

COEFICIENTE DE ESTRESSE HÍDRICO UTILIZANDO
TERMOGRAFIA INFRAVERMELHA - ESTUDOS EM CAFEEIRO
CONILON (*Coffea canephora*)

DIEGO ALBANI FURLAN

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO NORTE FLUMINENSE
DARCY RIBEIRO

CAMPOS DOS GOYTACAZES – RJ
MARÇO – 2017

COEFICIENTE DE ESTRESSE HÍDRICO UTILIZANDO
TERMOGRAFIA INFRAVERMELHA - ESTUDOS EM CAFEIEIRO
CONILON (*Coffea canephora*)

DIEGO ALBANI FURLAN

“Dissertação apresentada ao Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, como parte das exigências para obtenção do título de Mestrado em Produção Vegetal”.

Orientador: Prof. Dr. Elias Fernandes de Sousa

CAMPOS DOS GOYTACAZES – RJ
MARÇO – 2017

FICHA CATALOGRÁFICA

Preparada pela Biblioteca do CCTA / UENF

039/2017

F985 Furlan, Diego Albani.

Coeficiente de estresse hídrico utilizando termografia infravermelha - estudos em cafeeiro Conilon (*Coffea canephora*) / Diego Albani Furlan – Campos dos Goytacazes, RJ, 2017.

56 f. : il

Bibliografia: f. 48 - 56

Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias, 2017.

Orientador: Elias Fernandes de Sousa.

1. Cafeeiro Conilon. 2. Irrigação. 3. Estresse Hídrico. 4. Potencial Hídrico da Planta. I. Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. II. Título.

CDD – 633.73

COEFICIENTE DE ESTRESSE HÍDRICO UTILIZANDO
TERMOGRAFIA INFRAVERMELHA - ESTUDOS EM CAFEEIRO
CONILON (*Coffea canephora*)

DIEGO ALBANI FURLAN

“Dissertação apresentada ao Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, como parte das exigências para obtenção do título de Mestrado em Produção Vegetal”.

Aprovada em 28 de Março de 2017

Comissão Examinadora:

Prof. Claudio Luiz Melo de Souza (D.Sc., Estatística Aplicada) - UENF

Prof. Eliemar Campostrini (D.Sc., Fisiologia Vegetal) – UENF

Prof. Barbara dos Santos Esteves – (D.Sc., Produção Vegetal) - FIMCA

Prof. Elias Fernandes de Sousa (D.Sc., Irrigação) – UENF
(Orientador)

À minha mãe Maria da Graça Albani Furlan, que apesar de hoje não estar mais fisicamente presente, sei que nunca se ausenta num momento de alegria ou dificuldade sequer.

Ao meu Pai Antônio Gilmar Furlan por toda força, apoio, amizade, conselhos e por toda coragem de sempre para seguir em frente, apesar de tantas dificuldades.

Ao meu irmão Douglas Albani Furlan por todo incentivo e apoio durante essa caminhada.

AGRADECIMENTO

Quero agradecer, em primeiro lugar, a Deus, por ter me dado saúde, força para superar as dificuldades e coragem nessa jornada. Esses três requisitos me fizeram seguir em frente durante toda esta longa caminhada.

À esta universidade, pelo ambiente criativo e amigável, além de todo o conhecimento adquirido e as experiências vividas durante o mestrado.

À instituição Faperj–UENF, pela bolsa de estudos que me foi fornecida, possibilitando a realização da pesquisa.

Ao meu professor e orientador Elias Fernandes de Sousa, pela amizade, orientação, apoio e confiança.

Aos meus amigos Rodolpho Artur Lima e Rômulo Beltrame, pela amizade e todos os bons momentos que desfrutamos juntos. Por sempre me incentivar a seguir em frente, Como também pelo conhecimento compartilhado e todo o suporte que foi-me dado nesses últimos anos.

Aos amigos do LEAG, que além da amizade, sempre prestaram seu tempo com boa vontade em me ajudar nas dificuldades.

Aos demais professores, por me proporcionarem o conhecimento não apenas racional, mas a manifestação do caráter e afetividade da educação no processo de crescimento profissional, por tanto que se dedicaram a mim, não somente por terem me ensinado, mas por terem me feito aprender. A palavra mestre, nunca fará justiça aos professores dedicados, aos quais sem nominar, terão o meu eterno agradecimento.

A todos os meus familiares que sempre me incentivaram e deram suporte para seguir em frente.

A todos os amigos que ajudaram a viver dias melhores durante essa jornada que compartilhamos em busca do conhecimento.

A todos que, direta ou indiretamente, fizeram parte deste título, o meu muito obrigado.

SUMÁRIO

1. Introdução.....	1
2. Objetivo	3
2.1. Objetivo geral.....	3
2.1. Objetivo específico.....	3
3. Revisão de Literatura	4
3.1. O cafeeiro conilon	4
3.2. Demanda hídrica do cafeeiro	5
3.3. Manejo de água no cafeeiro	7
3.4. Técnicas de manejo de irrigação baseado na planta.....	8
3.4.1. Potencial hídrico da planta	8
3.4.2. Termografia infravermelha.....	9
4. Material e Métodos	12
4.1. Condições experimental e material vegetal	12
4.2. Manejo da irrigação	15
4.3. Delineamento experimental	16
4.4. Análise estatística	17
4.5. Variáveis avaliadas	18
4.5.1. Medição da temperatura da planta por termometria infravermelha	18
4.5.2. Potencial hídrico foliar (Ψ_{wf}) no antemanhã e ao meio dia	20
4.5.3. Avaliação dos parâmetros de desenvolvimento	21
4.6 Correlação entre CWSI - Ψ_{WF}	22

4.7. Dados Meteorológicos	22
4.7.1. Temperatura	22
4.7.2. Precipitação	23
4.7.3. Irrigação aplicada	24
4.7.4. Balanço hídrico do solo	25
5. Resultados e Discussão	28
5.1. Potencial hídrico foliar antemanhã (Ψ_{AM}) e ao meio dia (Ψ_{MD}).....	28
5.2. Parâmetros de desenvolvimento.....	32
5.3. Termografia Infravermelho.....	42
5.4. Índice de estresse hídrico da cultura e o potencial hídrico foliar.....	43
6. Conclusões.....	47
Referências bibliográficas	48

RESUMO

FURLAN, Diego Albani; Ms; Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro; Março 2017; Coeficiente de Estresse Hídrico Utilizando Termografia Infravermelha - Estudos em Cafeeiro Conilon (*Coffea canephora*); Prof. Orientador: Elias Fernandes de Sousa.

Na atividade cafeeira o Brasil se destaca como maior produtor mundial. Apesar desse destaque, uma redução da produtividade cafeeira é verificada e afetada de forma negativa pela seca, o que torna a produtividade cafeeira cada vez mais dependente de um sistema eficiente de complementação hídrica. Desse modo, o presente trabalho tem como objetivo determinar o índice de estresse hídrico do cafeeiro sob diferentes lâminas de irrigação aplicadas por gotejamento abordando duas técnicas de manejo de irrigação, além de avaliar os parâmetros de desenvolvimento em cada lâmina. O delineamento experimental foi o de blocos casualizados, com três repetições distribuídos em cinco tratamentos, sendo estes as lâminas de água de 0, 25, 50, 100 e 125% da ET_0 . Cada parcela foi constituída de 6 plantas, sendo as duas da extremidade consideradas bordadura. O sistema de irrigação utilizado no experimento constava de um conjunto motobomba com potência de 0,5 cv, um filtro artesanal, um cabeçal de controle com registro e dois manômetros. A água foi aplicada com gotejadores da marca "NETAFIN" com vazões de 2,5; 4 e $8L/h^{-1}$. Foram utilizados emissores de diferentes vazões para facilitar o manejo durante a irrigação, podendo irrigar todo o experimento de uma só vez. O controle das lâminas de irrigação foi através da vazão do emissor. Para reposição da lâmina com 25% da ET_0 , foi utilizado um emissor com vazão de 2,5

Lh⁻¹; já para lâmina com 50% da ET₀ foram utilizados dois emissores com vazão 2,5 Lh⁻¹; para lâmina com 100% da ET₀ utilizou-se dois emissores com vazão de 4 Lh⁻¹; e para uma lâmina de 125% da ET₀ foram utilizados dois emissores com vazão de 2,5 e 8 Lh⁻¹. O estresse hídrico por infravermelho foi avaliado em duas plantas por bloco em cada tratamento, sendo realizada a medição da pressão de turgescência da folha de uma das plantas selecionadas em cada bloco dos tratamentos. Os parâmetros de desenvolvimento do cafeeiro foram avaliados nas três plantas selecionadas de cada bloco. Os valores do Ψ_{AM} das plantas variaram de -0,17 a -0,55 MPa para o 16° DAP. Já o valor do Ψ_{AM} das avaliações realizadas 3 dias após a irrigação variou de -0,15 a -1,13 MPa. Nas plantas avaliadas seis dias após a irrigação, os valores obtidos variaram entre de -0,29 a -1,18 Mpa. Para as avaliações realizadas ao meio dia, no 16° DAP o valor do Ψ_{MD} variou entre -1,25 a -1,46 MPa. Os valores para o Ψ_{MD} das avaliações realizadas três dias após a irrigação variaram de -1,17 a -2,3 MPa e de -1,2 a -2,28 MPa para as avaliações realizadas seis dias após a irrigação. Para os parâmetros de desenvolvimento, foi observado que apesar de algumas avaliações não terem apresentado diferença estatística, os tratamentos com as lâminas de 100 e 125% de reposição da ET₀ foram os que apresentaram maiores valores. O CWSI apresentou boa correlação com os valores do Ψ_{wf} com $R^2 = 0,71$.

ABSTRACT

FURLAN, Diego Albani; Ms; State University of North Fluminense Darcy Ribeiro; March 2017; Coefficient of Water Stress Using Infrared Thermography - Studies in Coffee Conilon (*Coffea canephora*); Prof^o. Advisor: Elias Fernandes de Sousa .

The coffee activity Brazil stands out as the largest global producer. Despite this emphasis, a reduction of coffee productivity is checked and negatively affected by the drought, which makes the coffee productivity increasingly dependent on an efficient system of water supplement. In this way the present work aims to determine the water stress index of the coffee tree under different irrigation slides applied by dripping approaching two techniques of irrigation management, besides evaluating the development parameters in each slide. The experimental design was a randomized block design, with three replicates distributed in five treatments, the water slides being 0, 25, 50, 100 and 125% of ET_0 -. Each plot was constituted of 6 plants, the two of the end being considered border. The irrigation system used in the experiment consisted of a motor pump with a power of 0.5 hp, a handmade filter, a recording head with two manometers. The water was applied with drippers of the brand "NETAFIN" with flows of 2.5; 4 and 8L / h-1. different flow rates were used emitters is to facilitate handling during irrigation, can irrigate the experiment at once. The control of the irrigation slides was through the flow of the emitter. To replace the slide with 25% of the ET_0 , an emitter with a flow of 2.5 Lh-1 was used; Already for the slide with 50% of ET_0 , two emitters with 2.5 Lh-1 flow rate were used; For the 100% ET_0 slide, two emitters

with a flow rate of 4 Lh⁻¹ were used; And for a 125% slide of ET₀, two emitters with a flow rate of 2.5 and 8 Lh⁻¹ were used. Infrared water stress was evaluated in two plants per block in each treatment, and the leaf turgescence pressure of one of the plants selected in each treatment block was measured. The coffee development parameters were evaluated in the three plants selected from each block. . Plant Ψ_{AM} values ranged from -0.17 to -0.55 MPa for the 16th DAP. The Ψ_{AM} value of the evaluations performed 3 days after irrigation ranged from -0.15 to -1.13 MPa. In the evaluated plants six days after irrigation, the values obtained ranged from -0.29 to -1.18 MPa. For the evaluations performed at noon in the 16th DAP the value of Ψ_{DM} ranged from -1.25 to -1.46 MPa. The values for Ψ_{MD} of the evaluations performed three days after irrigation ranged from -1.17 to -2.3 MPa and from -1.2 to -2.28 MPa for the evaluations performed six days after irrigation. For the development parameters, it was observed that although some evaluations did not present statistical difference, the treatments with the 100 and 125% ETo replacement slides were the ones with the highest values. The CWSI showed a good correlation with the values of Ψ_{wf} with R² = 0.71.

1. INTRODUÇÃO

A atividade cafeeira tem elevado destaque no cenário agrícola nacional, principalmente pela sua participação no desenvolvimento econômico e social das diversas regiões produtoras. O Brasil tem se destacado como o maior produtor, exportador e consumidor de café no mundo (EMBRAPA, 2015). A produção nacional do ano de 2016 foi de 51,37 milhões de sacas de 60 kg, resultado 18,8 % maior que o ano de 2015, que atingiu uma safra de 43,24 milhões de sacas de 60 kg. O principal responsável pelo aumento da safra em 2016 foi o café arábica, que sofreu aumento da área em produção em 46.144 hectares, além do ciclo de alta bienalidade e das condições climáticas favoráveis nas principais regiões produtoras (Minas Gerais, Espírito Santo, São Paulo e Bahia) (CONAB, 2016).

Mesmo com aumento considerável na safra de café em 2016, especificamente na produção do café conilon, houve uma redução de 28,6% em relação ao ciclo anterior. Do total de café produzido no país (arábica e conilon), o café conilon foi responsável por 15,6% da produção em 2016, o que equivale a 7,98 milhões de sacas. Essa queda na produção se caracteriza pela redução de 4% da área total cultivada com o conilon e, principalmente pela seca e má distribuição de chuvas que ocorreram nos últimos dois anos consecutivos nos estádios de florescimento, formação e enchimento dos grãos no estado do Espírito Santo, maior produtor brasileiro de café conilon (CONAB, 2016).

Fica evidente a influência dos fatores ambientais na produção cafeeira, principalmente no que diz respeito aos períodos de estiagem, o que sugere a necessidade de técnicas capazes de amenizar esses problemas na produção.

Um método que vem ganhando atenção como um método não invasivo de estresse hídrico da planta é a temperatura do dossel (T_c). As plantas quando estressadas, tendem a fechar seus estômatos, reduzindo taxa transpiratória, e conseqüentemente, levando ao aumento da temperatura foliar (Jones et al., 2002). Uma das formas para detectar as informações úteis sobre a temperatura do dossel, é a utilização de câmeras digitais capazes de captarem imagens térmicas infravermelhas, que estão altamente correlacionadas com a condutância estomática (Fuentes et al., 2012) e com o potencial hídrico do caule (Wang et al., 2010).

Apesar de esta metodologia já ser testada na detecção do estresse hídrico em algumas culturas (Jackson, 1991; Mangus et al., 2016; O'shaughnessy et al., 2011; Pou et al., 2014), ainda há poucas informações sobre seu uso na detecção do status hídrico para a cafeicultura.

Dentro desse contexto, o presente trabalho propõe a verificação da técnica de termografia infravermelha, contribuindo para a identificação do estresse hídrico e auxiliando no manejo da irrigação do cafeeiro, reduzindo gastos e racionalizando o uso da água, um bem cada vez mais precioso.

2. OBJETIVO

2.1. Objetivo geral

O presente trabalho tem como objetivo determinar o índice de estresse hídrico do cafeeiro conilon, abordando o manejo de irrigação baseado na planta (termografia infravermelha em correlação com o potencial hídrico foliar) e conjuntamente avaliar os parâmetros de desenvolvimento e status hídrico das plantas.

2.1. Objetivo específico

- Verificar o potencial hídrico foliar antemanhã e ao meio dia utilizando uma câmera de Scholander;
- Indicar o tratamento que foi mais eficiente para o desenvolvimento da cultura;
- Testar a metodologia da termometria infravermelha para o manejo da irrigação do café através do índice de estresse hídrico da cultura (CWSI).

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1. O cafeeiro conilon

O cafeeiro (*Coffea* sp.) é originário da África, sendo o *Coffea arabica* (cafeeiro arábica) oriundo da Etiópia e o *Coffea canephora* (cafeeiro conilon) do Congo. Das regiões altas da Etiópia, onde ocorre espontaneamente como planta de sub-bosque, foi levado para Arábia, no século XV, e de lá para Ásia, Europa e para quase todo o mundo (Carvalho, 1946). Atualmente o *Coffea canephora* é cultivado na África Ocidental e Central, no Sudoeste da Ásia e em algumas regiões das Américas, com destaque ao Brasil (Eccardi; Sandalj, 2002).

O cafeeiro conilon pertence à espécie *C. canephora* Pierre, seção *Eucoffea*, subseção *Erythrocoffea*, genericamente conhecido por café robusta, relacionado ao elevado vigor (robustez) das plantas (Matiello, 1998).

O *C. canephora* é a segunda espécie do gênero mais cultivada no mundo. No Brasil, é cultivada em regiões baixas, geralmente abaixo dos 500 metros de altitude, onde as temperaturas médias ficam entre 22 °C e 26 °C, destacando nessas condições o Estado do Espírito Santo (Ferrão et al., 2007).

É uma espécie alógama, perene, de porte arbustivo, com caules lenhosos geralmente ramificados. Em condições de temperatura e precipitação elevada, pode atingir 5 metros de altura. Possui resistência à seca e à doenças. Suas folhas são alongadas, de coloração verde clara, bordas onduladas e nervuras bem salientes (Ferrão, 2004, Fazuoli, 1986).

As flores são brancas, que aparecem em grande número por inflorescência e axila foliar, sendo diploide, com predominância de polinização cruzada à existência do fenômeno genético. Seus frutos apresentam formato variável, conforme o material genético; e sua coloração, quando maduros, é vermelha, amarela ou alaranjada (Ferrão, 2004).

Em relação ao regime hídrico, a cultura beneficia-se de uma estação seca moderada, sendo que até 150-200 mm de déficit hídrico, não ocorrem problemas sensíveis e, entre 200 e 400 mm, é necessário irrigar, com prioridade para os estádios de iniciação floral até granação dos frutos. Acima desse limite a produção é afetada significativamente e a irrigação deve ser uma prática obrigatória (Matiello et al., 2002). Portanto, o suprimento de água em quantidades e intervalos corretos pode ocasionar grandes aumentos de produtividade na lavoura cafeeira, além de menores perdas para a planta (Soares et al., 2003).

3.2. Demanda hídrica do cafeeiro

Visto que a redução da produtividade cafeeira é afetada de forma negativa pela seca, a cafeicultura nacional está se tornando cada vez mais dependente da complementação hídrica. A irrigação tem sido utilizada para suprir a demanda das plantas nos períodos críticos, e deve ser utilizada em quantidade correta, de modo a evitar que prejudique o desenvolvimento radicular quando deficiente ou pelo desperdício de água e nutrientes do solo quando em excesso (Camargo, 1985).

Para conhecer a quantidade real de água a ser aplicada, é necessário conhecer a demanda hídrica da cultura. A forma mais usual de interpretar essa necessidade hídrica se dá pela estimativa da evapotranspiração (ET). A evapotranspiração consiste na medição da taxa de evaporação (E) da água do solo juntamente com a taxa de transpiração (T) da cultura, e está relacionada com as características intrínsecas da planta, do solo e do clima da região (Allen et al., 1998). Também se faz válida a estimativa da evapotranspiração de uma cultura hipotética de referência (grama verde) com características específicas já definidas, e que ocorra sem restrições hídricas, sendo denominada de evapotranspiração de referência (ET_0) (Allen et al., 1998).

A estimativa da evapotranspiração da cultura (ET_c) totaliza a quantidade de água utilizada na evaporação e transpiração de um cultura, para um determinado período. A ET_c pode ser obtida através do valor da evapotranspiração de referência (ET_0) corrigida pelo coeficiente dessa cultura (K_c) (Carvalho e Oliveira, 2012).

Em experimento realizado com cafeeiro cultivado sob aspersão e gotejamento em lisímetros de pesagem, Fulmignan e Faria (2009) verificaram que houve variação nos valores de ET e K_c , conforme o método de irrigação, frequência de chuvas, demanda da atmosfera e evolução da área foliar. Ainda verificaram que na data do experimento, durante a fase de formação da lavoura em Londrina (PR), para o tratamento não irrigado a ET atingiu valor de 2,2 e 2,5 $mm\ dia^{-1}$ (primeiro e segundo ano respectivamente), 2,9 $mm\ dia^{-1}$ no gotejamento (segundo ano) e de 3,1 e 3,4 $mm\ dia^{-1}$ (primeiro e segundo ano, respectivamente) no tratamento irrigado por aspersão.

Teixeira et al., (2013), verificaram que, tanto o diâmetro do caule quanto o número de folhas do cafeeiro conilon, Robusta Tropical, foram comprometidos devido à redução da disponibilidade hídrica, além de também ter influenciado no desenvolvimento inicial do cafeeiro conilon nos períodos de maior deficiência hídrica.

Camargo e Camargo (2001) definiram um esquema das fases fenológicas do cafeeiro arábica para as condições tropicais do Brasil, relacionando-as com as condições agrometeorológicas para cada ano (Figura 1).

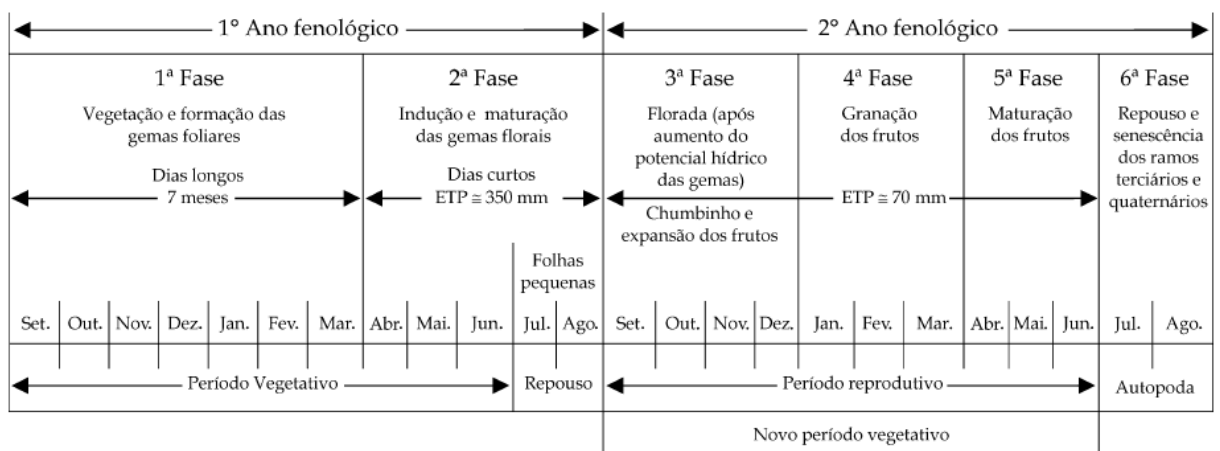


Figura 1. Esquematisação das 6 fases fenológicas do cafeeiro arábica, durante 24 meses, nas condições climáticas tropicais do Brasil (Camargo e Camargo, 2001).

Foi verificado por Camargo (1987), nas condições climáticas do Centro-Sul, o déficit hídrico, na fase de chumbinho (outubro a dezembro), promove o atraso do crescimento dos frutos e reduz a produtividade. O estresse hídrico também resulta na produtividade de grãos com baixo diâmetro.

Camargo (1987) também verificou que na fase de maturação e abotoação (abril a junho), o déficit hídrico não afeta a maturação de frutos já formados e nem a produtividade do ano, entretanto, a abotoação e a frutificação do ano seguinte são prejudicadas. Na fase de dormência (julho a setembro), o déficit hídrico auxiliou a promoção de um florescimento abundante após chuvas ou regas, no final da fase, o que resultou na frutificação e maturação igualada na safra seguinte.

3.3. Manejo de água no cafeeiro

O cafeeiro é conhecido como uma cultura que produz bem em um ano e no ano seguinte a produção é afetada, o que é denominado bienalidade. Com o uso da irrigação bem manejada é possível minimizar esse efeito (Salomão, 2000). O manejo racional da irrigação é melhor obtido quando realizado por indicadores da planta, solo, clima ou pela combinação deles (Silva, 1999).

Nas plantas, os métodos de avaliação do estado hídrico são a temperatura foliar, potencial de água nas folhas, resistência estomática, grau de turgescência das plantas, fluxo de seiva, dentre outros. Apesar de serem métodos promissores, ainda não são utilizados em larga escala devido à complexidade do uso (Pereira, 2006).

Para o manejo via clima, o método mais indicado é o do balanço hídrico. Esse método é estimado pelos fluxos de entrada e saída de água no volume de solo explorado pelas raízes, onde a irrigação, precipitação e a ascensão capilar são os componentes de entrada, e as perdas por percolação profunda, escoamento superficial e consumo de água pelas plantas são os componentes de saída.

Já o manejo de irrigação via solo é realizado com base na umidade do solo onde se desenvolve o sistema radicular da cultura. Esse método pode ser realizado pela utilização de tensiômetros, por sensores eletrotérmicos e por dissipação térmica, sonda de neutros, reflectometria de domínio do tempo (TDR).

Destaca-se que a instalação desses métodos de medição ou estimativa da umidade do solo devem ser cuidadosamente analisadas e implantadas, conforme indicação do fabricante, a fim de evitar erro dos dados, uma vez que esses aparelhos refletem medias pontuais (Pires et al., 2001).

3.4. Técnicas de manejo de irrigação baseado na planta

3.4.1. Potencial hídrico da planta

O tema “programação da irrigação” é muito discutido, principalmente no que diz respeito a uma forma de manejo com maior precisão, visando o melhor rendimento das culturas. Tomando como exemplo um pomar, é difícil saber com certa precisão a quantidade de água a ser aplicada e o número de aplicações a serem feitas. Essa dificuldade é decorrente do pouco conhecimento que se tem, principalmente sobre a quantidade de água utilizada pelas plantas na transpiração (Esteves et al., 2015).

Existem algumas técnicas que são capazes de determinar a necessidade de água através de informações exploradas diretamente na planta. Essas técnicas se apresentam com maior grau de precisão quando comparadas às que utilizam os fatores ambientais na indicação do déficit hídrico (Remorini e Massai, 2003). Essas técnicas de identificação do status hídrico realizado na própria planta são conhecidas como técnicas de irrigação baseadas na planta, tendo como principais indicadores utilizados para o manejo de irrigação o crescimento de ramos, a condutância estomática, e o potencial hídrico de tronco e de folhas (Goldhamer et al., 1999; Remorini e Massai, 2003; Naor, 2006).

Dentre esses meios, o potencial hídrico da planta tem sido utilizado como um forte indicativo do estresse hídrico na cafeicultura. O potencial de água da folha indica o seu estado energético, cujos gradientes explicam os fluxos da água no sistema solo-planta-atmosfera de modo que, redução acentuada no potencial hídrico da folha pode afetar a assimilação do carbono da planta (Bergonci et al., 2000). Desse modo, a planta perdendo água a uma taxa superior à sua capacidade de absorver e transportar, o potencial hídrico da folha diminui, ocasionando o fechamento estomático e, conseqüente diminuição da fotossíntese.

O potencial hídrico é a medida da energia livre da água por unidade de volume, tendo seu valor expresso em pascal (Pa) ou a mais comumente utilizada, o megapascal (MPa) (Taiz e Zeiger, 2009).

De acordo com Tobin et al., (1999), o potencial hídrico de uma planta varia conforme sua espécie, variedade, época do ano e a hora do dia, tendo o menor valor do potencial observado ao meio dia, quando a transpiração é mais intensa. Para a maioria das espécies, o potencial hídrico foliar sofre variação conforme as variações diurnas da demanda evaporativa da atmosfera, atingindo seu valor máximo antes do nascer do sol, momento em que as plantas encontram-se com a máxima turgescência possível para uma dada condição do solo (Taiz e Zeiger, 2009). O potencial hídrico foliar quando medido antes do nascer do sol, é interpretado como parâmetro indicativo do armazenamento de água no solo, uma vez que, nesse momento, há uma tendência de balanço entre as condições hídricas da planta e do solo quando a deficiência hídrica não é acentuada (Silva et al., 2003).

O potencial de água na planta pode-se tornar um indicativo para o manejo adequado da irrigação, promovendo uma florada uniforme, que leva ao aumento da produtividade e da qualidade do produto. Para Drinnan e Menzel (1994), cafeeiros com valores de potencial hídrico foliar menor que -2,5 MPa, florescem em até 9 dias após a irrigação, indicando a existência de algum sinal hídrico na promoção do florescimento. Sendo assim, é possível que o florescimento e o desenvolvimento dos frutos tenham uma relação direta com as variações edafoclimáticas, principalmente quanto às alterações no potencial hídrico foliar das plantas de café (Silva et al., 2010).

3.4.2. Termografia infravermelha

Informações úteis sobre as relações hídricas e temperatura do dossel das culturas podem ser obtidas pelo uso da termografia infravermelha. Segundo Mendonça (2005), os objetos da superfície terrestre emitem radiação infravermelha. Essa radiação é dependente da temperatura do objeto e da sua capacidade de emitir radiação, conhecida como emissividade. Desse modo, a termografia infravermelha permite visualizar a temperatura da superfície foliar das plantas, através da radiação infravermelha emitida pela planta.

Os dados obtidos com as imagens termográficas são processados em um software, que transforma os valores da radiação obtida nas imagens em níveis de temperatura que são representados por um gradiente de falsa-cor (Chaerle e Van Der Straeten, 2000).

A detecção do estresse hídrico na planta pela termografia infravermelha se baseia na condutância estomática e na temperatura foliar. A água, quando perdida pela abertura dos estômatos, diminui a temperatura da folha, pela dissipação do calor. Entretanto, se os estômatos se fecham, a planta para de transpirar, o que leva a um aumento da temperatura foliar pelo motivo da dissipação do calor da folha ter cessado (Gates, 1964; Fuchs, 1990; Jones et al., 2002).

Variações da condutância estomática ocorrem principalmente pela sensibilidade das folhas às variações de temperatura, fazendo a condutância ser dependente da absorção da radiação, da camada de ar limítrofe e da umidade atmosférica. Uma maior sensibilidade à temperatura das folhas de sol, comparada às de sombra, sugere que o estudo da condutância estomática utilizando essa metodologia seja feito em folhas de sol. Isso se deve pelo pouco efeito do balanço energético em folhas sombreadas (Jones et al., 2002).

O índice utilizado na determinação do estresse hídrico das culturas pela temperatura da folha é o índice de estresse hídrico da cultura (CWSI). O CWSI é estimado a partir do conhecimento do valor da temperatura do dossel (T_c) e da temperatura das folhas de referência seca (T_{dry}) e de referência úmida (T_{wet}), que representa a diferença de temperatura em uma base bem irrigada (T_{wet}) contra uma sob estresse hídrico total (T_{dry}), contra o déficit de pressão de vapor (DPV) (Idso et al., 1981; Jackson et al., 1981; Jones et al., 2002).

Com o desenvolvimento de equipamentos de imagem térmica portáteis, passou a ser possível realizar imagens não apenas das médias de folhas, mas sim, de uma área ou região de interesse. Contudo, ainda existem alguns problemas ao utilizar essa técnica, como por exemplo, a má interpretação dos dados em dias úmidos com baixa variação térmica, sensibilidade não apenas ao DPV, que é levado em consideração no cálculo do CWSI, mas também ao vento e a irradiância (Hipps et al., 1985; Jones et al., 1996).

Padhi et al., (2012), trabalhando com algodoeiro sob diferentes tratamentos de irrigação, relataram que o uso de imagens térmicas pode fornecer

uma medida confiável da temperatura do dossel. Esses dados podem ser usados com outros parâmetros ambientais ou índice de condutância estomática como uma medida de tensão de água nas plantas. O mesmo autor cita o uso do índice CWSI obtido pela termografia como ferramenta no manejo da irrigação.

Mangus et al., (2016) concluíram em seus trabalhos com milho, que o uso da termografia pode ser levado em consideração na identificação do estresse hídrico em altas resoluções temporais e espaciais necessários à gestão da irrigação dentro de grandes sistemas de irrigação.

Concluem Jones et al., (1996) que o uso do CWSI pode ser favorável à indicação da necessidade de irrigação, apesar de ser menos adaptado em se dizer a quantidade de água necessária.

A termografia também pode se destacar no setor biotecnológico. Para Raghavan (2000), essa técnica torna-se eficiente em programas de melhoramento genético convencional com intuito de identificação de genótipos de maior ou menor eficiência do uso da água. O autor cita que além da vantagem de otimizar o tempo de avaliação, a termografia conta com a vantagem de poder ser um método automatizado.

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1. Condições experimental e material vegetal

O experimento foi instalado em uma área pertencente à estação evapotranspirométrica da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro (UENF), localizada nas dependências do Centro Estadual de Pesquisas em Agroenergia e Aproveitamento de Resíduos (CEPEAA), da Estação Experimental da Empresa de Pesquisa Agropecuária do Estado do Rio de Janeiro (PESAGRO-RIO), em Campos dos Goytacazes, RJ. A localização geográfica consta de 21°44'45,7" latitude Sul e 41°18'24.1" longitude Oeste e 11 m de altitude.

Segundo a classificação climática de Köppen, o clima da região Norte Fluminense (RJ) é classificado como Aw, isto é, clima tropical úmido, com verão chuvoso, inverno seco e temperatura do mês mais frio superior a 18 °C. A temperatura média anual situa-se em torno de 24 °C, sendo a amplitude térmica muito pequena. A precipitação pluviométrica média anual está em torno de 1.023 mm (Mendonça et. al., 2007). O solo da área experimental apresenta topografia plana e foi classificado como Neossolo Flúvico Tb distrófico, segundo o sistema brasileiro de classificação de solo da EMBRAPA (1999). As características físicas e químicas estão representadas nas Tabelas 1 e 2.

Tabela 1. - Características físicas do solo da área do experimento. Campos dos Goytacazes, RJ. (Gottardo, 2016)

Profundidade	Granulometria (g·kg ⁻¹)			Teor de água		Densidade do solo
	Areia	Argila	Silte	CC (%)	PMP (%)	(g·cm ⁻³)
M						
0,0 - 0,10	764	161	75	21	14	1,60
0,1 - 0,2	731	223	46	22	15	1,77
0,2 - 0,3	672	276	52	25	19	1,79
0,3 - 0,4	579	357	64	28	22	1,65

CC= Capacidade de campo PMP= Ponto de murcha permanente

Tabela 2. Características químicas do solo da área do experimento. Campos dos Goytacazes, RJ. (Gottardo, 2016)

Profundidade	MO	pH	P	K	Ca	Mg	Na	Al	H+Al	C	S.B	T	t	m	V
M	g·dm ⁻³	H ₂ O	mg·dm ⁻³					-----cmol _c ·dm ⁻³ -----		%	-cmol _c ·dm ⁻³ -				%
0 - 0,2	16,6	6,2	17,0	79	1,8	0,7	0,01	0	2,4	0,96	2,7	3,22	2,7	0	57,24
0,2 - 0,4	11,0	5,7	6,0	74	1,3	0,5	0,02	0	1,9	0,64	2,0	4,06	2,0	0	59,88

MO= Matéria orgânica S.B.= Soma de Bases T= CTC a pH 7,0 t= CTC efetiva m= Saturação por Alumínio V= Saturação de bases

A área experimental foi montada conforme a metodologia citada por (Gottardo, 2016). No presente trabalho, foram avaliadas diferentes lâminas de irrigação no café conilon (*Coffea conephora*). O genótipo utilizado para a avaliação foi um dos clones da variedade vitória: o clone 02 de ciclo precoce. As mudas foram produzidas em viveiro especializado em produção de mudas da espécie (*C. conephora*). As mudas foram adquiridas com aproximadamente 15 cm de altura e passaram por um período de 30 dias de aclimação. O transplante foi realizado em maio de 2014 em sulcos de 30 cm de profundidade com espaçamento de 2,5 m x 1,5 m.

A necessidade de calagem foi determinada pelo Método de Saturação por Bases (SB) e visou atingir o valor de 70%, sendo o calcário dolomítico aplicado superficialmente 90 dias antes do plantio. A adubação foi realizada dentro do sulco de plantio com adição de 200g superfosfato simples, cinco litros de esterco de curral e 20 g do formulado com micronutrientes FTE - BR12, cuja composição por kg é de 18 g de B; 8,0 g de Cu; 30 g de Fe; 30 g de Mn; 1,0 g de Mo e 90 g de Zn. As adubações subsequentes foram realizadas conforme a recomendação para cultura (Prezotti et al., 2014) e com base na análise de solo. Após 60 dias decorridos do transplante, iniciou-se a fertirrigação.

Os tratos culturais e fitossanitários foram realizados de acordo com as recomendações técnicas para a cultura do cafeeiro. Realizou-se controle químico para pragas e doenças de forma preventiva, utilizando-se o produto Actara, em dosagem única de 150g·20L⁻¹. Para o controle da ferrugem foi aplicado o fungicida Opera 1,5 L·ha⁻¹, também em dosagem única. Em relação ao controle de plantas daninhas, esse foi realizado por meio de capina manual.

4.2. Manejo da irrigação

O sistema de irrigação utilizado no experimento constava de um conjunto motobomba com potência de 0,5 cv, um filtro artesanal, um cabeçal de controle com registro e dois manômetros: um na entrada da rede principal, por meio do qual aferia-se a pressão de entrada do sistema de irrigação, mantida próximo a 5 mca e outro no final da mesma. A água era captada de um reservatório de capacidade para 5000 litros.

A água foi aplicada com gotejadores da marca “NETAFIN®” com vazões de 2,5; 4 e 8Lh⁻¹. Foram utilizados emissores de diferentes vazões para facilitar o manejo durante a irrigação, podendo irrigar todo o experimento de uma só vez. O controle das lâminas de irrigação foi através da vazão do emissor. Para reposição da lâmina com 25% da ET₀ foi utilizado um emissor com vazão de 2,5 Lh⁻¹; já para lâmina com 50% da ET₀ foram utilizados dois emissores com vazão 2,5 Lh⁻¹; para lâmina com 100% da ET₀ utilizou-se dois emissores com vazão de 4 Lh⁻¹; e para uma lâmina de 125% da ET₀ foram utilizados dois emissores com vazão de 2,5 e 8 L.h⁻¹. As lâminas de irrigação foram determinadas em função da evapotranspiração de referência (ET₀). A evapotranspiração de referência foi calculada a partir do método de Penman-Monteith (Allen et al., 1998), com dados a partir de uma estação localizada próximo à área do plantio.

$$ET_0 = \frac{0,408 \cdot \Delta \cdot (R_n - G) + \gamma \cdot \frac{900}{T+273} \cdot U_2 \cdot (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma \cdot (1 + 0,34 \cdot U_2)} \quad (\text{Equação 1})$$

Em que ET₀ é a evapotranspiração de referência (mm dia⁻¹); Δ à declividade da curva de pressão de vapor (kPa °C⁻¹); R_n à radiação líquida total diária (MJ m⁻² dia⁻¹); G ao fluxo de calor no solo (MJ m⁻² dia⁻¹); γ constante psicrométrica (kPa °C⁻¹); T à temperatura média do ar (°C); U₂ à velocidade média do vento medido a 2 metros de altura (m s⁻¹); e_s à pressão de saturação de vapor de água (kPa); e_a pressão atual de vapor de água.

4.3. Delineamento experimental

O delineamento experimental foi constituído de blocos casualizados, com três repetições, distribuídos em cinco tratamentos, sendo estes as lâminas de água de 0, 25, 50, 100 e 125% da ET₀. Cada parcela foi constituída de 6 plantas, sendo as duas primeiras plantas de cada bloco consideradas bordadura. O último bloco de cada tratamento foi constituído de duas plantas como bordadura no início e uma no final (Figura 2).

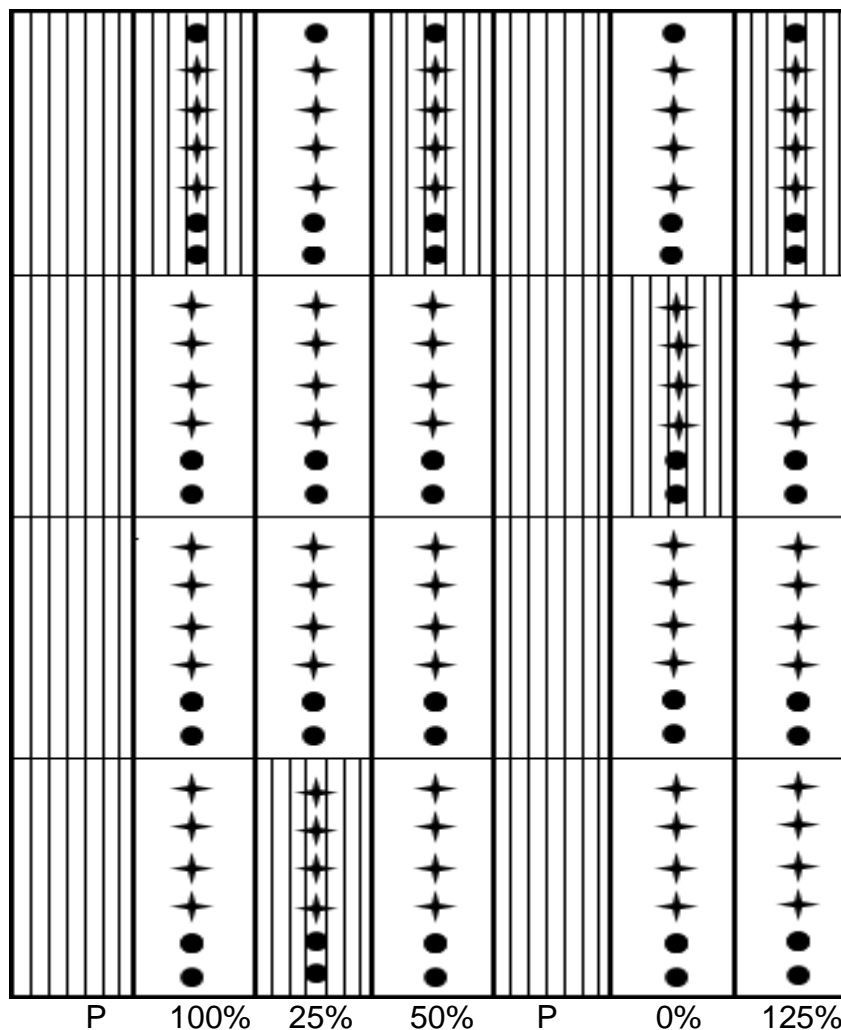


Figura 2. Croqui do experimento de cafeeiro conilon irrigado por gotejamento superficial sob diferentes lâminas de irrigação. Retângulos listrados sem símbolos correspondem a diferentes variedades de café utilizadas como polinizadores, não avaliadas. Retângulos listrados com símbolos correspondem a parcelas eliminadas. Círculos correspondem a diferentes clones utilizados como bordadura e estrelas correspondem a plantas de clone Vitória 02 utilizadas para avaliação.

4.4. Análise estatística

Os dados obtidos nas avaliações foram submetidos à análise de variância (Tabela 1A – Apêndice) e as médias comparadas pelo Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade de erro. Para análise dos dados, foi utilizado o software SAEG Sistema para Análise Estatística, versão 9.1.

Na análise do índice de estresse hídrico da cultura (CWSI) pela potencial hídrico foliar (Ψ_{wf}) foi realizada a análise de correlação de Pearson ($P \leq 0,05$).

4.5. Variáveis avaliadas

Nesse experimento foram realizadas avaliações de status hídrico da planta utilizando bomba de Scholander e termografia infravermelho durante toda a estação do inverno. Também foram realizadas avaliações dos parâmetros de desenvolvimento da cultura, sendo estes a altura da planta, o diâmetro do caule e o diâmetro da copa. O período experimental teve início no dia 01 de Julho de 2016 e tendo duração de 140 dias após o início do período (DAP). Tanto o potencial hídrico foliar da bomba de Scholander, quanto o índice de estresse hídrico da cultura, foram avaliados nos mesmos dias em cinco dias diferentes. Aos 16 DAP a avaliação foi realizada um dia após a irrigação. Aos 79 e 107 DAP as avaliações foram realizadas três dias, após o café ter sido irrigado. Nos outros dois dias, 44 e 86 DAP, as avaliações foram realizadas seis dias após o café ter sido irrigado. Os parâmetros de desenvolvimento foram avaliados uma vez por mês durante cinco meses, ocorrendo aos 28, 56, 84, 112 e 140 DAP.

4.5.1. Medição da temperatura da planta por termometria infravermelha

Foram avaliadas duas plantas por bloco em cada tratamento, tendo a obtenção das imagens uma única vez ao dia, e o processo de preparo das plantas para a obtenção das imagens iniciando 13h00min. As imagens foram sempre tiradas do lado iluminado do dossel a uma distância de aproximadamente 60 cm da planta, buscando uma padronização das imagens. O termovisor utilizado para registrar as imagens foi o da marca Flir modelo I50, que possui resolução de imagem de 140 x 140 pixels e amplitude térmica de -20 a 350°C, com precisão de leitura de variando em 2%. Foi realizada a captura de três folhas por imagem (Figura 3), de modo que, na primeira folha (figura 3A) cerca de 40 min antes da leitura, foi passado vaselina em gel com auxílio de algodão na parte abaxial da folha do café conilon, local onde se encontram os estômatos da folha. Essa técnica foi utilizada com o intuito de “vedar” os estômatos da folha, de modo a

aumentar a temperatura da folha, simulando a folha de uma planta sob forte estresse hídrico. A segunda folha da imagem (figura 3B) representa a própria planta sob as condições ambientais daquele momento. Já a terceira e última folha (figura 3C) foi emergida em um copo com água no momento de realizar a captura da imagem. O objetivo dessa folha “molhada” é o de simular uma planta sob uma base bem irrigada, 100% transpirante. As imagens foram avaliadas pelo software ImageJ “Image Processing and Analysis in Java”. Em cada folha das imagens foi traçado um polígono conforme suas dimensões de modo a evitar partes fora da área da folha e áreas sombreadas (Figura 3A, 3B e 3C). Dentro de cada polígono foi verificada a moda entre as temperaturas e utilizada no cálculo do CWSI da planta referente. A temperatura de cada imagem foi estabelecida pela relação entre a escala de temperatura da imagem com a escala utilizada pelo histograma do *software* (Figura 3A', 3B' e 3C'). Com esses dados de temperatura de cada folha foi possível determinar o índice de estresse hídrico da cultura (CWSI) conforme proposto por IDSO et al., 1981 e JACKSON et al., 1981.

A conversão do fator temperatura para o fator índice de estresse hídrico foi realizando conforme a seguinte equação:

$$CWSI = \left(\frac{T_C - T_{Wet}}{T_{Dry} - T_{Wet}} \right) \quad \text{(Equação 2)}$$

em que:

CWSI = Índice de estresse hídrico da cultura

T_C = Temperatura da folha representando o dossel

T_{Wet} = Temperatura da folha da planta sem estresse hídrico

T_{Dry} = Temperatura da folha da planta em estresse hídrico

CWSI varia entre 0 e 1. Valores próximos de 0 indicam uma folha totalmente transpirante (sem estresse), enquanto valores próximos de 1 indicam uma folha não-transpirante (tensão máxima).

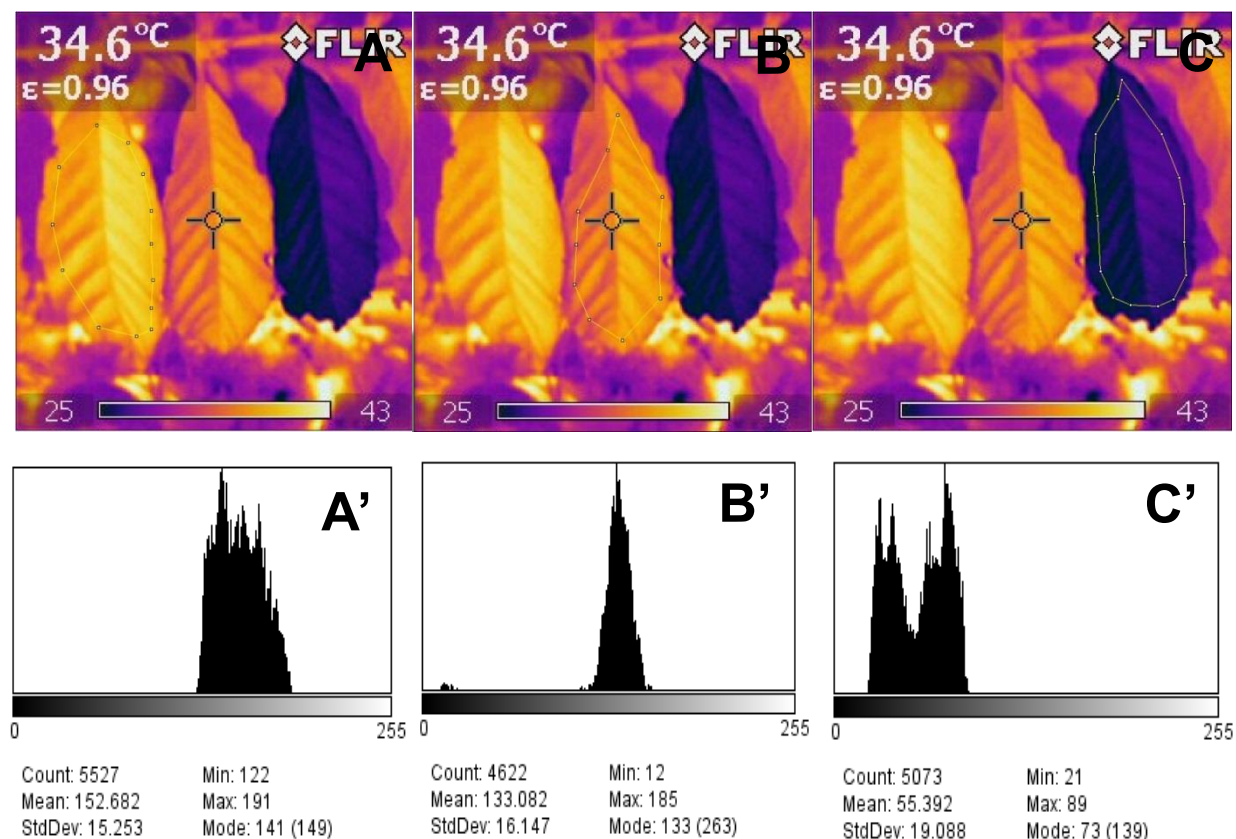


Figura 3. Imagem térmica das folhas do café conilon capturadas pelo termovisor da marca Flir I50, no dia 15/09/2016 às 14h 35min em Campos dos Goytacazes, RJ, seguindo o padrão: (A) folha com vaselina; (B) folha nas condições ambientais; (C) folha molhada, seguidas dos respectivos histogramas gerados pelo software ImageJ: (A') folha com vaselina; (B') folha nas condições ambientais; (C') folha molhada.

4.5.2. Potencial hídrico foliar (Ψ_{wf}) no antemanhã e ao meio dia

O potencial hídrico foliar (Ψ_{wf}) foi obtido utilizando uma câmara de pressão de Scholander (Figura 4). As medições foram realizadas antes do nascer do sol e ao meio dia. Essa avaliação foi realizada em uma planta vigorosa por bloco nos tratamentos, sendo feita a leitura de uma folha por planta. As folhas

utilizadas para a medição deveriam estar totalmente expandidas, maduras e localizadas no terço médio das plantas. O potencial de cada folha foi avaliado imediatamente após a folha ser destacada da planta.

Inicialmente, destaca-se a folha selecionada da planta. Em seguida, é feito um corte transversal na extremidade do pecíolo da folha para melhorar a visualização da exsudação da água da folha. Após o corte no pecíolo, a folha é inserida na câmara e então é aplicada a pressão até o momento em que ocorre exsudação da água retida na folha. Esse é o momento em que a pressão exercida pela bomba se iguala e começa a sobressair a pressão de turgescência da folha, correspondente ao valor do potencial hídrico.



Figura 4. Bomba de pressão, tipo Scholander, utilizada para avaliar o potencial hídrico foliar no café conilon em Campos dos Goytacazes – RJ. Câmera de Scholander portátil modelo SEC – 3115, P40G4V, da marca Soilmoisture.

4.5.3. Avaliação dos parâmetros de desenvolvimento

Para a medição dos parâmetros de desenvolvimento da cultura, foram utilizadas 3 plantas por bloco, constituindo um total de 45 plantas avaliadas. Os parâmetros de desenvolvimento avaliados serão descritos a seguir:

- Altura da planta: A medição foi realizada utilizando uma régua graduada, partindo da base do caule até o ápice da copa, tendo como referência o último nó formado.

- Secção transversal do caule: Foi aferido entre o 1º e o 2º entrenó do caule, utilizando-se paquímetro graduado.
- Diâmetro da copa: Foi realizada a medição em dois sentidos, Norte-Sul e Leste-Oeste perfazendo uma média das duas medidas (em cm), utilizando uma régua graduada.

4.6 Correlação entre CWSI - Ψ_{WF}

Apenas com a finalidade de aumentar a quantidade de pontos e melhorar a interpretação da curva do CWSI relacionada ao Ψ_{wf} , foram realizadas avaliações adicionais de potencial hídrico foliar e termografia infravermelha em café conilon dentro da casa de vegetação durante dois dias.

O experimento foi conduzido em casa de vegetação, na Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro (UENF), Campos dos Goytacazes – RJ, (21°45'39.6" S e 41°17'21.0" W e 10 m de altitude).

Foram avaliadas plantas de *Coffea conephora* cv. Conilon, utilizando três clones distintos: 14-II, 5v e 109A. Foram avaliadas 24 plantas, sendo 8 de cada clone. No dia 08/12 as leituras foram realizadas pela manhã, no período compreendido entre 07h18minh à 11h26minh, avaliando um total de 18 plantas de café conilon. No dia 12/12, foram avaliadas as 6 plantas restante na parte da tarde, no período de 15h30min à 16h27min.

As plantas foram irrigadas até o entardecer do dia 07/12 de modo a ficarem bem hidratadas, sendo feito o corte na irrigação após essa data até o término das avaliações no dia 12/12. Cada parâmetro avaliado foi medido duas vezes em cada planta avaliada. Ambas as avaliações foram realizadas uma imediatamente a outra, uma planta por vez.

4.7. Dados Meteorológicos

4.7.1. Temperatura

Praticamente durante todo o experimento a temperatura média diária manteve-se nas condições favoráveis ao bom desenvolvimento da cultura,

girando em torno da faixa ideal de 22 a 26°C (Tabela 2A – Apêndice), conforme Ferrão et al., 2007.

4.7.2. Precipitação

Os dados de precipitação pluviométrica mensal e das semanas que antecederam as datas das leituras de detecção do status hídrico do cafeeiro conilon durante o período de avaliação estão representadas nas Tabelas 3 e 4.

O total de precipitação mensal acumulada variou durante o período experimental em 2016. No mês de junho, a precipitação acumulada chegou a 42,9 mm. Em Julho, a precipitação acumulada ficou em 4,3 mm, tendo o pior índice dentre os meses do período experimental. Já para agosto, o volume de chuvas acumulado foi de 29,7 mm. Em setembro, choveu o equivalente a 33 mm. Já outubro, foi o mês que mais choveu dentre os meses observados, atingindo a marca de 79 mm.

Os valores da precipitação acumulada na semana que antecedeu as avaliações do status hídrico do cafeeiro conilon estão representadas na Tabela 4. Conforme a Tabela 4, não houve precipitação acumulada nas semanas que antecedem as datas de avaliação 44, 86 e 107 DAP. Na semana antecedente a avaliação aos 16 DAP, precipitou o equivalente a 6,8 mm. Para a avaliação realizada 79 DAP, houve o maior acúmulo de precipitação pluviométrica, atingindo um total de 9,3 mm.

Tabela 3. Valores de precipitação mensal em Campos dos Goytacazes (RJ) durante o período experimental, Junho - Outubro de 2016

Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro
mm				
42,9	4,3	29,7	33	79

Tabela 4. Valores do acúmulo de precipitação das semanas que antecederam as avaliações de Ψ_{wf} e CWSI durante o período experimental em Campos dos Goytacazes (RJ), Junho - Outubro de 2016

16 DAP	44 DAP	79 DAP	86 DAP	107 DAP
Mm				
6,8	0	9,3	0	0

4.7.3. Irrigação aplicada

Os valores da última irrigação aplicada, antecedente as avaliações em cada tratamento, estão representadas nas Figura 5:

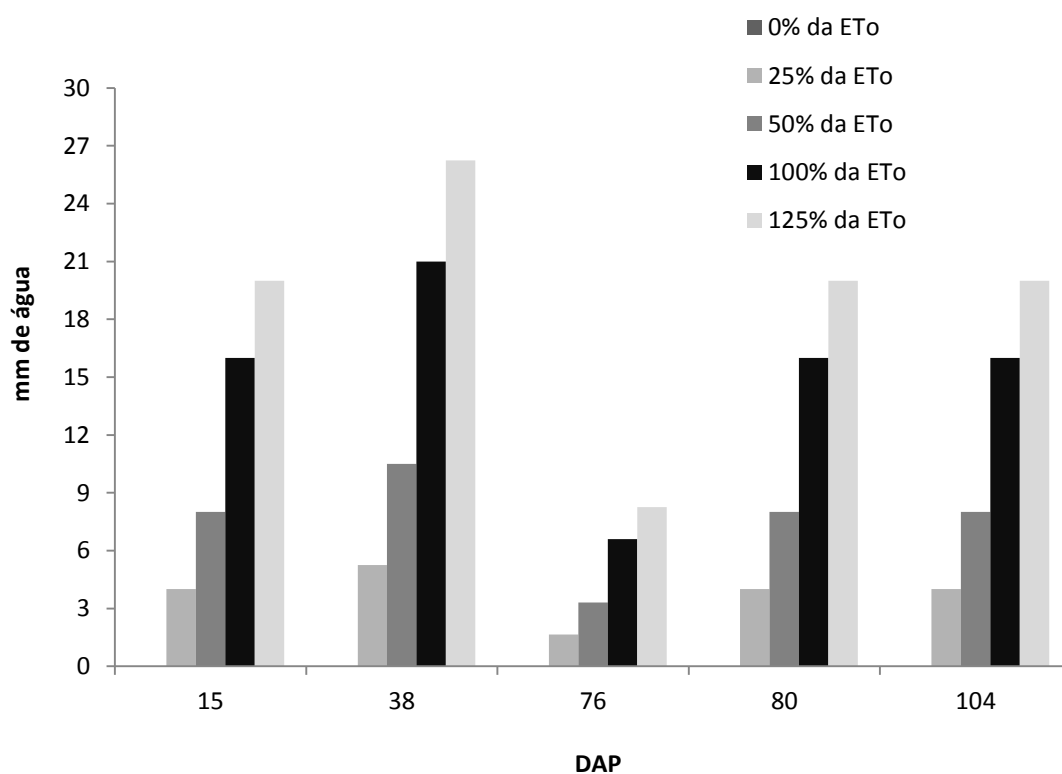


Figura 5. Dados da irrigação realizada antecedente às avaliações do status hídrico do cafeeiro conilon em campos dos Goytacazes, RJ, durante o período experimental, Junho - Outubro de 2016.

Conforme a Figura 5, para a lâmina de 0% de irrigação, não foi aplicada água em nenhum dos dias em que houve a irrigação. Nos 15, 80 e 104 DAP, foi aplicada a mesma lâmina de água, conforme a exigência de cada tratamento, sendo 4 mm para a lâmina de 25%, 8 mm para a lâmina de 50%, 16 mm na lâmina de 100% e 20 mm de água na lâmina de 125% de reposição da ET_0 . Para 38 DAP de julho foram aplicadas 5,25; 10,5; 21 e 26,25 mm de água respectivamente nas lâminas de 25%, 50%, 100% e 125% de reposição da ET_0 . Já no 76° DAP, foram aplicadas 1,65; 3,3; 6,6 e 8,25 mm de água, satisfazendo respectivamente as lâminas de 25%, 50%, 100% e 125% de reposição da ET_0 .

4.7.4. Balanço hídrico do solo

No intuito de se conhecer o armazenamento de água do solo durante o período experimental, foi realizado o balanço hídrico diário conforme Equação 3 tendo a ETr calculada pela Equação 4 (Allen et al., 1998).

$$\Theta_i = \Theta_{i-1} + I_i + P_i - ETr_i \quad (3)$$

Onde:

Θ_i – Lâmina de água no solo no dia i , mm;

Θ_{i-1} – Lâmina de água no solo no dia anterior ($i-1$), mm;

I_i – Irrigação aplicada no dia i , mm;

P_i – Precipitação ocorrida no dia i , mm;

ETr_i – Evapotranspiração real da cultura ocorrida no dia i , mm.

Com as seguintes condições de contorno:

Se: $\Theta_i < 0$, então $\Theta_i = 0$

Se $\Theta_i > CTA$, então $\Theta_i = CTA$

$$ETr_i = ET_{o_i} \cdot Kc_i \cdot Ks_i \quad (4)$$

sendo:

ET_{o_i} – Evapotranspiração de referência ocorrida no dia i, mm;

Kc_i – Coeficiente cultura no dia i, adimensional;

$$\left(Ks_i = \frac{\ln(LAA_i + 1)}{\ln(CTA_i + 1)} \right)$$

LAA_i – Lâmina atual de água no solo no dia i, mm;

CTA_i – Capacidade total e água do solo no dia i, mm.

Na tabela 5 são representadas a disponibilidade hídrica do solo nos dias em que o potencial hídrico foliar e o CWSI foram avaliados para cada lâmina de irrigação aplicada. A disponibilidade hídrica do solo em cada tratamento aplicado para todo o período experimental está representada nas Figuras 1A, 1B, 1C, 1D e 1E – Apêndice.

Tabela 5. Valores da deficiência hídrica do solo (mm) para os dias em que foram feitas as avaliações do status hídrico da planta em cada lâmina aplicada na região de campos dos Goytacazes, RJ, Julho a Outubro de 2016

	16 DAP	44 DAP	79 DAP	86 DAP	107 DAP
Trat.	mm				
0%	15,2	27,7	24,5	28	29,3
25%	11,1	23	22,7	25,8	27,7
50%	6,16	16,32	18,57	21	22
100%	2,15	12,9	14,8	14	11,13
125%	2,15	12,9	13,6	13,2	11,13

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Potencial hídrico foliar antemanhã (Ψ_{AM}) e ao meio dia (Ψ_{MD})

As variações médias do potencial hídrico foliar antemanhã (Ψ_{AM}) e potencial hídrico foliar ao meio dia (Ψ_{MD}) do café conilon sob diferentes lâminas de irrigação estão representadas nas Figuras 6 e 7, respectivamente.

Os valores do Ψ_{AM} das plantas variaram de $-0,17$ a $-0,55$ MPa no 16° DAP. Já o valor do Ψ_{AM} das avaliações realizadas 3 dias após a irrigação (79 e 107 DAP) variou de $-0,15$ a $-1,13$ MPa. Nas plantas avaliadas seis dias após a irrigação, os valores obtidos variaram entre de $-0,29$ a $-1,18$ Mpa. Os tratamentos 0 e 25% da irrigação não diferiram significativamente entre si (teste Tukey, $r \leq 0,05$) e foram sempre inferiores estatisticamente em relação aos demais tratamentos em todos os dias avaliados. Fica evidenciado pela figura 8 que os valores do potencial hídrico foliar (Ψ_{AM}) do 107° DAP, apesar de terem sido obtidos três dias após a irrigação, os valores estão mais próximos dos valores obtidos seis dias após a irrigação. Isso pode ser explicado pelas Tabelas 3 e 4, devido ao baixo valor da precipitação acumulada durante o mês e nulo na semana anterior à avaliação, respectivamente, ocasionando uma redução do potencial hídrico foliar, principalmente nas lâminas de menor reposição de água no solo.

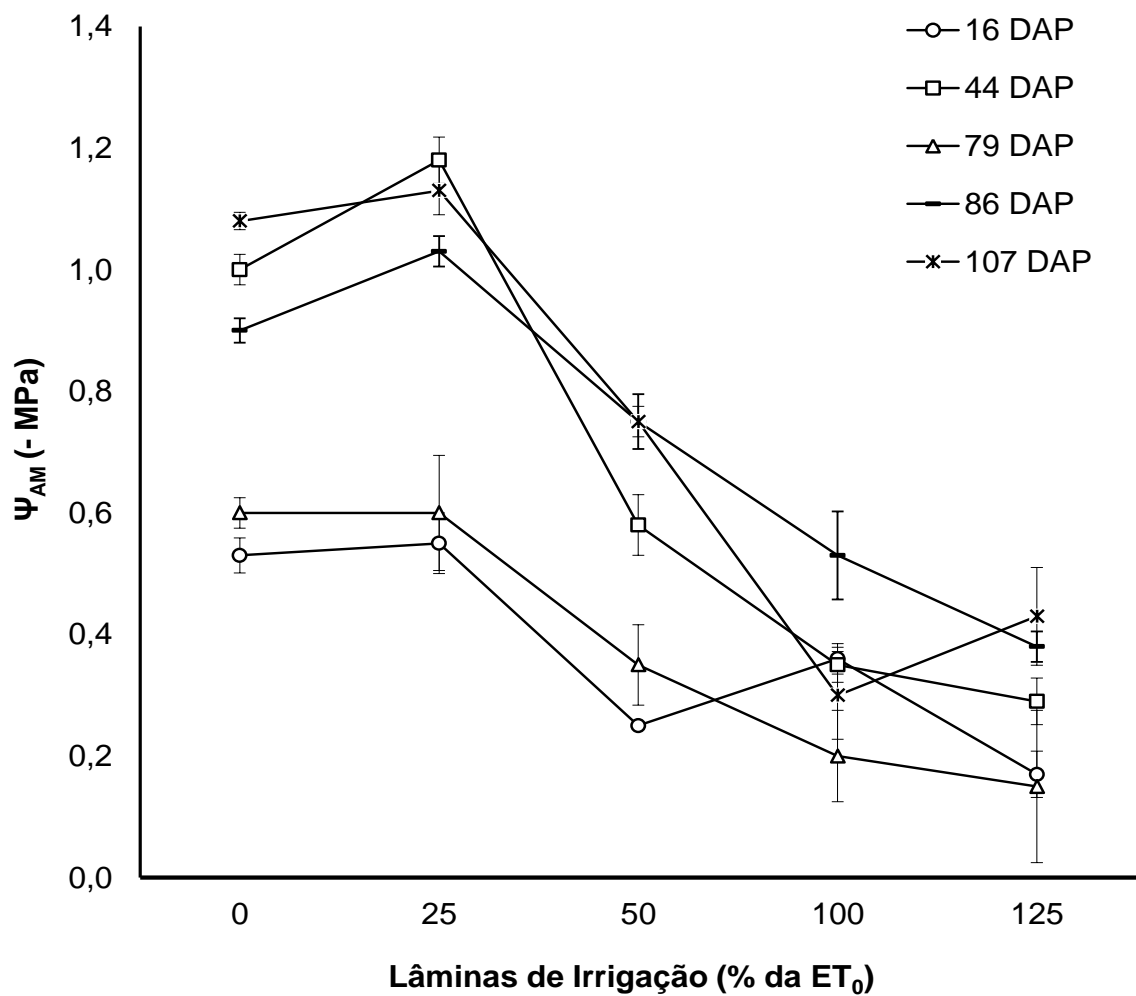


Figura 6. Variação média do potencial hídrico foliar antemanhã (Ψ_{AM}) medido no cafeeiro conilon (clone 02), sob diferentes lâminas de irrigação em Campos dos Goytacazes, RJ, Junho a Outubro de 2016.

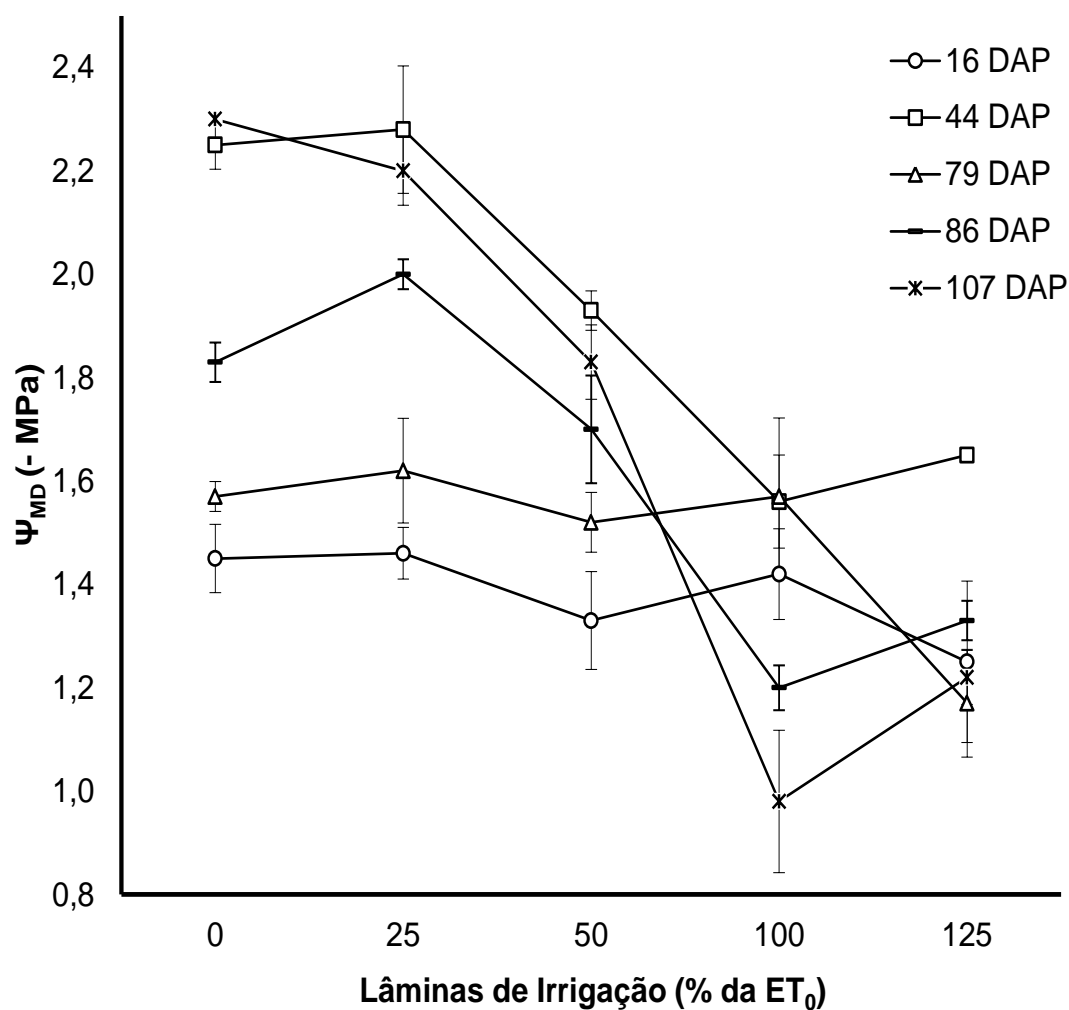


Figura 7. Variação média do Ψ_{MD} medido no café conilon, clone 02 sob diferentes lâminas de irrigação em Campos dos Goytacazes, RJ, Junho a Outubro de 2016.

Para o dia 16 DAP, o valor do Ψ_{MD} variou entre -1,25 a -1,46 MPa. Os valores para o Ψ_{MD} das avaliações realizadas três dias após a irrigação variaram de -1,17 a -2,3 MPa e de -1,2 a -2,28 MPa para as avaliações realizadas seis dias após a irrigação. Para o 16° e 79° DAP, não houve diferença significativa entre os tratamentos aplicados. Para a avaliação realizada aos 107 DAP, as lâminas de menor reposição de água 0, 25 e 50% da ET₀ apresentaram valores mais próximos aos avaliados seis dias após a irrigação para as mesmas lâminas. Já as lâminas de 100 e 125% da ET₀ apresentaram os valores próximos aos observados nas mesmas lâminas nas demais avaliações feitas de um e três dias

após a irrigação, sendo esta possível em resposta à maior disponibilidade de água no solo via irrigação.

Os valores do Ψ_{AM} (Figura 6) e Ψ_{MD} (Figura 7) foram reflexos dos tratamentos aplicados. As lâminas de maior reposição de água no solo apresentaram os maiores potenciais hídricos e que foram decrescendo conforme reduziu-se as lâminas aplicadas.

O potencial hídrico foliar pode variar conforme a espécie da planta, época do ano e hora do dia, sendo que os valores mais baixos do potencial são encontrados em épocas secas e mais próximo do meio dia, quando a transpiração é mais intensa (Tobin et al., 1999).

O potencial hídrico foliar, quando medido no antemanhã, se torna um indicativo da disponibilidade hídrica do solo, uma vez que há a tendência de equilíbrio entre as condições hídricas da planta e do solo, quando o déficit hídrico não é severo (Silva et al., 2003).

Os menores valores de Ψ_{AM} ao longo do período experimental foram de -0,9 Mpa, -1,0 Mpa, -1,08 para a lâmina 0% e -1,18 Mpa, -1,03 Mpa e -1,13 MPa para a lâmina de 25% nos 44, 86 e 107 DAP, respectivamente. Esse fato pode estar relacionado à resposta da planta ao maior período de deficiência hídrica do solo, principalmente pelo baixo volume de precipitações pluviais antecedentes à essas datas, conforme Tabela 4. Apesar do Ψ_{AM} mais baixo, a cultura do café não é afetada de forma negativa pelo estresse hídrico, quando esse coincide com a época de indução e maturação das gemas florais (figura 1), que ajuda a promover as floradas mais uniformes (Camargo e Camargo, 2001).

Avaliações realizadas no antemanhã que apresentaram potenciais hídricos mais altos (Figura 6) como observado nas lâminas de 100 e 125% de reposição de água refletem a boa capacidade de recuperação do *status* hídrico da planta, após atingir um valor mais baixo. Segundo Silva (2005), quando não há restrição hídrica, os tecidos das plantas estão hidratados ao máximo, pouco antes do amanhecer, ao passo que as medições realizadas ao longo do dia sofrem os efeitos da transpiração, consumindo mais nitrogênio e estando mais susceptíveis às variações no clima, como radiação incidente, temperatura e déficit de pressão de saturação do ar.

Golberg et al., (1988) verificaram que a fotossíntese foliar do café foi pouco afetada quanto ao potencial hídrico foliar atingia valores de até -1,5 MPa

em condições de campo. Para o Ψ_{AM} (Figura 6), nenhum dos tratamentos apresentou valores de potencial hídrico foliar superiores a -1,18 MPa, o que sugere que as plantas nesse momento não estejam sofrendo de forma negativa pelo estresse aplicado. Já nas avaliações realizadas do Ψ_{MD} (Figura 7), foi observado que no 44° DAP o Ψ_{MD} variou de -1,56 MPa a -2,28 Mpa, dentre todas as lâminas aplicadas. Para o 79° DAP, os valores do Ψ_{MD} foram maiores que -1,5 MPa da lâmina de 0% até a de 100%.

No 86° e 107° DAP, as três lâminas de menor reposição (0%, 25% e 50% da ET_0) apresentaram Ψ_{MD} superiores ao proposto por Golberg et al., (1988), indicando que as plantas nesses valores citados estejam sendo afetadas de forma negativa pelo estresse hídrico. Outros autores (DaMatta e Rena, 2000) consideram o estresse severo no café conilon quando os valores do potencial hídrico foliar encontram-se entre os valores de -2 a -3 MPa. Já para Silva et al., (2010), para determinado clone do café conilon, caracteriza-se estresse hídrico moderado a severo quando os valores do potencial hídrico antemanhã atingem valores entre -1,5 a -3,0 MPa, respectivamente.

Silva et al., (2008), trabalhando com café catuaí em tratamentos irrigados e não irrigados, encontraram valores de potencial hídrico foliar antemanhã similares aos valores encontrados na figura 8, conforme os tratamentos aplicados.

5.2. Parâmetros de desenvolvimento

A seca é considerada o principal estresse ambiental capaz de afetar o desenvolvimento e a produção dos cafezais no Brasil e no mundo (DaMatta e Ramalho, 2006), portanto, manter a umidade do solo em níveis satisfatórios trará como benefício o desenvolvimento e produção da cultura. Os resultados dos parâmetros de desenvolvimento coletados durante os cinco meses de avaliação do cafeeiro conilon estão representados nas Tabelas 6, 7 e 8.

Tabela 6. Altura (média \pm DP) das plantas de cafeeiro Conilon em função das lâminas de Irrigação (% da ET_0) em dias após a primeira avaliação (DAP), Campos dos Goytacazes (RJ), Junho a Outubro de 2016

DAP	Lâminas de Irrigação (% da ET_0) ¹					Equação $\hat{Y} = B_2X^2 + B_1X + B_0$	Teste t		R^2
	0	25	50	100	125		B_1	B_2	
28	86,44Bb ($\pm 1,06$)	92,66Bb ($\pm 6,48$)	89,22Cb ($\pm 5,50$)	102,55Ca ($\pm 2,98$)	95,11Ca ($\pm 2,41$)	$\hat{Y} = -0,00084X^2 + 0,196X + 86,24$	-1,59 ^{ns}	-0,86 ^{ns}	0,61*
56	86,66ABc ($\pm 2,40$)	94,44Bb ($\pm 9,48$)	92,27BCb ($\pm 5,31$)	103,61BCa ($\pm 4,70$)	98,00Ca ($\pm 3,66$)	$\hat{Y} = -0,0011X^2 + 0,242X + 86,83$	1,79*	-1,07 ^{ns}	0,77*
84	88,44ABc ($\pm 3,34$)	95,33Bb ($\pm 6,38$)	93,66BCb ($\pm 4,5$)	106,11BCa ($\pm 5,55$)	101,55BCa ($\pm 4,67$)	$\hat{Y} = -0,00079X^2 + 0,218X + 88,46$	1,79*	0,84 ^{ns}	0,82*
112	90,11ABb ($\pm 4,59$)	96,44Bb ($\pm 3,71$)	97,33ABb ($\pm 4,17$)	110,44ABa ($\pm 6,30$)	106,22ABa ($\pm 3,20$)	$\hat{Y} = -0,00088X^2 + 0,25X + 89,69$	2,32*	-1,04 ^{ns}	0,89*
140	94,22Ac ($\pm 3,90$)	105,55Ab ($\pm 7,37$)	104,66Ab ($\pm 4,17$)	115,11Aa ($\pm 6,90$)	110,88Aa ($\pm 3,02$)	$\hat{Y} = 0,0017X^2 + 0,35X + 94,94$	2,76*	-1,79*	0,89*

Legenda: ¹Médias seguidas das mesmas letras maiúscula na coluna e minúscula na linha, não diferem entre si, segundo teste de Tukey ($P \leq 0,05$; DMS = 7,59); ns – efeito não significativo e * efeito significativo dos termos de b_1 e b_2 ao modelo de regressão, segundo o teste t ($P \leq 0,05$) e * efeito significativo para o coeficiente de determinação, segundo o teste F ($P \leq 0,05$).

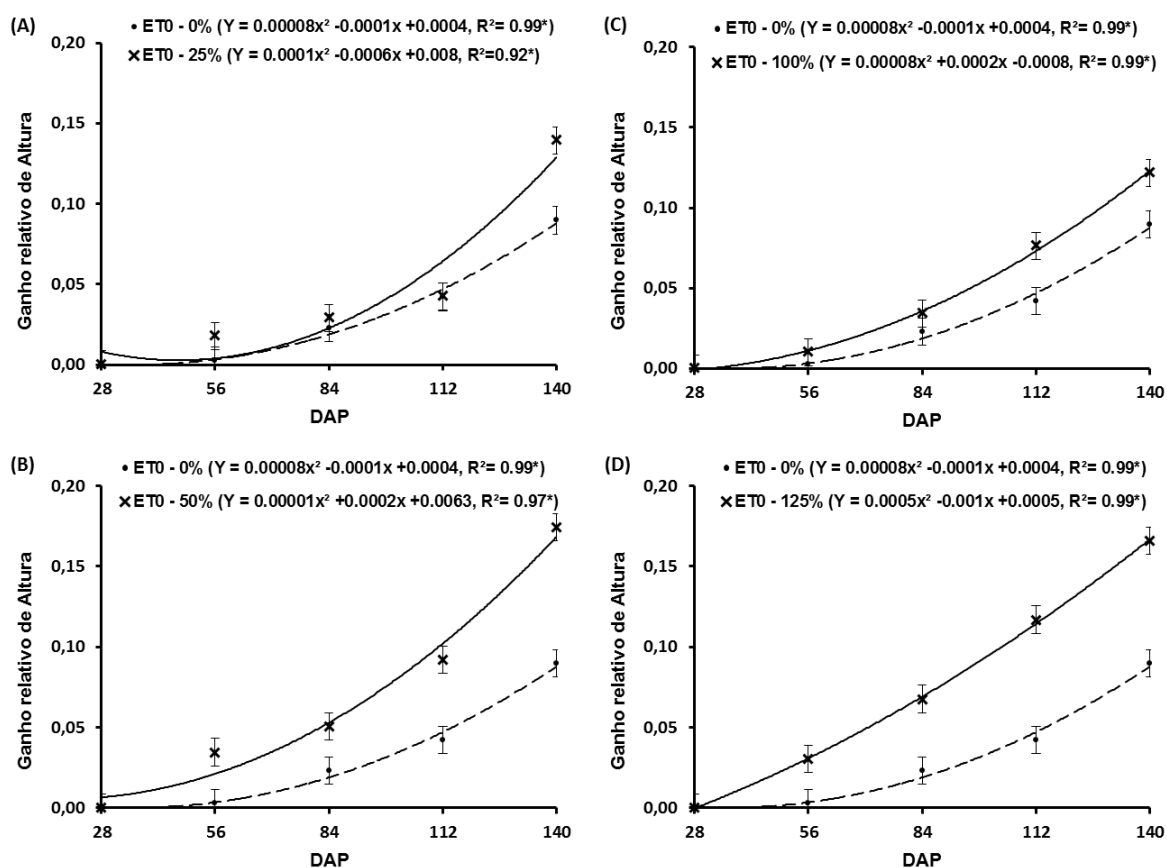


Figura 8. Ganho relativo em altura das plantas de cafeeiro Conilon, comparativos entre níveis de lâminas d'águas e o tratamento sem irrigação ao longo dos dias, após a primeira avaliação (DAP), Campos dos Goytacazes (RJ), Junho a Outubro de 2016: (A) ET₀ 25%, (B) ET₀ 50%, (C) ET₀ 100%, (D) ET₀ 125%.

Ao longo dos cinco meses de avaliação, as lâminas de 100% e 125% de irrigação foram as que sempre se mantiveram superiores às demais, estatisticamente, possuindo 102,56 cm e 95 cm de altura no início do período experimental, chegando a 115,11 cm e 110,89 cm, respectivamente ao fim dos 140 dias. A lâmina de 0% de reposição foi a que apresentou pior resultado estatisticamente, partindo de 86,44 cm a 94,22 cm. Já as lâminas de 25 e 50% de reposição da ET₀ não diferiram significativamente entre si, com medidas de 92,67 cm a 105,56 cm e 89,22 cm a 104,57 cm (Tabela 6).

Também foi observado que as Lâminas de 50% e 125% de reposição da ET₀ foram as que apresentaram a maior taxa de crescimento relativo, com ganhos da ordem de 17,2% e 16,6% cm, respectivamente durante o período avaliado,

sendo que a lâmina de 125% de reposição apresentou o desenvolvimento mais uniforme. Apesar de o destaque no ganho em altura das lâminas de 50% e 125%, quando observado o desenvolvimento, a partir da primeira avaliação, verificou-se que não houve diferença estatística entre as lâminas avaliadas (Figura 8). A lâmina de 0% de reposição da ET_0 foi a que apresentou numericamente o menor valor de desenvolvimento relativo durante o período avaliado (Figura 8).

Apesar de o desenvolvimento mais uniforme das plantas dos tratamentos mais bem irrigadas (100 e 125% de reposição da ET_0), nas lâminas de menor reposição (0, 25 e 50% de reposição da ET_0) ter registrado um pico de ganho em altura no último mês de avaliação (Figura 8). Esse desenvolvimento acentuado na última avaliação pode estar relacionado ao elevado valor de precipitação ocorrida no mês de outubro (Tabela 3), indicando que as plantas do café conilon, após um período submetido à condições hídricas deficitárias ao seu desenvolvimento, as plantas apresentam boa capacidade de recuperação e desenvolvimento com o aumento do nível de umidade do solo.

Busato et al. (2007), avaliando o desenvolvimento inicial do cafeeiro conilon, sob diferentes lâminas de irrigação, encontraram maiores valores de altura do cafeeiro para maior disponibilidade hídrica no solo.

Araújo et al., 2011 verificaram que plantas da cultivar V5 sob diferentes períodos de estresse hídrico: 20-60, 60-90, 90-120 e 120-150 dias, após transplântio, foram 52,18; 39,33; 43,70 e 25,19% menores em relação as plantas que não sofreram estresse hídrico, aos 180 dias.

Rodrigues et al., (2015) concluíram em seu trabalho que a altura do cafeeiro é comprometida com o déficit hídrico e tende a reduzir os ganhos em desenvolvimento de altura, conforme é aumentado o período de restrição hídrica, evidenciando a sensibilidade da cultura a níveis mais baixos de umidade do solo. Esses resultados corroboram com os dados obtidos nesse trabalho e evidenciam a importância da água para o crescimento e expansão celular.

Tabela 7. Secção transversal do caule (média \pm DP) das plantas de cafeeiro Conilon em função das lâminas de Irrigação (% da ET₀) no solo em dias, após a primeira avaliação (DAP), Campos dos Goytacazes (RJ), Junho a Outubro de 2016

DAP	Lâminas de Irrigação (% da ET ₀) ¹					Equação $\hat{Y} = B_2X^2 + B_1X + B_0$	Teste t		R ²
	0	25	50	100	125		B ₁	B ₂	
28	7,11 Ac ($\pm 0,3$)	7,48 Ac ($\pm 0,78$)	9,01 Ab ($\pm 0,88$)	11,12 Ab ($\pm 0,80$)	14,88 Ba ($\pm 2,92$)	$\hat{Y} = 0,00045X^2 + 0,0016X + 7,24$	0,05 ^{ns}	1,81*	0,97*
56	8,03 Ac ($\pm 0,49$)	8,28 Ac ($\pm 0,58$)	9,42 Ab ($\pm 1,09$)	12,41 Ab ($\pm 0,68$)	16,08 ABa ($\pm 2,71$)	$\hat{Y} = 0,00056X^2 - 0,0083X + 8,13$	-0,28 ^{ns}	2,47*	0,99*
84	8,87 Ac ($\pm 0,41$)	9,43 Ac ($\pm 1,33$)	10,76 Ac ($\pm 1,55$)	14,19 Ab ($\pm 0,66$)	17,53 ABa ($\pm 2,90$)	$\hat{Y} = 0,00050X^2 + 0,0046X + 8,94$	0,13 ^{ns}	1,57*	0,99*
112	9,14 Ac ($\pm 0,81$)	9,48 Ac ($\pm 0,82$)	10,34 Ac ($\pm 1,48$)	14,19 Ab ($\pm 0,50$)	18,38 Aa ($\pm 3,00$)	$\hat{Y} = 0,0007X^2 - 0,017X + 9,30$	-0,52 ^{ns}	2,75*	0,99*
140	9,48 Ac ($\pm 0,66$)	9,68 Ac ($\pm 0,52$)	10,19 Ac ($\pm 1,22$)	14,36 Ab ($\pm 0,63$)	18,70 Aa ($\pm 3,49$)	$\hat{Y} = 0,00081X^2 - 0,031X + 9,66$	-0,85 ^{ns}	2,95*	0,99*

Legenda: ¹Médias seguidas das mesmas letras maiúscula na coluna e minúscula na linha, não diferem entre si, segundo teste de Tukey (P \leq 0,05; DMS = 3,25); ns – efeito não significativo e * efeito significativo dos termos de b1 e b2 ao modelo de regressão, segundo o teste t (P \leq 0,05) e * efeito significativo para o coeficiente de determinação, segundo o teste F (P \leq 0,05).

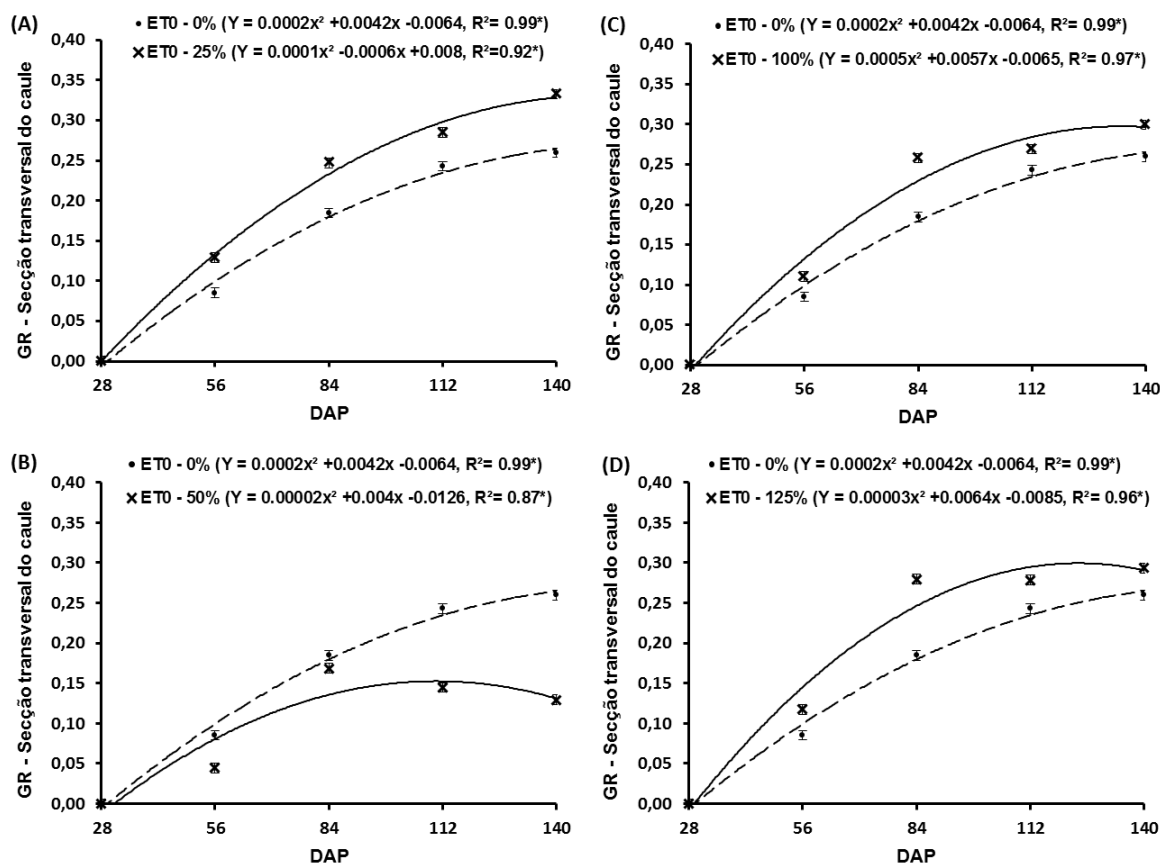


Figura 9. Ganho relativo da secção transversal do caule das plantas de cafeeiro conilon, comparativos entre níveis de lâminas d'águas e o tratamento sem irrigação ao longo dos dias, após a primeira avaliação (DAP), Campos dos Goytacazes (RJ), Junho a Outubro de 2016: (A) ET₀ 25%, (B) ET₀ 50%, (C) ET₀ 100%, (D) ET₀ 125%.

Para o diâmetro do caule, as plantas da lâmina de 125% de reposição foram as que apresentaram estatisticamente a maior seção transversal do caule, seguida das plantas da lâmina de 100% da irrigação. As plantas com lâminas de 0 e 25% de reposição foram as que apresentaram os menores valores de seção transversal do caule, atingindo valor máximo na última leitura de 9,48 cm² e 9,68 cm² respectivamente. Esses dois tratamentos não sofreram diferença significativa ao longo do período avaliado. Apesar das plantas do tratamento de 125% de reposição terem apresentado o maior valor estatisticamente, esse tratamento seguido do tratamento de 50% de reposição, foram os que apresentaram menor ganho em seção transversal do caule dentro do período avaliado (figura 9). A lâmina de 50% de reposição diferiu estatisticamente apresentando menor ganho

de seção transversal na última avaliação. Esse fato pode estar relacionado ao maior investimento das plantas no ganho de altura observado na Figura 8.

Araújo et al., 2011 verificaram que plantas das cultivares do café conilon RT e V5 sob diferentes períodos de aplicação de estresse hídrico, apresentaram redução no diâmetro do caule em relação às plantas que não passaram por períodos de estresse na ordem de 34,05% e 44,13%, em média, para RT e V5, respectivamente, aos 180 dias.

Alves et al., 2000, trabalhando com café arábica, concluíram que a irrigação promoveu efeitos significativos sobre o diâmetro do caule e da copa. Esses autores ainda concluíram que a irrigação proporcionou o melhor crescimento da cultura, garantindo maior vigor à planta.

Trabalhando com cafeeiro conilon, Zonta et al., 2009 observaram que o menor desenvolvimento das mudas e, conseqüentemente, o menor diâmetro do caule está associado a maiores turnos de rega, o que evidencia a influência negativa de maiores períodos de restrição hídrica sobre a cultura.

Tabela 8. Diâmetro da copa (DC, média \pm DP) das plantas de cafeeiro conilon em função das lâminas de Irrigação (% da ET_0) no solo em dias, após a primeira avaliação (DAP), Campos dos Goytacazes (RJ), Junho a Outubro de 2016

DAP	Lâminas de Irrigação (% da ET_0) ¹					Equação $\hat{Y} = B_2X^2 + B_1X + B_0$	Teste t		R^2
	0	25	50	100	125		B_1	B_2	
28	101,38 Ab ($\pm 14,22$)	105,88 Ab ($\pm 7,2$)	103,27 Ab ($\pm 7,27$)	110,88 Aa ($\pm 8,34$)	125,88 Aa ($\pm 4,33$)	$\hat{Y} = -0,0022X^2 - 0,11X + 103,56$	-0,56 ^{ns}	1,46*	0,91*
56	105,55 Ab ($\pm 14,35$)	104,11 Ab ($\pm 4,32$)	108,77 Ab ($\pm 7,40$)	122,27 Aa ($\pm 2,55$)	129,44 Aa ($\pm 7,43$)	$\hat{Y} = 0,0016X^2 - 0,0043X + 104,69$	-0,02 ^{ns}	1,27 ^{ns}	0,99*
84	104,61 Ab ($\pm 13,19$)	107,66 Ab ($\pm 6,78$)	107,33 Ab ($\pm 3,76$)	119,88 Aa ($\pm 2,31$)	130,27 Aa ($\pm 6,69$)	$\hat{Y} = 0,0018X^2 - 0,036X + 105,48$	-0,22 ^{ns}	1,27 ^{ns}	0,98*
112	109,50 Ab ($\pm 14,00$)	112,50 Ab ($\pm 6,35$)	109,94 Ab ($\pm 5,79$)	125,88 Aa ($\pm 1,01$)	133,27 Aa ($\pm 6,39$)	$\hat{Y} = 0,0019X^2 - 0,048X + 110,15$	-0,28 ^{ns}	1,48 ^{ns}	0,96*
140	115,77 Ab ($\pm 11,51$)	119,77 Aa ($\pm 1,26$)	119,72 Aa ($\pm 6,16$)	128,55 Aa ($\pm 0,09$)	135,33 Aa ($\pm 7,81$)	$\hat{Y} = 0,00089X + 0,035X + 116,58$	0,24 ^{ns}	0,82 ^{ns}	0,98*

Legenda: ¹Médias seguidas das mesmas letras maiúscula na coluna e minúscula na linha, não diferem entre si, segundo teste de Tukey ($P \leq 0,05$; DMS = 18,08); ns – efeito não significativo e * efeito significativo dos termos de b_1 e b_2 ao modelo de regressão, segundo o teste t ($P \leq 0,05$) e * efeito significativo para o coeficiente de determinação, segundo o teste F ($P \leq 0,05$).

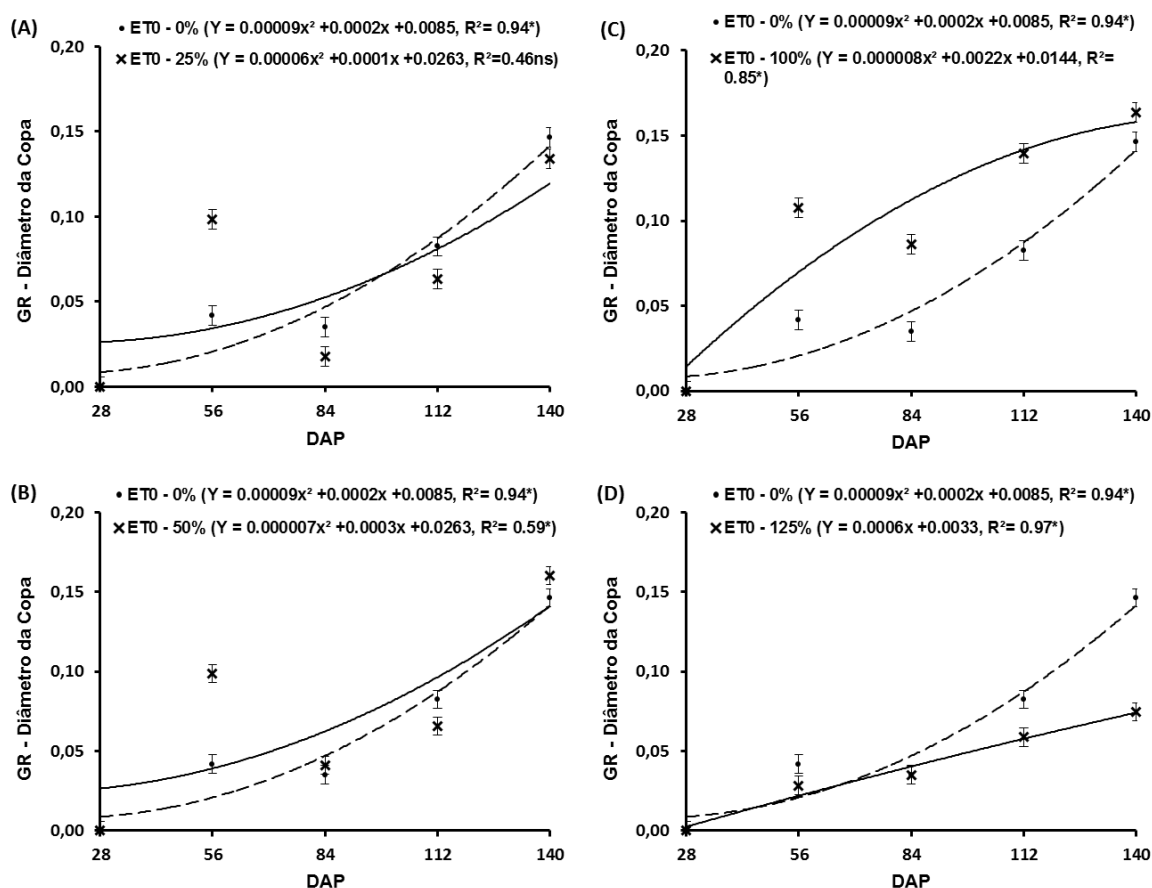


Figura 10. Ganho relativo do diâmetro da copa das plantas de cafeeiro conilon, comparativos entre níveis de lâminas d'águas e o tratamento sem irrigação ao longo dos dias, após a primeira avaliação (DAP), Campos dos Goytacazes (RJ), Junho a Outubro de 2016: (A) ET₀ 25%, (B) ET₀ 50%, (C) ET₀ 100%, (D) ET₀ 125%.

Em relação ao diâmetro da copa ao longo do tempo, os tratamentos 100% e 125% apresentaram os maiores valores, estatisticamente, e não diferiram entre si, seguidos dos tratamentos de 25% e 50% de reposição, que também não diferiram entre si, ao nível de 5% pelo Teste F (Tabela 8). Apesar de os tratamentos terem apresentado diferença estatística ao longo das avaliações, para a última avaliação não houve diferença entre as lâminas de 25% a 125% de reposição, fato que, quando comparado à Figura 10, observa-se que nas lâminas de menor reposição (0%, 25% e 50% da ET₀) pode estar relacionado a maior precipitação neste último mês (Tabela 3), assim como ocorrido com o ganho relativo da altura, conforme Figura 8, reforçando a ideia da boa capacidade de

recuperação do desenvolvimento das plantas quando bem hidratadas após um período de menor disponibilidade hídrica. .

Os resultados para o diâmetro da copa demonstram que os tratamentos com as lâminas de maior reposição (100% e 125% de reposição da ET_0) apresentaram maiores valores de diâmetro da copa, salientando os benefícios da irrigação ao desenvolvimento do cafeeiro, refletindo diretamente sobre sua produtividade.

Assim como no presente trabalho, Lambert (2009) verificou que plantas de café arábica, variedade Rubi, linhagem MG-1192 sob diferentes lâminas de irrigação apresentaram maior diâmetro da copa em relação às plantas não irrigadas. Em mudas de café conilon (*Coffea canephora* Pierre ex Froehner), a lâmina de 100% da ECA favoreceu ganhos de 406,85% entre primeira e última avaliação (180 dias), ao passo que para a lâmina de 20% da ECA o ganho foi de 89,39% (Busato et al., 2007).

O déficit hídrico causa redução da taxa fotossintética, uma vez que as plantas afetadas tendem a fechar os estômatos com intuito de reduzir as perdas de água pela transpiração. Com a redução da abertura do estômato, além de reduzir as perdas de água, a planta tende a diminuir a assimilação de CO_2 , ocasionando a redução na produção de fotoassimilados que, prolongando o período de deficiência hídrica, irá afetar de forma negativa o desenvolvimento produção da planta (Taiz e Zeiger, 2004).

Estudando diferentes variedades de café cultivado em diferentes espaçamentos, Martinez et al., (2008) verificaram que as variáveis altura da planta, diâmetro da copa e do caule, apresentaram boa correlação com a produtividade da cultura, evidenciando a importância desses parâmetros na definição da produtividade do cafeeiro, e que, comparando esses dados e fazendo uma analogia com os resultados obtidos nesse trabalho, salienta-se a importância de se minimizar a deficiência hídrica nos plantios, afim de maximizar os resultados de desenvolvimento e consequente produtividade da cultura.

5.3. Termografia infravermelho

Imagens térmicas do dossel podem indicar o *status* hídrico da planta pelo índice de estresse hídrico da cultura (CWSI). O valor do CWSI vai de 0 (sem estresse hídrico) até 1 (planta totalmente estressada) em que, neste caso, T_c está bem próxima do valor de T_{dry} . O valor médio do CWSI na lâmina de 0% de reposição foi o único tratamento significativamente inferior nas cinco datas avaliadas. Para os demais tratamentos (25, 50, 100 e 125% de reposição da ET_0), houve diferença apenas na primeira data avaliada (16 DAP), não havendo diferença estatística nas demais datas entre os tratamentos aplicados. Já analisando ao longo das datas avaliadas, apenas a lâmina de 0% de reposição da ET_0 sofreu diferença significativa (Tabela 9). Cabe ressaltar que foi averiguada a análise de regressão entre as lâminas de irrigação por data de avaliação.

Tabela 9. Média dos valores do CWSI (média \pm DP) para as plantas de cafeeiro conilon em função das lâminas de Irrigação (% da ET_0) no solo em dias após a primeira avaliação (DAP), Campos dos Goytacazes (RJ), Junho a Outubro de 2016

Tratamento	16	44	79	86	107
125%	0,76ABa ¹ ($\pm 0,04$)	0,83Aa ($\pm 0,08$)	0,73Aa ($\pm 0,004$)	0,83Aa ($\pm 0,04$)	0,77Aa ($\pm 0,01$)
100%	0,77ABa ($\pm 0,009$)	0,81Aa ($\pm 0,07$)	0,82Aa ($\pm 0,05$)	0,75Aa ($\pm 0,04$)	0,75Aa ($\pm 0,05$)
50%	0,79ABa ($\pm 0,05$)	0,82Aa ($\pm 0,04$)	0,84Aa ($\pm 0,03$)	0,87Aa ($\pm 0,09$)	0,77Aa ($\pm 0,11$)
25%	0,87Ba ($\pm 0,07$)	0,89Aa ($\pm 0,05$)	0,80Aa ($\pm 0,06$)	0,84Aa ($\pm 0,04$)	0,89Aa ($\pm 0,05$)
0%	0,69Aa ($\pm 0,07$)	0,82Aab ($\pm 0,07$)	0,81Aab ($\pm 0,06$)	0,79Aab ($\pm 0,07$)	0,86Ab ($\pm 0,02$)

Legenda: ¹Médias seguidas das mesmas letras maiúscula na coluna e minúscula na linha, não diferem entre si, segundo teste de Tukey ($P \leq 0,05$; DMS = 0,14)

O valor do CWSI é inversamente proporcional ao valor do potencial hídrico, de modo que, quanto menor o valor do potencial hídrico, mais próximo de 1 será o valor do CWSI. Conforme a Tabela 9 demonstra, a média dos valores do CWSI não apresentaram valores menores que 0,69, caracterizando um índice mais próximo ao valor estipulado para plantas sob estresse hídrico.

Mangus et al., (2016) discutem em seus trabalhos com milho que variações do valor do CWSI podem ocorrer na mesma planta, conforme a localização da folha na planta em que a imagem é capturada. Dessa forma, fica evidenciada a importância de seguir um padrão de avaliação para minimizar a sub ou superestimação dos valores obtidos. Esses autores relataram em seus resultados que, enquanto o teor de água no solo se manteve igual ou superior a 72% da recomendação diária de irrigação, o valor do CWSI se manteve abaixo de 0.6, ao passo que com o teor de umidade do solo abaixo dos 72% da recomendação, correlacionou negativamente com valores do CWSI acima de 0.6. Os mesmos autores ainda concluem que os sistemas de imagens térmicas podem ser considerados para monitorar o estresse hídrico em resoluções espaciais e temporais, para a utilização da irrigação em grandes sistemas de produção.

5.4. Índice de estresse hídrico da cultura e o potencial hídrico foliar

O índice de estresse hídrico da cultura (CWSI) variou de 0,58 a 1,03 para o potencial hídrico foliar, variando de -0,64 MPa até -3,19, respectivamente. Foi observado que os valores estão bem correlacionados, conforme o modelo proposto, que apesar da dispersão ocorrida, os valores médios obtidos correlacionados seguem a linha de ajuste do modelo.

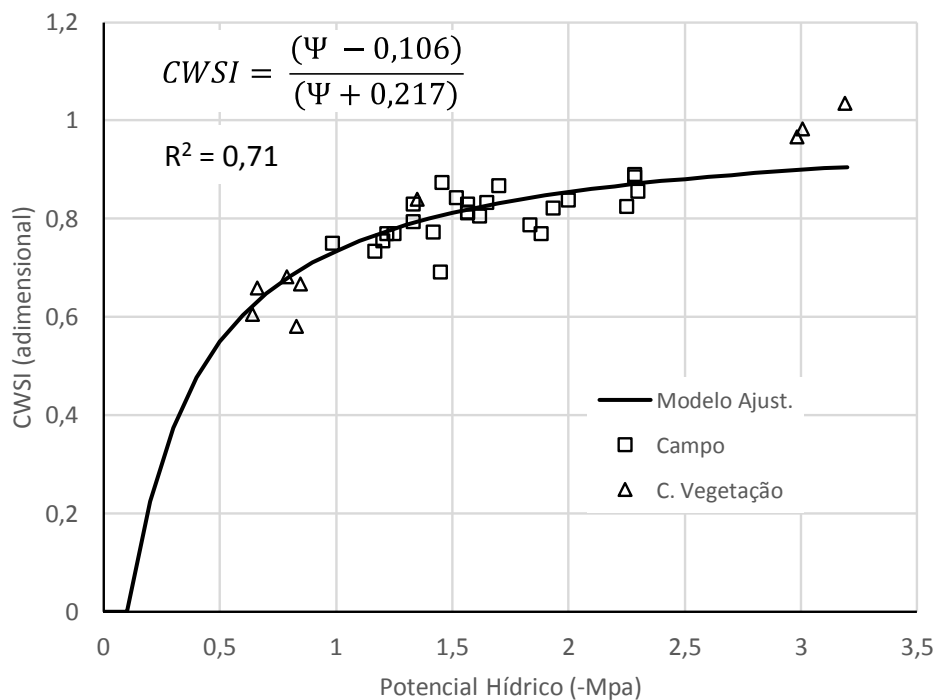


Figura 11. Relação entre potencial hídrico foliar (-Mpa) e o Coeficiente de Estresse Hídrico Foliar (CWSI) da cultura do café conilon, coletado em Campo Experimental PESAGRO (quadrado vazado - Campo) e Casa de Vegetação (Triângulo Vazado – C. Vegetação).

Observa-se pelo modelo apresentado na Figura 11 que o valor de CWSI, com potencial hídrico foliar abaixo de -1 MPa, varia rapidamente com uma leve diminuição do potencial hídrico foliar, sugerindo que nessa faixa de potencial hídrico, a cultura sofra rápida redução da condutância estomática, levando a redução da taxa de transpiração. Andrade (2011) afirma que para reduzir a perda de água pela transpiração, plantas de café sob restrição hídrica tendem a reduzir a condutância estomática. Com a diminuição da transpiração ocasionada pelo fechamento estomático, há um aumento de temperatura da folha, tornando este um fator expressivo para a elevação do valor de CWSI. Costa 2016, analisando a temperatura do dossel em plantas de café arábica variedade Catuaí Vermelho IAC 144 sob diferentes lâminas de irrigação, verificou que em lâminas deficitárias de irrigação, a temperatura foliar das plantas ficou de 1 a 3°C mais alta em relação à temperatura foliar de plantas de tratamentos sem déficit hídrico.

Para alguns autores consideram que (Golberg et al.,1988; Silva et al., 2010; o potencial hídrico foliar a -1,5 MPa, do café já esteja sofrendo estresse

hídrico. Para o potencial hídrico foliar a $-1,5$ Mpa, o valor de CWSI gira em torno de 0,8, conforme o modelo da Figura 11, e desse modo, pode ser utilizado para a detecção do estresse hídrico da cultura pelo uso desta técnica. Ainda é observado que para valores de potencial hídrico foliar inferiores a $-1,5$ MPa, os valores do CWSI já não oscilam tanto, indicando que a partir de $-1,5$ MPa a planta já esteja sofrendo fortes efeitos do estresse hídrico severo, como redução da taxa de transpiração pelo fechamento estomático.

Mesmo com a boa correlação obtida entre o potencial hídrico e o CWSI, é observado que alguns pontos destoam da curva de ajuste do modelo, como é o caso do valor de 1,03 para o CWSI. Para atingir esse valor, pela equação (2) é necessário que a temperatura da folha que representa a planta em suas condições ambientais (T_C) seja mais alto que o valor da folha em que é forçada a situação de estresse severo (T_{Dry}). Esse erro pode estar relacionado à forma como foi conduzida a metodologia em relação à aplicação da vaselina na folha representando a T_{Dry} , possivelmente não sendo suficiente da forma em que foi aplicada para ocasionar o fechamento total dos estômatos.

Apesar de análogo, o valor de CWSI obtido pelo método empírico utilizado nesse trabalho não será o mesmo, comparado ao modelo teórico, baseado na análise física do fenômeno (Maes e Steppe, 2012). Mesmo para altos valores de condutância estomática, estando a planta em ótimas condições hídricas, imagina-se que o valor do CWSI, pelo método empírico, não tenderá a zero, caso a temperatura da folha umedecida artificialmente seja, na realidade, menor do que a temperatura da folha com transpiração potencial. Sendo este o caso da metodologia utilizada nesse trabalho, é esperado que o valor do CWSI para potenciais hídricos de até -1 MPa esteja sujeito à um desvio, superestimando o valor do CWSI, indicando um nível mais severo de estresse hídrico, diferindo da situação real do status hídrico da planta naquele momento. Porém, à medida que o potencial hídrico vai caindo a valores menores que -1 MPa, e nos limites superiores de estresse hídrico ($CWSI > 0,8$) é esperado que este desvio também diminua, chegando a valores de CWSI coerentes ao status hídrico real da planta.

Em seu trabalho com videira, Möller et al., 2007 obtiveram uma correlação entre o potencial hídrico do caule pelo CWSI de valores semelhante ao deste trabalho, de modo a corroborar com os dados obtidos nesta pesquisa entre o potencial hídrico foliar pelo CWSI.

Outro trabalho que corrobora com dados obtidos desta correlação é o do autor Venturin (2016) em que foi correlacionado o potencial hídrico antemanhã com o coeficiente de estresse hídrico (CEH) em mudas de café conilon, clone V12. A curva do CEH em relação ao potencial hídrico segue valores muito semelhantes ao verificados entre CWSI e potencial hídrico foliar da figura 11.

Conforme os dados apresentados na figura 11, verifica-se que é possível determinar o “status hídrico” da planta indiretamente com o CWSI. Essa técnica ainda pode ser realizada com equipamentos que detectam a temperatura da folha por infravermelho de menor custo em relação aos termógrafos, tornando essa técnica mais acessível. Ainda, a detecção do “status hídrico” da planta pelo CWSI se torna uma técnica mais operacional quando comparada à bomba de Scholander.

6. CONCLUSÕES

- O Ψ_{wf} foi correspondente aos tratamentos aplicados. As lâminas de maior reposição de água apresentaram menores Ψ_{wf} no antemanhã e ao meio dia, quando comparados aos valores do Ψ_{wf} nos tratamentos de menor reposição de água, que foram afetados de forma negativa. Os valores do Ψ_{wf} antemanhã foram menores quando comparados com os observados ao meio dia, dentre os tratamentos aplicados.
- Pode-se concluir que o desenvolvimento vegetativo do cafeeiro foi responsivo às lâminas aplicadas quando analisadas ao longo do desenvolvimento da cultura. A lâmina de 100% de reposição da ET_0 , apresentou melhor desenvolvimento da cultura até o final do período avaliado, justificando o uso dessa lâmina no manejo da irrigação para o cafeeiro conilon.
- Os valores do CWSI refletiram aos tratamentos aplicados e apresentaram boa correlação com o Ψ_{wf} , indicando a possibilidade do seu uso para o manejo da irrigação da cultura. Contudo, mais trabalhos devem ser realizados no intuito de padronizar as leituras e diminuir a dispersão dos dados, e conseqüentemente aumentando a precisão da técnica.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., & Smith, M. (1998) Crop evapotranspiration- Guidelines for computing crop water requirements-FAO Irrigation and drainage paper 56. *FAO, Rome, 300(9)*, D05109.
- Alves, M. E. B., Faria, M. D., Guimarães, R. J., Muniz, J. A., & Silva, E. D. (2000) Crescimento do cafeeiro sob diferentes lâminas de irrigação e fertirrigação. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, 4(2)*, 219-225
- .
- Andrade, M.A.F. (2011) *Relações hídricas e crescimento de plantas jovens de café sob diferentes regimes hídricos e dose de N e K*. 2011. Dissertação (Mestrado em Agronomia). Vitória da Conquista – BA, Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, 55p.
- Araújo, G. L., dos Reis, E. F., Moraes, W. B., de Oliveira Garcia, G., Nazário, A. A. (2011) Influência do déficit hídrico no desenvolvimento inicial de duas cultivares de café conilon. *Irriga, 16(2)*, 115.
- Bergonci, J.I.; Bergamaschi, H.; Berlato, M.A.; Santos, A.O. 2000. Potencial da água na folha como um indicador de déficit hídrico em milho. *Pesquisa Agropecuária Brasileira, 35(8)*: 1531-1540.

- Busato, C.; Fialho dos Reis, E.; Campos Martins, C.; Macedo Pezzopane, J. E. (2007). Lâminas de irrigação aplicadas ao café conilon na fase inicial de desenvolvimento. *Revista Ceres*, 54(314).
- Camargo, Â.P. (1985) Florescimento e frutificação de café arábica nas diferentes regiões (cafeeiras) do Brasil. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 20, n. 7, p. 831-839.
- Camargo, A. P. (1987) Balanço hídrico, florescimento e necessidade de água para o cafeeiro. *In: Simposio sobre o Manejo de Água na Agricultura*. Campinas, SP (Brazil). 17-19.
- Camargo, A. D., & CAMARGO, M. D. (2001) Definição e esquematização das fases fenológicas do cafeeiro arábica nas condições tropicais do Brasil. *Bragantia*, 60(1), 65-68.
- Carvalho, A. (1946) Distribuição geográfica e classificação botânica do gênero *Coffea* com referência especial à espécie arábica. *Separata dos boletins de superintendência de serviços de café*. Campinas, SP.
- Chaerle, L., & Van Der Straeten, D. (2000). Imaging techniques and the early detection of plant stress. *Trends in plant science*, 5(11), 495-501.
- Conab. Acompanhamento da safra brasileira "Café":
http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/17_01_04_11_22_44_boletim_cafe_portugues_-_4o_lev_-_dez.pdf em 20 / 12 / 2016.
- Costa, J.O. (2016) *Padrões de resposta termal ao déficit hídrico na cultura do café irrigado por gotejamento*. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Sistemas Agrícolas) - Piracicaba - SP, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz, 98p.
- Damatta, F.M.; Rena, A.B. (2000) Relações hídricas no cafeeiro. *In: Simpósio de Pesquisa de Cafés do Brasil*, 1, Poços de Caldas, p.9-44.

- DaMatta, F. M.; Ramalho, J. D. C. (2006) Impacts of drought and temperature stress on coffee physiology and production: a review. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, Campos dos Goytacazes, v. 18, n. 1, p. 55-81.
- Drinnan, J. E., & Menzel, C. M. (1994). Synchronization of anthesis and enhancement of vegetative growth in coffee (*Coffea arabica* L.) following water stress during floral initiation. *Journal of Horticultural Science*, 69(5), 841-849.
- Eccardi, F.; Sandalj, V. (2002) Coffe – A celebration of diversity. *Sandalj Eccardi Company*, Trieste, Italy. 228p.
- EMBRAPA. Notícias: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/2574254/cafe-e-a-segunda-bebida-mais-consumida-no-brasil> em 03/11/2015
- EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. (1999) Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Rio de Janeiro: Embrapa. 412p.
- Esteves, B. D. S., Lousada, L. D. L., Sousa, E. F. D., Campostrini, E. (2015) Advanced techniques using the plant as indicator of irrigation management. *Ciência Rural*, 45(5), 821-827.
- Fazouli, L.C. (1986) Genética e melhoramento do cafeeiro. In: Rena, A.B.; Malavolta, E.; Rocha, N.; Yamada, J. (Eds). *Cultura do cafeeiro: fatores que afetam a produtividade do cafeeiro*. Piracicaba, SP: POTAFOS, p.87-113.
- Ferrão, R. G. (2004) Biometria aplicada ao melhoramento genético do café conilon. 272 f. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento) – Programa de Pós-Graduação em Genética e Melhoramento – Viçosa – MG, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG, 272 f.
- Ferrão, R. G.; Fonseca, A. F. A.; Ferrão, M. A. G.; Bragança, S. M.; Verdin Filho, A. C. Volpi, P. C. (2007) Cultivares de café conilon. In: Ferrão, R. G.;

Fonseca, A. F. A.; Bragança, S. M.; Ferrão, M. A. G.; Muner, L. H. (Eds.)
Café Conilon, Vitória, ES, *Incaper*. cap. 7, p. 203-225.

Flumignan, D. L., & FARIA, R. D. (2009) Evapotranspiração e coeficientes de cultivo de cafeeiros em fase de formação. *Bragantia*, 68(1), 269-278.

Fuchs, M. (1990) Infrared measurement of canopy temperature and detection of plantwater stress. *Theor. Appl. Climatol.* 42, 253–261.

Fuentes, S., De Bei, R., Pech, J., & Tyerman, S. (2012) Computational water stress indices obtained from thermal image analysis of grapevine canopies. *Irrigation Science*, 30(6), 523-536.

Gates, D. M. (1968) Transpiration and leaf temperature. *Annual Review of Plant Physiology*, 19(1), 211-238.

Golberg, A. D., Renard, C., Lannoye, R., & Ledent, J. F. (1988) Effects and after-effects of water stress on chlorophyll fluorescence transients in *Coffea canephora* Pierre and *Coffea arabusta* Capot and Aké Assi. *Cafe Cacao The (France)*.

Goldhamer, D. A., Fereres, E., Mata, M., Girona, J., & Cohen, M. (1999) Sensitivity of continuous and discrete plant and soil water status monitoring in peach trees subjected to deficit irrigation. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 124(4), 437-444.

Gottardo, R. D. (2016) *Desenvolvimento inicial de (coffea canephora) submetidos à irrigação superficial e subsuperficial em Campos Dos Goytacazes – RJ*. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Campos dos Goytacazes – RJ, Universidade Estadual do Norte Fluminense “Darcy Ribeiro”, 75p.

Hipps, L. E.; Asrar, G.; Kanemasu, E. T. (1985). A theoretically-based normalization of environmental effects on foliage temperature. *Agricultural and Forest Meteorology*, 35(1-4), 113-122.

- Idso, S. B., Jackson, R. D., Pinter, P. J., Reginato, R. J., & Hatfield, J. L. (1981) Normalizing the stress-degree-day parameter for environmental variability. *Agricultural Meteorology*, 24, 45-55.
- Jackson, R. D., Idso, S. B., Reginato, R. J., & Pinter, P. J. (1981) Canopy temperature as a crop water stress indicator. *Water resources research*, 17(4), 1133-1138.
- Jackson, S. H. (1991). Relationships between normalized leaf water potential and crop water stress index values for acala cotton. *Agricultural Water Management*, 20(2), 109-118.
- Jones, H. G., Aikman, D., & McBurney, T. A. (1996). Improvements to infra-red thermometry for irrigation scheduling in humid climates. In *II International Symposium on Irrigation of Horticultural Crops 449*(pp. 259-266).
- Jones, H. G., Stoll, M., Santos, T., De Sousa, C., Chaves, M. M., & Grant, O. M. (2002) Use of infrared thermography for monitoring stomatal closure in the field: application to grapevine. *Journal of Experimental Botany*, 53(378), 2249-2260.
- Lambert, R. A. (2009) *Lâminas de irrigação por gotejamento na cultura do cafeeiro*. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Uberlândia – MG, Instituto de Ciências Agrárias, 52p.
- Maes, W. H., & Steppe, K. (2012). Estimating evapotranspiration and drought stress with ground-based thermal remote sensing in agriculture: a review. *Journal of Experimental Botany*, 63(13), 4671-4712.
- Martinez, H. E. P., Augusto, H. S., Cruz, C. D., Pedrosa, A. W., Sampaio, N. F. (2008). Crescimento vegetativo de cultivares de café (*Coffea arabica* L.) e sua correlação com a produção em espaçamentos adensados-DOI:

10.4025/actasciagron. v29i4. 404. *Acta Scientiarum. Agronomy*, 29(4), 481-489.

Mangus, D.L., Sharda, A., Zhang, N. (2016) Development and evaluation of thermal infrared imaging system for high spatial and temporal resolution crop water stress monitoring of corn within a greenhouse. *Computers and Electronics in Agriculture*, v. 121, p. 149-159.

Matiello, J.B. (1998) *Café Conilon: como plantar, tratar, colher, preparar e vender*. Rio de Janeiro: MAA/SDR/PROCAFÉ/PNFC, 162p.

Matiello, J. B.; Santinato, R.; Garcia, A. W. R.; Almeida, S. R.; Fernandes, D. R. (2002) *Cultura do café no Brasil - novo manual de recomendações*. Rio de Janeiro: MAPA/PROCAFÉ/Fundação PROCAFÉ, 387p.

Mendonça, L.V. (2005) Termografia por Infravermelhos Inspeção de Betão. *Revista Engenharia & Vida*, 16:53-57

Mendonça, J. C.; Souza, E. F.; Bernardo, S.; Sugawara, M.T.; Peçanha, A. L.; Gottardo, R. D. (2007) Determinação do coeficiente cultural (Kc) do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris L.*) em campos dos Goytacazes , RJ. *Revista Brasileira de Engenharia agrícola*, V. 11, n.5, p 442,

Möller, M., Alchanatis, V., Cohen, Y., Meron, M., Tsipris, J., Naor, A., Cohen, S. (2007) Use of thermal and visible imagery for estimating crop water status of irrigated grapevine. *Journal of experimental botany*, 58(4), 827-838.

Naor, A. (2006) Irrigation scheduling and evaluation of tree water status in deciduous orchards. *Horticultural Reviews*, v.32, p.111-165.

O'shaughnessy, S. A., Evett, S. R., Colaizzi, P. D., & Howell, T. A. (2011). Using radiation thermography and thermometry to evaluate crop water stress in soybean and cotton. *Agricultural Water Management*, 98(10), 1523-1535.

- Padhi, J., Misra, R. K., & Payero, J. O. (2012). Estimation of soil water deficit in an irrigated cotton field with infrared thermography. *Field Crops Research* 126, 45-55.
- Pereira, J. B. A. 2006 Avaliação do crescimento, necessidade hídrica e eficiência no uso da água pela cultura do pimentão (*Capsicum Annuum*. L), sob Manejo Orgânico nos Sistemas de Plantio com Preparo do Solo e Direto. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Rio de Janeiro – RJ, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 112p.
- Pires, R. D. M., Sakai, E, Arruda, F. B., Folegatti, M. V., Miranda, J., e Pires, R. (2001). Necessidades hídricas das culturas e manejo da irrigação. *Irrigação. Piracicaba: FUNEP*, 1, 121-194.
- Pou, A., Diago, M. P., Medrano, H., Baluja, J., & Tardaguila, J. (2014). Validation of thermal indices for water status identification in grapevine. *Agricultural water management*, 134, 60-72.
- Remorini, D; Massai, R. (2003) Comparison of water status indicators for young peach trees. *Irrigation Science*, v. 22, n. 1, p. 39-46.
- Rodrigues, R. R., Pizetta, S. C., dos Reis, E. F., & de Oliveira Garcia, G. (2015) Disponibilidade hídrica no solo no desenvolvimento inicial do cafeeiro conilon. *Coffee Science*, 10(1), 46-55.
- Salomão, H. (2000) Fertirrigação no café: ferramenta indispensável para alta produtividade.
- Silva, E. M., Azevedo, J. A., Guerra, A. F., Figuerêdo, S. F., Andrade, L. M., & dos Antonini, J. C.A (1999). *Manejo de irrigação por tensiometria para culturas de grãos na região do Cerrado*. Embrapa Cerrados.
- Silva, A.M.; Lima, E.P.; Coelho, M.R.; Coelho, G.S. (2003) Produtividade, rendimento de grãos e comportamento hídrico foliar em função da época

de irrigação do parcelamento e do método de adubação do cafeeiro catuaí. *Engenharia Agrícola*, Jaboticabal, v.23, n.3, p.434-440.

- Silva, A. C., Silva, A. D., Coelho, G., Rezende, F. C., & Sato, F. A. (2008) Produtividade e potencial hídrico foliar do cafeeiro Catuaí, em função da época de irrigação. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 12(01), 21-25.
- Silva, V.A.; Antunes, W.C.; Guimarães, B.L.S.; Paiva, R.M.C.; Silva, V.F.; Ferrão, M.A.G.; Damatta, F.M.; Loureiro, M.E. (2010) Resposta fisiológica de clone de café Conilon sensível à deficiência hídrica enxertado em porta-enxerto tolerante. *Pesq. agropec. bras.*, Brasília, v.45, n.5, p.457-464.
- Soares, A. R.; Moura, B. R.; Rodrigues, S. B. S.; Mudrik, A. S.; Mantovani, E. C.; Vicente, M. (2003) Utilização de diferentes fontes de nitrogênio e potássio na produtividade de cafeeiros irrigados e fertirrigados. In: *Congresso Brasileiro DE Pesquisas Cafeeiras*. Araxá-MG. MMA/PROCAFÉ, p.60.
- Taiz, L.; Zeiger, E. (2004) *Fisiologia vegetal*. Porto Alegre: Artmed, 719p.
- Taiz, L. & Zeiger, E. (2009) *Fisiologia vegetal*. 4. ed. Porto Alegre: Artmed. 719 p
- Teixeira, A G., Rodrigues, R. R., Pizetta, S. C., de Oliveira Garcia, G., do Amaral, J. F. T., Reis, E. F. (2013) influência da disponibilidade de água no solo sobre o desenvolvimento inicial do cafeeiro conilon. In: *VIII Simpósio de Pesquisa de Cafés do Brasil*. Salvador.
- Tobin, M. F., Lopez, O. R., Kursar, T. A. (1999). Responses of Tropical Understory Plants to a Severe Drought: Tolerance and Avoidance of Water Stress1. *Biotropica*, 31(4), 570-578.
- Venturin, A. Z. (2016) *Coeficiente de estresse hídrico para o cafeeiro conilon baseado na detecção de fluxo de seiva* – Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Campos dos Goytacazes – RJ, Universidade Estadual do Norte Fluminense “Darcy Ribeiro”, 87p.

Zonta, J.H.; Braun, H.; Reis E.F.; Silva, D.P.; Zonta, J.B. (2009) Influência de diferentes turnos de rega e doses de hidroabsorvente no desenvolvimento inicial da cultura do café conillon (*Coffea canephora Pierre*). *IDESIA*, v. 27, n. 3, p. 29-34.

APÉNDICE

Tabela 1A. Análise da variância para a regressão de variáveis biométricas do cafeeiro em função das lâminas de irrigação (% da ET₀) em dias após a primeira avaliação (DAP), Campos dos Goytacazes (RJ), Junho a Outubro de 2016

FONTE DE VARIACÃO	QUADRADOS MÉDIOS							
	GL	AL (cm)	GRAL (%)	STC (cm)	GRSTC (%)	DC (cm)	GRDC (%)	CWSI
BLOCO	2	362,43*	0,00018 ^{ns}	13,89*	0,0057 ^{ns}	101,10 ^{ns}	0,0041 ^{ns}	0,00055 ^{ns}
(% da ET₀)	4	734,05*	0,0051*	198,30*	0,027*	1497,77*	0,0090*	0,015*
Lin	1	2214,11*	0,010*	726,20*	0,012*	5441,20*	0,00092 ^{ns}	0,016*
Qua	1	191,54*	0,0011 ^{ns}	61,76*	0,019*	486,20*	0,0047 ^{ns}	0,011 ^{ns}
Cub	1	125,70*	0,005*	4,33 ^{ns}	0,00047 ^{ns}	22,91 ^{ns}	0,030*	0,020*
4º GRAU	1	404,83*	0,0039*	0,94 ^{ns}	0,076*	40,77 ^{ns}	0,0000016 ^{ns}	0,0079 ^{ns}
DAP (D)	4	1537,14*	0,044*	18,43*	0,19*	438,49*	0,039*	0,006 ^{ns}
Lin	1	1431,15*	0,16*	65,02*	0,68*	1624,7*	0,15*	0,00055 ^{ns}
Qua	1	95,13*	0,011*	7,16 ^{ns}	0,078*	44,50 ^{ns}	0,0040 ^{ns}	0,0042 ^{ns}
Cub	1	10,67 ^{ns}	0,0012 ^{ns}	0,19 ^{ns}	0,0014 ^{ns}	54,20 ^{ns}	0,51 ^{ns}	0,014 ^{ns}
4º GRAU	1	0,20 ^{ns}	0,000029 ^{ns}	1,33 ^{ns}	0,015*	30,57 ^{ns}	0,0025 ^{ns}	0,0044 ^{ns}
INT (DxU)	16	114,70 ^{ns}	0,00077 ^{ns}	0,57 ^{ns}	0,0030 ^{ns}	15,28 ^{ns}	0,0015 ^{ns}	0,0056 ^{ns}
RES	48	10,76	0,00054	1,97	0,0024	61,02	0,0025	0,0038
C.V. (%)		3,34	2,20	12,18	4,26	6,74	4,69	7,69

Variáveis Biométricas: (AL) altura da planta, (GRAL) ganho relativo da altura da planta, (STC) secção transversal do caule, (GRSTC) ganho relativo da secção transversal do caule e (DC) diâmetro da copa (GRDC), ganho relativo do diâmetro da copa, índice de estresse hídrico da cultura (CWSI), (ns) regressão não significativo e (*) significativo, segundo o Teste F (P≤0,05).

Tabela 2A. Valores e temperatura diários durante o período experimental (junho a outubro) em Campos dos Goytacazes, RJ

Dias	2016														
	Junho			Julho			Agosto			Setembro			Outubro		
	Tmax	Tmín	Tméd	Tmax	Tmín	Tméd	Tmax	Tmín	Tméd	Tmax	Tmín	Tméd	Tmax	Tmín	Tméd
----- °C -----															
1	32,2	18,9	25,6	27,8	19,7	23,8	27,4	15,5	21,4	26,2	20,3	23,2	22,0	17,3	19,7
2	26,2	19,7	22,9	27,0	18,9	23,0	31,6	16,1	23,8	28,1	20,9	24,5	22,3	17,0	19,6
3	25,4	20,1	22,8	27,0	18,2	22,6	21,7	19,2	20,4	27,4	19,7	23,6	23,7	18,0	20,8
4	29,6	20,6	25,1	25,7	17,1	21,4	24,1	19,0	21,6	26,9	19,4	23,1	22,1	19,5	20,8
5	27,9	21,3	24,6	27,9	18,1	23,0	26,2	15,7	20,9	29,6	18,9	24,2	24,9	19,1	22,0
6	31,9	20,8	26,3	29,2	17,6	23,4	30,1	17,5	23,8	29,8	18,4	24,1	20,1	17,9	19,0
7	23,9	20,1	22,0	27,2	18,9	23,1	33,8	18,3	26,0	32,0	20,1	26,0	27,1	18,8	22,9
8	21,6	18,4	20,0	24,1	17,4	20,7	25,8	19,7	22,8	28,5	21,1	24,8	28,0	18,4	23,2
9	21,4	17,0	19,2	24,3	13,7	19,0	27,9	21,2	24,5	27,4	20,5	23,9	30,0	18,5	24,2
10	22,1	17,5	19,8	28,7	15,5	22,1	25,9	17,6	21,7	28,6	20,2	24,4	23,9	19,4	21,6
11	21,7	16,4	19,1	31,9	15,8	23,9	20,3	15,1	17,7	28,6	17,9	23,2	23,8	19,1	21,4
12	21,3	15,9	18,6	33,9	18,2	26,1	24,1	13,2	18,7	29,1	19,3	24,2	27,0	21,4	24,2
13	22,8	14,5	18,7	31,5	16,7	24,1	25,4	15,0	20,2	31,4	18,8	25,1	28,1	21,7	24,9
14	24,2	14,1	19,2	29,9	17,8	23,9	30,4	16,1	23,2	33,8	21,3	27,5	31,1	22,3	26,7
15	25,6	13,7	19,6	32,8	17,5	25,2	32,3	18,8	25,5	29,7	20,4	25,1	32,4	21,5	27,0
16	25,9	13,4	19,6	34,9	17,8	26,3	29,7	19,5	24,6	23,7	20,8	22,2	29,9	23,7	26,8
17	27,1	14,2	20,6	22,9	18,5	20,7	32,3	17,9	25,1	27,8	20,5	24,1	30,3	23,1	26,7
18	30,0	15,1	22,6	22,9	17,4	20,2	30,9	20,4	25,6	32,8	21,0	26,9	32,0	22,0	27,0
19	26,8	17,3	22,0	23,9	16,1	20,0	28,6	21,6	25,1	34,6	21,9	28,2	32,9	21,9	27,4
20	27,0	17,2	22,1	25,6	15,2	20,4	30,2	21,5	25,9	24,8	19,0	21,9	33,7	22,3	28,0
21	24,9	18,4	21,6	23,1	18,8	20,9	30,0	21,1	25,6	24,7	18,7	21,7	31,2	22,3	26,7
22	23,3	18,4	20,9	22,9	17,8	20,4	22,5	17,8	20,1	25,9	16,6	21,2	26,1	22,4	24,2
23	29,3	17,2	23,2	24,0	18,7	21,4	22,3	18,0	20,2	26,6	19,0	22,8	27,9	21,9	24,9
24	24,7	18,6	21,7	27,6	17,7	22,6	25,0	15,3	20,2	30,0	17,0	23,5	27,8	22,2	25,0
25	24,2	17,2	20,7	27,5	15,6	21,6	26,1	14,9	20,5	27,5	18,8	23,2	27,4	23,4	25,4
26	24,4	16,8	20,6	28,2	16,3	22,2	26,9	15,1	21,0	24,7	17,9	21,3	27,4	22,8	25,1
27	23,8	16,2	20,0	33,5	16,8	25,1	27,3	15,6	21,5	25,5	18,8	22,2	32,7	22,0	27,3
28	25,1	18,7	21,9	23,6	19,7	21,7	28,7	16,6	22,7	25,9	18,6	22,3	29,7	20,0	24,9
29	26,9	16,7	21,8	24,9	19,6	22,2	31,1	17,6	24,4	32,7	19,3	26,0	24,7	19,3	22,0
30	26,5	19,3	22,9	23,5	19,1	21,3	29,1	18,5	23,8	23,3	18,9	21,1	23,3	19,1	21,2
31				23,5	17,0	20,2	29,7	21,6	25,6				26,1	18,3	22,2

Temperatura máxima (Tmax); Temperatura mínima (Tmín); Temperatura média (Tméd).

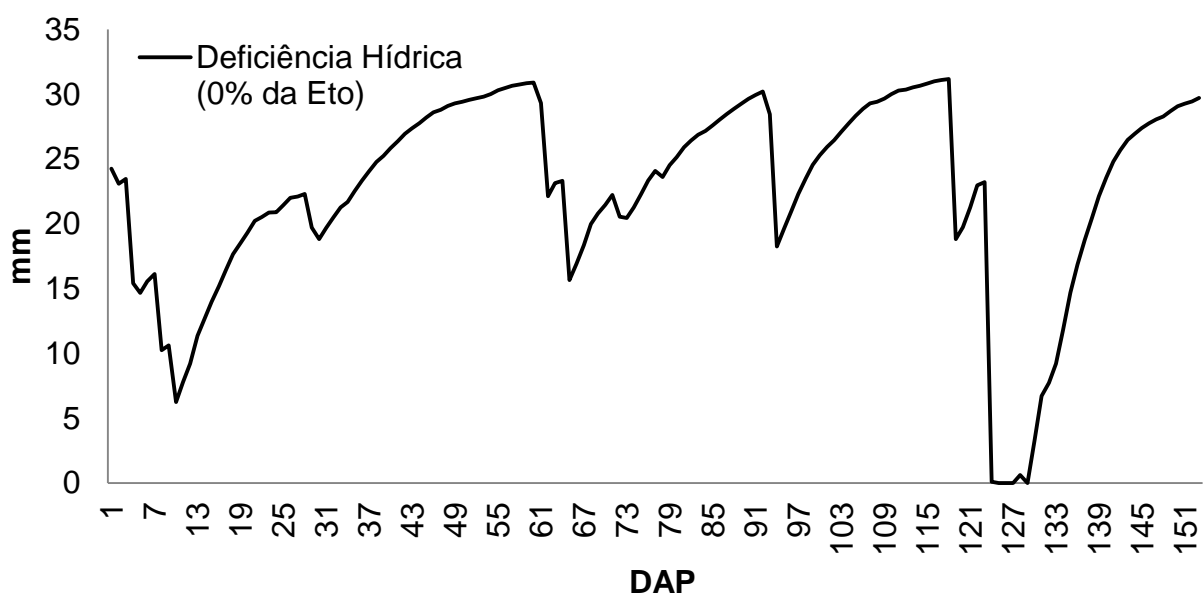


Figura 1A. Deficiência hídrica do solo (mm) no período de avaliação para o tratamento 0% de reposição da ET_0 para o cafeeiro conilon em Campos dos Goytacazes, RJ, Junho a Outubro de 2016.

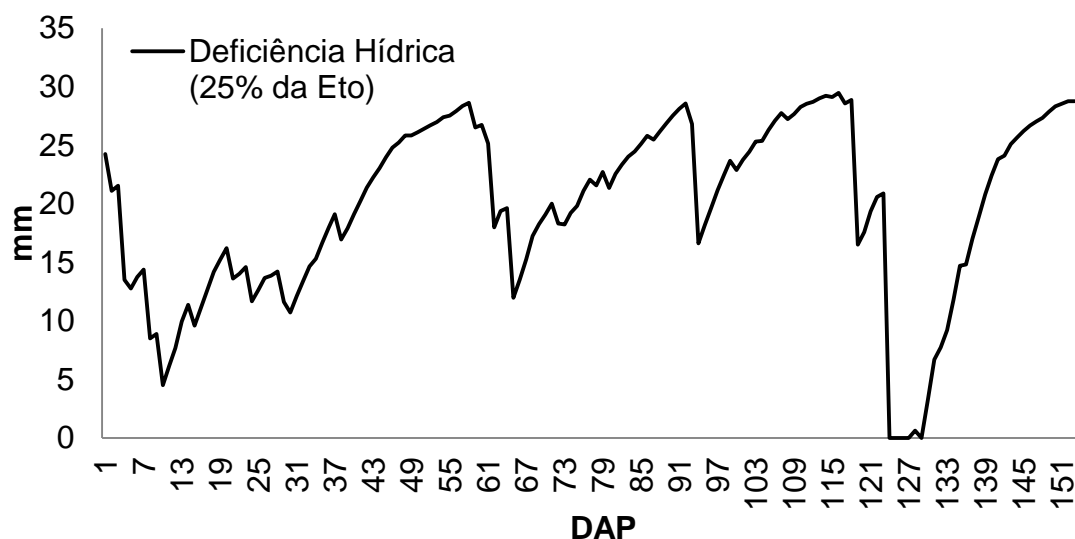


Figura 1B. Deficiência hídrica do solo (mm) no período de avaliação para o tratamento 25% de reposição da ET_0 para o cafeeiro conilon em Campos dos Goytacazes, RJ, Junho a Outubro de 2016.

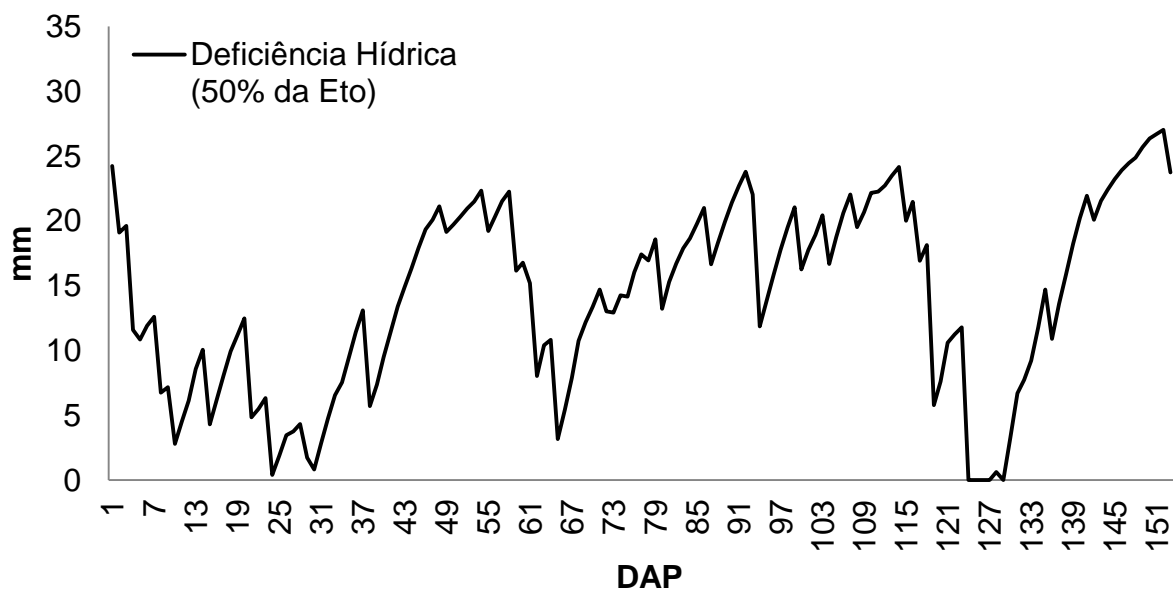


Figura 1C. Deficiência hídrica do solo (mm) no período de avaliação para o tratamento 50% de reposição da ET_0 para o cafeeiro conilon em Campos dos Goytacazes, RJ, Junho a Outubro de 2016.

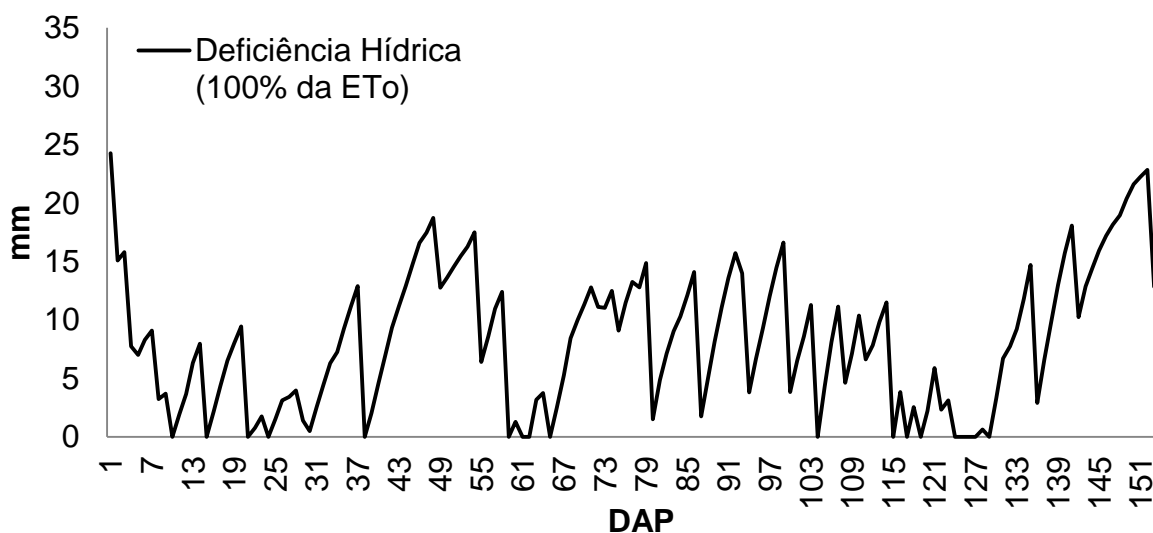


Figura 1D. Deficiência hídrica do solo (mm) no período de avaliação para o tratamento 100% de reposição da ET_0 para o cafeeiro conilon em Campos dos Goytacazes, RJ, Junho a Outubro de 2016.

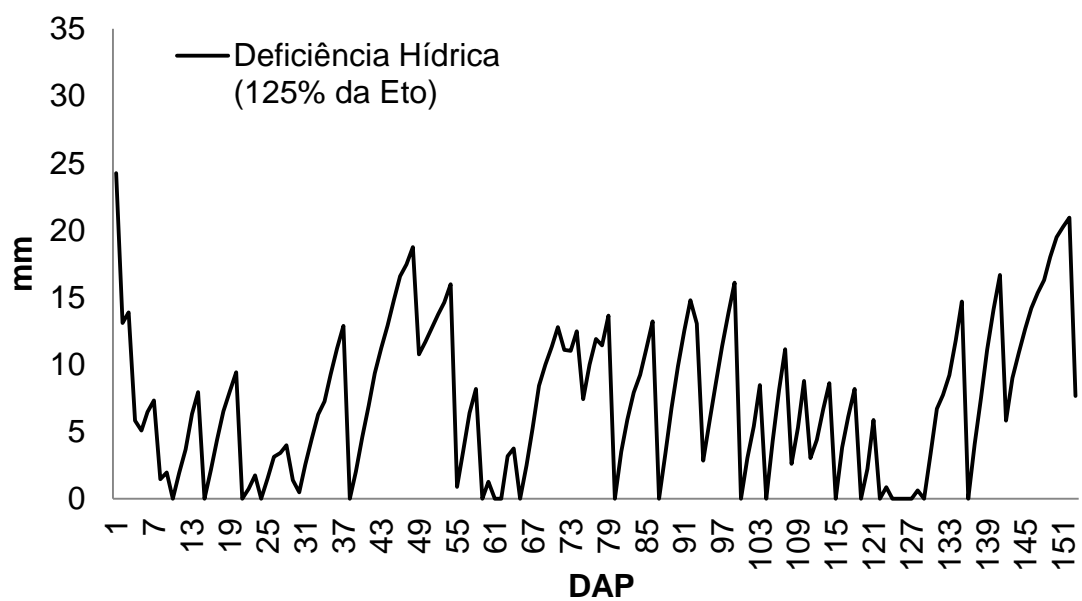


Figura 1E. Deficiência hídrica do solo (mm) no período de avaliação para o tratamento 100% de reposição da ET_0 para o cafeeiro conilon em Campos dos Goytacazes, RJ, Junho a Outubro de 2016.