IBGE -Instituto de Brasileiro de Geografia e Estatística. **Resultado dos dados preliminares do censo 2017**. IBGE, 2017.

IBGE -Instituto de Brasileiro de Geografia e Estatística. **A Geografia do café / IBGE, Coordenação de Geografia**. Rio de Janeiro: IBGE, P.136, 2016.

JACKSON, M. B.; Long-distance signalling from roots to shoots assessed: the flooding story. **Journal of Experimental Botany**, vol. 53, no. 367, pp. 175-181, 2002.

JONES, H.G. **Plants and Microclimate: A quantitative Approach to Environmental Plant Physiology**, Ed. 2. Cambridge University Press, Cambridge, 1992.

KRIEDEMANN, P. E.; GOODWIN, I. **Regulated Deficit Irrigation and Partial Rootzone Drying. Irrigation Insights** N. 3. Land & Water Australia, Canberra. 2003

MANTOVANI, E. C.; BERNARDO, S.; PALARETTI, L. F. **Irrigação: princípios e métodos**. Viçosa: UFV, 355 p. 2009.

MARTINS, C. C.; SOARES, A. A.; BUSATO, C.; REIS, E. F. dos. Manejo da irrigação por gotejamento no cafeeiro (*Coffea arabica* L.). **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 23, n. 2, p. 61-69, 2007.

McCARTHY, M.G.; LOVEYS, B.R.; DRY, P.R.; STOLL, M. Regulated deficit irrigation and partial root zone drying as irrigation management techniques for grape vines. In: FAO – FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **Deficit Irrigation Practices**. Roma: FAO, p. 79-87. (Water Reports 22). 2002

OLIVEIRA, E. L.; FARIA, M. A.; REIS, R. P.; SILVA, M. L. O. Manejo e viabilidade econômica da irrigação por gotejamento na cultura do cafeeiro acaia considerando seis safras. **Engenharia Agrícola**, v.30, n.5, p.887-896, 2010.

PEZZOPANE, J. R. M.; CASTRO, F. S.; PEZZOPANE, J. E. M.; BONOMO, R.; SARAIVA, G. S. Zoneamento de risco climático para a cultura do café Conilon no Estado do Espírito Santo. **Revista Ciência Agronômica**, v.41, p.341-348, 2010.

PIMENTEL, C.; BERNACCHI, C.; LONG, S. Limitations to photosynthesis at different temperatures in the leaves of Citrus limon. **Brazilian Journal of Plant Physiology** (impresso), v. 19, p. 141-147, 2007.

SAMPAIO, A. H.R R.; COELHO FILHO, M. A.; COELHO, E. F.; DANIEL, R.; MACHADO, V. V.; CARVALHO, G. C.; SANTANA JUNIOR, E. B. Déficit hídrico e secamento parcial do sistema radicular em pomar de lima ácida. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**., Brasília, v.45, n.10, p.1141-1148, 2010.

SÁNCHEZ-BLANCO, M. J.; TORRECILLAS, A. **Aspectos relacionados con la utilización de estrategias de Riego Deficitario Controlado en cultivos y leñosos**. In: zapata, M. & Segura, P.; eds. Riego Deficitario Controlado. Mundi prensa. Madrid, p. 43-63. 1995.

SANTOS, DIONEI LIMA; COELHO, EUGÊNIO FERREIRA ; CUNHA, FERNANDO FRANÇA DA ; DONATO, SÉRGIO LUIZ RODRIGUES ; BERNADO, WALLACE DE PAULA ; RODRIGUES, WEVERTON PEREIRA ; CAMPOSTRINI, ELIEMAR . Partial root-zone drying in field-grown papaya: Gas exchange, yield, and water use efficiency. **Agricultural Water Management**, v. 243, p. 106421, 2021.

CAPÍTULO 1

MANEJO DE IRRIGAÇÃO COM SECAMENTO PARCIAL DO SISTEMA RADICULAR EM LAVOURA DE CAFEIEIRO CONILON IRRIGADO POR GOTEJAMENTO¹

¹ Artigo ajustado para submissão ao Comitê Editorial do Periódico Científico: IRRIGA

MANEJO DE IRRIGAÇÃO COM SECAMENTO PARCIAL DO SISTEMA RADICULAR EM LAVOURA DE CAFEIRO CONILON IRRIGADO POR GOTEJAMENTO

1 RESUMO

A agricultura irrigada é mundialmente responsável por grande parte do consumo de água disponível. Diante do exposto, objetivou-se avaliar os efeitos da técnica de secamento parcial do sistema radicular associado a estratégia de déficit hídrico para otimização do uso de água em lavoura de cafeeiro Conilon cultivado no norte do Espírito Santo. O estudo foi desenvolvido na Fazenda Experimental do Centro Universitário Norte do Espírito Santo, Universidade Federal do Espírito Santo, no município de São Mateus-ES. O delineamento experimental foi em blocos casualizados, com nove tratamentos. Os tratamentos foram obtidos pela alternância do lado de molhamento do sistema radicular das plantas, 50% da evapotranspiração da cultura (ETc) em intervalos de 3, 7 e 14 dias, 100% da ETc em intervalos de 3, 7 e 14 dias, irrigação com déficit hídrico controlado, 50% da ETc, irrigação fixa, 100% da ETc, aplicado por duas linhas de gotejadores, irrigação fixa, com aplicação de 100% da ETc aplicada por uma linha de gotejadores. Não houve diferenças significativas nas variáveis de crescimento e rendimento para todos os tratamentos avaliados. A técnica de secamento parcial do sistema radicular associada ao déficit hídrico de 50% da ETc com frequência de alternância do lado irrigado apresentou uma tendência de maiores produtividades e eficiência do uso da água.

Palavras-chave: *Coffea canephora*, irrigação com déficit, eficiência do uso da água

IRRIGATION MANAGEMENT WITH PARTIAL DRYING OF THE ROOT SYSTEM IN DRIP IRRIGATED CONILON COFFEE CROPS

2 ABSTRACT

Irrigated agriculture is responsible for most of the available water consumption worldwide. In view of the above, the objective was to evaluate the effects of the technique of partial drying of the root system as a water deficit strategy to optimize the use of water in a Conilon coffee crop grown in the north of Espírito Santo. The study was carried out at the Experimental Farm of the Centro Universitário Norte do Espírito Santo, Federal University of Espírito Santo, in the municipality of São Mateus-ES. The experimental design was in randomized blocks, with nine treatments. The treatments were obtained by alternating the wetting side of the root system of the plants, 50% of the crop evapotranspiration (ETc) at intervals of 3, 7 and 14 days, 100% of the ETc at intervals of 3, 7 and 14 days, irrigation with controlled water deficit, 50% of ETc, fixed irrigation, 100% of ETc, applied by two drip lines, fixed irrigation, with application of 100% of ETc applied by one drip line. There were no significant differences in growth and yield variables for all treatments evaluated. The technique of partial drying of the root system associated with a water deficit of 50% of the ETc with alternating frequency of the irrigated side showed a tendency towards higher productivity and water use efficiency.

Keywords: *Coffea canephora*, deficit irrigation, water use efficiency

3 INTRODUÇÃO

A agricultura irrigada é mundialmente responsável por grande parte do consumo de água disponível. O setor agrícola consome aproximadamente 50% da água derivada dos rios, lagos e aquíferos subsuperficiais. Segundo um levantamento publicado pela Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) em 2021, a área irrigada no Brasil chega atualmente a 8,2 milhões de hectares, entre os quais 64,5% (5,3 milhões de hectares) são irrigados por água de mananciais, com potencial de expansão da área irrigada no país em 4,2 milhões de hectares até 2040, atingindo 12,4 milhões de hectares, 51% acima da área atual.

A água é de grande importância para o desenvolvimento das culturas, entretanto, apenas 1 a 2% da água é absorvida pela planta e são utilizados para a dinâmica metabólica e os outros 98% passam pela mesma e são perdidos para a transpiração (REICHARDT; TIMM, 2004).

As inúmeras disputas por recursos hídricos e o consumo crescente de água pelos projetos públicos e privados de irrigação, tornou a agricultura irrigada dependente de estratégias de manejo de irrigação que visem a utilização eficiente da água (SANTOS et al., 2021). A eficiência do uso de água (EUA) consiste na razão entre a produtividade e a lâmina de água aplicada durante todo o ciclo da cultura e a otimização dos recursos hídricos é obtida por meio da sua elevação. Para aumento da EUA é preciso atuar no numerador, ou seja, obter maior produtividade para a mesma lâmina de água aplicada, e até mesmo, reduzir a lâmina de irrigação ou a evapotranspiração da cultura, sem afetar a qualidade e produtividade da cultura (CARVALHO, 2015).

Elevar a eficiência do uso de água torna-se fundamental em diversos países, a fim de prevenir a extração de forma excessiva da água subterrânea, reduzir a deterioração da qualidade da água em virtude de inundações e da salinização e permitir aumento da infiltração de água das chuvas (FAO, 2013).

O crescimento da área irrigada na produção agrícola e as restrições quanto ao uso dos recursos hídricos têm contribuído para a adoção de estratégias que visem otimizar a eficiência do uso de água pelas culturas na agricultura irrigada. O manejo da irrigação com déficit hídrico controlado (IDC), e a até mesmo o emprego de sistemas de irrigação localizada têm sido utilizados afim de incrementar a produção por unidade de água aplicada mantendo a qualidade do produto final (SAMPAIO, 2010).

Uma das estratégias para elevar a eficiência do uso da água na irrigação de cultivos é a redução da transpiração ou evapotranspiração, podendo ser obtido por meio do uso das tecnologias da irrigação com déficit controlado (IDC) e da irrigação com alternado secamento parcial do sistema radicular (APRI). As técnicas de irrigação IDC e APRI aplicam quantidade de água inferior à evapotranspirada num dado período, com aumento da eficiência de aplicação e redução das perdas por percolação (SANTOS et al., 2016). Segundo Sánchez-Blanco & Torrecillas (1995) a irrigação com déficit hídrico permite elevada eficiência no uso da água, por meio da adoção de estratégias capazes de reduzir o volume de água a ser aplicada, com mínimo efeito sobre a produtividade.

Diversas pesquisas têm mostrado que o emprego da técnica de irrigação com alternado secamento parcial do sistema radicular (APRI) tem contribuído para o enfrentamento das situações adversas, onde há restrição hídrica. A técnica é constituída da alternância do lado de irrigação no sistema radicular, enquanto parte das raízes é irrigada, a outra parte é exposta ao secamento do solo. Os lados de umedecimento e secamento são alternados com uma frequência que depende do tipo de solo e da planta analisada (KRIEDEMANN & GOODWIN, 2003). O lado do sistema radicular que é exposto ao secamento do solo é observado aumento na concentração de ácido abscísico (ABA) o qual transloca-se através do eixo vascular, concentra-se na parte área da planta e promove o fechamento parcial dos estômatos, limitação do

crescimento vegetativo, e conseqüentemente, redução da perda de água para a atmosfera (SLOVIK et al., 1995).

Apesar de diversos trabalhos, há carência de informações relevantes em condições específicas de clima, solo e cultura, para disponibilização da técnica APRI aos produtores rurais (SANTOS et al., 2016), principalmente na cultura do cafeeiro Conilon, o qual apresenta grande potencial produtivo quando submetido a irrigação.

O objetivo deste trabalho foi avaliar os efeitos da técnica de secamento parcial do sistema radicular associado ao déficit hídrico para otimização do uso de água em lavoura de cafeeiro Conilon cultivado no norte do Espírito Santo.

4 MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi desenvolvido na Fazenda Experimental do Centro Universitário Norte do Espírito Santo, Universidade Federal do Espírito Santo, no município de São Mateus-ES, situada sob as coordenadas geográficas 18° 43' S, 39° 51' W e altitude média de 39 metros. O clima predominante da região é quente e úmido (tipo Aw de Köppen), com estação seca no outono-inverno e estação chuvosa na primavera-verão.

O solo do local é classificado como Argissolo Amarelo, textura franco arenosa na camada de 0,0 a 0,40 m de profundidade, típico de tabuleiros costeiros. As propriedades físicas da área experimental são apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1. Análise física do solo da área experimental da linha e entrelinha do cafeeiro.

Camada (m)		Classificação granulométrica (%)		
		Areia	Silte	Argila
0,00 - 0,20	linha	74,9	4,4	20,7
	entrelinha	76,6	4,2	19,2
0,20 - 0,40	linha	67,1	4,0	28,9
	entrelinha	74,9	2,5	22,6
0,40 - 0,70	linha	52,3	8,8	38,9
	entrelinha	55,6	8,0	36,4
0,70 - 1,00	linha	40,3	6,3	53,4
	entrelinha	43,0	7,8	49,3

O experimento ocorreu no período de março de 2020 a agosto de 2021 em lavoura de cafeeiro Conilon, com oito meses de idade. As mudas foram transplantadas em julho de 2019, no espaçamento 3,0 m x 1,0 m. A adubação do cafeeiro foi realizada via fertirrigações distribuídas quinzenalmente, com base na análise química do solo e adotadas conforme Prezotti et al. (2007).

Os genótipos utilizados são de ciclo médio, empregando o clone 143 nas linhas úteis, e mistura de clones polinizadores nas linhas de bordadura, intercaladas as duas linhas úteis. As parcelas experimentais foram compostas por duas linhas de cafeeiro, com oito plantas cada. Cada parcela foi constituída por duas fileiras de plantas, com oito metros de comprimento.

O delineamento experimental foi em blocos casualizados, com nove tratamentos e quatro repetições. Os tratamentos foram obtidos pela alternância do lado de molhamento do sistema radicular das plantas, com aplicação de 50% da evapotranspiração da cultura (ETc) em intervalos de 3, 7 e 14 dias (APRI 50% 3, APRI 50% 7 e APRI 50% 14, respectivamente), e pela alternância do lado de molhamento do sistema radicular das plantas, com aplicação de

100% da evapotranspiração da cultura (ETc) em intervalos de 3, 7 e 14 dias (APRI 100% 3, APRI 100% 7 e APRI 100% 14, respectivamente), irrigação com déficit hídrico controlado, com aplicação de 50% da ETc (DI 50%), tratamento com irrigação fixa, com aplicação de 100% da ETc, aplicado por duas linhas de gotejadores, uma em cada lado do sistema radicular da planta (IF 100% 2) e tratamento com irrigação fixa, com aplicação de 100% da ETc aplicada por uma linha de gotejadores, distribuída em apenas um lado do sistema radicular (IF 100% 1), representando o manejo de irrigação padrão na região.

O sistema de irrigação adotado foi por gotejamento subterrâneo, a 0,10 m de profundidade e a 0,20 m da linha de plantio, empregando tubos gotejadores, com emissores espaçados em 0,5 m, com vazão de 2,0 L h⁻¹ operando a 100 kPa. No manejo de irrigação com alternado secamento do sistema radicular (APRI), para cada fileira de plantas, foram instalados dois tubos gotejadores, um em cada lado do sistema radicular, conectados a válvulas manuais.

O volume diário de água aplicado aos tratamentos foi estimado a partir da evapotranspiração da cultura para irrigação localizada (ETcloc), calculado por meio de estimativas da evapotranspiração de referência (ETo), coeficiente de cultura (Kc) e fator de localização (Kl) de acordo a Keller & Bliesner (1990) (Equação 1).

$$ET_{cloc} = ETo \times Kc \times Kl \quad (1)$$

O fator de localização foi calculado conforme equação 2.

$$Kl = 0,10 PW^{0,5} \quad (2)$$

Em que PW correspondeu, para o período em estudo, ao valor de PAS, sendo PAS a percentagem de área sombreada, definida como a relação entre área sombreada pelas plantas, ao meio dia, e a área ocupada pela planta.

A lâmina bruta de irrigação (LB) foi calculada com base na equação 3.

$$LB = \frac{LL}{Ei} \quad (3)$$

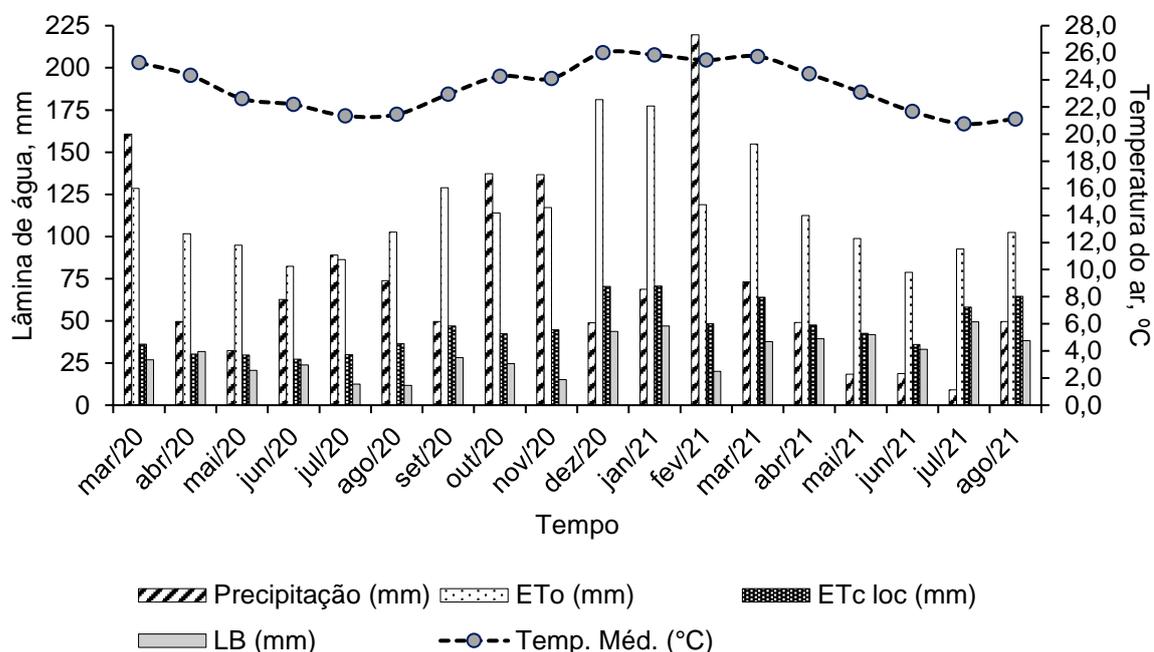
Em que LL é a lâmina líquida, dada pelo produto entre a evapotranspiração da cultura e o turno de rega (adotado turno de rega fixo de 1 dia), e Ei a eficiência de irrigação (Ei = 0,95, adotado neste trabalho).

A precipitação pluvial e os dados meteorológicos para cálculo da evapotranspiração de referência (ETo) (Figura 1) foram obtidos pela estação automática INMET/CEUNES A616, localizada a 500 m do local do experimento. A ETo foi estimada pelo emprego da equação de Penman-Monteith Padrão FAO (ALLEN, 1998) (Equação 4).

$$ET_o = \frac{0,408\Delta(Rn - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} U_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0,34U_2)} \quad (4)$$

Em que Rn corresponde ao saldo de radiação à superfície da cultura (MJ m⁻²d⁻¹); G a densidade do fluxo de calor do solo (MJ m⁻²d⁻¹); T a temperatura do ar a 2 m de altura (°C); U₂ a velocidade de vento a 2 m de altura (m s⁻¹); e_s a pressão de vapor de saturação (kPa); e_a a pressão parcial de vapor (kPa); Δ a declividade da curva de pressão de vapor de saturação (kPa °C⁻¹), e γ ao coeficiente psicrométrico (kPa °C⁻¹).

Figura 1. Precipitação pluvial mensal acumulada, lâmina bruta, temperatura do ar, Evapotranspiração de referência (ET_o) e da cultura (ET_c) para irrigação localizada, Fazenda Experimental CEUNES/UFES, São Mateus – ES.



A eficiência do uso da água (EUA) foi determinada em todos os tratamentos pela relação entre a produtividade total dos frutos e a lâmina bruta de água aplicada por meio da irrigação, conforme equação 5.

$$EUA = \frac{P}{LBA} \quad (5)$$

Em que EUA corresponde a eficiência do uso da água (kg m^{-3}); P a produtividade total (kg ha^{-1}) e LBA a lâmina bruta de água aplicada ($\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$), para o ano safra 2020-2021. Correspondente ao período de julho de 2020 a junho de 2021.

Para obtenção das variáveis de crescimento vegetativo e reprodutivo do cafeeiro foram realizadas a cada 90 dias mensurações das seguintes características morfológicas: comprimento e diâmetro do ramo ortotrópico, comprimento do ramo plagiotrópico, medido um ramo selecionado por planta, e número de nós do ramo plagiotrópico selecionado.

Com relação as variáveis de produção foram avaliadas a produtividade, o rendimento e a classificação dos grãos de café em peneira. Realizou-se a colheita individual e mensuração em litros, obtendo-se a quantidade de café da roça por planta (CR pl^{-1}). Do total colhido em cada parcela experimental, uma amostra foi submetida a secagem até $\pm 12\%$ de umidade (café em coco). Posteriormente, a amostra de café em coco foi beneficiada e pesada, transformando os dados obtidos em quilos de café beneficiado por planta (CB pl^{-1}), e estimando-se a produtividade em sacas beneficiadas de 60 kg ha^{-1} .

O rendimento foi estabelecido pela relação entre sacos, de 80 litros, de café da roça por sacas, de 60 kg, de café beneficiada ($\text{scCR} : \text{scCB}$). A classificação dos grãos por peneira foi obtida a partir da pesagem de uma amostra, segundo as dimensões dos crivos, em que os grãos mocas foram retirados na peneira 11 (crivo oblongo) e os grãos chatos foram separados em peneiras de crivo redondo entre 16 a 13; os grãos mocas e os grãos chatos retidos nas peneiras foram pesados em balança de precisão, determinando-se o percentual de grão retidos nas respectivas peneiras e fundagem.

Os dados foram submetidos à análise de variância e, em razão da significância para as variáveis, foram submetidos ao teste de comparação de médias de Tukey ao nível de 5% de probabilidade, utilizando o programa Genes, segundo Cruz (2020).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As variáveis morfológicas não foram influenciadas pela fonte de variação tratamento (Tabela 2).

Tabela 2. Resumo da análise de variância do comprimento do ramo ortotrópico e do ramo plagiotrópico, diâmetro do ramo ortotrópico e número de nós do ramo plagiotrópico do cafeeiro Conilon nos regimes de irrigação.

Fator de variação	GL	Quadrados médios			
		Comprimento		Diâmetro	Nº nós
		Ramo ortotrópico	Ramo plagiotrópico		
Blocos	3	105,57 ^{ns}	163,33 ^{ns}	2,58 ^{ns}	12,23 ^{ns}
Tratamentos	8	93,19 ^{ns}	23,87 ^{ns}	7,80 ^{ns}	1,40 ^{ns}
Resíduo	24	39,93	27,56	6,37	2,73
CV (%)		7,14	8,75	9,7	10,07

^{ns} Não significativo pelo teste F.

Não foi observada diferença significativa entre os tratamentos estudados para as variáveis analisadas, entretanto, os maiores valores para comprimento do ramo ortotrópico (96,96 cm), plagiotrópico (64,12 cm) e diâmetro do ramo ortotrópico (28,35 mm) foram observados no tratamento IF 100% 2, seguido pelos tratamentos DI 50%, APRI 14 com aplicações de 50% da ETc, diferenciando dos tratamentos APRI 3 com aplicações de 50 e 100% da ETc e IF 100% 2, que atingiram os menores valores para essas variáveis (Tabela 3). O maior número de nós foi verificado no tratamento DI com redução de 50% da ETc, diferindo das médias dos demais tratamentos, as quais não apresentaram diferença entre si.

Mesmo submetido ao maior estresse hídrico do lado sob secamento, o tratamento DI 50% e APRI 14 com redução de 50% da ETc, apresentaram valores para as variáveis morfológicas significativamente iguais aos demais tratamentos. Esse resultado é justificado pelo fato das plantas submetidas ao déficit hídrico serem estimuladas à produção de altos níveis de hormônios importantes para a tolerância à deficiência hídrica, como ácido abscísico (ABA), assim como elevados níveis de carboidratos, tais como sacarose, rafinose e trealose, os quais auxiliam na prevenção do dano celular causado pelo déficit hídrico e na conservação do metabolismo celular (SANTANA-VEIRA et al., 2016). Segundo McCARTHY (2002), a técnica APRI utiliza respostas bioquímicas das plantas quanto ao estresse hídrico para promover o equilíbrio vegetativo e reprodutivo.

Outra justificativa relaciona-se aos sistemas de irrigação por gotejamento subterrâneo, o qual pode proporcionar elevada eficiência de uso da água de irrigação, uma vez que o bulbo úmido se forma no interior do solo e não atinge a superfície do mesmo, como ocorre com a irrigação por gotejamento superficial, e pode-se concluir que evita perdas de água por evaporação. A melhor distribuição da umidade do solo próximo ao sistema radicular ativo das plantas e ausência de perdas por evaporação podem explicar o resultado satisfatório para todos os tratamentos estudados (MARTÍNEZ & RECA, 2014). De acordo com Barros et al. (2009),

sistemas de irrigação enterrados apresentaram menor área superficial molhada, atingindo maior largura e profundidade, com disponibilidade de água a uma distância maior do ponto de emissão.

Tabela 3. Valores médios para as variáveis comprimento do ramo ortotrópico e do ramo plagiotrópico, diâmetro do ramo ortotrópico e número de nós do ramo plagiotrópico do cafeeiro Conilon nos regimes de irrigação.

Tratamento	Comprimento		Diâmetro (mm)	Nº nós
	Ramo ortotrópico	Ramo plagiotrópico		
	(cm)	(cm)		
APRI 50% 3	84,29 a	57,58 a	23,43 a	16,48 a
APRI 50% 7	87,92 a	58,61 a	26,57 a	17,19 a
APRI 50% 14	90,79 a	61,62 a	27,01 a	16,40 a
APRI 100% 3	82,46 a	57,96 a	23,99 a	15,75 a
APRI 100% 7	87,12 a	59,27 a	25,97 a	15,29 a
APRI 100% 14	88,50 a	58,79 a	26,68 a	15,44 a
DI 50%	91,25 a	61,94 a	26,79 a	17,14 a
IF 100% 2	96,96 a	64,12 a	28,35 a	16,17 a
IF 100% 1	83,60 a	59,48 a	25,04 a	16,21 a

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo Teste de Tukey em nível de 5% de probabilidade.

As precipitações ocorridas durante todo o período de avaliação (Figura 1), proporcionando boa disponibilidade de água nas diferentes fases da cultura, contribuíram para um bom desempenho dos tratamentos, inclusive dos submetidos ao déficit de 50% da lâmina de irrigação.

Para todos os tratamentos o comportamento do crescimento dos ramos ortotrópicos e plagiotrópicos nos diferentes tratamentos submetidos aos diferentes regimes de irrigação, ao longo dos períodos, (figuras 2 e 3) houve um comportamento polinomial de quinto grau. O alongamento dos ramos ortotrópicos e plagiotrópicos foi mínimo no período de jun/20 a set/20. Com exceção do tratamento DI 50%, os demais apresentaram acréscimo na taxa de crescimento do ramo ortotrópico no período compreendido entre set/20 e mar/21, e posterior decréscimo no período subsequente. A maior taxa de crescimento foi observada para os tratamentos APRI 50% 7, APRI 100% 14, 7 e 3, com crescimento médio de 2,61, 2,51, 2,47 e 2,43 mm dia⁻¹, respectivamente, no período de dez/20 a mar/21. Dardengo (2012) obteve menor taxa de crescimento dos ramos no mês de setembro e taxa máxima de crescimento do ramo ortotrópico no mês de outubro, o que corrobora com os resultados encontrados no presente estudo.

No período de set/20 a jun/21, os ramos plagiotrópicos apresentaram redução nas taxas de crescimento, atingindo valores mínimos entre mar/21 a jun/21 para todos os tratamentos analisados, com exceção dos tratamentos IF 100% 1 e DI 50%, os quais apresentaram elevação na taxa de crescimento no período de mar/21 a jun/21. Segundo Amaral et al. (2007) reduções na intensidade de crescimento nesse período podem ser atribuídas ao enchimento dos grãos, sendo os frutos os maiores drenos, com menor crescimento do cafeeiro nesse período. De acordo com Partelli et al. (2010), a redução na taxa de crescimento dos ramos plagiotrópicos pode ter relação com reduções significativas no metabolismo fotossintético, como indução e maturação de gemas florais, assim como a concorrência pela formação e maturação dos grãos.

Figura 2. Taxa de crescimento dos ramos ortotrópicos do cafeeiro Conilon sob efeito dos tratamentos.

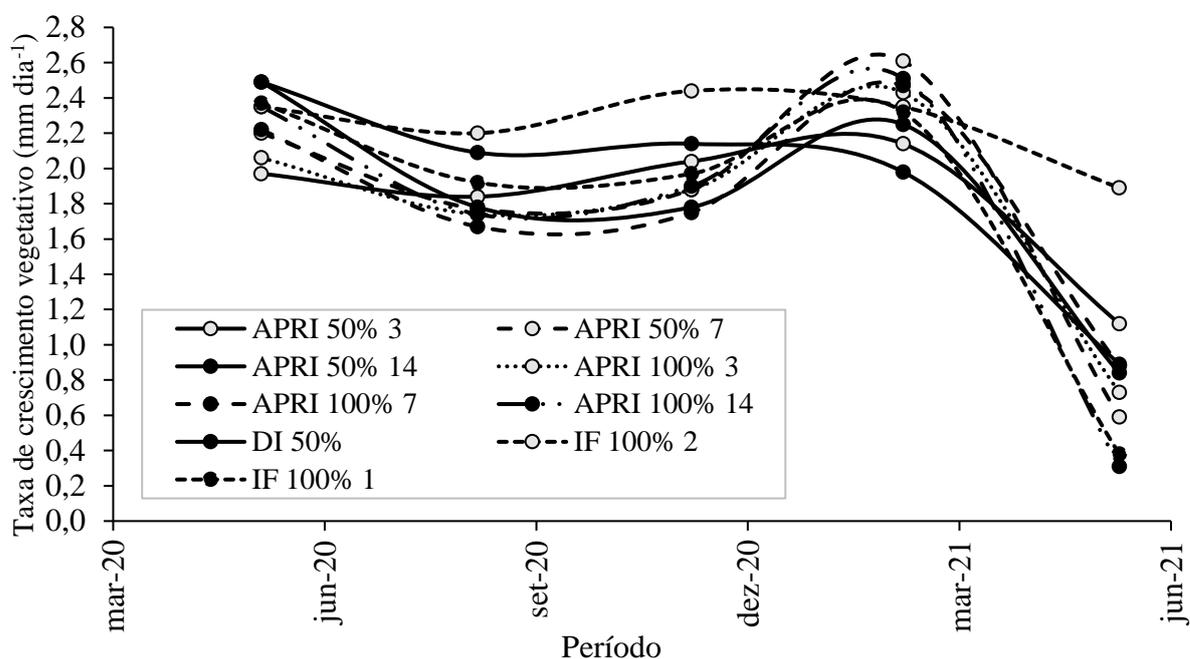
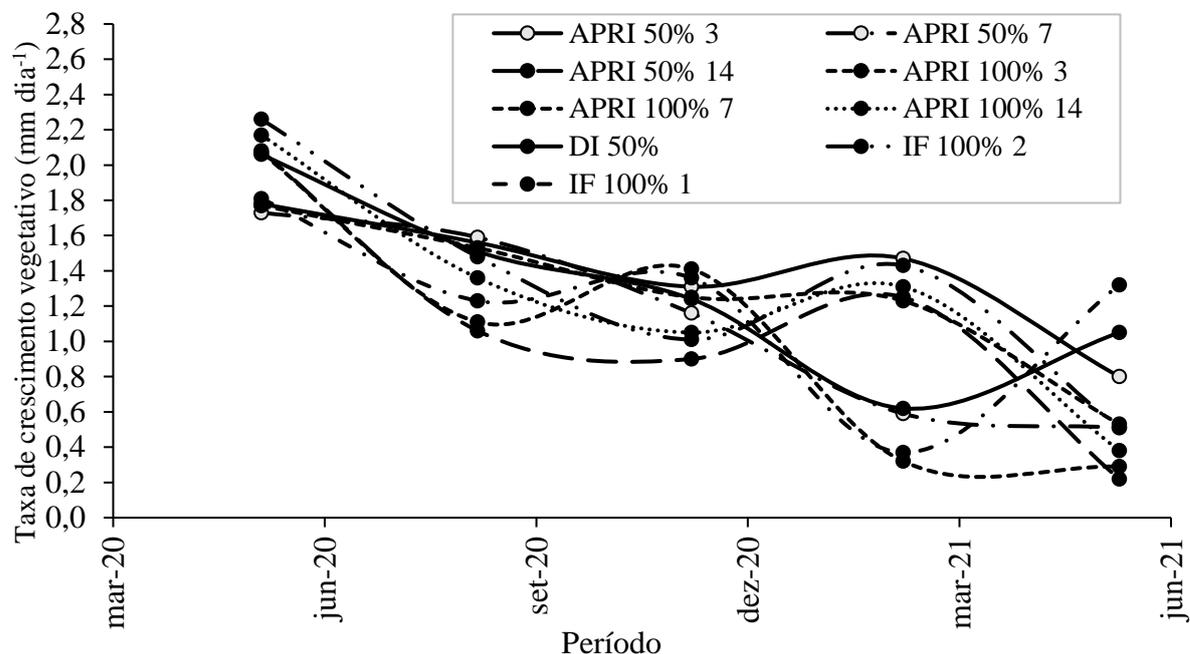


Figura 3. Taxa de crescimento dos ramos plagiotrópicos do cafeeiro Conilon sob efeito dos tratamentos.



Segundo Bragança et al. (2001), o crescimento vegetativo está associado à produção de grãos em café Conilon. De acordo com Rena & Damatta (2002) a produção do cafeeiro Conilon ocorre nos ramos desenvolvidos no período compreendido entre safras, dessa forma, há relação direta entre o desenvolvimento, produtividade e crescimento vegetativo. Quando a frutificação é baixa, o crescimento dos ramos plagiotrópicos, formação de folhas, bem como novos ramos, substituem o fruto como dreno de carboidratos e nutrientes (MALAVOLTA et al., 2002).

As variáveis produtividade e a eficiência do uso de água do cafeeiro Conilon submetido a irrigação com secamento parcial do sistema radicular foram influenciadas ($p < 0,01$) pela fonte de variação tratamento (Tabela 4).

Tabela 4. Resumo da análise de variância da produtividade, rendimento e eficiência do uso da água nos regimes de irrigação.

Fator de variação	GL	Quadrados médios		
		Produtividade	Rendimento	EUA
Blocos	3	118,16 ^{ns}	0,21 ^{ns}	0,22 ^{ns}
Tratamentos	8	1407,41 ^{**}	0,05 ^{ns}	1,12 ^{**}
Resíduo	24	156,96	0,06	0,04
CV (%)		32,91	5,71	31,74

** Significativo a 1% de probabilidade pelo teste F; ^{ns} Não significativo pelo teste F.

Considerando a produtividade, o tratamento APRI 50% com inversão dos lados de irrigação a cada 7 dias obteve produtividade, superior aos demais, apresentando 71,23 sc ha⁻¹ (Tabela 5), superando a média nacional de 43,40 sc ha⁻¹ (CONAB, 2021), estatisticamente, apresentou produtividade semelhante aos tratamentos APRI 50% 3, APRI 50% 14 e APRI 100% 3, os quais obtiveram valores próximos entre si, com variação de 54,41 a 42,16 sc ha⁻¹, sendo que essas médias se distanciaram dos demais tratamentos que variaram de 32,15 sc ha⁻¹ a 13,79 sc ha⁻¹. Este resultado demonstra que a alternância dos lados de irrigação apresentou vantagem sobre os tratamentos com déficit hídrico fixo (DI 50%) e irrigação plena (IF 100% 1 e 2) para esta variável.

Diversos trabalhos têm demonstrado que a técnica APRI tem potencial para ser empregada por apresentar, em muitos casos, melhores resultados em produtividade, rendimento de frutos e eficiência do uso da água. A produtividade da tangerina Kinnow não apresentou diferença quando comparado a irrigação plena com APRI 50% e 75% da ETc, contudo, a maior produtividade em termos econômicos foi observado para APRI 50% (PANIGRAHI et al., 2013). Em lavoura de lima ácida 'Tahiti' a APRI com 50% da ETc com alternância do lado irrigado a cada sete dias manteve a produtividade da cultura em relação à irrigação plena (SANTOS et al., 2016). Carvalho (2015) observou que a aceroleira apresentou maior produtividade para os sistemas de secamento parcial do sistema radicular com aplicação de 50% da ETc com alternância de 7 e 14 dias, corroborando com os resultados encontrados neste trabalho.

Alguns autores encontraram respostas diferentes ao verificarem que plantas submetidas a técnica APRI apresentam produtividades similares às plantas submetidas à irrigação plena, o que difere do resultado apresentado neste trabalho. A produtividade de maçã cultivada sob APRI com 50% da capacidade de campo foi igual a obtida pelas plantas controle, as quais foram mantidas a 80% da capacidade de campo (LEIB et al., 2006). Shahabian, Samar e Emdad (2012) ao trabalharem com APRI e DI em laranja numa região semiárida no norte do Irã, verificaram que a APRI com 50% e 75% da irrigação plena com alternância do lado a cada evento de irrigação não causou redução na produtividade e não influenciou a qualidade do fruto. Em contrapartida, Alves Júnior et al. (2011), verificaram que o número de frutos de lima ácida à 25% da ETc não apresentou diferença em produtividade em relação à 100% da ETc, houve apenas redução na ausência de irrigação em dois ciclos de avaliação. A produtividade de frutos de uva em plantas cultivadas sob irrigação plena foi o mesmo das plantas cultivadas sob APRI,

sendo que os frutos deste último apresentaram um aumento do teor de vitamina C entre 15 a 42% (DU et al., 2008). A produtividade é de grande importância, assim como o rendimento dos grãos, uma vez que a redução no rendimento promove elevado custos na colheita, secagem e beneficiamento (DARDENGO, 2012).

Tabela 5. Valores médios para as variáveis produtividade, rendimento e eficiência do uso da água nos regimes de irrigação.

Tratamento	Produtividade	Rendimento	Rendimento	EUA
	(sc ha ⁻¹)	(scCR scCB ⁻¹)	(ltCR kgCB ⁻¹)	(kg m ⁻³)
APRI 50% 3	54,41 ab	4,62 a	6,16 a	1,20 a
APRI 50% 7	71,23 a	4,44 a	5,92 a	1,57 a
APRI 50% 14	52,12 ab	4,35 a	5,80 a	1,15 a
APRI 100% 3	42,16 abc	4,43 a	5,91 a	0,5 bc
APRI 100% 7	32,15 bc	4,24 a	5,65 a	0,35 bc
APRI 100% 14	31,46 bc	4,38 a	5,83 a	0,34 bc
DI 50%	26,91 bc	4,49 a	5,99 a	0,59 b
IF 100% 2	13,79 c	4,62 a	6,16 a	0,07 c
IF 100% 1	13,79 c	4,33 a	5,78 a	0,15 bc

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo Teste de Tukey em nível de 5% de probabilidade.

Para a variável rendimento o tratamento APRI 100% com alternância dos lados de irrigação em 7 dias apresentou a melhor média, 5,65 ltCR : kgCB⁻¹, o que evidencia que a irrigação do solo, alternado, de duração de até 7 dias, com aplicação de 100% da ETC, pode elevar o rendimento das plantas. Plantas submetidas a técnica APRI com 50% da ETC com alternância do lado a cada 3 dias, irrigação com déficit hídrico e IF 100% 2 proporcionaram redução no rendimento, entretanto, iguais estatisticamente ao tratamento que apresentou o maior rendimento. Em geral, sabe-se que a relação entre o peso dos frutos cereja e peso de café beneficiado do cafeeiro Conilon varia de 3,3 a 5,2 kg: 1 kg, proporção que irá depender do material genético transplantado e eleva-se à medida que o café colhido apresenta maior porcentagem de frutos verdes (FERRÃO et al., 2007).

Em geral, todos os tratamentos analisados apresentaram maior percentual de grãos retidos em peneira 13 a 16 (grãos chatos) (Tabela 6), sendo que todas as médias ficaram acima de 90% de café retido, o que demonstrou excelente granação do café nessas condições. Verifica-se que o tratamento APRI 100% 7 proporcionou a melhor porcentagem média para retenção em peneira 16, entretanto, não diferiu estatisticamente dos demais tratamentos. O tamanho do grão de café é determinado no período compreendido entre a 10^o e 17^o semana após a primeira florada, quando há rápida expansão dos frutos, sendo a água primordial para esse desenvolvimento. Dessa forma, a elevada precipitação incidente nesse período favoreceu a granação, mesmo do tratamento submetido ao déficit hídrico, reduzindo o percentual de fundagem, ou seja, grãos que passaram pelos conjuntos de peneiras e se depositaram no fundo (RENA & MAESTRI, 2000). Os resultados satisfatórios também podem estar associados ao critério estabelecido na colheita, mínimo de 50% de frutos maduros, assim como os cuidados na etapa de secagem dos frutos, baixa temperatura.

Tabela 6. Percentual de grãos chatos, grãos moca e fundagem retidos em peneiras nos regimes de irrigação.

Tratamento	Peneira (Grãos Chatos)			Grãos Moca	Fundagem
	16	14	13		
APRI 50% 3	44,40 a	37,76 a	11,33 a	6,39 a	0,12 a
APRI 50% 7	53,05 a	33,02 a	8,75 a	5,00 a	0,17 a
APRI 50% 14	50,14 a	34,41 a	9,43 a	5,77 a	0,24 a
APRI 100% 3	39,71 a	43,73 a	9,81 a	6,49 a	0,27 a
APRI 100% 7	68,02 a	22,88 a	5,70 a	3,27 a	0,13 a
APRI 100% 14	55,73 a	32,02 a	7,42 a	4,67 a	0,17 a
DI 50%	63,42 a	25,40 a	7,31 a	3,75 a	0,13 a
IF 100% 2	57,27 a	30,83 a	7,53 a	4,19 a	0,18 a
IF 100% 1	48,13 a	36,28 a	9,33 a	5,89 a	0,37 a
CV (%)	29,70	35,73	38,01	51,52	86,06

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo Teste de Tukey em nível de 5% de probabilidade.

Segundo Rena & Maestri (1985) grãos do tipo moca quando em comparação aos do tipo chato promovem redução no rendimento. Os grãos moca apresentam formato arredondado, originário do desenvolvimento de apenas uma semente, em decorrência de uma anormalidade genética (endosperma discoide) ou em razão de fatores ambientais ou fisiológicos, como seca prolongada e déficit nutricional (VACARELLI et al., 2003).

Vilella & Faria (2002) ao avaliarem diferentes lâminas de irrigação em cafeeiro arábica, irrigados por gotejamento, observaram que a lâmina correspondente a 100% da evaporação do Tanque Classe A (ECA) foi a que resultou em maior porcentagem de café retido em peneira 16 e superior com 82,97%. Por outro lado, Custódio et al. (2007) obtiveram resultados diferentes, em que verificaram que os tratamentos que receberam a lâmina de irrigação correspondente a 60% da ECA apresentaram o maior percentual de café grãos chato grande (peneira 17 e maiores).

Com relação a eficiência do uso da água (EUA) também foi observada efeito significativo ($p < 0,05$) entre os tratamentos estudados (Tabela 5). Como verificado, houve tendência de aumento para os tratamentos em déficit com alternância dos lados de irrigação em até 14 dias (APRI 50% 3, 7 e 14), com 1,2, 1,57 e 1,15 kg m⁻³, respectivamente. A maior produtividade em APRI 7 para uma redução de 50% da ETc garantiu maior EUA, principalmente quando comparado a irrigação fixa com emprego de um tubo gotejador, o qual é o método mais empregado pelo irrigante em campo. Santos et al. (2021), ao trabalhar com mamoeiro em condições edafoclimáticas no semiárido baiano, observaram maior eficiência do uso de água nos tratamentos com APRI 50 e 35% da lâmina bruta com alternância dos lados de irrigação em 7 dias. Kirda et al. (2007), em um pomar de tangerina, também obtiveram maior EUA nos tratamentos com déficit, quando comparado ao tratamento com irrigação plena, corroborando com os resultados encontrados no presente estudo.

Carvalho (2015) também constatou maior eficiência do uso de água em plantas de acerola, sob condições edafoclimáticas na Chapada Diamantina, quando irrigadas sob APRI em intervalo de 7 dias entre as irrigações.

Kang et al. (2001) em trabalho com pimenta empregando a técnica APRI e com umidade de manejo de 55 e 65% de água disponível, não verificaram redução na produtividade, e a EUA foi superior nos tratamentos com APRI. Os resultados apresentados por outros autores alinhados aos encontrados no presente estudo, reforçam a importância da técnica APRI como estratégia no manejo de irrigação, com economia de água em áreas irrigadas.

Vale ressaltar que as pesquisas futuras devem ser realizadas a fim de se obter a melhor estratégia de manejo de irrigação e validar a eficiência da técnica APRI na cultura do cafeeiro Conilon.

6 CONCLUSÃO

Não houve diferenças significativas nas variáveis de crescimento e rendimento para a estratégia de manejo de irrigação com déficit hídrico controlado e alternância do lado irrigado.

A técnica de secamento parcial do sistema radicular associada ao déficit hídrico de 50% da ETc com aumento da frequência de alternância do lado irrigado apresentou uma tendência de maiores produtividades e eficiência do uso da água.

7 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements**. Rome: FAO. 300 p. (FAO – Irrigation and Drainage Paper, 56). 1998.

ALVES JÚNIOR, J. A.; FOLEGATTI, M. V.; SILVA, C. R.; SILVA, T. J. A.; EVANGELISTA, A. W. P. Response of young ‘Tahiti’ lime trees to different irrigation levels. **Engenharia Agrícola**, Botucatu, v. 31, p. 303-304, 2011.

AMARAL, J. A. T.; LOPES, JOSÉ CARLOS; AMARAL, JOSÉ FRANCISCO TEIXEIRA DO; SARAIVA, S. H.; JESUS JUNIOR, W. C. Crescimento vegetativo e produtividade de cafeeiros Conilon propagados por estacas em tubetes. **Ciência e Agrotecnologia** (UFLA), v. 31, p. 1624-1629, 2007.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (Brasil). Atlas irrigação: uso da água na agricultura irrigada. 2º ed. Brasília. Brasília: ANA, 2021.

BACON, M.; WILKINSON, S.; DAVIES, W. J. pH-regulated cell expansion is ABA dependent. **Plant Physiology**, 118: 1507-1515. 1998.

BARROS, A. C.; FOLEGATTI, M. V.; SOUZA, C. F.; SANTORO, B. L. Distribuição de água no solo aplicado por gotejamento enterrado e superficial. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v.13, n.3, p.700-707, 2009.

BRAGANÇA, S. M.; CARVALHO, C. H. S.; FONSECA, A. F. A.; FERRÃO, R. G. Variedades clonais de café Conilon para o Estado do Espírito Santo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.36, n.5, p.765-770, 2001.

CARVALHO, G. C. **Secamento parcial do sistema radicular no cultivo da acerola em condições do bioma da chapada Diamantina**. 2015. 82f. Tese (Doutorado). Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2015.

CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira: café**. Safra 2021: 4º levantamento. Brasília: CONAB, v. 8, n.4, p. 56. 2021.

CRUZ, C. D. **Programa Genes - Estatística Experimental e Matrizes**. 1. ed. Viçosa: Editora UFV, v. 1. p.285 2006

CUSTÓDIO, A. A. P., GOMES, N. M., LIMA L. A. Efeito da irrigação sobre a classificação do café. **Engenharia Agrícola**, v.27, n.3, p.691-701, 2007.

DARDENGO, M. C. J. D. **Crescimento, produtividade e consumo de água do cafeeiro Conilon sob manejo irrigado e de sequeiro**. 2012. 97 f. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) Centro de Ciências e Tecnologias, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes, 2012.

DAVIES, W. J.; M. A.; BACON, D. S.; THOMPSON, W.; SOBEIH AND L. G. RODRIGUEZ. Regulation of leaf and fruit growth in plants growing in drying soil: exploitation of the plants' chemical signaling system and hydraulic architecture to increase the efficiency of water use in agriculture. **J. Exp. Bot.** v. 51, p. 1617- 1625, 2000.

DU, T.; KANG, S.; ZHANG, J.; LI, F. Water use and yield responses of cotton to alternate partial root-zone drip irrigation in the arid area of north-west China. **Irrigation Science**, v.26, p.147–159, 2008.

FAO – **Food and Agriculture Organization of the United Nations**. FAO Statistical Yearbook – World Food and Agriculture. Rome, P.289, 2013.

FERRÃO, R. G.; FONSECA, A. F. A.; FERRÃO, M. A. G.; BRAGANÇA, S. M.; VERDIN FILHO, A. C.; VOLPI, P. C. Cultivares de café Conilon. *In*: Ferrão, R. G.; Fonseca, A. F. A. da Bragança, S. M.; Ferrão, M. A. G.; De Muner, L. H. (eds.). **Café Conilon**. Vitória: Incaper, Cap 7, p.205-225. 2007

KANG, S.; ZHANG, L.; XIAOTA, H.; LI, Z.; JERIE, P. na improved water use efficiency for hot pepper grown under controlled alternate drip irrigation on partial roots. **Scientia Horticulturae**. V. 89, p.257-267, 2001.

KRIEDEMANN, P. E.; GOODWIN, I. Regulated Deficit Irrigation and Partial Rootzone Drying. **Irrigation Insights** N. 3. Land & Water Australia, Canberra. 2003.

KELLER, J.; BLIESNER, R. D. **Sprinkle and trickle irrigation**. New York: Avibook, p.649, 1990.

KIRDA, C.; TOPALOGLU, F.; TOPÇU, S.; KAMAN, H. Mandarin Yield Response to Partial Root Drying and Conventional Deficit Irrigation. **Turkish Journal of Agriculture and Forestry**, v. 31, p.1-10, 2007.

LEIB, B. G.; CASPARI, H. W.; REDULLA, C. A.; ANDREWS, P. K.; JABRO, J. J. Partial rootzone drying and deficit irrigation of 'Fuji' apples in a semi-arid climate. **Irrigation Science**, v.24, p.85–99, 2006.

MALAVOLTA, E.; FAVARIN, J. L.; MALAVOLTA, M.; CABRAL, C. P.; HEINRICH, R.; SILVEIRA, J. S. M. Repartição de nutrientes nos ramos, folhas e flores do cafeeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 37, n. 9, p. 1017-1022, 2002.

MARTÍNEZ, J.; RECA, J. Water Use Efficiency of Surface Drip Irrigation versus an Alternative Subsurface Drip Irrigation Method. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, v.140, n.10, p.1-9, 2014.

McCARTHY, M.G.; LOVEYS, B.R.; DRY, P.R.; STOLL, M. Regulated deficit irrigation and partial root zone drying as irrigation management techniques for grape vines. In: FAO – FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **Deficit Irrigation Practices**. Roma: FAO, p. 79-87. (Water Reports 22). 2002

PANIGRAHI, P. et al. Economic Analysis of drip-irrigated kinnow mandarin orchard under deficit irrigation and partial root zone drying. **Irrigation and Drainage**, n. 62, p. 67–73, 2013.

PARTELLI, F. L.; VIEIRA, H. D.; GABETO, M.; SILVA, M. G.; RAMALHO, J. C. Seasonal vegetative growth of different age branches of Conilon coffee tree. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v.31, n.3, p. 619-626, 2010.

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

REICHARDT, K.; TIMM, L. C. **Solo, planta e atmosfera: conceitos, processos e aplicações**. Barueri: Manole, p.478, 2004.

RENA, A. B.; DAMATA, F. M. O sistema radicular do cafeeiro: morfologia e ecofisiologia. In: Zamolim, L. (ed.). **O estado da arte de tecnologias na produção de café**. Viçosa: UFV, Cap. 2. P. 11-92. 2002

RENA, A. B.; MAESTRI, M. Relações hídricas no cafeeiro. **Item**, Brasília, n.48, p.34-41. 2000

RENA, A. B.; MAESTRI, M. Fisiologia do cafeeiro. **Informe Agropecuário**. 11(126): 26-40. 1985

SAMPAIO, A. H. R.; COELHO FILHO, M. A.; COELHO, E. F.; DANIEL, R.; OLIVEIRA, V. V. M.; CARVALHO, G. C.; SANTANA JUNIOR, E. B. Déficit hídrico e secamento parcial do sistema radicular em pomar de lima ácida. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 45, p. 1141-1148, 2010.

SÁNCHEZ-BLANCO, M. J.; TORRECILLAS, A. Aspectos relacionados con la utilización de estrategias de Riego Deficitario Controlado en cultivos y leñosos. In: Zapata, M. & Segura, P.; eds. **Riego Deficitario Controlado**. Mundi prensa. Madrid, p. 43-63. 1995

SANTOS, DIONEI LIMA; COELHO, EUGÊNIO FERREIRA ; CUNHA, FERNANDO FRANÇA DA ; DONATO, SÉRGIO LUIZ RODRIGUES ; BERNADO, WALLACE DE PAULA ; RODRIGUES, WEVERTON PEREIRA ; CAMPOSTRINI, ELIEMAR . Partial root-zone drying in field-grown papaya: Gas exchange, yield, and water use efficiency. **Agricultural Water Management**, v. 243, p. 106421, 2021.

SANTOS, M. R.; DONATO, S. L. R.; COELHO, E. F.; ARANTES, A. M.; COELHO FILHO, M. A. Irrigação lateralmente alternada em lima ácida 'Tahiti' na região norte de Minas Gerais. **Irriga**, Botucatu, Edição Especial, Irrigação, p. 71-88, 2016.

SANTANA-VEIRA, D. D.S.; FRESCHI, L.; ALMEIDA, L. A. da H.; MORAES, D. H. S. de; NEVES, D. M. dos; BERTOLDE, F. Z.; SOARES FILHO, W. dos S.; COELHO FILHO, M. A.; GESTEIRA, A. da S. Survival strategies of citrus rootstock subjected tp drought. **Scientific Reports**, v.6, p.38775, 2016.

SHAHABIAN, M.; SAMAR, S. M.; EMDAD, M. R. Response of orange trees to deficit irrigation strategies in the north of Iran. **Archives of Agronomy and Soil Science**, Berlin, v. 58, p. 267-276, 2012.

SLOVIK, S.; DAETER, W.; HARTUNG, W. Compartmental redistribution and long-distance transport of abscisic acid (ABA) in plants as influenced by environmental changes in the rhizosphere: a biomathematical model. **Journal of Experimental Botany**, v. 46, p. 881–894, 1995.

VACARELLI, V. N.; MEDINA FILHO, H. P.; FAZUOLI, L. C. Avaliação de frutos chochos e de sementes do tipo moca no rendimentos de híbridos arabustas tetraploides (*Coffea Arabica* x *Coffea canephora*). **Boisience Journal**, Uberlândia, MG, 19(3): 155-165. 2003.

VILELLA, W. M. C.; FARIA, M. A. . Qualidade dos grãos do cafeeiro (*Coffea arabica* L.) produzidos sob diferentes lâminas de irrigação e parcelamentos de adubação. **Irriga** (Botucatu), Botucatu - SP., v. 07, n.03, p. 168-175, 2002.

ZHANG, J.; DAVIES, W. J. Antitranspirant activity in the xylem sap of maize plants. **J. Exp. Bot.**, v. 42, p. 317-321, 1991.

CAPÍTULO 2

INDICADORES FISIOLÓGICOS DO CAFEIEIRO CONILON SUBMETIDO AO SECAMENTO PARCIAL DO SISTEMA RADICULAR¹

¹ Artigo ajustado para submissão ao Comitê Editorial do Periódico Científico: IRRIGA

INDICADORES FISIOLÓGICOS DO CAFEIEIRO CONILON SUBMETIDO AO SECAMENTO PARCIAL DO SISTEMA RADICULAR

1 RESUMO

O cultivo do cafeeiro Conilon tem sido realizado em áreas com ocorrência de elevados déficits hídricos o que reflete negativamente no potencial produtivo. Diante do exposto, objetivou-se avaliar indicadores fisiológicos de tolerância ao déficit hídrico em plantas de cafeeiro Conilon submetidas a irrigação com alternado secamento parcial do sistema radicular (APRI). O estudo foi desenvolvido na Fazenda Experimental do Centro Universitário Norte do Espírito Santo, Universidade Federal do Espírito Santo, no município de São Mateus-ES. O delineamento experimental foi em blocos casualizados, com nove tratamentos. Os tratamentos foram obtidos pela alternância do lado de molhamento do sistema radicular das plantas, com atendimento de 50% da evapotranspiração da cultura (ETc) em intervalos de 3, 7 e 14 dias, com atendimento de 100% da ETc em intervalos de 3, 7 e 14 dias, irrigação com déficit hídrico controlado, 50% da ETc, irrigação fixa, com atendimento de 100% da ETc, aplicado por duas linhas de gotejadores, irrigação fixa, com aplicação de 100% da ETc aplicada por uma linha de gotejadores. A restrição hídrica empregada (APRI 50% e DI 50%) não afetou o conteúdo relativo de água nas folhas em plantas avaliadas aos 24 meses após transplântio. As avaliações do índice relativo de clorofila demonstraram que a estratégia de APRI não afetou a eficiência fotossintética das plantas. As plantas submetidas a condição de déficit hídrico (APRI 50% e DI 50%) apresentaram valores dos parâmetros de fluorescência significativamente iguais às plantas que não foram submetidas a deficiência hídrica (APRI 100% e IF 100%).

Palavras-chave: *Coffea canephora*, manejo de irrigação, eficiência do fotossistema II

2 ABSTRACT

Conilon coffee cultivation has been carried out in areas with high water deficits, which reflects negatively on the productive potential. In view of the above, the objective was to evaluate physiological indicators of tolerance to water deficit in Conilon coffee plants submitted to irrigation with alternating partial drying of the root system (APRI). The study was carried out at the Experimental Farm of the Centro Universitário Norte do Espírito Santo, Federal University of Espírito Santo, in the municipality of São Mateus-ES. The experimental design was in randomized blocks, with nine treatments. The treatments were obtained by alternating the wetting side of the root system of the plants, with 50% of the crop evapotranspiration (ETc) at intervals of 3, 7 and 14 days, with 100% of the ETc at intervals of 3, 7 and 14 days, irrigation with controlled water deficit, 50% of ETc, fixed irrigation, with 100% of ETc, applied by two drip lines, fixed irrigation, with application of 100% of ETc applied by one drip line. The water restriction used (APRI 50% and DI 50%) did not affect the relative water content in the leaves in plants evaluated at 24 months after transplanting. The evaluations of the relative chlorophyll index showed that the APRI strategy did not affect the photosynthetic efficiency of the plants. The plants submitted to water deficit condition (APRI 50% and DI 50%) presented values of the fluorescence parameters significantly equal to the plants that were not submitted to water deficit (APRI 100% and IF 100%).

Keywords: *Coffea canephora*, irrigation management, photosystem efficiency II

3 INTRODUÇÃO

O Brasil é o maior produtor de café em nível global, e responde por 30% da produção, atingindo 47,176 milhões de sacas de café beneficiadas de 60 kg na safra 2020/21 (CONAB, 2021). Dentre os Estados brasileiros produtores da cultura, o Espírito Santo destaca-se como maior produtor de café Conilon, com 11,221 milhões de sacas de café beneficiadas em 2021, sendo responsável por aproximadamente 68,9% da produção nacional, com destaque para a região norte do estado (CONAB, 2021).

O cultivo do cafeeiro Conilon (*Coffea canephora*) tem sido realizado em áreas em que as distribuições pluviiais são irregulares, há mudanças de temperatura e com ocorrência de elevados déficits hídricos (PEZZOPANE et al., 2010), os quais limitam o estabelecimento inicial da cultura no campo e refletem negativamente no potencial produtivo (RIBEIRO et al., 2017), o que torna necessário realizá-lo predominantemente sob irrigação. Assim, o suprimento de água em quantidade e frequência correta pode proporcionar maior desenvolvimento inicial da cultura, além de reduzir perdas na evapotranspiração da cultura (LOPES et al., 2019).

A partir do início da década de 90, uma nova estratégia de manejo da irrigação, começou a ser estudada, com o intuito de elevar a eficiência do uso da água na irrigação de cultivos. Conhecida como irrigação com alternado secamento parcial do sistema radicular (APRI), foi observada inicialmente por John Possingham e Brian Loveys em lavouras de uva no sul da Austrália. Na irrigação com APRI, enquanto parte das raízes é irrigada, a outra parte é exposta ao secamento do solo. Os lados de umedecimento e secamento são alternados com uma frequência que depende do tipo de solo e da planta analisada (KRIEDEMANN & GOODWIN, 2003).

A técnica permite a formação de diferentes perfis de solo úmido, com ocorrência de déficit hídrico total ou parcial do solo, causando diferentes caracterizações de disponibilidade de água para a cultura. Em condições de déficit hídrico o desenvolvimento da parte aérea das plantas pode ser comprometido em razão da diminuição do status hídrico da parte aérea (WAHBI et al., 2005).

De acordo com Galmes et al. (2007), o déficit hídrico pode ocasionar alterações severas no metabolismo vegetal, de tal forma a promover redução no teor relativo de água na folha e no conteúdo de clorofila foliar (ZHOU et al., 2013). Mesmo lavouras submetidas a alto padrão tecnológico, com manejo eficiente da irrigação, a ocorrência de elevadas temperaturas aumenta a evapotranspiração e limita a disponibilidade hídrica, de modo a comprometer o status hídrico das plantas de café (CONAB, 2015).

Dentre os parâmetros fisiológicos, o conteúdo relativo de água (CRA) tem se mostrado bom indicador para caracterizar o status hídrico da planta, particularmente durante períodos de baixo volume pluviométrico, por considerar o peso túrgido da folha (LANGARO, 2014). Segundo a literatura, o CRA estima o conteúdo de água atual do tecido foliar em relação ao conteúdo máximo que pode conter quando túrgido. A intensidade do estresse hídrico na planta afeta a formação de folhas novas, reduzindo a área fotossinteticamente ativa e acelera o processo de senescência. Fato marcante aliado a esse processo é o conteúdo de clorofila, empregado como um indicador sensível do estado metabólico celular, o qual pode estar relacionado a deterioração da membrana cloroplastídica, em virtude do acúmulo de íons tóxicos (CHUTIPAIJIT et al., 2011).

O Fotossistema II é um componente sensível da maquinaria fotossintética no que diz respeito ao estresse hídrico, tendo em vista que é observado reduções na sua eficiência e na cadeia transportadora de elétrons, promovendo diminuição da eficiência fotossintética

(PARIHAR et al., 2015). Assim, o estudo funcional do aparato fotossintético é considerado um indicador fisiológico de grande importância para verificar a sensibilidade das plantas quanto ao estresse abiótico ambiental (OLIVEIRA et al., 2017).

Diante da necessidade de estudos que deem suporte para entendimento dos mecanismos de conservação de água na planta e a importância do cafeeiro Conilon, o objetivo deste trabalho foi avaliar indicadores fisiológicos de tolerância ao déficit hídrico em plantas de cafeeiro Conilon submetidas a irrigação com alternado secamento parcial do sistema radicular.

4 MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi desenvolvido na Fazenda Experimental do Centro Universitário Norte do Espírito Santo, Universidade Federal do Espírito Santo, no município de São Mateus-ES, situada sob as coordenadas geográficas 18° 43' S, 39° 51' W e altitude média de 39 metros. O clima predominante da região é quente e úmido (tipo Aw de Köppen), com estação seca no outono-inverno e estação chuvosa na primavera-verão.

O solo do local é classificado como Argissolo Amarelo, textura franco arenosa na camada de 0,0 a 0,40 m de profundidade, típico de tabuleiros costeiros. As propriedades físicas da área experimental são apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1. Análise física do solo da área experimental da linha e entrelinha do cafeeiro.

Camada (m)		Classificação granulométrica (%)		
		Areia	Silte	Argila
0,00 - 0,20	linha	74,9	4,4	20,7
	entrelinha	76,6	4,2	19,2
0,20 - 0,40	linha	67,1	4,0	28,9
	entrelinha	74,9	2,5	22,6
0,40 - 0,70	linha	52,3	8,8	38,9
	entrelinha	55,6	8,0	36,4
0,70 - 1,00	linha	40,3	6,3	53,4
	entrelinha	43,0	7,8	49,3

O experimento ocorreu no período de março de 2020 a agosto de 2021 em lavoura de cafeeiro Conilon, com oito meses de idade. As mudas foram transplantadas em julho de 2019, no espaçamento 3,0 m x 1,0 m. A adubação do cafeeiro foi realizada via fertirrigações distribuídas quinzenalmente, com base na análise química do solo e adotadas conforme Prezotti et al. (2007).

Os genótipos utilizados são de ciclo médio, empregando o clone 143 nas linhas úteis, e mistura de clones polinizadores nas linhas de bordadura, intercaladas as duas linhas úteis. As parcelas experimentais foram compostas por duas linhas de cafeeiro, com oito plantas cada. Cada parcela foi constituída por duas fileiras de plantas, com oito metros de comprimento.

O delineamento experimental foi em blocos casualizados, com nove tratamentos e quatro repetições. Os tratamentos foram obtidos pela alternância do lado de molhamento do sistema radicular das plantas, com aplicação de 50% da evapotranspiração da cultura (ETc) em intervalos de 3, 7 e 14 dias (APRI 50% 3, APRI 50% 7 e APRI 50% 14, respectivamente), e pela alternância do lado de molhamento do sistema radicular das plantas, com aplicação de 100% da evapotranspiração da cultura (ETc) em intervalos de 3, 7 e 14 dias (APRI 100% 3, APRI 100% 7 e APRI 100% 14, respectivamente), irrigação com déficit hídrico controlado, com aplicação de 50% da ETc (DI 50%), tratamento com irrigação fixa, com aplicação de 100% da ETc, aplicado por duas linhas de gotejadores, uma em cada lado do sistema radicular da planta (IF 100% 2) e tratamento com irrigação fixa, com aplicação de 100% da ETc aplicada por uma linha de gotejadores, distribuída em apenas um lado do sistema radicular (IF 100% 1), representando o manejo de irrigação padrão na região.

O sistema de irrigação adotado foi por gotejamento subterrâneo, a 0,10 m de profundidade e a 0,20 m da linha de plantio, empregando tubos gotejadores, com emissores espaçados em 0,5 m, com vazão de 2,0 L h⁻¹ operando a 100 kPa. No manejo de irrigação com alternado secamento do sistema radicular (APRI), para cada fileira de plantas, foram instalados dois tubos gotejadores, um em cada lado do sistema radicular, conectados a válvulas manuais.

O volume diário de água aplicado aos tratamentos foi estimado a partir da evapotranspiração da cultura para irrigação localizada (ETcloc), calculado por meio de estimativas da evapotranspiração de referência (ETo), coeficiente de cultura (Kc) e fator de localização (Kl) de acordo a Keller & Bliesner (1990) (Equação 1).

$$ET_{cloc} = ETo \times Kc \times Kl \quad (1)$$

O fator de localização foi calculado conforme equação 2.

$$Kl = 0,10 PW^{0,5} \quad (2)$$

Em que PW correspondeu, para o período em estudo, ao valor de PAS, sendo PAS a porcentagem de área sombreada, definida como a relação entre área sombreada pelas plantas, ao meio dia, e a área ocupada pela planta.

A lâmina bruta de irrigação (LB) foi calculada com base na equação 3.

$$LB = \frac{LL}{Ei} \quad (3)$$

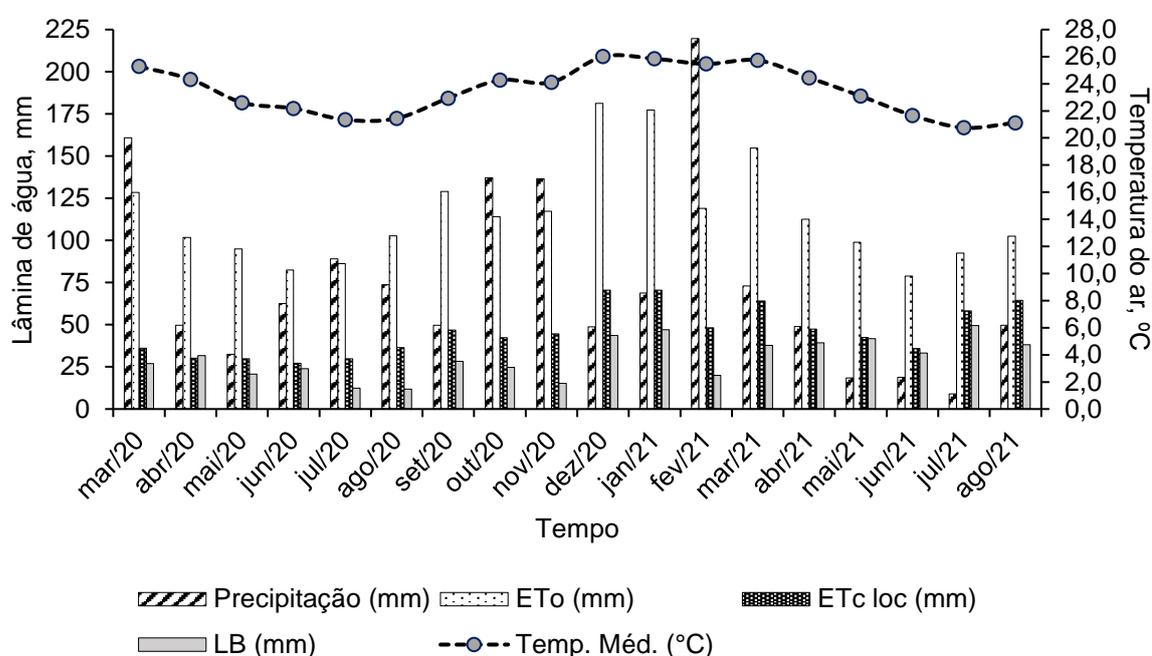
Em que LL é a lâmina líquida, dada pelo produto entre a evapotranspiração da cultura e o turno de rega (adotado turno de rega fixo de 1 dia), e Ei a eficiência de irrigação (Ei = 0,95, adotado neste trabalho).

A precipitação pluvial e os dados meteorológicos para cálculo da evapotranspiração de referência (ETo) (Figura 1) foram obtidos pela estação automática INMET/CEUNES A616, localizada a 500 m do local do experimento. A ETo foi estimada pelo emprego da equação de Penman-Monteith Padrão FAO (ALLEN, 1998) (Equação 4).

$$ET_o = \frac{0,408\Delta(Rn - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} U_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0,34U_2)} \quad (4)$$

Em que Rn corresponde ao saldo de radiação à superfície da cultura ($\text{MJ m}^{-2}\text{d}^{-1}$); G a densidade do fluxo de calor do solo ($\text{MJ m}^{-2}\text{d}^{-1}$); T a temperatura do ar a 2 m de altura ($^{\circ}\text{C}$); U_2 a velocidade de vento a 2 m de altura (m s^{-1}); e_s a pressão de vapor de saturação (kPa); e_a a pressão parcial de vapor (kPa); Δ a declividade da curva de pressão de vapor de saturação ($\text{kPa } ^{\circ}\text{C}^{-1}$), e γ ao coeficiente psicrométrico ($\text{kPa } ^{\circ}\text{C}^{-1}$).

Figura 1. Precipitação pluvial mensal acumulada, lâmina bruta, temperatura do ar, Evapotranspiração de referência (ETo) e da cultura (ETc) para irrigação localizada, Fazenda Experimental CEUNES/UFES, São Mateus – ES.



O conteúdo relativo de água (CRA) da folha foi determinado de acordo com o método de Slavik (1974) (Equação 5) e realizado em julho de 2021, aos 24 meses após transplante, antes da colheita dos frutos. Discos de folhas de $0,95 \text{ cm}^2$, a partir da parte central do terço superior das plantas, foram retirados e imediatamente pesados para obtenção da massa fresca (Df). Posteriormente, foram imersos em água destilada, até atingir peso constante, obtendo-se o peso da massa túrgida (Dt). Para obtenção do peso da massa seca (Ds) as amostras foram levadas à estufa até a completa desidratação.

$$CRA = \frac{Df - Ds}{Dt - Ds} \times 100 \quad (5)$$

Em que CRA corresponde ao conteúdo relativo de água (%); Df ao disco de folha fresco (g); Ds ao disco de folha seco (g) e Dt ao disco de folha túrgido (g).

O Índice Relativo de Clorofila (Chl *a*, Chl *b* e Chl total) foi determinado a partir do 150 dias após transplântio, com o emprego de um analisador de clorofila portátil ClorofiLOG CFL1030 da Falker (FALKER, 2008). As leituras foram realizadas a cada 60 dias, no período da manhã, entre 7 e 9 horas, com as folhas ainda inseridas às plantas, sendo efetuadas uma leitura por folha, em cinco folhas por parcela.

A indução da fluorescência da clorofila *a* foi realizada em julho de 2021, aos 24 meses após transplântio, antes da colheita dos frutos. Para avaliação utilizou-se cinco plantas por parcela e duas medidas por planta, em lados opostos da copa. As medidas de fluorescência da clorofila foram realizadas em folhas fisiologicamente maduras, nas partes centrais das plantas e adaptadas previamente ao escuro, por 30 minutos. A fluorescência transiente da clorofila *a* foi determinada com auxílio do fluorômetro portátil (Handy-PEA, Hansatech Instruments Ltd., King's Lynn Norfolk, UK), induzida pela luz vermelha com pico de 650 nm, de aproximadamente $3.000 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. Foram avaliados os parâmetros de fluorescência inicial (F_0), máxima (F_m), variável (F_v) e a eficiência quântica do PS II (F_v/F_m). A fluorescência transiente da clorofila *a* foi determinada por meio do Teste JIP (STRASSER et al., 2004; TSIMILLI-MICHAEL & STRASSER, 2008), o que permitiu calcular os fluxos específicos por centro de reação, eficiência ou rendimentos quânticos e índices de performance.

Os dados foram submetidos à análise de variância e, em razão da significância para as variáveis, foram submetidos ao teste de comparação de médias de Tukey ao nível de 5% de probabilidade, utilizando o programa Genes, segundo Cruz (2020).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O conhecimento do status hídrico da planta é de grande importância, por possibilitar determinar o status fisiológico da mesma. As variáveis fisiológicas conteúdo relativo de água (CRA) Clorofila *a*, *b* e total não foram influenciadas pela fonte de variação tratamento (Tabela 2). Mesmo submetido ao maior estresse hídrico do lado sob secamento, o tratamento DI 50% e APRI 14 com redução de 50% da ETc, apresentaram valores, para as variáveis fisiológicas, significativamente satisfatórias, iguais estatisticamente aos tratamentos com irrigação plena (Tabela 3). As precipitações ocorridas durante o período de avaliação (Figura 1), proporcionou boa disponibilidade de água nas diferentes fases da cultura, o que contribuiu para um bom desempenho dos tratamentos, inclusive dos submetidos ao déficit de 50% da lâmina de irrigação, ou, adaptação da planta a condição de estresse em que foi exposta.

Tabela 2. Resumo da análise de variância do conteúdo relativo de água (CRA), Clorofila *a* e *b* e total nos regimes de irrigação.

Fator de variação	GL	Quadrados médios			
		CRA	Clorofila <i>a</i>	Clorofila <i>b</i>	Clorofila total
Blocos	3	21,02 ^{ns}	1,62 ^{ns}	0,69 ^{ns}	4,41 ^{ns}
Tratamentos	8	3,45 ^{ns}	0,41 ^{ns}	1,34 ^{ns}	2,88 ^{ns}
Resíduo	24	2,83	0,96	0,7	2,55
CV (%)		2,97	2,47	4,32	2,71

^{ns} Não significativo pelo teste F.

Apesar de não apresentar diferença significativa, o maior valor médio para o CRA foi verificado no tratamento com APRI 7 com redução de 50% da ETc, 72,58%, seguido do tratamento DI com redução de 50% da ETc, 72,30% (Tabela 3). Chiquieri et al. (2005) impondo oito dias de deficiência hídrica do solo, em todo o sistema radicular do mamoeiro ou em apenas uma parte, verificaram que essa condição não foi suficiente para causar alterações no CRA. Entretanto, Dias et al. (2013) avaliando genótipos de mamoeiro irrigado verificaram máximos valores de CRA para os tratamentos que receberam mais água e foram submetidos a menores tensões do substrato.

Tabela 3. Valores médios para as variáveis conteúdo relativo de água (CRA), Clorofila *a* e *b* e total nos regimes de irrigação.

Tratamento	CRA	Clorofila <i>a</i>	Clorofila <i>b</i>	Clorofila total
	(%)	(índice SPAD)		
APRI 50% 3	71,42 a	39,16 a	18,36 a	57,53 a
APRI 50% 7	72,58 a	39,36 a	19,25 a	58,61 a
APRI 50% 14	70,58 a	39,34 a	18,86 a	58,53 a
APRI 100% 3	66,90 a	39,44 a	18,83 a	58,27 a
APRI 100% 7	71,64 a	39,58 a	18,62 a	58,22 a
APRI 100% 14	69,16 a	39,78 a	19,90 a	60,03 a
DI 50%	72,30 a	39,30 a	18,89 a	57,89 a
IF 100% 2	69,84 a	40,64 a	19,67 a	60,83 a
IF 100% 1	71,08 a	39,40 a	20,07 a	59,44 a

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo Teste F.

De acordo com Taiz & Zeiger (2004), quanto menor a disponibilidade de água no solo mais negativo deve ser o potencial desenvolvido pelos vegetais, menor o conteúdo relativo de água nas folhas, formando um gradiente que favoreça a absorção de água pelas plantas. Sob restrição hídrica há redução no CRA nas folhas em razão da menor disponibilidade de água para a parte aérea da planta, seja por redução da condutividade hidráulica, seja pela baixa disponibilidade de água no solo (PELOSO et al., 2017).

A clorofila total (em unidades SPAD) nos tratamentos APRI 14 com 100% da ETc e IF 100% com irrigação nos dois lados da planta foram superiores em relação aos demais tratamentos, obtendo valores médios de 60,03 e 60,83 SPAD, respectivamente (Tabela 3). Os tratamentos APRI 3 com redução de 50% da ETc e DI com redução de 50% da ETc, apresentaram os menos índices com valores de 57,53 e 57,89 SPAD, respectivamente. Entretanto, não foi observada diferença significativa para esta variável em relação a todos os tratamentos analisados. Lima (2014) estudando irrigação parcial do sistema radicular e déficit de irrigação regulado em mamoeiro também não observou diferença significativa ao longo do período de crescimento das plantas.

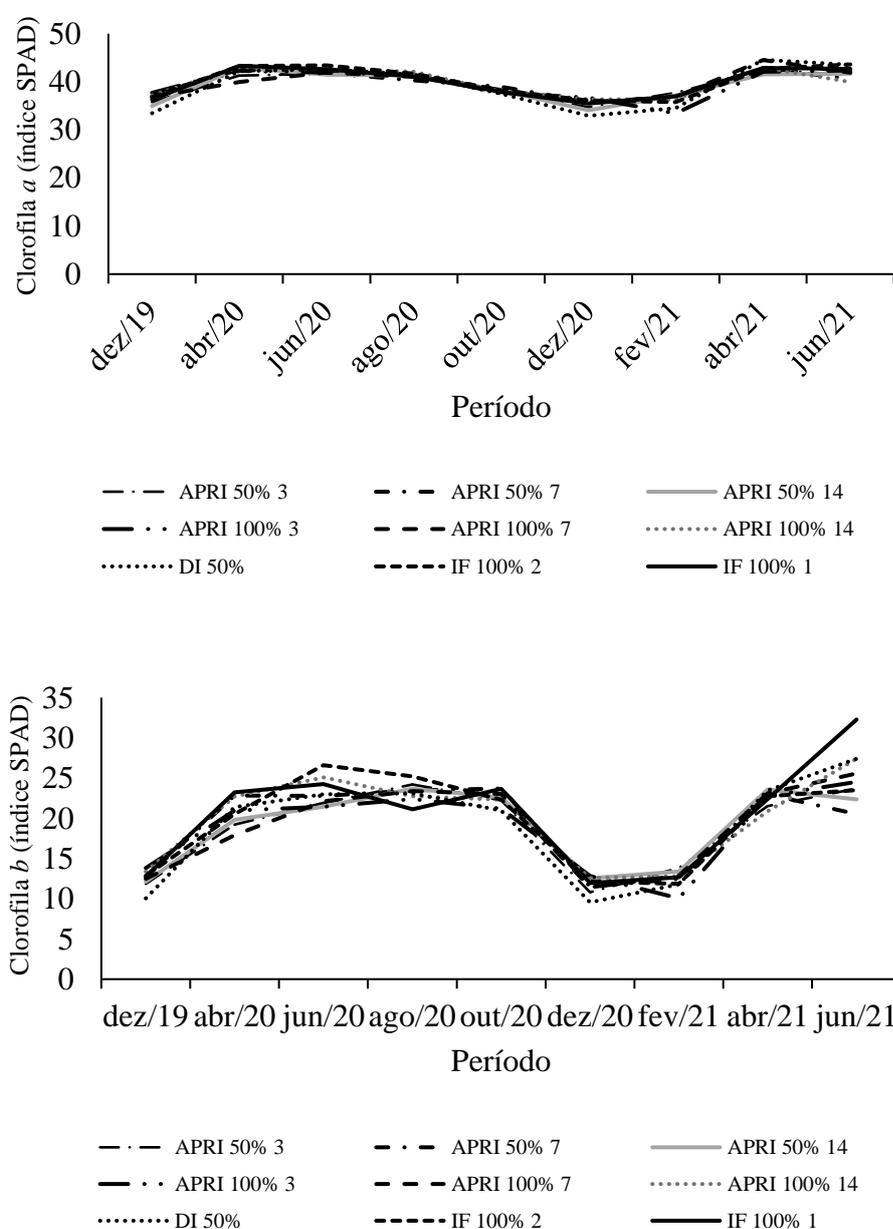
Segundo Torres Netto et al. (2005), leituras SPAD inferiores a 40 indicam deficiência de clorofila, o que afeta o processo fotossintético, o qual não foi observado no presente trabalho, em que todos os tratamentos apresentaram leituras SPAD superiores a 57. Segundo Nascimento (2009), o teor de clorofila total é uma característica importante, pois indica a eficiência na absorção de radiação solar pelas folhas e, em consequência, maior taxa fotossintética.

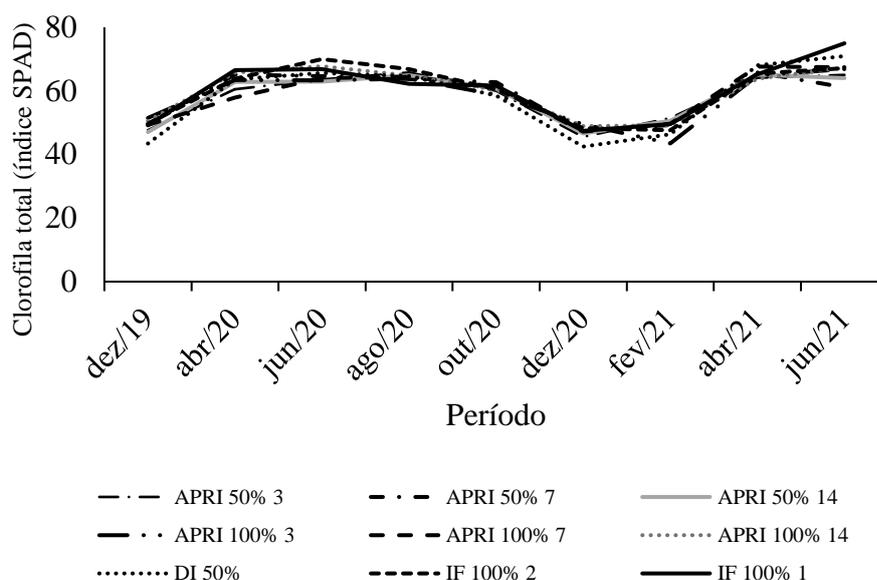
De acordo com Bastos et al. (2012), a clorofila é o principal pigmento responsável pela captação da energia luminosa, a qual será utilizada no processo fotossintético, e constitui um

dos principais fatores relacionados à eficiência da fotossíntese e, em contrapartida, ao crescimento e adaptabilidade a diferentes ambientes.

A concentração de clorofila *a*, *b* e total apresentou declínio ao longo do período de condução do cafeeiro, com redução expressiva no mês de dezembro para todos os tratamentos analisados. Esta redução nos valores pode ser um indicativo de que houve degradação de clorofila ou uma maior aclimatação ao estresse imposto, visto que a maior redução do teor de clorofila é um mecanismo de defesa por reduzir a captação de energia luminosa e consequentemente diminui o fluxo de elétrons, promovendo a redução parcial do oxigênio, resultando na formação de espécies reativas deste elemento (BROSCHÉ et al., 2010) (Figura 2). Lima et al. (2015) analisando diferentes regimes hídricos em mamoeiro, também verificaram redução no IRC ao longo do período de crescimento das plantas.

Figura 2. Índice de clorofila *a*, *b* e total nos regimes de irrigação.





A fluorescência máxima (Fm), fluorescência variável (Fv) e o rendimento quântico (Fv/Fm) não apresentaram diferença significativa entre os diferentes regimes de irrigação empregados ($P < 0,05$). Já a fluorescência inicial (Fo) apresentou diferença significativa entre os diferentes regimes hídricos empregados ($P > 0,05$) (Tabela 4).

Tabela 4. Resumo da análise de variância da fluorescência inicial (Fo), fluorescência máxima (Fm), fluorescência variável (Fv) e do rendimento quântico (Fv/Fm) nos regimes de irrigação.

Fator de variação	GL	Quadrados médios			
		Fo	Fm	Fv	Fv/Fm
Blocos	3	852,29 ^{ns}	17502,49 ^{ns}	19465,10 ^{ns}	0,000268 ^{ns}
Tratamentos	8	765,27*	19434,90 ^{ns}	18124,96 ^{ns}	0,000168 ^{ns}
Resíduo	24	262,58	42934,3	43513,56	0,000168
CV (%)		2,72	7,59	9,77	2,29

Significativo a 5% de probabilidade pelo teste F; ^{ns} Não significativo pelo teste F.

A fluorescência inicial (Fo) do cafeeiro, não apresentou efeito significativo em relação aos diferentes regimes de irrigação pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade (Tabela 5). Os resultados encontrados neste trabalho revelaram maior valor de Fo, 611,82 elétrons quantum⁻¹, com o emprego do tratamento APRI 100% 14, sendo este menor, 575,18 elétrons quantum⁻¹, com o tratamento IF 100% 1. Suassuna et al. (2011) estudando plantas de melão em relação à eficiência fotoquímica sob níveis de irrigação, observaram que a fluorescência inicial atingiu o valor máximo de 310,72 elétrons quantum⁻¹ com emprego da lâmina de 160% da ETc, valor esse inferior ao encontrado no presente trabalho.

Ressalta-se que a fluorescência inicial é determinada como a intensidade de fluorescência quando todos os centros de reação do fotossistema II (PSII) estão abertos e as membranas fotossintéticas desenergizadas com coeficiente de extinção fotoquímico (qp) igual a 1 e o não-fotoquímico (qnp) igual a 0. O maior valor para Fo, pode provocar a destruição do centro de reação do PSII ou reduzir a capacidade de transferência da energia de excitação da antena ao PSII (BAKER & ROSENQVST, 2004; SUASSUNA et al., 2011).

A ausência de diferenças encontradas neste trabalho na Fm, Fv e Fv/Fm para os diferentes regimes hídricos empregados pode estar relacionada com as precipitações ocorridas

durante o período de avaliação (Tabela 5), a qual proporcionou boa disponibilidade de água nas diferentes fases da cultura.

Tabela 5. Valores médios para as variáveis fluorescência inicial (Fo), fluorescência máxima (Fm), fluorescência variável (Fv) e do rendimento quântico (Fv/Fm) nos regimes de irrigação.

Tratamento	Fo	Fm	Fv	Fv/Fm
	(elétrons quantum ⁻¹)			
APRI 50% 3	590,58 a	2599,52 a	2008,94 a	0,77178 a
APRI 50% 7	607,76 a	2703,68 a	2095,92 a	0,77415 a
APRI 50% 14	611,45 a	2724,86 a	2113,41 a	0,77509 a
APRI 100% 3	591,14 a	2818,32 a	2227,18 a	0,78961 a
APRI 100% 7	584,97 a	2690,17 a	2105,20 a	0,78033 a
APRI 100% 14	611,82 a	2769,46 a	2157,63 a	0,77902 a
DI 50%	579,12 a	2724,42 a	2145,30 a	0,78733 a
IF 100% 2	600,85 a	2827,03 a	2226,17 a	0,78627 a
IF 100% 1	575,18 a	2702,64 a	2127,47 a	0,78587 a

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo Teste de Tukey em nível de 5% de probabilidade.

Apesar de não apresentar diferença significativa, o tratamento APRI 3 com redução de 50% da ETc apresentou o menor valor para a Fm, 2599,52 elétrons quantum⁻¹, já as submetidas ao regime hídrico IF 100% 2 apresentaram valor máximo para esta variável, 2827,027 elétrons quantum⁻¹. Alguns autores (BAKER & ROSENQVST, 2004; KONRAD et al., 2005; SUASSUNA et al., 2010) destacam que esse indicador representa a intensidade máxima da fluorescência, em que praticamente toda a quinona é reduzida e os centros de reação alcançam a capacidade máxima de reações fotoquímicas. Melo et al. (2010) avaliando fluorescência da clorofila em melancia irrigada verificaram Fm de 1792,23 elétrons quantum⁻¹ com lâmina de 143,33 mm ciclo⁻¹. Já Silva et al. (2015) estudando diferentes níveis de reposição hídrica na cultura da berinjela encontraram valor máximo para Fm de 2220,12 elétrons quantum⁻¹ com aplicação de 166% da ETc, sendo esses resultados, inferiores aos observados no presente trabalho. O máximo estimado de Fm (1559,03 elétrons quantum⁻¹) em meloeiro irrigada relatado por Suassuna et al. (2011) foi observado com irrigação baseada em 100% da ETc.

A variação dos valores da Fm entre os diferentes tratamentos pode evidenciar variações nas propriedades dos aceptores de elétrons do fotossistema II (PSII), causadas por mudanças conformacionais induzidas pelo estresse no principal constituinte do complexo proteico que forma o FSII, a proteína D1 (BULKHOV et al., 1999).

O valor mais expressivo de fluorescência variável (Fv) (2227,18 elétrons quantum⁻¹), foi verificada no tratamento APRI 3 com aplicação de 100% da ETc. Esse resultado foi superior ao valor encontrado por Melo et al. (2010), estudando a fluorescência da clorofila na melancia em função de níveis de água, constatando-se maior Fv de 1427,04 elétrons quantum⁻¹ com a aplicação de 70% da ETc e ao encontrado por Silva et al. (2015) estudando a fluorescência da clorofila em berinjela irrigada, obtendo-se maior Fv de 1842,13 elétrons quantum⁻¹ com aplicação de 166% da ETc.

Para o rendimento quântico do PSII (Fv/Fm) os valores das variáveis da fluorescência da clorofila mostram que, a máxima eficiência quântica não apresentou diferença significativa entre os diferentes regimes hídricos empregados, o que sugere que o estresse hídrico imposto

às plantas não promoveu fotoinibição, promovendo ausência de danos severos ao complexo coletor de luz do PSII (QUIMARÃES, 2011). Segundo Kalaji e Guo (2008) Fv/Fm é considerado amplamente como sensível a indicação do desempenho fotossintético da planta. Aidar et al. (2015) estudando acessos de *Manihot esculenta* em condições de déficit hídrico não verificaram diferença significativa entre os valores de Fv/Fm. Em genótipos de cafeeiro, cultivados em vasos de cinco litros de substrato e submetidos a déficit hídrico, Lima et al. (2002), observaram que os materiais submetidos ao déficit hídrico não apresentaram queda em Fv/Fm, no entanto, os autores observaram aumento na atividade de enzimas antioxidantes, as quais proporcionam a eliminação de espécies ativas de oxigênio.

O valor máximo de 0,789 elétrons quantum⁻¹, foi verificado com o emprego do tratamento APRI 100% 3, e o menor valor de 0,771 elétrons quantum⁻¹ com o tratamento APRI 50% 3. Plantas com valores de Fv/Fm inferiores a 0,75 elétrons quantum⁻¹ podem estar sob condição de estresse, o que indica redução do potencial fotossintético. Quando o aparelho fotossintético encontra-se intacto, os valores variam entre 0,75 e 0,85 elétrons quantum⁻¹, valores esses, considerados ideais (REIS et al., 2008; SANTOS et al., 2010; SUASSUNA et al., 2010). Ressalte-se, por tanto, que mesmo no tratamento APRI 3 com redução de 50% da ETc, as plantas de cafeeiro apresentaram eficiência fotoquímica acima do limite que poderia causar dano ao fotossistema II que é de 0,75. Suassuna et al. (2011) estudando plantas de melão em relação à eficiência fotoquímica sob níveis de irrigação, observaram que a eficiência fotoquímica atingiu o valor de 0,81 elétrons quantum⁻¹ no volume estimado de 1600 m³ ciclo⁻¹ de água.

De acordo com Silva et al. (2007) a habilidade em manter elevados valores de Fv/Fm sob condições de estresse conferida por restrição hídrica indica que as plantas mantem alta eficiência do uso da radiação pela assimilação do carbono.

É válido ressaltar que essa variável é indicativo da eficiência fotoquímica do PSII e tem sido empregada para avaliação dos danos promovidos ao sistema fotossintético e a intensidade da fotoinibição avaliada pela redução desta variável (DIAS & MARENCO, 2007). Em estudo sob condição de estresse em citros (PEREIRA et al., 2000), em cultivares de cafeeiro (KONRAD et al., 2005), em melanciaira (MELO et al., 2010) e em mudas de maracujazeiro (SUASSUNA et al., 2010), esses autores observaram decréscimos na razão Fv/Fm, em razão da lâmina de água empregada, como indicativo de efeito fotoinibitório nas plantas. Percebe-se então, que as plantas sob alguma condição de estresse alteram seus mecanismos fisiológicos, os quais podem ser identificados através da fluorescência da clorofila, antes mesmo que a planta manifeste algum sintoma visual.

6 CONCLUSÃO

A restrição hídrica empregada (APRI 50% e DI 50%) não afetou o conteúdo relativo de água nas folhas.

As avaliações da clorofila total demonstraram que a estratégia de APRI não afetou a eficiência fotossintética das plantas.

As plantas submetidas a condição de déficit hídrico (APRI 50% e DI 50%) apresentaram valores dos parâmetros de fluorescência significativamente iguais às plantas que não foram submetidas a deficiência hídrica (APRI 100% e IF 100%).

7 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AIDAR, S. De T.; MORGANTE, C. V.; CHAVES, A. R. De M.; COSTA NETO, B. P.; VITOR, A. B.; MARTINS, D. R. P. S.; SILVA, R.; CRUZ, J. L.; OLIVEIRA, E. J. De . Physiological characteristics, total root and shoot production in accessions of *Manihot esculenta* under water stress condition. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 8, p. 685-696, 2015.
- BAKER, N. R.; ROSENQVST, E. Application of chlorophyll fluorescence can improve crop production strategies: an examination of future possibilities. **Journal of Experimental Botany**, v. 55, n. 403, p. 1607-1621, 2004.
- BASTOS, E.A.; RAMOS, H.M.M.; ANDRADE JÚNIOR, A.S., NASCIMENTO, F.N.; CARDOSO, M.J. Parâmetros fisiológicos e produtividade de grãos verdes do feijão-caupi sob déficit hídrico. **WRIM**, v.1, n.1, p.31-37, 2012.
- BROSCHÉ, M. *et al.* Stress Signaling III: Reactive Oxygen Species (ROS). In: PAREEK, A. *et al.* **Abiotic Stress Adaptation in Plants: Physiological, Molecular and Genomic Foundation**. Dordrecht: Springer. Cap. 5, p. 91-102, 2010
- BULKHOV, N.; WIESE, C.; NEIMANIS, S. Heat sensitivity of chloroplasts and leaves: Leakage of protons from thylakoids and reversible activation of cyclic electron transport. **Photosynthesis Research**, New York, v.59, p.81-93, 1999.
- CHIQUIERI, T. B.; CAMPOSTRINI, E.; GOMES, M. de M. de A.; CASTRO, F. A.; REIS, F. de O.; AZEVEDO, L. da C.; SOUZA, M. A.; BORTOT, P. de A.; SIQUEIRA, L. do N.; FERRAZ, T. M. Avaliação da fotossíntese potencial em plantas de *Carica papaya* (híbrido UENF/Caliman 01) submetidas à irrigação parcial do sistema radicular. **Papaya Brasil**. p. 529-533, 2005.
- CHUTIPAIJIT, S.; CHA-UM, S.; SOMPORNPAILIN, K. High contents of proline and anthocyan in increase protective response to salinity in *Oryza sativa* L. spp. indica. **Australian Journal of Crop Science**, v.5, n. 10, p. 1191–1198, 2011.
- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira de café: safra 2015**, quarto levantamento. Brasília, DF, p. 60, 2015.
- CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira: café**. Safra 2021: 4º levantamento. Brasília: CONAB, v. 8, n.4, p. 56. 2021.
- DIAS, D. P.; MARENCO, R. A. Fotossíntese e fotoinibição em mogno e acariquara em função da luminosidade e temperatura foliar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 42, n. 3, p. 305-311, 2007.
- DIAS, G. C. De O; MEDICI, L. O. ; VASCONCELLOS, M. A. Da S.; CARVALHO, D. F. De ; PIMENTEL, C. Papaya seedlings growth using a low-cost, automatic watering controller. **Revista Brasileira de Fruticultura** (Impresso), v. 35, p. 527-535, 2013.
- GALMÉS, J.; MEDRANO, H.; FLEXAS, J. Photosynthetic limitations in response to water stress and recovery in Mediterranean plants with different growth forms. **New Phytologist**, Lancaster, v. 175, n. 1, p. 81-93, 2007.
- GUIMARAES, A. C. R. **Caracterização de variedades de cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*) submetidas a déficit hídrico**. Piracicaba: ESALQ, 2011. 66p. Dissertação (Mestrado).

- KALAJI, M. H.; GUO, P. Chlorophyll fluorescence: a useful tool in barley plant breeding programs. In: SANCHEZ, A.; GUTIERREZ, S. J. (Eds.) **Photochemistry Research Progress**, New York: Nova Publishers, 2008, p. 439–463.
- KONRAD, M. L. F.; SILVA, J. A. B.; FURLANI, P. R.; MACHADO, E. C. Trocas gasosas e fluorescência da clorofila em seis cultivares de cafeeiro sob estresse de alumínio. **Bragantia**, v.64, n.3, p.339-347, 2005.
- KRIEDEMANN, P. E.; GOODWIN, I. **Regulated Deficit Irrigation and Partial Rootzone Drying. Irrigation Insights** N. 3. Land & Water Australia, Canberra. 2003.
- LANGARO, A. C. Alterações fisiológicas na cultura do tomateiro devido à deriva simulada de herbicidas. **Revista Brasileira de Herbicidas**, Londrina, v. 13, n. 1, p. 40-46, jan./abr. 2014
- 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** 47, 239-247, 2002.
- LIMA, R.S.N; GARCÍA-TEJERO, I. ; LOPES, T.S. ; COSTA, J.M. ; VAZ, M. ; DURÁN-ZUAZO, V.H. ; CHAVES, M. ; GLENN, D.M. ; Campostrini, E. . Linking thermal imaging to physiological indicators in *Carica papaya* L. under different watering regimes. **Agricultural Water Management** (Print), v. 1, p. 1-1, 2015.
- LOPES, L. C. L.; VIEIRA, H.D.; VIEIRA, G. A. S.; SOUZA, ELIAS FERNANDES DE. Projeto de aplicativo móvel capaz de fornecer informações para o manejo de irrigação do café conilon. **Irriga**, v. 24, p. 874-889, 2019.
- MELO, A. S.; SUASSUNA, J. F.; FERNANDES, P. D.; BRITO, M. E. B.; SUASSUNA, A. F.; AGUIAR NETTO, A. Crescimento vegetativo, resistência estomática, eficiência fotossintética e rendimento do fruto da melancia em diferentes níveis de água. Maringá, v. 32, n. 1, p. 73-79, 2010.
- NASCIMENTO, S. P. do. **Efeito do déficit hídrico em feijão caupi para identificação de genótipos com tolerância à seca**. Teresina: UFPE, 2009. 109p. Dissertação (Mestrado).
- PARIHAR, P.; SINGH, S.; SINGH, R.; SINGH, V. P.; PRASAD, S. M. Effect of salinity stress on plants and its tolerance strategies: a review. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 22, n. 6, p. 4056–4075, 2015.
- PELOSO, A. F.; TATAGIBA, S. D.; REIS, E. F.; PEZZOPANE, J. E. M.; AMARAL, J. F. T. Limitações fotossintéticas em folhas de cafeeiro arábica promovidas pelo déficit hídrico. **COFFEE SCIENCE**, v. 12, p. 389, 2017.
- PEREIRA, W. E.; SIQUEIRA, D. L.; MARTINEZ, C. A.; PUIATTI, M. Gas exchange and chlorophyll fluorescence in four citrus rootstocks under aluminium stress. **Journal of Plant Physiology**, Londrina, v. 157, n. 3, p. 513-520, 2000
- PEZZOPANE, J. R. M.; CASTRO, F. S.; PEZZOPANE, J. E. M.; BONOMO, R.; SARAIVA, G. S. Zoneamento de risco climático para a cultura do café Conilon no Estado do Espírito Santo. **Revista Ciência Agronômica**, v.41, p.341-348, 2010.
- REIS, F. O.; CAMPOSTRINI, E. Trocas gasosas e eficiência fotoquímica potencial em mamoeiro do grupo ‘formosa’ cultivado em condição de campo. **Bragantia**. Campinas, v.67, n.4, p.815-822, 2008.

- RIBEIRO, A. F. F.; MATSUMOTO, S. N.; RAMOS, P. A. S.; SANTOS, J. L. D.; TEIXEIRA, E. C.; DAREDE, L. O.; VIANA, A. E. S. . Paclobutrazol e restrição hídrica no crescimento e desenvolvimento de plantas de café. **COFFEE SCIENCE**, v. 12, p. 534, 2017.
- SANTOS, C. M.; GONÇALVES, E. R.; ENDRES, L.; GOMES, T. C. A.; JADOSKI, C. J.; NASCIMENTO, L. A.; SANTOS, E, D. Atividade fotossintética em alface (*Lactuca sativa* L.) submetidas a diferentes compostagens de resíduos agroindustriais. **Pesquisa Aplicada & Agrotecnologia**. v3. n3. 2010.
- SILVA, M. A.; JEFON, J. L.; Da SILVA, J. A. G.; SHARMA, V.; Use of physiological parameters as fast tools screen for drought tolerance in sugarcane. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, Londrina, v.19, n.3, p.193-201, 2007.
- SILVA, F. G. DA; DUTRA, W. F.; DUTRA, A. F.; OLIVEIRA, I. M. DE; FILGUEIRAS, L. M. B.; MELO, A. S. DE. Trocas gasosas e fluorescência da clorofila em plantas de berinjela sob lâminas de irrigação. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental (Online)*, v. 19, p. 946-952, 2015.
- SUASSUNA, J. F.; MELO, A. S.; SOUSA, M. S. S.; COSTA, F. S.; FERNANDES, P. D.; PEREIRA, V. M.; BRITO, M. E. B. Desenvolvimento e eficiência fotoquímica em mudas de híbrido de maracujazeiro sob lâminas de água. **Biosci. J.**, Uberlândia, v. 26, n. 4, p. 566- 571, july/aug. 2010.
- SUASSUNA, J. F.; MELO, A. S.; COSTA, F, S.; FERNANDES, P. D.; FERREIRA, R. S.; SOUSA, M. S. S. Eficiência fotoquímica e produtividade de frutos de meloeiro cultivado sob diferentes lâminas de irrigação. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 32, n. 4, p. 1251-1262, out./dez. 2011.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. *Fisiologia vegetal*. 3.ed. Porto Alegre: **ARTMED**, 2004. 719p.
- TORRES NETO, A.; CAMPOSTRINI, E.; OLIVEIRA, J.G. & BRESSAN SMITH, R.E. Photosynthetic pigments, nitrogen, chlorophyll fluorescence and SPAD-502 readings in coffee leaves. **Sci. Hortic.**, 104:199-209, 2005.
- WAHBI, S.; WAKRIM, R.; AGANCHICH, B.; TAHI, H.; SERRAJ, R. Effects of partial rootzone drying (PRD) on adult olive tree (*Olea europaea*) in field conditions under arid climate I. **Physiological and agronomic responses**. *Agric., Ecosys. Environ.* n. 106, p. 289–301, 2005.
- ZHOU, S., DUURSMA, R. A., MEDLYN, B. E., KELLY, J. W., & PRENTICE, I. C. How should we model plant responses to drought?: an analysis of stomatal and non-stomatal responses to water stress. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 182, p. 204-214, 2013.

3. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Em condições de restrição hídrica ou custo elevado, o emprego do déficit hídrico torna-se atraente quando as perdas em produtividade são mínimas, e mantém-se a qualidade do produto final. O que se tem buscado com a alternativa de déficit hídrico com emprego da técnica de secamento parcial do sistema radicular é otimizar o uso da água. No presente trabalho, a técnica APRI associada ao déficit hídrico de 50% da ET_c apresentou uma tendência de maiores produtividades e eficiência do uso da água, sendo uma alternativa viável para o manejo de irrigação, nas condições avaliadas. A restrição hídrica empregada (APRI 50% e DI 50%) não afetou o conteúdo relativo de água nas folhas e a eficiência fotossintética das plantas. As plantas submetidas a condição de déficit hídrico apresentaram valores dos parâmetros de fluorescência significativamente iguais às plantas que não foram submetidas a tal restrição (APRI 100% e IF 100%). As informações de produtividade e de indicadores fisiológicos do cafeeiro Conilon precisam ser analisadas em conjunto para melhor compreensão dos efeitos do déficit hídrico à planta.