

COEFICIENTE DE ESTRESSE HÍDRICO PARA O CAFEIRO  
CONILON BASEADO NA DETERMINAÇÃO DO FLUXO DE SEIVA

**AFONSO ZUCOLOTTO VENTURIN**

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO NORTE FLUMINENSE  
DARCY RIBEIRO

CAMPOS DOS GOYTACAZES – RJ  
MARÇO – 2016

COEFICIENTE DE ESTRESSE HÍDRICO PARA O CAFEIEIRO  
CONILON BASEADO NA DETERMINAÇÃO DO FLUXO DE SEIVA

**AFONSO ZUCOLOTTO VENTURIN**

Tese 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 Mestre em Produção Vegetal.

Orientador: Prof. Elias Fernandes de Sousa

CAMPOS DOS GOYTACAZES – RJ

MARÇO – 2016

## FICHA CATALOGRÁFICA

Preparada pela Biblioteca do CCT / UENF

98/2016

Venturin, Afonso Zucolotto

Coeficiente de estresse hídrico para o cafeeiro conilon baseado na determinação do fluxo de seiva / Afonso Zucolotto Venturin. - Campos dos Goytacazes, 2016.

111 f.

Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) - Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias. Laboratório de Engenharia Agrícola. Campos dos Goytacazes, 2016.

Orientador: Elias Fernandes de Sousa.

Área de concentração: Produção vegetal e agricultura irrigada.

Bibliografia: f. 78-99.

1. IRRIGAÇÃO 2. PRODUÇÃO VEGETAL 3. AGRICULTURA IRRIGADA I. Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias. Laboratório de Engenharia Agrícola II. Título

CDD 631.587


# COEFICIENTE DE ESTRESSE HÍDRICO PARA O CAFEEIRO CONILON BASEADO NA DETERMINAÇÃO DO FLUXO DE SEIVA

**AFONSO ZUCOLOTTO VENTURIN**

Tese 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 Mestre em Produção Vegetal.

Aprovada em 16 de março de 2016.

Comissão Examinadora

  
Prof. José Francisco Sá Vasconcelos Junior (D.Sc., Produção Vegetal) –  
FAETEC

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

  
Prof. Henrique Duarte Vieira (D.Sc., Produção Vegetal) – UENF

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

Aos meus pais, Laerte e Anailda Venturin, pela vida, amor, dedicação e por terem acreditado no sonho que se tornou realidade, não medindo esforços para que eu concluísse mais uma etapa de minha vida;

Às minhas irmãs pelo incentivo e pelo apoio por todos esses anos,  
E aos meus avós por essa vitória.

*“A tarefa não é tanto ver aquilo que ninguém viu, mas pensar o que ninguém ainda pensou sobre aquilo que todo mundo vê”.*

*Arthur Schopenhauer.*

## AGRADECIMENTOS

A Deus, por todas as bênçãos concedidas;

A Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro pela oportunidade de realização do curso;

Ao CNPq pela concessão da bolsa;

Ao professor Elias Fernandes de Sousa, pela orientação, confiança, ensinamentos, apoio e amizade;

Ao bolsista de iniciação científica Ícaro Serrazine, por sua grande ajuda durante toda a condução do experimento;

Ao laboratório de melhoramento genético LMGV pelos equipamentos cedidos;

Aos doutorandos José Altino Machado Filho e Weverton Pereira Rodrigues pelo acompanhamento e conhecimento partilhados;

A todos os grandes amigos pelo companheirismo no decorrer desta jornada;

Aos professores da Produção Vegetal, pela convivência e por seus ensinamentos durante o decorrer do curso;

Aos professores José Francisco Sá Vasconcelos Junior, Eliemar Camostrini e Henrique Duarte Vieira, por aceitarem fazer parte desta banca.

## SUMÁRIO

RESUMO.....	viii
ABSTRACT .....	x
1. INTRODUÇÃO .....	1
2. REVISÃO DE LITERATURA .....	5
2.1. ORIGEM, DISTRIBUIÇÃO GEOGRÁFICA E IMPORTÂNCIA ECONÔMICA NACIONAL DO <i>COFFEA CANEPHORA</i> .....	5
2.2. CLASSIFICAÇÃO TAXONÔMICA DO <i>COFFEA CANEPHORA</i> .....	7
2.3. CRESCIMENTO VEGETATIVO DO CAFEEIRO CONILON .....	7
2.3.1. PARTE AÉREA.....	7
2.3.2. SISTEMA RADICULAR .....	8
2.4. DESCRIÇÃO BOTÂNICA E SISTEMA REPRODUTIVO DO CAFEEIRO CONILON.....	9
2.5. FLORAÇÃO DO CAFEEIRO CONILON .....	9
2.6. FOTOSSÍNTESE DO CAFEEIRO CONILON.....	10
2.7. MOVIMENTO ESTOMÁTICO E TRANSPIRAÇÃO DO CAFEEIRO CONILON.....	11
2.8. RELAÇÕES HÍDRICAS DO CAFEEIRO CONILON.....	12

2.9. IRRIGAÇÃO NA CAFEICULTURA.....	13
2.10. INDICADORES DA CULTURA COMO MÉTODOS DE ESTIMATIVA DO ESTRESSE HÍDRICO.....	16
2.11. DETERMINAÇÃO DO FLUXO DE SEIVA.....	17
2.11.1. MÉTODO DE PULSO DE CALOR.....	18
2.11.2. MÉTODO DE BALANÇO DE CALOR.....	21
2.11.3. MÉTODO DE DISSIPACÃO TÉRMICA .....	24
3. MATERIAL E MÉTODOS .....	28
3.1. CONDIÇÕES EXPERIMENTAIS E MATERIAL VEGETAL.....	28
3.2. APLICAÇÃO DOS TRATAMENTOS.....	28
3.3. CONSTRUÇÃO DO SENSOR DE FLUXO DE SEIVA.....	29
3.4. INSTALAÇÃO DO SENSOR NO CAFEIRO .....	31
3.5. EMBASAMENTO TEÓRICO PARA A DETERMINAÇÃO DO FLUXO DE SEIVA .....	32
3.6. VARIÁVEIS AVALIADAS .....	35
3.6.1. POTENCIAL HÍDRICO FOLIAR ANTEMANHÃ ( $\Psi_{AM}$ ) E MEIO DIA ( $\Psi_{MD}$ ).....	35
3.6.2. ESTIMATIVA DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA ( $E_{T0}$ ) .....	36
3.6.3. DETERMINAÇÃO DAS TROCAS GASOSAS .....	36
3.6.4. COEFICIENTE DE ESTRESSE HÍDRICO BASEADO NA TRANSPIRAÇÃO ( $CEH_t$ ).....	37
3.6.5. UMIDADE DO SOLO .....	37
3.6.6. CARACTERÍSTICAS DE CRESCIMENTO AVALIADAS .....	38
3.6.6.1. ALTURA DA PLANTA.....	38
3.6.6.2. DIÂMETRO DO CAULE.....	38
3.6.6.3. NÚMERO DE RAMOS PLAGIOTRÓPICOS .....	38
3.6.6.4. NÚMERO DE FOLHAS.....	38



3.6.6.5. ÁREA FOLIAR .....	38
3.6.6.6. CRESCIMENTO DA NERVURA CENTRAL DA FOLHA .....	39
3.7. DELINEAMENTO EXPERIMENTAL .....	39
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES .....	41
4.1. CONDIÇÕES CLIMÁTICAS E UMIDADE DO SOLO .....	41
4.2. PARÂMETROS FISIOLÓGICOS.....	45
4.2.1. POTENCIAL HÍDRICO FOLIAR ANTEMANHÃ ( $\Psi_{AM}$ ) E AO MEIO DIA ( $\Psi_{MD}$ ).....	45
4.2.2. CONDUTÂNCIA ESTOMÁTICA - $G_s$ .....	49
4.2.3. TRANSPIRAÇÃO - $E$ .....	51
4.2.4. FOTOSSÍNTESE- $A$ .....	53
4.3. MEDIDAS DE CRESCIMENTO .....	55
4.4. COMPRIMENTO DA NERVURA CENTRAL DA FOLHA.....	61
4.5. CALIBRAÇÃO DO SENSOR DE FLUXO DE SEIVA .....	63
4.6. COEFICIENTE DE ESTRESSE HÍDRICO .....	65
4.7. UMIDADE DO SOLO E O COEFICIENTE DE ESTRESSE HÍDRICO ...	68
4.8. POTENCIAL HÍDRICO FOLIAR ANTEMANHÃ ( $\Psi_{AM}$ ) E AO MEIO DIA ( $\Psi_{MD}$ ), E O COEFICIENTE DE ESTRESSE HÍDRICO.....	69
4.9. CONDUTÂNCIA ESTOMÁTICA E O COEFICIENTE DE ESTRESSE HÍDRICO .....	71
4.10. TRANSPIRAÇÃO E O COEFICIENTE DE ESTRESSE HÍDRICO.....	72
4.10.1 COEFICIENTE DE ESTRESSE HÍDRICO BASEADO NA TRANSPIRAÇÃO ( $CEH_t$ ) E O COEFICIENTE DE ESTRESSE HÍDRICO ( $CEH$ ).....	73
4.11. FOTOSSÍNTESE E O COEFICIENTE DE ESTRESSE HÍDRICO .....	75
5. RESUMO E CONCLUSÕES .....	77
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	78

## RESUMO

VENTURIN, Afonso Zucolotto; M.Sc.; Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. Março de 2016. Coeficiente de estresse hídrico para o cafeeiro conilon baseado na determinação do fluxo de seiva. Prof<sup>o</sup>. Orientador: Elias Fernandes de Sousa.

Diante do cenário atual de disponibilidade e competição pelos recursos hídricos na agricultura, a gestão do uso da água pela irrigação racional, econômica e ecologicamente sustentável é fundamental. O manejo da irrigação geralmente é feito relacionando à condição de umidade do solo e às variações atmosféricas, contudo, as próprias plantas são as melhores indicadoras do seu status hídrico, pois integram automaticamente os fatores que afetam o seu estado de hidratação. Aprimorando as medições do consumo de água pelas plantas, estão sendo desenvolvidos novos métodos que permitem estimar a transpiração, através do fluxo de seiva. Portanto, objetivou-se neste trabalho, desenvolver um sensor de fluxo de seiva e elaborar um coeficiente de estresse hídrico para o cafeeiro *Coffea canephora* cv. Conilon, clone 12 V, pertencente à variedade clonal “Vitória Incaper 8142”. O experimento foi conduzido em casa de vegetação, na Universidade Estadual do Norte Fluminense (UENF), Campos dos Goytacazes – RJ, em vasos plásticos de 20 L, preenchidos com substrato comercial e húmus de minhoca. Foram monitoradas 16 plantas de cafeeiro, ao acaso, sendo que em 8 plantas, o solo foi mantido na capacidade

de campo caracterizando o tratamento irrigado (T1). No tratamento não irrigado (T2), houve interrupção total do fornecimento de água para as mesmas, até alcançar um potencial hídrico foliar entre -2,0 e -3,0 MPa, considerado um estresse hídrico severo. As plantas foram submetidas a três ciclos de irrigação alternados com o corte da irrigação. Para os três ciclos avaliados, com a diminuição significativa da porcentagem de umidade do solo, ocorreu a diminuição do potencial hídrico foliar e conseqüente, queda nos valores de condutância estomática, transpiração e de fotossíntese para as plantas do T2, sendo significativamente menor comparadas às plantas do T1. A altura relativa, o número de folhas e a área foliar relativa das plantas do T1 foram significativamente maiores, somente para o segundo ciclo de avaliação. Porém, para o diâmetro do caule e o número relativo de ramos, não houve diferenças significativas entre tratamentos, para os três ciclos desenvolvidos. Para o comprimento da nervura central, foi verificada diferença significativa somente no terceiro ciclo, onde as plantas do T2 estabilizaram seu crescimento como consequência do estresse hídrico aplicado, retomando-o após o retorno da irrigação. Com relação à calibração dos sensores, foi observado uma correlação linear positiva entre o sinal real do sensor e a evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>). Como resultado, para as plantas analisadas, obteve-se uma relação, estatisticamente significativa, entre o sinal do sensor e a ET<sub>o</sub> em uma situação de irrigação plena (T1). Isto possibilitou a elaboração de um coeficiente de estresse hídrico (CEH), em que o valor 0 (zero) indica ausência de estresse e 1 (um) indica o máximo estresse (sem transpiração). Para o tratamento T2, o coeficiente variou dentro da faixa estimada, sendo possível identificar o status hídrico das plantas, com diferença estatisticamente significativa em relação ao tratamento T1. O CEH proposto apresentou boa correlação com as variáveis: umidade do solo, potencial hídrico foliar antemanhã, condutância estomática, transpiração e fotossíntese, com valores de coeficiente de determinação (R<sup>2</sup>) iguais a 0,70; 0,75; 0,72; 0,72 e 0,78, respectivamente. Portanto, o sensor de fluxo de seiva proposto, pode ser usado na detecção de fluxo de seiva em plantas jovens de cafeeiro conilon, clone 12 V, bem como, na elaboração do CEH e, estimar o status hídrico das plantas.

## ABSTRACT

VENTURIN, Afonso Zucolotto; M.Sc.; Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. March 2016. Water stress coefficient for conilon coffee tree based on the determination of sap flow. Prof<sup>o</sup>. Advisor: Elias Fernandes de Sousa.

Facing the current scenario of availability and competition for water resources in agriculture, management of water use for rational irrigation, economically and ecologically sustainable is fundamental. Irrigation management is usually done by relating soil moisture conditions and atmospheric variations, however, the plants themselves are the best indicator of its water status by automatically integrating the factors that affect their hydration state. Improving the measurements of water consumption by plants, new methods that allow to estimate transpiration through the sap flow are being developed. Therefore, the aim of this work was to develop a sap flow sensor and also elaborate a water stress coefficient for the coffee tree *Coffea canephora* cv. Conilon, clone 12 V, belonging to the clonal variety "Vitória Incaper 8142". The experiment was conducted in a greenhouse at the Universidade Estadual do Norte Fluminense (UENF), Campos dos Goytacazes - RJ, in plastic pots of 20 L, filled with commercial substrate and earthworm humus. Sixteen coffee plants were randomly monitored, and in eight plants, the

soil was kept at field capacity characterizing the irrigated treatment (T1). In the non-irrigated treatment (T2), there was total interruption of water supply until it reaches a leaf water potential between -2.0 and -3.0 MPa, which is considered a severe water stress. The plants were subjected to three cycles of irrigation, alternated with no irrigation. For the three evaluated cycles, with a significant decrease in the percentage of soil moisture, there was a decrease in leaf water potential and the consequent decrease in stomatal conductance values, transpiration and photosynthesis for T2 plants, being significantly lower compared to T1 plants. The relative height, leaf number and the relative leaf area on the T1 plants were significantly higher only in the second evaluation cycle. However, for the stem diameter and the relative number of branches, there were no significant differences between treatments for the three cycles developed. For the length of midrib, a significant difference was found only in the third cycle, where T2 plants stabilized its growth as a result of water stress applied, returning it after start to irrigate again. Regarding the calibration of the sensors, a positive linear correlation between the actual sensor signal and the reference evapotranspiration (ET<sub>o</sub>) was observed. As a result, for the plants analyzed, a statistically significant correlation between the sensor signal and ET<sub>o</sub> in a situation of full irrigation (T1) was obtained. This allowed the development of a water stress coefficient (CEH), where the value 0 (zero) indicates the absence of stress and 1 (one) indicates the maximum stress (with no transpiration). For the treatment T2, the coefficient varied within the estimated range, making it possible to identify the water status of the plants with a statistically significant difference compared to treatment T1. The proposed CEH presented a good correlation with the variables: soil moisture, predawn leaf water potential, stomatal conductance, transpiration and photosynthesis, with determination coefficient values (R<sup>2</sup>) equal to 0.70; 0.75; 0.72; 0.72 and 0.78, respectively. Therefore, the sap flow sensor proposed, can be used in the sap flow detection in young conilon coffee plants, clone 12 V, as well as in the development of CEH and, estimate the water status of the plants.

## 1. INTRODUÇÃO

A espécie *Coffea canephora* Pierre ex Froehner possui ampla distribuição geográfica, com ocorrência em diversos continentes, expandindo-se por uma faixa tropical que engloba as regiões quentes e úmidas e áreas baixas da floresta tropical do planeta. Aproximadamente 30% da produção nacional de café vêm do cultivo dessa espécie que se caracteriza pelo maior vigor das plantas, pela alta produtividade de café beneficiado e pela produção de bebida neutra, utilizada para produção de café solúvel (Ramalho et al., 2011).

De toda a área destinada ao parque cafeeiro brasileiro, aproximadamente 2,35 milhões de hectares, mais de 10% estão sob o sistema de produção irrigado, correspondendo a 240 mil hectares, concentrados principalmente no Norte do Espírito Santo, Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba, em Minas Gerais e Oeste da Bahia, sendo responsável por quase 25% da produção nacional cafeeira (Fernandes et al., 2012). Com o uso da irrigação, cafés com excelente qualidade são produzidos em regiões de elevado déficit hídrico (Mantovani e Soares, 2003).

Porém, a produção de café poderia ser mais expressiva, caso condições desfavoráveis ao cultivo não ocorressem, particularmente o suprimento de água. Assim, torna-se necessário estudar quando e quanto aplicar de água durante o cultivo do cafeeiro, proporcionando condições para que as plantas não sofram estresse ou excesso hídrico. No entanto, um dos

problemas na irrigação do cafeeiro é quantificar adequadamente o volume de água a ser aplicado, nos períodos críticos da cultura (Rodrigues et al., 2015a).

Mesmo com os avanços nas tecnologias de abastecimento de água, o manejo da irrigação continua inadequado na maioria das regiões produtoras. A falta de informações básicas sobre as necessidades hídricas das culturas é uma das principais causas para o uso ineficiente deste recurso (Marin et al., 2016).

O consumo de água pelas culturas irrigadas, é frequentemente quantificado pela evapotranspiração de referência e pelo coeficiente da cultura ( $E_{To}$  e  $K_c$ ). Essa abordagem torna possível considerar as contribuições independentes da evaporação da água no solo e a transpiração da cultura, dividindo o  $K_c$  em dois coeficientes separados:  $K_e$ , coeficiente de evaporação da água do solo; e  $K_{cb}$ , coeficiente de transpiração da cultura (Pereira et al., 2015). Neste procedimento, a  $E_{To}$  é calculada para uma cultura de referência e então multiplicada por um coeficiente de cultura empírica ( $K_c$ ) para produzir uma estimativa da evapotranspiração da cultura ( $E_{Tc}$ ) (Pereira et al., 2015).

Segundo Rosa et al. (2012) e Taylor et al. (2015), essa abordagem tem sido universalmente adotada, ao longo dos anos, como procedimento padrão na programação e quantificação da água a ser aplicada durante a irrigação, evidenciando a necessidade de aprimoramento do método utilizado.

Quantificar o consumo de água de forma mais precisa significa ter que melhorar as metodologias existentes, buscando novas técnicas que permitam avaliações mais rápidas, simples e precisas, razão pela qual têm sido desenvolvidos e testados numerosos métodos capazes de determinar diretamente a quantidade de água consumida pelas plantas (Almeida, 2012). Nesse contexto, o estudo da transpiração é importante, pois reflete a influência de condicionantes atmosféricas, das disponibilidades hídricas do solo/subsolo junto ao sistema radicular, da estrutura física da cobertura vegetal e de características morfológicas e mecanismos de resposta fisiológica que controlam a perda de água pelas folhas (Calder, 1990).

Os métodos termoelétricos possibilitam estimar a transpiração das plantas usando-as como um todo, e não apenas frações de folhas, comuns na porometria e na análise de gases por absorção de radiação infravermelha

(Angelocci et al., 2004), apresentando resultados satisfatórios na determinação da transpiração das culturas (Angelocci et al., 2004; Almeida, 2012).

Os métodos termoeletricos que utilizam o balanço de calor no tronco ou em uma haste da planta, local onde os sensores são instalados, são baseados em princípios físicos. Uma quantidade de energia é inserida em uma determinada região, sendo esta formada por uma parte sólida e outra fluida, uma parte dessa energia aquece a região sólida, fazendo-a aumentar sua temperatura, outra parte dessa energia é transmitida para a região fluida, levando-a ao movimento, pois modifica suas características físicas. A energia restante que foi inserida no sistema é perdida durante esses processos, ou seja, é dissipada. De acordo com a escolha das parcelas de energia envolvidas, a formulação matemática é diferenciada (Almeida, 2012).

Os métodos termoeletricos permitem determinar o fluxo de seiva das plantas, sendo estudados desde o pioneiro trabalho de Huber nas primeiras décadas do século XX (Cermak et al., 2004), permitindo avaliar a resposta direta das plantas à irrigação. Por esta razão, vários métodos para a determinação do fluxo de seiva foram desenvolvidos e aperfeiçoados durante os últimos 30 anos (Almeida, 2012).

A determinação do fluxo de seiva é considerada uma ferramenta potencial para o manejo da irrigação, pois é um parâmetro indicativo do status hídrico da planta, refletindo as interações entre a quantidade de água disponível no solo e a demanda hídrica da atmosfera (Gomide e Durães, 2004; Ortuño et al., 2006). A técnica tem como características positivas a relativa facilidade nos procedimentos de medição, envolvem poucos trabalhos em laboratórios e as medições são realizadas no campo, em tempo real.

Caracterizar o estresse hídrico tem se tornado um fator importante na programação da irrigação. Atualmente é possível calcular a evapotranspiração por métodos já consolidados (Pereira et al., 2015), e com a determinação do fluxo de seiva, por métodos termoeletricos (Almeida, 2012), estimar a transpiração e elaborar índices de estresse hídrico para a cultura (Sakuratani, 1981).

Devido à falta de conhecimento específico, aliada à expansão das áreas agricultáveis, e a preocupação da preservação da água potável, busca-se um manejo racional da irrigação visando à preservação dos recursos



hídricos na agricultura. Portanto, as medidas diretas de parâmetros da própria planta, com o propósito de caracterizar as suas necessidades hídricas, quando associadas com medidas agroclimáticas em nível de superfície, podem ser uma excelente alternativa para um melhor conhecimento da deficiência hídrica das culturas, auxiliando na tomada de decisão no manejo da irrigação.

Portanto, o objetivo geral deste trabalho foi desenvolver um coeficiente de estresse hídrico baseado na determinação do fluxo de seiva, em plantas de cafeeiro *Coffea canephora* cv. Conilon, clone 12 V, da variedade clonal “Vitória Incaper 8142”, em estágio inicial de desenvolvimento. E os objetivos específicos foram realizar confiavelmente o monitoramento em plantas jovens de cafeeiro conilon pelo sensor proposto; estimar o status hídrico do cafeeiro com base nas medições de fluxo de seiva e do coeficiente de estresse hídrico; verificar se existe relação entre o coeficiente de estresse hídrico proposto e as variáveis avaliadas; Identificar se o estresse hídrico afeta o crescimento do cafeeiro; e, verificar se existe relação entre o comprimento da nervura central e o déficit hídrico.

## 2. REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1. ORIGEM, DISTRIBUIÇÃO GEOGRÁFICA E IMPORTÂNCIA ECONÔMICA NACIONAL DO *COFFEA CANEPHORA*

O cafeeiro (*Coffea* sp.) é originário da África, sendo o *Coffea arabica* (cafeeiro arábica) oriundo da Etiópia e o *Coffea canephora* 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 cafeeiro arábica é cultivado em muitas partes do mundo: nas Américas Central e do Sul, na África do Sul e no Leste da Ásia. E 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 e Sandalj, 2002).

Existem dois materiais genéticos distintos na espécie *Coffea canephora*, classificados como Congolense e Guineano. O grupo Congolense é oriundo da África Central (República Centro-Africana, Congo e Camarões) e inclui o cafeeiro conhecido como “Robusta”. Já o grupo Guineano, tem origem no oeste da África (Guiné e Costa do Marfim), sendo pertencente a esse grupo o cafeeiro do tipo “Kouillou”, conhecido como conilon no Brasil (variedade conilon), devido à substituição das letras “K” e “U” por “C” e “N”, após sua

chegada ao país pelo estado do Espírito Santo (Berthaud, 1985; Fazuoli, 1986; Ferrão et al., 2007; Silva et al., 2011).

Atualmente o *Coffea canephora* possui ampla distribuição geográfica, sendo adaptado a regiões quentes e úmidas e áreas baixas da floresta tropical. No Brasil, é cultivado em regiões com altitude, normalmente abaixo de 500 metros e temperaturas, com média anual, entre 22 e 26°C (Matiello, 1991; Ferrão et al., 2007).

A produção de café conilon no Brasil possui três mercados diferenciados: a exportação em grãos; a industrialização como café solúvel, em sua maioria exportada; e a industrialização como torrado e moído, em ligas ou “blends” com café arábica, para o consumo interno no país (Matiello, 1998). Recentemente teve início o descascamento do café conilon, com o objetivo de buscar abertura em mercados diferenciados para o conilon, bem como sua melhor utilização nos “blends” das indústrias do café solúvel e do torrado e moído (SEAG, 2015).

Segundo dados da CONAB (2015), o Espírito Santo é o maior produtor brasileiro de café conilon, tendo produzido 9,95 milhões de sacas de café beneficiado em 2014, com previsão de produção de 7,44 milhões de sacas de café beneficiado para o ano de 2015, produção essa, oriunda de um parque cafeeiro de 273,701 hectares. A baixa precipitação e as altas temperaturas impactaram negativamente as lavouras na maior parte do estado, desfavorecendo a ocorrência das floradas e granação dos frutos, para a safra 2015, ocasionando redução de 25,2% na produção em relação à safra anterior.

O Rio de Janeiro chegou a ser o maior produtor de café do Brasil no século XX, produzindo cerca de 3,5 milhões de sacas nos anos 50. Na década de 60, a área cultivada foi drasticamente reduzida, devido a um programa de diversificação, associado a problemas fitossanitários (Barbosa et al., 2006), culminando na pouca expressão no cenário atual da cafeicultura nacional.

Até o ano de 2011, o estado do Rio de Janeiro participou ativamente da produção de café conilon, sendo o sétimo maior produtor nacional. Alcançou uma produção de 13 mil sacas de café conilon beneficiadas, tendo produtividade de 20,22 sacas por hectare em área de produção de 643 hectares. Contudo, sua produção deixou de ser expressiva no ano seguinte até os dias atuais. Alguns fatores são determinantes para que o Rio de Janeiro não

consiga recuperar e expandir a cafeicultura como o baixo nível tecnológico dos produtores e a falta de incentivo e assistência técnica, culminando com baixas produtividades (Souza, 2009).

## 2.2. CLASSIFICAÇÃO TAXONÔMICA DO *COFFEA CANEPHORA*

Carvalho (1946), apresentou a divisão do gênero *Coffea* proposta por Chevaleir, que dividiu o gênero em cinco seções: *Eucoffea*, *Mozambicoffea*, *Mascarocoffea*, *Paracoffea* e *Argocoffea*. Chevalier dividiu as seções em subseções, e a seção *Eucoffea* compreende cinco subseções, entre as quais a *Erithorocoffea*, na qual se enquadram as espécies *Coffea canephora* e *Coffea arabica*, possuindo expressão comercial (Ferrão, et al., 2007).

Portanto, a espécie *Coffea canephora* apresenta a seguinte classificação taxonômica, proposta por A. Chevalier (1942) citada por Ferrão et al. (2007):

Classificação: *Coffea canephora* Pierre ex Froehner;

Classe: Dicotiledônea;

Ordem: Rubiales;

Família: Rubiaceae;

Gênero: *Coffea*;

Seção: *Eucoffea*;

Subseção: *Eritrocoffea*; e,

Espécie: *Coffea canephora* Pierre ex Froehner.

## 2.3. CRESCIMENTO VEGETATIVO DO CAFEEIRO CONILON

### 2.3.1. PARTE AÉREA

A taxa de crescimento da parte aérea do cafeeiro (crescimento dos ramos plagiotrópicos e ortotrópicos, formação de nós, expansão foliar, etc.) varia sazonalmente, em virtude das condições climáticas, particularmente dos regimes de chuva e de temperatura, apesar de o fotoperíodo também ter influência significativa (Ferrão et al., 2007). Portanto, em regiões não

equatoriais, o crescimento da parte aérea, geralmente é lento no outono/inverno, durante o período frio e seco e de dias curtos, e rápido na primavera/verão, coincidindo com o início do período chuvoso e com o aumento das temperaturas e do comprimento do dia (Cannell, 1976).

Segundo Ferrão et al. (2007), para o cafeeiro conilon, períodos secos e de temperaturas mais amenas, propiciam taxas de crescimento mais baixas, enquanto que o período chuvoso e de temperaturas mais elevadas, porém não extremas, aumentam a taxa de crescimento. Contudo, as taxas de crescimento não são valores fixos, podendo variar, em razão do nível tecnológico e dos tratos culturais empregados em cada lavoura e das variações temporais das condições ambientais, sobretudo climáticas.

### 2.3.2. SISTEMA RADICULAR

O sistema radicular do cafeeiro conilon encontra-se na projeção da copa, nas proximidades do tronco (Rena, 1998; Rena e DaMatta, 2002). A maior robustez do cafeeiro pode estar associada à maior extensão e eficiência do seu sistema radicular, tanto na absorção de água como de nutrientes. A distribuição, a arquitetura e a profundidade das raízes podem ser afetadas por diversos fatores edáficos, como textura, estrutura, densidade aparente e fertilidade, do solo, e profundidade das raízes, como também por outros fatores, como regime hídrico, tipo de irrigação, densidade de plantio e localização de adubos (Rena e DaMatta, 2002).

A irrigação afeta o padrão de crescimento radicular, reduzindo a profundidade de penetração da raiz pseudopivotante e estimulando o desenvolvimento de raízes primárias e secundárias nas camadas superficiais do solo. Todavia, o aumento da densidade de plantio favorece o aprofundamento do sistema radicular, melhorando o aproveitamento de água disponível (Rena, 1998; Ferrão et al., 2007).

Como citado anteriormente, nos períodos secos e frios (inverno) ou secos e quentes (veranicos), o crescimento da parte aérea do cafeeiro conilon é desprezível. Entretanto, durante esse período, o crescimento das raízes, principalmente daquelas de menor diâmetro e maior profundidade, não cessa, pois, a temperatura do solo dificilmente atingirá níveis extremos, se

comparados à amplitude térmica a que a parte aérea é exposta (Rena, 1998; Bragança, 2005; Ferrão et al., 2007).

#### 2.4. DESCRIÇÃO BOTÂNICA E SISTEMA REPRODUTIVO DO CAFEIEIRO CONILON

O cafeeiro conilon é uma espécie alógama, perene de porte arbustivo e caule lenhoso, geralmente são multicaules. Em condições de temperatura e precipitações elevadas, podem atingir até 5 metros de altura. As folhas são elípticas, lanceoladas, com bordas bem onduladas e nervuras bem salientes (Fazuoli, 1986).

As flores são brancas, em grande número por inflorescência e por axila foliar. A floração depende diretamente do crescimento dos ramos plagiotrópicos, em especial dos primários. Possuem flores hermafroditas com estames aderentes ao tubo polínico. A florada, em condições naturais é provocada pelas primeiras chuvas da estação, após um período de seca, e nessa espécie alógama, na qual ocorre a autoincompatibilidade, a fecundação cruzada ocorre após a abertura das flores, sendo a polinização realizada por insetos e pelo vento (Fazuoli, 1986; Ferrão et al., 2007).

Os frutos apresentam formato e número variável conforme o material genético, com 30 a 60 por verticilo foliar, de superfície lisa, com exocarpo fino, mesocarpo aquoso e endocarpo delgado (Fazuoli, 1986).

#### 2.5. FLORAÇÃO DO CAFEIEIRO CONILON

O cafeeiro conilon apresenta uma floração gregária, ou seja, todas as plantas individuais de uma determinada extensão geográfica florescem simultaneamente, sendo perceptível a detecção de níveis de intensidade e temporalidades variáveis (Rena e Barros, 2004).

As inflorescências são formadas a partir de gemas seriadas, sendo uma inflorescência por cada gema, localizadas aleatoriamente nas axilas das folhas de ramos plagiotrópicos formados na estação do ano corrente (Barros et al., 1978).

A floração no cafeeiro conilon, compreende uma sequência de eventos fisiológicos e morfológicos, iniciando-se pela fase de indução floral até a antese, prosseguindo pelas fases intermediárias, ou seja, diferenciação, e finalizando com a fase do desenvolvimento da flor, sendo um evento gradual e imperceptível (Coste, 1992; Rena e Maestri, 1985; Ferrão et al., 2007).

O primórdio floral, diferencia-se somente quando o ápice cônico e proeminente do meristema se torna largo e achatado. Após a duas primeiras fases, a gema seriada, que pode dar origem a um ramo ou uma inflorescência, passa de vegetativa para reprodutiva, levando, irreversivelmente à formação da inflorescência. Os botões florais, após um período de dormência, tornam-se maduros e reagem aos estímulos externos, através de um rápido crescimento, cerca de dez dias até a abertura das flores (Barros, et al., 1978; Rena e Maestri, 1985; Rena et al., 2001; Rena; Barros, 2004).

No entanto, as informações sobre os fatores que regulam as diferentes fases da floração como luz, temperatura, disponibilidade hídrica, chuvas, relação carbono/nitrogênio, níveis de carboidratos, carga de frutos e hormônios, e os eventos de natureza bioquímica, fisiológica e morfológica, que ocorrem na gema durante a diferenciação, dormência e nos momentos que antecedem a florada, são praticamente desconhecidos para o cafeeiro conilon (Barros, et al., 1978; Rena et al., 2001; Rena e Barros, 2004; Ferrão et al., 2007). Segundo Ferrão et al. (2007), um período seco pode contribuir para a maturação mais concentrada e antecipada dos botões florais no cafeeiro conilon.

## 2.6. FOTOSÍNTESE DO CAFEEIRO CONILON

As taxas de fotossíntese líquidas do conilon são relativamente baixas, registrando-se valores máximos entorno de  $11 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  em folhas isoladas. O cafeeiro conilon, bem como o arábica, possuem baixa eficiência fotossintética em relação a maioria das plantas lenhosas (Cannell, 1985; DaMatta et al., 1997; DaMatta et al., 2000; Lima et al., 2002; DaMatta, 2003; Pinheiro, et al., 2004; 2005; Ronchi et al., 2005; Praxedes et al., 2006). Mas, a fotossíntese potencial determinada sob luz e  $\text{CO}_2$  saturantes e à temperatura

ótima, alcança valores de ordem de 30 a 35  $\mu\text{mol O}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  (DaMatta et al., 1997; Campostrini e Maestri, 1998; DaMatta et al., 2001).

No cafeeiro conilon, como na maioria das plantas  $\text{C}_3$ , a fotossíntese é saturada a cerca de 1/3 da irradiância máxima incidente sobre a copa (600 – 700  $\mu\text{mol fotóns m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ) em folhas expostas. A irradiância incidente absorvida pela folha deve ser dissipada, evitando a ocorrência de danos foto-oxidativos, devido à perda de controle do metabolismo das espécies reativas de oxigênio pela planta (DaMatta et al., 1997; DaMatta e Ramalho, 2006).

## 2.7. MOVIMENTO ESTOMÁTICO E TRANSPIRAÇÃO DO CAFEEIRO CONILON

O estômato do cafeeiro conilon pode responder às variações na demanda evaporativa, independente do status hídrico foliar, devido à maior sensibilidade estomática que apresenta. Possui, predominantemente, estômatos do tipo actinocítio, e comparativamente com o cafeeiro arábica, que possui estômatos do tipo paracítico, uma maior densidade estomática é observada (Carvalho et al., 2001; Pinheiro et al., 2005).

Observa-se uma maior condutância estomática em plantas (folhas) a sombra que a pleno sol. Valores de condutância maiores ocorrem nas primeiras horas da manhã e declinam após 09:00 e 10:00 horas, podendo alcançar valores negligenciáveis à tarde (Ferrão et al., 2007). Segundo DaMatta (2004b), o déficit de pressão de vapor e a temperatura são as variáveis mais importantes no controle do comportamento estomático, desde que a irradiância esteja acima de um valor crítico.

Segundo Pinheiro et al. (2005), a condutância estomática decresce curvilinearmente com a redução da disponibilidade hídrica, sugerindo, alta sensibilidade estomática ao desenvolvimento de déficits hídricos no cafeeiro conilon. Portanto, o fechamento estomático tem sido considerado, frequentemente, como indicador primário do déficit hídrico (DaMatta, 2004a; 2004b).

A resposta direta dos estômatos, devido à sensibilidade às variações evaporativas, confere características importantes ao cafeeiro conilon, em suportar longos períodos de déficit hídrico no solo, pois com o rápido



fechamento estomático, conseqüentemente, tem-se a redução substancial da transpiração (Ferrão et al., 2007).

## 2.8. RELAÇÕES HÍDRICAS DO CAFEIEIRO CONILON

O cafeeiro conilon apresenta um elevado teor relativo de água, mesmo em potenciais hídricos considerados negativos, portanto, sendo uma forma de evitar a dessecação (DaMatta et al., 1993; 2002; Pinheiro et al., 2005). O alto teor relativo de água no ponto de perda da turgescência, próximo aos 90%, está associado à alta rigidez da parede celular, nesse ponto, o potencial hídrico situa-se na faixa de -1,7 a -2,2 MPa, apresentando um aumento líquido na concentração de solutos do suco celular, conseqüentemente exibindo um grau de ajustamento osmótico (DaMatta e Ramalho, 2006; Ferrão et al., 2007).

O ajuste osmótico em cafeeiro conilon, não está associado em aumento da produtividade, assim como em outras espécies, em condições de seca. Porém, a desidratação ocorre mais rapidamente em clones que apresentam maior amplitude de ajuste osmótico, em condições de estresse hídrico (DaMatta, 2004b). Ressalta-se que, a tolerância à seca do cafeeiro conilon, não se correlaciona satisfatoriamente com o acúmulo de solutos osmoticamente ativos, associados com o ajuste osmótico (Ferrão et al., 2007).

Embora originalmente seja uma espécie adaptada à sombra, no Brasil, o cafeeiro é cultivado a pleno sol, com produções economicamente satisfatórias e, geralmente, maiores que o plantio sob sombra, desde que a disponibilidade hídrica do solo não seja um fator limitante à sua produtividade (DaMatta e Rena, 2000).

O estudo das relações hídricas no cafeeiro é de particular interesse, uma vez que pequenas reduções na disponibilidade de água podem diminuir substancialmente o crescimento, ainda que não se observem murchas nas folhas ou quaisquer outros sinais visíveis de déficit hídrico (DaMatta e Rena, 2000). Segundo Souza (2009), o consumo de água está relacionado com a evapotranspiração da região, da água disponível no solo e da capacidade da planta em controlar a transpiração. Efeitos da baixa disponibilidade hídrica são variáveis e dependentes do estágio fenológico da planta, duração e intensidade do déficit hídrico.

O quanto se deve irrigar está baseado no cálculo da evapotranspiração potencial da cultura, enquanto que a frequência de irrigação está diretamente ligada à quantidade de água retida no volume de solo ocupado pela zona radicular e à facilidade com que a planta absorve esta água (Souza, 2009).

Vários autores citam a importância da irrigação nos cafezais, no seu desenvolvimento vegetativo (Fernandes et al., 1998; Karasawa, 2001; Martins et al., 2002), com objetivo de eliminar o déficit hídrico durante todo o ciclo da cultura, ou em algumas fases específicas, como ocorre em locais com deficiência hídrica moderada. Sem a irrigação, pode haver perdas significativas na produção e na qualidade do produto final.

## 2.9. IRRIGAÇÃO NA CAFEICULTURA

Nas regiões de origem do cafeeiro conilon, as condições ambientais sugerem precipitações superiores a 2000 mm e bem distribuídas, com estação seca entre dois a três meses (Coste, 1992; Ngolo, 2014). Atualmente, segundo Pohlen e Janssens (2012), as chuvas devem ser distribuídas ao longo das estações do ano ou contínuas durante cerca de 7 a 8 meses. A duração e intensidade das chuvas é um fator ecológico essencial (Ngolo, 2014).

Arruda et al. (2000), chegaram à conclusão de que o consumo de água pelo cafeeiro é interrompido quando se esgotam aproximadamente 113 mm de água na camada de solo entre as profundidades 0 a 100 cm. Essa conclusão pode, de certa maneira, confirmar os critérios estabelecidos por Camargo (1985), nos quais o máximo de deficiência hídrica que o cafeeiro tolera é de até 150 mm por ano. Segundo Matiello (1991) e Santinato et al. (1996), zonas aptas ao cultivo do cafeeiro conilon possuem deficiência hídrica anual entre 150 a 200 mm, podendo exigir irrigação ocasional. Porém, regiões com déficit hídrico entre 200 a 400 mm anual, podem ser consideradas aptas, desde que se utilize irrigação suplementar (Santinato et al., 1996).

A exigência do cafeeiro em umidade do solo é bastante variável de acordo com as fases do ciclo da planta. Para as condições do Brasil, no período de vegetação e frutificação que vai de outubro a maio, o cafeeiro precisa de umidade facilmente disponível no solo. Na fase de colheita e repouso, de junho a setembro, a necessidade de umidade é pequena (Matiello,

1991). Segundo Saraiva e Silveira (1995), os melhores períodos para irrigar o cafeeiro conilon, compreendem entre o abotoamento e a floração, e da floração ao pegamento dos frutos.

A irrigação é normalmente utilizada para viabilizar a exploração agrícola em regiões de clima semiárido, em regiões com secas regulares, ou ainda em regiões com veranicos, onde se provê estabilidade de produção, minimizando os efeitos adversos provocados pela deficiência hídrica (Ferrão et al., 2007).

O plantio de café no Brasil está geralmente situado em regiões em que as condições climáticas e o balanço hídrico são favoráveis. Regiões com estiagem prolongada foram marginalizadas para a prática da cafeicultura, porém com o progresso técnico-científico e a utilização de práticas agrícolas como a irrigação, essas regiões já estão sendo incorporadas para o plantio de café, tanto para o arábica quanto para o conilon (Martins et al., 2007).

A condição meteorológica é o fator condicionante da demanda atmosférica por vapor, a estimativa correta da necessidade hídrica das culturas e, a partir desta, a determinação da quantidade de água a ser repostada ao solo para a manutenção de condições ideais para o crescimento e desenvolvimento das plantas tornam-se fundamentais tanto ao planejamento (dimensionamento do projeto), quanto ao manejo da irrigação (quanto e quando irrigar) (Ferrão et al., 2007).

Segundo Souza (2009), o quanto se deve irrigar está baseado no cálculo da evapotranspiração potencial da cultura, enquanto que a frequência de irrigação está diretamente ligada à quantidade de água retida no volume de solo ocupado pela zona radicular e à facilidade com que a planta absorve esta água. Os métodos mais populares utilizados na programação da irrigação são baseados na evapotranspiração da cultura, através das condições atmosféricas e/ou monitoramento da água no solo (Fereres et al., 1999; Mantovani et al., 2007).

Como cada cobertura vegetal possui exigências particulares, a evapotranspiração varia de acordo com esta. Devido a isso, foi preciso estabelecer uma cobertura vegetal de referência para, a partir dela, ajustar a evapotranspiração das demais. Então, surgiram os conceitos da

evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>) e da evapotranspiração da cultura (ET<sub>c</sub>) (Souza, 2009).

A ET<sub>o</sub> pode ser definida como sendo a evapotranspiração de uma cultura hipotética, de porte baixo (0,12 m), com refletividade (albedo) de 0,23 e uma resistência de superfície de 70 s.m<sup>-1</sup> (Allen et al., 1998).

Para determinar as necessidades hídricas da cultura, o método mais usual é baseado na estimativa da evapotranspiração da cultura (ET<sub>c</sub>) (Mudrik, 2005). Considerando uma disponibilidade inicial de água no solo, a determinação da ET<sub>c</sub> permite, a qualquer momento, definir a quantidade de água utilizada, possibilitando a identificação do momento da irrigação e da lâmina de água necessária (Mantovani, 1996).

O cálculo da ET<sub>c</sub> é realizado em duas etapas. Primeiro, calcula-se a ET<sub>o</sub>, que representa a demanda de uma região qualquer, utilizando-se a equação de Penman-Monteith (Allen et al., 1998). Depois, multiplica-se a ET<sub>o</sub> pelo coeficiente K<sub>c</sub> (Mantovani et al., 2007). A ET<sub>c</sub> é o principal parâmetro na determinação da lâmina necessária de irrigação para o cafeeiro, visto que pode-se manter a eficiência de irrigação mesmo reduzindo este parâmetro, nos casos onde não se molha toda a superfície do solo (irrigação localizada), quando o intervalo for grande entre irrigações e quando existir queda de folhas na ocorrência de pragas e doenças (Mudrik, 2005).

O coeficiente da cultura (K<sub>c</sub>) varia de acordo com a fase fenológica, com o manejo, com o estande das plantas e, também, com as condições climáticas e épocas de plantio, já que os parâmetros locais (temperatura, umidade relativa, vento, radiação solar) e as variações fisiológicas e aerodinâmicas da cultura influenciam diretamente a evapotranspiração (Doorenbos e Pruitt, 1977).

Para culturas perenes, no caso do cafeeiro, a curva de k<sub>c</sub> apresenta valores baixos nos períodos de formação e estabelecimento da cultura. No momento que atinge um dossel máximo, a curva do K<sub>c</sub> tende a se estabilizar com valores máximos próximos à unidade, surgindo oscilações ao longo do tempo provenientes de processos fisiológicos e de manejo da cultura (Doorenbos e Kassam, 1979). Os valores de K<sub>c</sub> para cafeeiros cultivados em várias regiões do mundo apresentam uma faixa típica de 0,7 a 0,8, levando-se

em conta que, em geral, essas estimativas têm sido obtidas por métodos hidrológicos, ou avaliando a variação da umidade do solo (Bonomo, 1999).

A irrigação no cafeeiro tem sido realizada preferencialmente com uso de sistemas pressurizados por aspersão ou localizados. Dentre esses sistemas, destacam-se a aspersão convencional, pivô central, malha, microaspersão e gotejamento. A escolha do método mais adequado está relacionada com aspectos como área, topografia do terreno, quantidade e qualidade da água, tipo de solo, clima da região, capacidade de investimentos, nível tecnológico dos produtores, espaçamento da cultura, mão de obra disponível e assistência técnica (Bonomo, 1999; Soares, 2001; Ferrão et al., 2007).

Contudo, não há um melhor método de irrigação para o cafeeiro conilon, mas sim uma série de fatores que definem qual o sistema mais adequado para uma determinada situação (Mantovani e Soares, 2003).

## 2.10. INDICADORES DA CULTURA COMO MÉTODOS DE ESTIMATIVA DO ESTRESSE HÍDRICO

Vários indicadores da planta para medição do seu status hídrico têm sido estudados, dentre os quais pode citar a variação da temperatura da folha, monitorada por sensores de radiação infravermelha (Jackson, 1982); potencial da água na folha com várias técnicas de medidas, como câmara de pressão, método higrométrico (equilíbrio de pressão de vapor) (Angelocci, 2002; Améglio et al., 1997; Katerji et al., 1988); a detecção da cavitação dos vasos do xilema através de detector de ultrassom (Hsiao, 1990); a variação da condutância estomática medida por porometria (Angelocci, 2002); entre outros.

O indicador mais usado para avaliar o status hídrico da planta tem sido o potencial da água foliar (Améglio et al., 1999 e Hsiao, 1990). O potencial de água foliar na antemanhã e ao meio dia tem sido os mais difundidos como indicadores da planta para estimativa do estresse hídrico em pomares (Naor, 2003). Outro indicador utilizado é o potencial da água do caule (Choné et al., 2001).

Apesar de todos os indicadores citados serem originários da própria planta, a aplicação prática destes apresenta dificuldades, como por exemplo,

na determinação dos dados, por não permitirem a automação das medidas, além da grande dificuldade em se obter relações entre os indicadores citados e o grau de déficit hídrico da planta (Jackson, 1982; Katerji et al., 1988; Hsiao, 1990; Ferreira e Zitscher 1996; Shackel et al., 1997).

Devido à dificuldade de medição dos indicadores citados, o uso de outros indicadores da planta tem crescido. A medição do fluxo de seiva vem sendo usada como indicador do status hídrico da planta, sendo considerada uma ferramenta promissora no manejo da irrigação, permitindo registros contínuos e automáticos do status hídrico da planta, e uma resposta imediata, consistente e confiável em relação ao déficit hídrico, reduzindo substancialmente as medições em laboratórios (Moreno et al., 1996; Eastman e Gray, 1998; Goldhamer et al., 1999; Cohen et al., 2001; Fernández et al., 2001; Goldhamer e Fereres, 2001; Ortuño et al., 2004; Nicolás et al., 2005; Ortuño et al., 2006; Souza, 2009).

## 2.11. DETERMINAÇÃO DO FLUXO DE SEIVA

O fluxo da seiva, que passa por um determinado segmento do caule, pode ser estimado através de vários métodos que utilizam como base, a dissipação térmica através dos princípios físicos de transferência de calor. Proporcionando, de forma direta, mensurar a transpiração da planta.

Alguns trabalhos relatam essas técnicas (Swanson, 1994; Smith e Allen, 1996; Cermak et al., 2004), que podem ser separadas em três grupos, sendo o primeiro método o de pulso de calor, que rastreia o movimento de um curto pulso de calor no fluxo de seiva; o segundo método de balanço de calor, que mensura o movimento da seiva, pelo transporte de calor, para fora de uma fonte de calor controlada, e o terceiro método de dissipação térmica, que relata a dissipação do calor pelo fluxo de seiva por meio de uma relação empírica (Silva, 2008).

### 2.11.1. MÉTODO DE PULSO DE CALOR

A técnica de medição da velocidade do pulso de calor foi desenvolvida por Huber em 1936, como método de medida da velocidade de deslocamento da seiva em caules de plantas (Alves, 1999). É uma técnica conveniente para medir o consumo de água em plantas altas, sem alterar o microambiente da copa (Boehringer, 2010).

O princípio básico desse método é promover um aquecimento da seiva em um determinado ponto e acompanhar o comportamento desse calor ao longo do percurso da seiva por meio de sensores de temperatura (Silva, 2008; Santolin, 2013). Quando um pulso de calor é produzido por um dispositivo aquecedor inserido dentro do xilema da planta, o movimento desse é determinado por condução de calor através do lenho e por convecção do pulso de calor pelo movimento da seiva (Marshall, 1958).

Dessa forma, o fluxo de seiva é mensurado pela determinação da velocidade de um pequeno pulso de calor. Sondas de aquecimento e sensores de temperatura são inseridos no caule, sendo que o arranjo desses sensores de temperatura pode ser diferente (Silva, 2008; Santolin, 2013).

Existem basicamente três tipos de arranjos: aquele que possui apenas um sensor acima da sonda de aquecimento, aquele que possui dois sensores equidistantes ( $x = y$ ), sendo um acima e outro abaixo, da sonda de aquecimento, e aquele em que as duas sondas são inseridas a distâncias dessemelhantes à sonda de aquecimento ( $x \neq y$ ); conforme esquematiza a Figura 1.

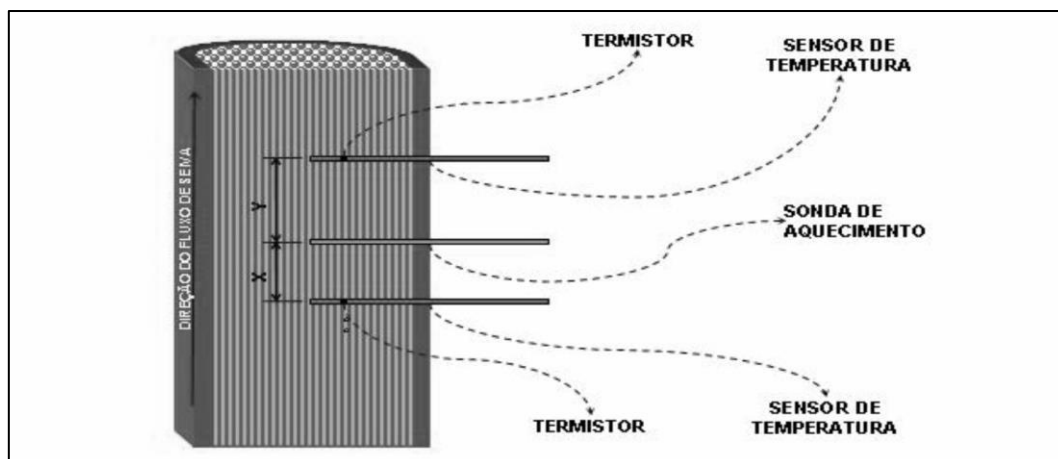


Figura 1. Esquema do método de pulso de calor, em corte longitudinal, mostrando a inserção das sondas no caule ( $x$  = distância entre sensor de temperatura inferior e sonda de aquecimento e  $y$  = distância entre sensor de temperatura superior e sonda de aquecimento).

Segundo Swanson (1994), o primeiro relato do uso do calor para mensurar a velocidade do fluxo de seiva foi feito por Huber, em 1932. Marshall (1958) demonstra analiticamente que a velocidade do pulso de calor não é idêntica, mas apresenta uma relação com o fluxo de seiva. E analisando a difusão do calor por meio do movimento da seiva, Marshall propôs a seguinte Equação 1:

$$F = au = \frac{\rho c}{\rho_s c_s} V = \rho_b (m_c + 0,33) V \quad (1)$$

Em que:

$F$  = Densidade do fluxo de seiva ( $\text{cm}^3 \text{h}^{-1} \text{cm}^{-2}$ );

$a$  = área do xilema ( $\text{cm}^{-2}$ );

$u$  = velocidade da seiva ( $\text{cm h}^{-1}$ );

$\rho$  = densidade da madeira ( $\text{g mL}^{-1}$ );

$c$  = calor específico da madeira ( $\text{J kg}^{-1} \text{K}^{-1}$ );

$\rho_s$  = densidade da seiva ( $\text{g mL}^{-1}$ );

$c_s$  = calor específico da seiva ( $\text{J kg}^{-1} \text{K}^{-1}$ );

$\rho_b$  = densidade básica da madeira ( $\text{g mL}^{-1}$ );

$m_c$  = umidade da madeira (decimal); e,

$V$  = velocidade do pulso de calor ( $\text{cm h}^{-1}$ ).



Cohen et al. (1981) propuseram um arranjo diferenciado das sondas, ou seja, ao invés de usar um sensor acima do aquecedor como proposto por Marshall (1958), os autores usaram dois termopares para medir a temperatura, sendo que esses foram inseridos no tronco a 15 mm acima e 15 mm abaixo da fonte de aquecimento.

Estudos sobre a teoria e prática do método da velocidade do pulso de calor foram feitos por Swanson e Whitfield (1981), que derivaram equações da velocidade de pulso de calor, apresentando correções e aprimorando o cálculo da transpiração. Estudos similares, considerando o modelo numérico dos autores acima, foram realizados por Green et al. (2003a) e Fernández et al. (2001), demonstrando que a técnica do pulso de calor, para mensurar o fluxo de seiva, é uma ferramenta duplamente benéfica, pois pode ser usada para a pesquisa do uso da água e do funcionamento hídrico das árvores, bem como auxiliar na tomada de decisão a respeito da necessidade e tempo de irrigação.

De acordo com Smith e Allen (1996), o monitoramento da temperatura pode ser realizado tanto por termopares como por termistores. Dessa forma, o tempo de resposta dos sensores de temperatura pode ter impacto na exatidão das medições do fluxo de seiva. Normalmente, o caule é perfurado em três pontos para inserção da sonda de calor e dos sensores utilizados no monitoramento da temperatura. Esse procedimento, extremamente invasivo, faz com que as medições do fluxo de seiva sejam modificadas em médio prazo pelo processo de cicatrização da planta, requerendo compensações aritméticas difíceis de serem implementadas.

A principal limitação do método de pulso de calor é a mensuração de baixos fluxos de seiva, a qual foi estudada por Burgess et al. (2001), que apresentaram um método melhorado, chamado de método da razão de calor, capaz de mensurar baixos fluxos de seiva e, ainda, sensíveis à direção do fluxo. Em raízes, por exemplo, o fluxo de seiva pode ser acrópeto ou basípeto (Burgess et al., 2001).

Ginestar et al. (1998a; 1998b) estudaram os diferentes níveis de irrigação, baseado na transpiração medida pelo método do pulso de calor, para a videira e concluíram que os sensores de fluxo de seiva podem ser usados como base para calcular a quantidade de lâmina d'água a ser aplicada. Conclusões similares obtiveram Giorio e Giorio (2003) estudando oliveiras.

O método de pulso de calor tem sido usado para avaliar e descrever várias culturas sob diversos ambientes, por exemplo: mensurar a transpiração em sistemas agroflorestais de *Pinus radiata* (Miller et al., 1998), *P. halepensis* (Schiller e Cohen, 1995) e *P. ponderosa* (Kurpius et al., 2003); de eucalipto, *Eucalyptus sieberi* (Robert et al., 2001), *E. populnea*, *E. gomphocephala* e *E. sticklandii* (Cohen et al., 1997); transpiração em macieiras, *Mallus domestica* (Green et al., 1997 e Green et al., 2003b), e em plantas de chá verde, *Camellia sinensis* L. (Anandacoomaraswamy et al., 2000).

### 2.11.2. MÉTODO DE BALANÇO DE CALOR

O método de balanço de calor no caule consiste no balanço de energia de um segmento do caule ou tronco, o qual é aquecido por um aquecedor elétrico de forma constante. O calor transmitido pelo aquecedor é subtraído pelas perdas, por condução axial e radial. O saldo desse balanço é o calor transportado por convecção pela seiva no xilema. O fluxo volumétrico de seiva está associado ao calor transportado convectivamente (Cermak et al., 1973; Sakuratani, 1981).

A primeira versão do método de balanço de calor foi proposta por Cermak et al. (1973), e procurava manter constante a temperatura interna de um sensor, através de um sistema eletrônico relativamente complexo que variava a potência aplicada (calor transmitido) ao segmento do caule de acordo com a taxa de transpiração. Visando tornar o método mais simples para construção e com menor custo Sakuratani (1981), desenvolveu uma nova versão do sensor. A principal alteração proposta foi da aplicação de uma potência constante, que retira o sistema eletrônico, tornando apenas necessário um sistema de corrente constante para alimentação dos sensores de fluxo.

Baker e Van Bavel (1987), aplicando algumas modificações às equações do método, diminuíram o número de canais analógicos necessários às medidas de fluxo de seiva. A desvantagem dessa modificação está na limitação da avaliação do desempenho dos sensores através da verificação da variação das temperaturas envolvidas no cálculo de fluxo. Contudo, atualmente

esta é a forma mais usada pelos pesquisadores. A Equação 2, expressa o balanço de energia em um segmento de caule:

$$P_{in} = Q_r + Q_v + Q_s + Q_{flow} \quad (2)$$

Em que:

$P_{in}$  = Potência aplicada no aquecedor (W);

$Q_r$  = Perda de calor por condução na direção radial (W);

$Q_v$  = Perda de calor por condução vertical (W);

$Q_s$  = Energia armazenada pelo caule (W); e,

$Q_{flow}$  = Energia perdida por convecção no fluxo da seiva (W).

Desse modo, o fluxo de seiva é calculado de acordo com a Equação 3:

$$F = \frac{(P_{in} - Q_r - Q_v - Q_s)}{c(T_a - T_b)} \quad (3)$$

Onde:

$F$  = Fluxo de seiva ( $g\ s^{-1}$ );

$c$  = Calor específico da água ( $J\ g^{-1}\ k^{-1}$ );

$T_a$  = Temperatura da seiva acima do aquecedor (K); e,

$T_b$  = Temperatura da seiva abaixo do aquecedor (K).

Sendo que a equação 3 pode ser simplificada (Equação 4):

$$F = \frac{Q_{flow}}{c \cdot \Delta T_{sap}} \quad (4)$$

Sendo:

$\Delta T_{sap}$  = diferença da temperatura da seiva nos limites superior e inferior do segmento do caule adotado na medida (K).

Os métodos de balanço de energia utilizam sondas que envolvem o caule das plantas, mas para o bom funcionamento desse método as sondas devem ter um perfeito ajustamento em torno do caule. Isso limita a sua utilização em árvores com caules irregulares. A Figura 2 esquematiza o princípio básico do método de balanço de calor.

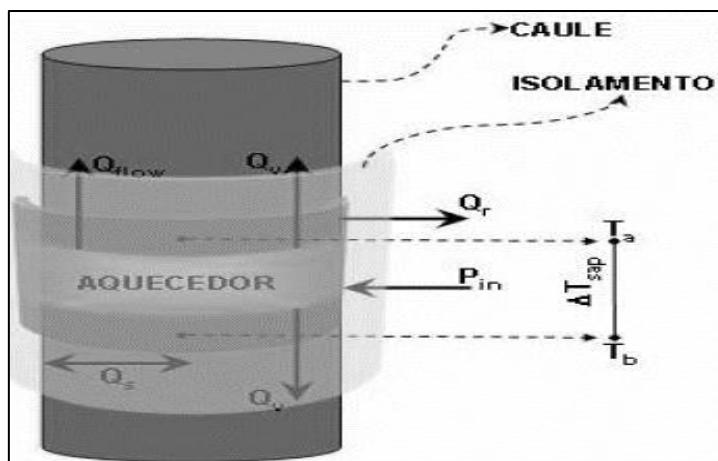


Figura 2. Esquema do método de balanço de calor, ressaltando o comportamento dos fluxos de calor no caule.

Weibel e Vos (1994), encontraram erros maiores que 20% devido à alta irregularidade do caule da macieira. Baseado nos autores anteriores, e com o intuito de sanar essa deficiência, Weibel e Boersman (1995), propuseram um equipamento melhorado e apropriado para plantas com caules irregulares e com o córtex sensível ao calor.

Segundo Cermak et al. (1995), os erros na estimativa da transpiração pelo método do balanço de calor são menores quando há água disponível para planta, e maiores sob condições de estresse hídrico. Gutiérrez et al. (1994b), demonstram a importância do isolamento e proteção das sondas para obter dados mais precisos.

O método de balanço de energia envolve o conhecimento e a mensuração de certas variáveis (Equações 2, 3 e 4), sendo que a mensuração de algumas, por ser complexa, é determinada empiricamente.

O método de balanço de calor tem sido usado para avaliar e descrever a transpiração de várias culturas sob diversos ambientes, por exemplo: regulação da transpiração e uso da água em café, *Coffea arabica* L. (Gutiérrez et al., 1994a; Gutiérrez e Meinzer, 1994); avaliação da transpiração do algodão, *Gossypium hirsutum* L., em ambiente enriquecido com CO<sub>2</sub> (Dugas et al., 1994); estimativa da evapotranspiração da cultura do milheto, *Pennisetum sp.* (Soegaard e Boegh, 1995); medição da evapotranspiração da cultura do milho, *Zea mays* L., sob condições irrigadas e não irrigadas (Jara et al., 1998);

avaliação do efeito da disponibilidade de água na transpiração de uma espécie arbórea, *Picea abies* L. Karst. (Cienciala et al., 1994); mensuração da transpiração de arbustos de savanas, *Guiera senegalensis* (Allen e Grime, 1995); transpiração observada durante duas sucessivas estações secas e uma chuvosa de espécies florestais, *Miconia argentea*, *Paulicourea guianensis*, *Cecropia obtusifolia*, *C. insignis*, *Coccoloba manzanillensis* (Meinzer et al., 1995); avaliação da transpiração em uma espécie de acácia havaiana, *Acacia koa* (Meinzer et al., 1996); quantificação da transpiração em noz-pecã, *Carya illinoensis* 'Wichita' (Steinberg et al., 1990).

### 2.11.3. MÉTODO DE DISSIPACÃO TÉRMICA

O método de dissipação de calor foi desenvolvido por Granier (1985;1987) para utilização em árvores de grande porte. O autor desenvolveu um método para mensuração do fluxo de seiva que utiliza duas sondas cilíndricas que são inseridas radialmente no caule das plantas. A superior contém um elemento aquecedor e uma junção de termopar, e a inferior possui apenas uma junção de termopar, espaçada de 10 cm entre si (Figura 3).

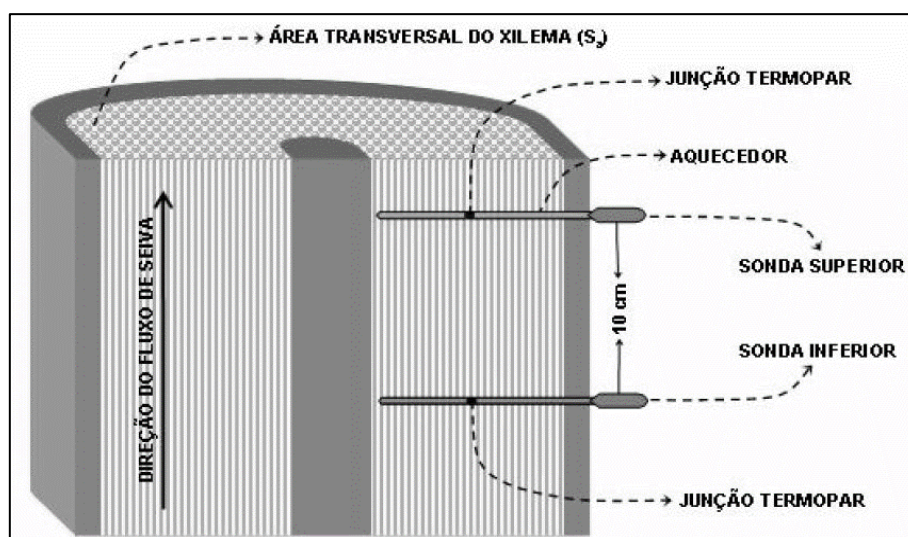


Figura 3. Esquema do método de dissipação térmica, desenvolvido por Granier, apresentando um corte longitudinal, mostrando a inserção das sondas, e transversal da planta, mostrando a área da seção transversal abrangida pelo xilema.

O método consiste em fornecimento de calor, por meio de uma fonte regulável de energia elétrica e de potência constante no interior do caule, pelo uso de uma sonda, e relaciona o transporte convectivo deste calor com o fluxo de seiva (Granier, 1985; 1987). De acordo com Rojas (2003), no período de um dia, a máxima diferença de temperatura entre os dois pontos de medida, significa que o fluxo de seiva é mínimo ou nulo, enquanto que a mínima diferença, significa uma taxa máxima de fluxo de seiva através da área de transporte.

Uma corrente constante é aplicada no aquecedor e a diferença de temperatura entre as duas sondas ( $\Delta T$ ) é dependente da quantidade do fluxo de seiva, que ascende pelos vasos xilemáticos. Com o aumento de fluxo, o calor é dissipado mais rapidamente e, portanto,  $\Delta T$  decresce. Quando não há fluxo de seiva, a diferença de temperatura entre as sondas atinge valor máximo ( $\Delta T_{\text{máx}}$ ). Por meio dessa relação estima-se a transpiração da planta (Equação 5).

$$u = a \cdot K^b \quad (5)$$

Onde:

$u$  = Densidade de fluxo de seiva ( $\text{m}^3 \text{s}^{-1} \text{m}^{-2}$ );

$a$  = Constante relativa à calibração do método ( $\text{m}^3 \text{s}^{-1} \text{m}^{-2}$ ); e,

$b$  = Constante relativa à calibração do método (adimensional).

$K$  = Coeficiente onde:  $K = \frac{\Delta T_{\text{máx}}}{\Delta T} - 1$

Onde:

$\Delta T_{\text{máx}}$  = Diferença de temperatura sem fluxo (K);

$\Delta T$  = Diferença de temperatura com fluxo (K).

O total de fluxo de seiva, equivalente à transpiração, é determinado pela Equação 6:

$$F = u \cdot S_a \quad (6)$$

Onde:

$F$  = Total de fluxo de seiva ( $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$ );

$S_a$  = Área da secção transversal do caule abrangido pelo xilema ( $\text{m}^2$ ).

Esse é um método relativamente simples e de fácil utilização. Além da calibração feita por Granier (1985), outros trabalhos foram desenvolvidos,

calibrando este método para outras espécies como o coco anão verde (Araujo, 2003) e mamão (Reis, 2003; Reis et al., 2006). A calibração empírica do método de Granier (1985; 1987), foi reavaliada por Clearwater et al. (1999), analisando a não uniformidade da velocidade da seiva em estimativas da dissipação de calor. Os autores apontam que o fluxo de seiva pode ser subestimado se as sondas inseridas no caule estiverem em contato com porções do xilema inativo ou com o córtex, mas poderá realizar a correção se a porção inativa for conhecida. O fluxo de seiva também poderá ser subestimado se o gradiente na velocidade da seiva for diferente ao longo do comprimento da sonda, sendo esse erro minimizado pelo uso de sondas mais curtas e a inserção de múltiplas sondas.

Essa técnica também é passiva a erros de medição, sendo uma das razões atribuídas a existência do gradiente natural térmico no caule, quando o sensor é instalado muito próximo do solo (Cabibel e Do, 1991; Lundblad et al., 2001). Rojas (2003), observou uma subestimativa acima de 50% no fluxo de seiva, em cafeeiro da cultivar Mundo Novo Aputã de 6 anos de idade, e segundo eles, a principal causa foi a influência do gradiente natural térmico.

Outra fonte de erro é representada pelas variações espaciais da densidade de fluxo de seiva no tronco, que exige a adequada instalação da sonda (Lu et al., 2000). A posição de inserção da sonda em relação aos pontos cardeais também é importante, pois o próprio Granier (1987), observou diferença entre os valores de fluxo de seiva avaliados com três sensores orientados sob angulação de 120° entre si, ao redor do caule a 1 m do solo. Instalando quatro sensores, um em cada ponto cardinal e a duas alturas, a 1,5 m e 8,5 m do solo em *Pinus pinaster* de 25 anos, Loustau et al. (1998), observaram que em dia ensolarado, os sensores mais baixos apresentaram respostas diferenciadas, ao passo que os mais altos não.

Outra fonte de erro é o valor da área efetiva do xilema exigida na equação de calibração, determinada por técnica destrutiva da planta amostrada, ou por retirada invasiva de amostra do caule (Granier, 1985; Granier, 1987; Cabibel e Do, 1991). Segundo Clearwater et al. (1999), a profundidade a qual a sonda é instalada, também é passiva de erro, ou seja, quando a metade da sonda com comprimento 0,02 metros localiza-se fora do xilema condutor, subestima-se em cerca de 50%, o fluxo de seiva.

Do e Rocheteau (2002a), estudaram a influência do gradiente da temperatura do meio nas medições feitas de fluxo de seiva pelo método de Granier (1985), concluindo que, quando se utiliza sondas de dissipação térmica com aquecimento contínuo, é importante considerar os efeitos do gradiente de temperatura no caule devido às condições ambientais. Os erros, nas medições associados ao gradiente de temperatura, foram aumentados quando existiam maiores diferenças entre as temperaturas do dia e da noite, baixas taxas de fluxo de seiva e em plantios espaçados ou com alta radiação solar. Os autores apresentam como alternativa a utilização de um sistema de dissipação térmica descontínua, considerando-a uma solução atrativa, pois conserva a simplicidade do método de Granier e aparentemente elimina a sensibilidade do sensor ao gradiente de temperatura ambiente.

Os mesmos autores deram sequência ao experimento anterior, com a finalidade de testar a alternativa recomendada por Do e Rocheteau (2002b), sendo estudadas várias combinações de ciclos de aquecimento das sondas, recomendando-se o ciclo de 15 minutos de aquecimento e mais 15 minutos sem aquecimento, permitindo duas mensurações de fluxo de seiva por hora.

O método de dissipação térmica tem sido usado para avaliar e descrever o fluxo de seiva de várias culturas sob diversos ambientes, por exemplo: avaliação do cajueiro, *Anacardium occidentale* L., sob ciclos de secagem do solo (Blaikie e Chacko, 1998); mensuração da transpiração em pinheiros, *Pinus pinaster* Ait. (Granier e Loustau, 1994); medição da transpiração em tamareira, *Date palms* (Ringersma et al., 1996); avaliação da transpiração em mangueira, *Mangifera indica* (Lu e Chacko, 1998); transpiração de espécies florestais, *Quercus prinus* L., *Q. alba* L., *Q. rubra* L., *Nyssa sylvatica* Marsh., *Acer rubrum* L., *Liriodendron tulipifera* L. (Wullschlegler et al., 2001); e transpiração em coqueiro anão verde, *Cocos nucifera* L. (Posse, 2005).



### 3. MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1. CONDIÇÕES EXPERIMENTAIS E MATERIAL VEGETAL

O experimento foi conduzido em casa de vegetação, na Universidade Estadual do Norte Fluminense (UENF), Campos dos Goytacazes - RJ, (21°44'47" S e 41°18'24" W e 10 m de altitude). Segundo a classificação climática de Köppen (1948), a região Norte Fluminense insere-se na classe Aw, isto é, tropical úmido, com verão chuvoso, inverno seco e temperatura do mês mais frio superior a 18°C.

Foram utilizadas plantas do cafeeiro *Coffea canephora* cv. Conilon, genótipo denominado 12 V, pertencente à cultivar "Vitória Incaper 8142", em desenvolvimento inicial. As plantas foram acondicionadas em vasos plásticos de 20 litros, preenchidos com substrato comercial e húmus de minhoca, na proporção 80% e 20%, respectivamente, do volume do vaso.

#### 3.2. APLICAÇÃO DOS TRATAMENTOS

A aplicação dos tratamentos foi realizada após transferência das plantas para os vasos, sendo respeitado um período de tempo de 6 meses após o transplante das mudas, para que houvesse um melhor condicionamento e desenvolvimento das mesmas.

Foram monitoradas 16 plantas de cafeeiro, ao acaso, sendo que em 8 plantas, o solo foi mantido na capacidade de campo caracterizando o tratamento irrigado (T1). No tratamento não irrigado (T2), houve interrupção total do fornecimento de água para as mesmas, até alcançar um potencial hídrico foliar ( $\Psi_w$ ) entre -2,0 e -3,0 MPa, considerado um estresse hídrico severo para o cafeeiro (DaMatta e Rena, 2000). As plantas foram submetidas a três ciclos alternados com o corte da irrigação.

No momento em que as plantas atingiam o  $\Psi_w$  estabelecido, o tratamento era suspenso, retornando com a irrigação, por um período de no mínimo 7 dias. Após a finalização de cada ciclo, os tratamentos eram invertidos, ou seja, as plantas que compreendiam o tratamento irrigado (T1), no primeiro ciclo, passavam para o tratamento não irrigado (T2) para o ciclo seguinte, e, as plantas do T2 passavam para o T1. A inversão dos tratamentos foi repetida duas vezes caracterizando o período de avaliação de cada ciclo.

O primeiro ciclo ocorreu no período entre 09 a 23 de junho de 2015, o segundo ciclo entre 14 a 31 de julho de 2015 e o terceiro ciclo ocorreu durante o período entre 18 de agosto a 01 de setembro de 2015.

As avaliações foram realizadas no decorrer de cada ciclo, compreendendo o intervalo de 1, 7, 10 e 14 dias após o início dos tratamentos, para o primeiro e terceiro ciclos, e 1; 7; 10; 14 e 17 dias após o início dos tratamentos, para o segundo ciclo. Para o segundo e terceiro ciclos, houve o retorno da irrigação no 14<sup>o</sup> e 10<sup>o</sup> dia, respectivamente.

A limpeza dos vasos e os demais tratos culturais, foram realizados no decorrer do experimento, sempre que necessário.

### 3.3. CONSTRUÇÃO DO SENSOR DE FLUXO DE SEIVA

A construção do sensor foi realizada no Laboratório de Engenharia Agrícola (LEAG), localizado no Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias (CCTA) da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro (UENF).

O sensor consiste em um fio termopar e um fio aquecedor, arranjados paralelamente um ao outro, e envoltos por um fio de cobre esmaltado, fixados na parte inferior de uma placa de acrílico (comprimento 70 mm, largura 12 mm,

altura 4 mm) feita com o acrílico em pó autopolimerizante. A junção dos fios com a placa de acrílico foi feita de modo que, o fio termopar ficasse 4,5 cm da placa de acrílico até sua extremidade, bem como o aquecedor, com 7 cm da placa acrílica até sua extremidade.

Após a junção, os fios foram guiados à parte superior da placa de acrílico, e soldados em trilhos de cobre que também foram fixados com o acrílico (Figura 4).

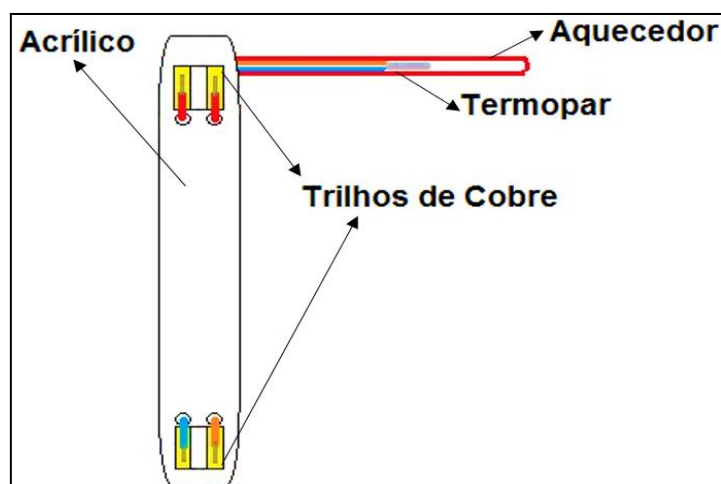


Figura 4. Ilustração do sensor de fluxo de seiva e suas partes constituintes, caracterizando a placa acrílica, os trilhos de cobre, o fio aquecedor e o conjunto termopar.

Por fim, com a junção dos fios do sensor com os fios do cabo manga, é feito o isolamento do circuito com o acrílico autopolimerizante, e após a secagem do material, a parte acrílica do sensor é revestida por material isolante térmico, evitando a influência do meio externo na leitura ou no funcionamento do sensor (Figura 5).



Figura 5. Sensor de fluxo de seiva finalizado, caracterizando o material isolante protegendo a placa acrílica de agentes externos, e os fios aquecedor e o conjunto termopar, envoltos pelo fio de cobre esmaltado.

O aquecimento do sensor foi promovido pelo pulso de corrente elétrica, passando pelo fio de constantã, e a temperatura mensurada pelo conjunto termopar. O ponto de referência do termopar foi localizado a uma distância de 10 a 12 cm do termopar, sendo o próprio trilho de cobre fixado na placa acrílica.

#### 3.4. INSTALAÇÃO DO SENSOR NO CAFEIEIRO

Foram instalados um sensor por planta, em um ramo plagiotrópico no terço inferior do cafeeiro, entre o 5º e 6º pares de folhas. Os sensores foram fixados com auxílio do fio aquecedor e do conjunto termopar, permitindo duas voltas ao redor do ramo escolhido. Posteriormente para a proteção do sensor, foi usado feltro de lã de vidro revestido em uma das faces com papel kraft aluminizado (comprimento de 2,5 cm e largura de 2,5 cm) de forma a minimizar a influência da temperatura ambiente na leitura do sensor (Figura 6).

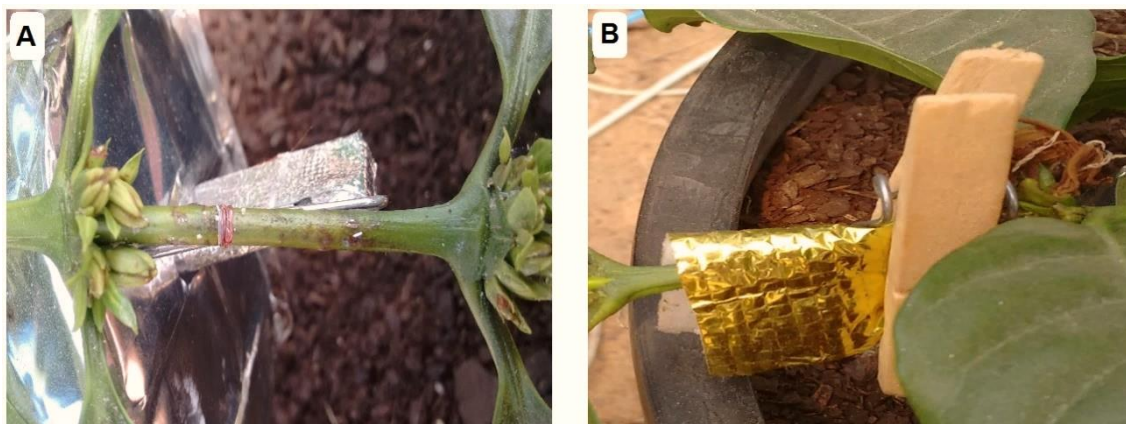


Figura 6. Sensor de fluxo de seiva instalado no ramo plagiotrópico do cafeeiro conilon, clone 12 V, antes da condução dos ciclos de avaliação. A) Instalação do sensor no ramo plagiotrópico através de duas voltas em torno do mesmo, fixação do conjunto termopar. B) Proteção do sensor com kraft aluminizado, após a instalação do sensor.

Os sensores foram conectados a um datalogger modelo CR1000 da Campbell Scientific, para a aquisição dos dados referentes às leituras dos sensores de fluxo de seiva.

### 3.5. EMBASAMENTO TEÓRICO PARA A DETERMINAÇÃO DO FLUXO DE SEIVA

O sinal do sensor foi obtido através da variação da temperatura a partir de ciclos intermitentes de pulsos de calor, em intervalos regulares de 3 minutos (Figura 7).

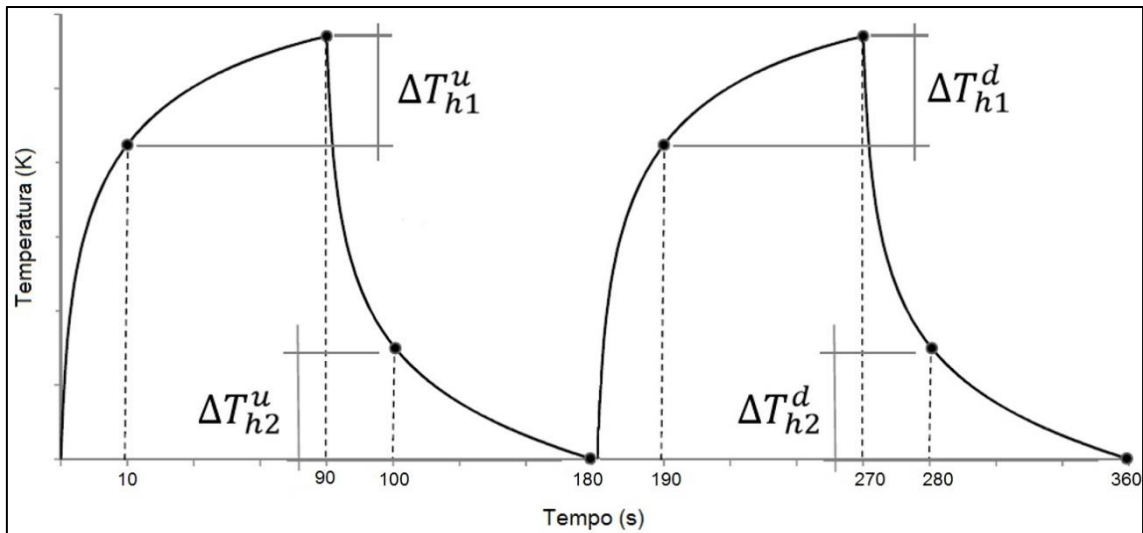


Figura 7. Simulação da temperatura nas fases de aquecimento e arrefecimento em um intervalo de 360 segundos, para a aquisição dos dados de fluxo de seiva, a partir da variação da temperatura, na determinação do sinal do sensor (1).

O pulso de calor e o arrefecimento após o pulso, possuem, ao todo, 180 segundos de duração, caracterizando um ciclo de aquecimento e resfriamento. Para determinação da variação da temperatura, utiliza-se os valores no período de tempo de 10, 90, 100 e 180 segundos, após o início do fornecimento de calor. Os valores foram obtidos através da Equação 7.

$$\Delta T_h = \frac{\Delta T_h^u + \Delta T_h^d}{2} \quad (7)$$

Sendo que,

$$\Delta T_h^u = \frac{\Delta T_{h1}^u + \Delta T_{h2}^u}{2}; \text{ e,}$$

$$\Delta T_h^d = \frac{\Delta T_{h1}^d + \Delta T_{h2}^d}{2}$$

Com a variação da temperatura, define-se  $\Lambda$  igual à (Equação 8):

$$\Lambda = 1 - \frac{\Delta T_h}{\Delta T_h^0} \quad (8)$$

Onde:

$\Delta T_h^0$  = Variação da temperatura quando não há déficit hídrico na planta.

O fluxo de seiva pode ser estimado através da Equação 9.

$$J = k \cdot \Lambda \quad (9)$$

Onde:

$J$  = Densidade do fluxo de seiva ( $\text{m}^3\text{s}^{-1}\text{m}^{-2}$ );

$\Lambda$  = Sinal do sensor (adimensional).

E “ $k$ ” está em função das propriedades térmicas da madeira ( $x$ ,  $pc$ ) e da seiva ( $pc_w$ ), e da geometria do sensor ( $d$ ). Sendo:

$x$  = Difusividade térmica ( $\text{m s}^{-2}$ );

$pc$  = Capacidade térmica volumétrica da madeira ( $\text{J m}^{-3} \text{K}^{-1}$ );

$pc_w$  = Capacidade térmica volumétrica da seiva ( $\text{J m}^{-3} \text{K}^{-1}$ ); e,

$d$  = Geometria do sensor (adimensional).

A quantidade de água perdida pelas folhas das plantas, ou seja, a transpiração atual ( $T_1$ ) pode ser estimada com a Equação 10.

$$T_1 = J \frac{S_a}{LA} \quad (10)$$

Onde:

$T_1$  = Transpiração atual ( $\text{m}^3\text{s}^{-1}\text{m}^{-2}$ );

$S_a$  = Secção transversal do ramo onde é instalado o sensor ( $\text{m}^2$ ); e,

$LA$  = Área foliar do ramo onde é instalado o sensor ( $\text{m}^2$ ).

Relacionando a média horária do sinal do sensor ( $\Lambda$ ) com a evapotranspiração de referência horária ( $ET_0$ ), em condição que não apresente qualquer estresse hídrico à planta, ou seja, déficit hídrico igual a zero ( $Def = 0$ ), tem-se:

$$\Lambda_{Def=0} = A \cdot ET_0$$

Sendo “ $A$ ” o coeficiente de inclinação ajustado por regressão linear entre o sinal do sensor ( $\Lambda$ ) e a evapotranspiração de referência horária ( $ET_0$ ).

Portanto, pode-se estimar a transpiração potencial foliar ( $\hat{T}_1$ ) sem estresse hídrico através da Equação 11.

$$\hat{T}_1|_{Def=0} = kA(ET_0) \frac{S_a}{LA}|_{Def=0} \quad (11)$$

Para o cálculo do coeficiente de estresse hídrico ( $CEH$ ), relaciona-se a transpiração atual com a transpiração potencial foliar, aplicando as equações anteriores, ter-se-á:

$$CEH = 1 - \frac{\sum T_1}{\sum T_1|_{Def=0}} \cong 1 - \frac{\sum T_1}{\sum \hat{T}_1|_{Def=0}} = 1 - \frac{\sum k\Lambda \frac{S_a}{LA}}{\sum kA(ET_0) \frac{S_a}{LA}|_{Def=0}}$$

Logo,

$$CEH \cong 1 - \frac{k \frac{S_a}{LA} \Sigma \Lambda}{k \frac{S_a}{LA} \Big|_{Def=0} A \Sigma(ET_o)} = 1 - \frac{\Sigma \Lambda}{A \Sigma(ET_o)} \cdot \frac{\frac{S_a}{LA}}{\frac{S_a}{LA} \Big|_{Def=0}}$$

Presumindo que,

$$\frac{\frac{S_a}{LA}}{\frac{S_a}{LA} \Big|_{Def=0}} \cong 1$$

Consequentemente, o coeficiente de estresse hídrico é estimado pela Equação 12.

$$CEH = 1 - \frac{\Sigma \Lambda}{A \Sigma(ET_o)} \quad (12)$$

Não havendo restrição hídrica, é possível relacionar o sinal do sensor com a evapotranspiração de referência. Portanto, o coeficiente de estresse hídrico pode ser estimado apenas com o sinal do sensor e sua relação com a evapotranspiração de referência da planta, se considerar que a secção transversal do ramo e a área foliar se mantêm constante durante o período de avaliação.

### 3.6. VARIÁVEIS AVALIADAS

#### 3.6.1. POTENCIAL HÍDRICO FOLIAR ANTEMANHÃ ( $\Psi_{AM}$ ) E MEIO DIA ( $\Psi_{MD}$ )

O  $\Psi_{AM}$  e  $\Psi_{MD}$  foram obtidos utilizando uma câmara de pressão do tipo Scholander (Soil Moisture - Plant Water Status Console, modelo 3115). As medições foram realizadas antes do nascer do sol, entre às 4:30 e 5:30 horas, e a tarde entre 12:00 e 13:00 horas, para o  $\Psi_{AM}$  e  $\Psi_{MD}$ , respectivamente. Foram avaliadas três folhas totalmente expandidas, maduras e localizadas no terço médio do cafeeiro. As medições foram realizadas no mesmo local da coleta (Scholander et al., 1965).



### 3.6.2. ESTIMATIVA DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA (ET<sub>o</sub>)

A evapotranspiração de referência horária (ET<sub>o</sub>) foi calculada conforme boletim 56 da FAO (Allen et al., 1998), usando a temperatura, umidade do ar, radiação solar e velocidade do vento. Os dados meteorológicos foram obtidos conjuntamente com o Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e por uma estação meteorológica localizada à aproximadamente 7 km de distância da casa de vegetação. Devido à ausência de vento no interior da mesma, adotou-se o valor de 0,2 m s<sup>-1</sup> como velocidade do vento.

### 3.6.3. DETERMINAÇÃO DAS TROCAS GASOSAS

As avaliações de trocas gasosas (fotossíntese (A), condutância estomática (G<sub>s</sub>) e transpiração (E)), foram realizadas em uma folha completamente expandida, no ramo plagiotrópico, com máxima recepção da radiação fotossinteticamente ativa. Foi utilizado o equipamento portátil para medições de trocas gasosas por infravermelho (IRGA), modelo LI-6400 (LI-COR, Lincoln, NE, USA).

As medições foram realizadas entre 08:00 e 10:00 horas e 12:00 e 14:00 horas, com o auxílio de luz artificial (LEDs), com fluxo de fótons fotossintéticos ajustado para 1500 μmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>. Durante as avaliações, a concentração inicial do CO<sub>2</sub> na câmara foi mantida em torno de 380 ± 30 μmol mol<sup>-1</sup>, a temperatura do ar e a umidade relativa dentro da câmara, e a área da folha utilizada no equipamento foram 30,1 ± 0,15 °C, 31,6 ± 0,29%, e 6 cm<sup>2</sup>, respectivamente.

Os valores de A, G<sub>s</sub> e E, foram obtidos através da média ponderada entre os valores das medições realizadas entre 08:00 e 10:00 horas e 12:00 e 14:00 horas do mesmo dia (Equação 13).

$$Zd_x = \frac{2Z_t + 3Z_m}{6} \quad (13)$$

Onde,

Z<sub>m</sub> = Valores de A ou G<sub>s</sub> ou E, medidos entre 8:00 e 10:00 horas; e,

Z<sub>t</sub> = Valores de A ou G<sub>s</sub> ou E, medidos entre 12:00 e 14:00 horas.

O “x” varia de 1 a 8, pois foi calculado para cada tratamento, de acordo com o número de repetições.

#### 3.6.4. COEFICIENTE DE ESTRESSE HÍDRICO BASEADO NA TRANSPIRAÇÃO ( $CEH_t$ )

Através dos dados pontuais da E, obtidos pelo equipamento IRGA, foi elaborado um coeficiente de estresse hídrico, baseado na média ponderada entre os valores de E ( $CEH_t$ ), para cada tratamento. Portanto, fez-se uma relação entre cada valor obtido para o T2, com a média dos resultados do T1 (Equação 14).

$$CEH_x^{ni} = 1 - \frac{Td_x^{ni}}{TM} \therefore CEH_t = \frac{\sum_{j=1}^8 CEH_x^{ni}}{8} \quad (14)$$

Sendo que, o valor de “x” varia de 1 a 8, de acordo com o valor de cada repetição para todos os tratamentos;

$$Td_x = \frac{2E_t + 3E_m}{6};$$

$$TM = \frac{\sum_{j=1}^8 Td_x^{ir}}{8};$$

$Td_x^{ir}$  = Valores de  $Td_x$  para o tratamento irrigado;

$Td_x^{ni}$  = Valor de  $Td_x$  para o tratamento não irrigado;

$E_m$  = Transpiração medida entre 8:00 e 10:00 horas; e,

$E_t$  = Transpiração medida entre 12:00 e 14:00 horas.

#### 3.6.5. UMIDADE DO SOLO

A umidade do solo foi acompanhada diariamente, sendo aferida a uma profundidade de 10 cm da superfície e 5 cm de distância do caule do cafeeiro, em todas as plantas, com o equipamento portátil de medição de umidade do solo, Soil Moisture Meter (Extech Instruments, A Flir Company, MO 750). Foram realizadas três leituras por vaso e, posterior à leitura, foi feito a média dos valores de umidade para todos os tratamentos.

### 3.6.6. CARACTERÍSTICAS DE CRESCIMENTO AVALIADAS

#### 3.6.6.1. ALTURA DA PLANTA

Foi aferido a altura de todas as plantas, em centímetros, com auxílio de trena metálica, tendo como referência a base do caule até o último nó formado do ramo ortotrópico.

#### 3.6.6.2. DIÂMETRO DO CAULE

Obtido através da aferição direta do diâmetro do caule, em milímetros, de todas as plantas, entre o 1º e 2º nós formados, no ramo ortotrópico. A medição foi realizada com auxílio de paquímetro milimetrado.

#### 3.6.6.3. NÚMERO DE RAMOS PLAGIOTRÓPICOS

Através da contagem visual, dos ramos plagiotrópicos, de cada planta, foi obtido o número absoluto de hastes definitivas emitidas a partir do tronco.

#### 3.6.6.4. NÚMERO DE FOLHAS

Foi obtida através da contagem visual de todas as folhas de cada planta.

#### 3.6.6.5. ÁREA FOLIAR

A área foliar total de cada planta foi determinada por um método indireto adaptado, descrito por Marin et al. (2005), e usado por Souza (2009), consiste na contagem total do número de folhas de cada planta, e utiliza 30% destas folhas para medir, em cada uma, o maior comprimento e a maior largura. Calcula-se, então, a área foliar de cada folha, utilizando a Equação 15, e posteriormente, é calculado a área foliar total de cada planta (Equação 16).

$$AF_f = (LW.0,703) \quad (15)$$

Onde:

$AF_f$  = Área foliar de cada folha ( $cm^2$ );

$L$  = Maior comprimento de folha (cm); e,

$W$  = Maior largura da folha (cm).

$$AFT = \overline{AF_f} \cdot NF \quad (16)$$

Onde:

$AFT$  = Área foliar total da planta ( $cm^2$ );

$\overline{AF_f}$  = Média de área foliar de cada folha ( $cm^2$ ); e,

$NF$  = Número total de folhas da planta.

### 3.6.6.6. CRESCIMENTO DA NERVURA CENTRAL DA FOLHA

Obtido através do acompanhamento do crescimento da nervura central (CNC) de uma folha em desenvolvimento inicial, a qual foi marcada e medida, com auxílio de uma régua milimetrada, a cada dois dias, após início da aplicação dos tratamentos.

Após as medições, foi feito a média de cada tratamento e a normalização dos dados. Com os dados normalizados, foi gerado um gráfico, para cada ciclo, com intervalo de confiança igual a 95% ( $\alpha = 5\%$ ).

### 3.7. DELINEAMENTO EXPERIMENTAL

O experimento foi conduzido em arranjo inteiramente casualizado com 2 tratamentos e 8 repetições, totalizando 16 plantas de cafeeiro conilon (clone 12 V). Os resultados obtidos foram submetidos à análise, conforme o arranjo experimental utilizado, com a finalidade de verificar a influência dos tratamentos no crescimento e desenvolvimento do cafeeiro, bem como elaborar o coeficiente de estresse hídrico e identificar o status hídrico da planta.

A manipulação dos dados e as análises estatísticas, foram realizadas com o auxílio do programa "R Core Team", com o qual se calculou a média, o desvio padrão e o intervalo de confiança de 95% ( $\alpha = 5\%$ ), para cada variável analisada.

Foi realizado uma regressão entre o sinal real de cada sensor e a evapotranspiração de referência, afim de verificar a relação entre as variáveis e a calibração dos sensores de fluxo de seiva.

Os resultados das variáveis avaliadas como, altura da planta, diâmetro do caule, número de ramos plagiotrópicos, número de folhas, área foliar e o comprimento da nervura central, foram normalizados para melhor visualização do comportamento das mesmas, durante a condução dos ciclos. Portanto, sendo denominadas de altura relativa, diâmetro relativo do caule, número relativo de ramos, número relativo de folhas, área foliar relativa e comprimento relativo da nervura central.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1. CONDIÇÕES CLIMÁTICAS E UMIDADE DO SOLO

Os dados climatológicos de temperatura máxima (Tmax), temperatura mínima (Tmin), temperatura média (Tmed) e umidade relativa do ar (UR), durante as avaliações do primeiro (09/06 a 23/06), segundo (14/07 a 31/07) e terceiro (18/08 a 01/09) ciclos, estão representados nas Figuras 8, 9 e 10, respectivamente.

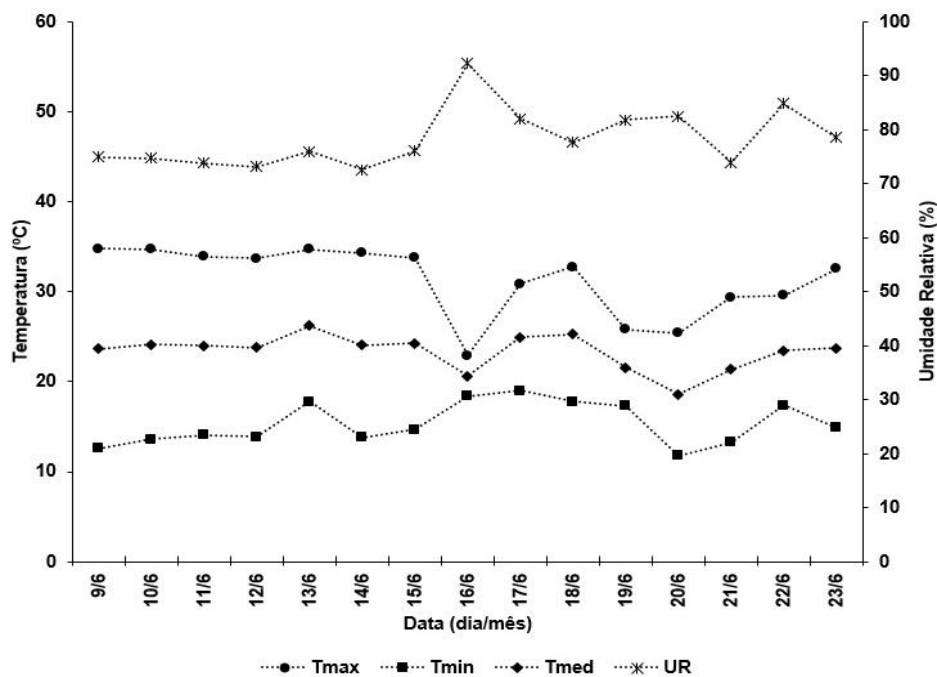


Figura 8. Temperatura máxima (Tmax), mínima (Tmin) e média (Tmed), diária (°C) no eixo primário, e umidade relativa média diária (%) no eixo secundário, para o primeiro ciclo de avaliação, compreendendo o intervalo entre 09/6 a 23/6. Dados coletados em Campos dos Goytacazes - RJ, Brasil.

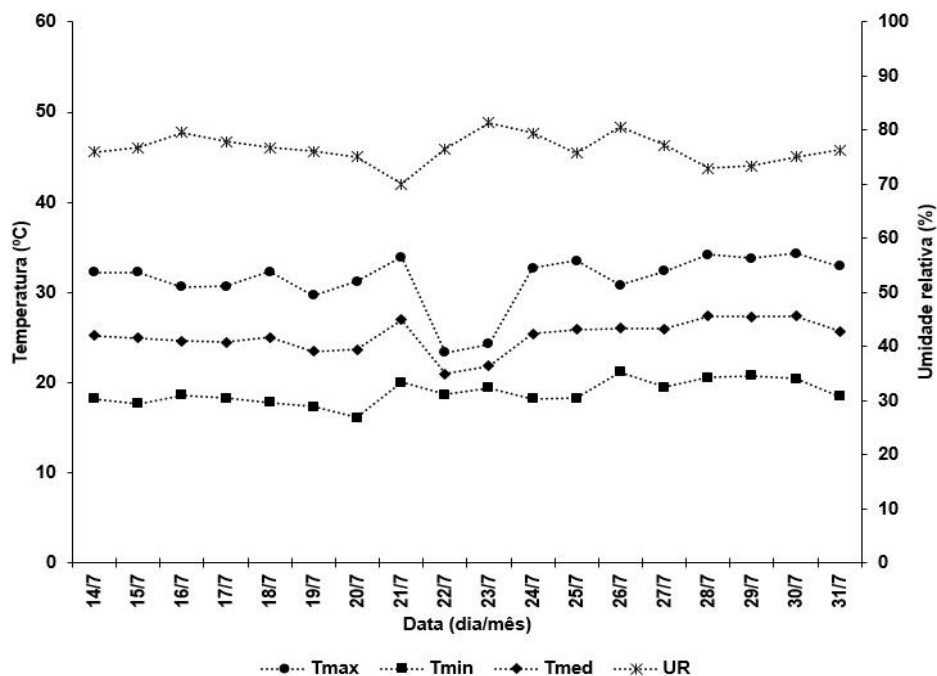


Figura 9. Temperatura máxima (Tmax), mínima (Tmin) e média (Tmed), diária (°C) no eixo primário, e umidade relativa média diária (%) no eixo secundário, para o segundo ciclo de avaliação, compreendendo o intervalo entre 14/7 a 31/7. Dados coletados em Campos dos Goytacazes - RJ, Brasil.

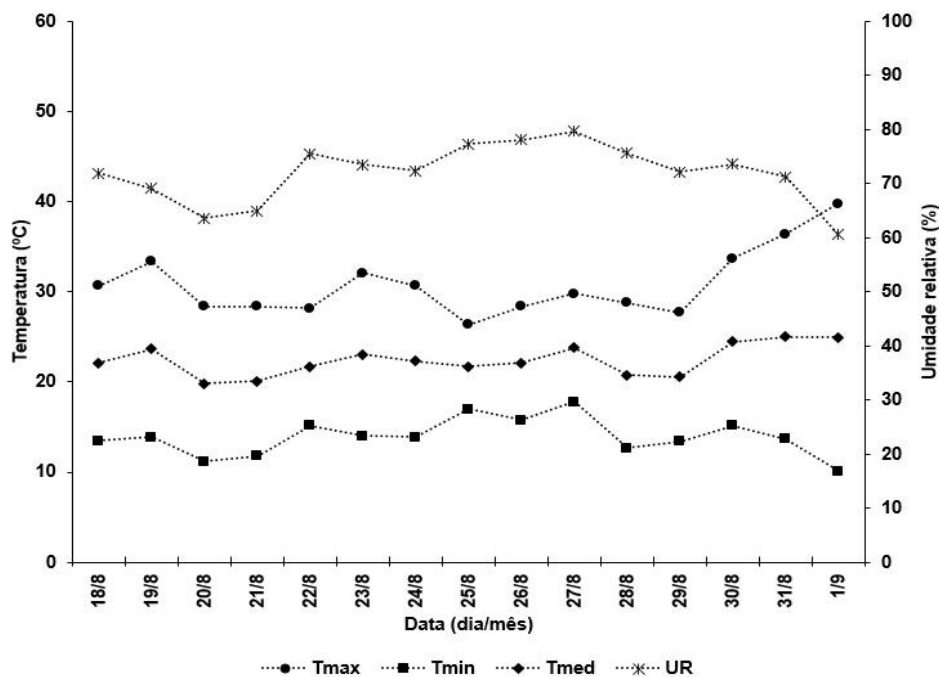


Figura 10. Temperatura máxima (Tmax), mínima (Tmin) e média (Tmed), diária (°C) no eixo primário, e umidade relativa média diária (%) no eixo secundário, para o terceiro ciclo de avaliação, compreendendo o intervalo entre 18/8 a 01/9. Dados coletados em Campos dos Goytacazes - RJ, Brasil.

A temperatura média ótima anual para *Coffea canephora* situa-se no intervalo entre 22 a 26°C, 24 a 30°C, ou 22 a 30°C, dependendo dos autores, das cultivares e das condições de condução da cultura (Matiello, 1991; 1998; Willson, 1999; Ferrão et al., 2007; Pohlan e Janssens, 2012), contudo, os efeitos das temperaturas são ainda mais complexos, já que a temperatura adequada varia com o estado fenológico da planta (DaMatta e Ramalho, 2006). A Tmed variou entre 18,6 a 26,25°C, para o primeiro ciclo (Figura 8), 21 a 27,4°C para o segundo ciclo (Figura 9) e 19,8 a 25,05°C para o terceiro ciclo (Figura 10). As Figuras 8, 9 e 10 indicam valores de Tmed abaixo do recomendado nos dias 16/6, 19/6, 20/6 e 21/6, 22/7 e 23/7, e 20/8, 21/8, 22/8, 25/8, 28/8 e 29/8, respectivamente.

A umidade relativa do ar, durante a condução dos três ciclos, variou entre, 72,5% (menor valor) a 92,2% (maior valor) nos dias 14/6 e 16/6, respectivamente, para o primeiro ciclo (Figura 8), 70,0% (menor valor) a 81,3% (maior valor) nos dias 21/7 e 23/7, respectivamente, para o segundo ciclo (Figura 9), e 60,6% (menor valor) a 79,6% (maior valor), respectivamente, para



o terceiro ciclo (Figura 10). O valor da temperatura máxima e mínima, média, para cada ciclo avaliado foi igual a 31,2 e 15,3°C, 31,3 e 18,8°C, e 30,8 e 13,9°C, respectivamente para o primeiro, segundo e terceiro ciclos.

Segundo Coste (1992) e Ngolo (2014), valores de umidade relativa do ar elevados, e temperaturas anuais entre 26°C, com máxima de 30°C e mínimas de 21°C, refletem condições adequadas para o cultivo do cafeeiro conilon. Partelli et al. (2010), afirmam, que temperaturas média mínima acima de 17°C, máxima abaixo de 31°C e média entre 21 a 27°C, proporcionam maior taxa de crescimento para o cafeeiro conilon. Os resultados obtidos da umidade relativa do ar e temperatura máxima média para cada ciclo, corroboram com os autores supracitados. Contudo, para os três ciclos avaliados, a temperatura mínima média, para o primeiro e terceiro ciclos, ficou abaixo do recomendado.

Durante a condução dos ciclos de avaliação, a irrigação foi suspensa para o T2 e mantida para o T1. A Figura 11 indica a variação da umidade do solo para os três ciclos avaliados.

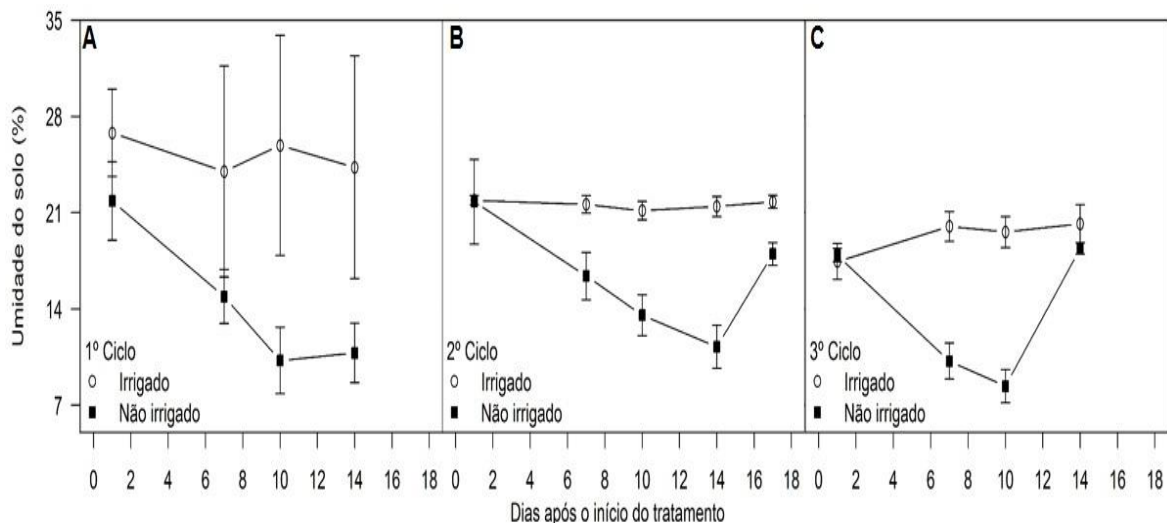


Figura 11. Umidade do solo (%), entre os tratamentos irrigado (T1) e não irrigado (T2). A) 1º Ciclo, de 09 a 23 de junho de 2015. B) 2º Ciclo, de 14 a 31 de julho de 2015. C) 3º Ciclo, 18 de agosto a 01 de setembro de 2015. Intervalo de confiança igual a 95%.

Para os três ciclos avaliados, a porcentagem de umidade do solo (Figura 12, A, B e C) variou de forma semelhante, não apresentando diferença

significativa entre os tratamentos para o 1º dia após o início da aplicação dos tratamentos. Com o decorrer dos dias, e a demanda atmosférica (Figuras 8, 9, e 10), o percentual de água para as plantas do T2 diminuiu, já que a mesma não era repostada, sendo significativamente menor no 10º e 14º dias para o primeiro ciclo (Figura 11, A), 7º, 10º, 14º e 17º dias para o segundo ciclo (Figura 11, B), e 7º e 10º dias para o terceiro ciclo (Figura 11, C).

Após o retorno da irrigação no 14º dia, para o T2, durante o segundo ciclo (Figura 11, B), a umidade do solo ainda foi inferior significativamente comparado ao T1 na avaliação seguinte (17º dia). Contudo, para o terceiro ciclo, após a irrigação no 10º dia (Figura 11, C), não foi encontrada diferença significativa entre os tratamentos no 14º dia.

A umidade do solo do T2, variou de 21,85 a 10,80% de água no solo para o primeiro ciclo (Figura 11, A), de 21,85 a 11,25%, e após a irrigação, aumentou para 18,0% para o segundo ciclo (Figura 11, B), e de 17,90 a 8,40% e após a irrigação aumentou a 18,40%, para o terceiro ciclo (Figura 11, C). Para o T1, a umidade do solo apresentou variação entre 17,45 e 26,80% de água no solo, durante os três ciclos avaliados (Figura 11, A, B e C).

## 4.2. PARÂMETROS FISIOLÓGICOS

### 4.2.1. POTENCIAL HÍDRICO FOLIAR ANTEMANHÃ ( $\Psi_{AM}$ ) E AO MEIO DIA ( $\Psi_{MD}$ )

A variação do  $\Psi_{AM}$  e  $\Psi_{MD}$ , para as plantas do T1 e T2, durante os três ciclos de avaliação, está indicada nas Figuras 12 e 13, respectivamente.

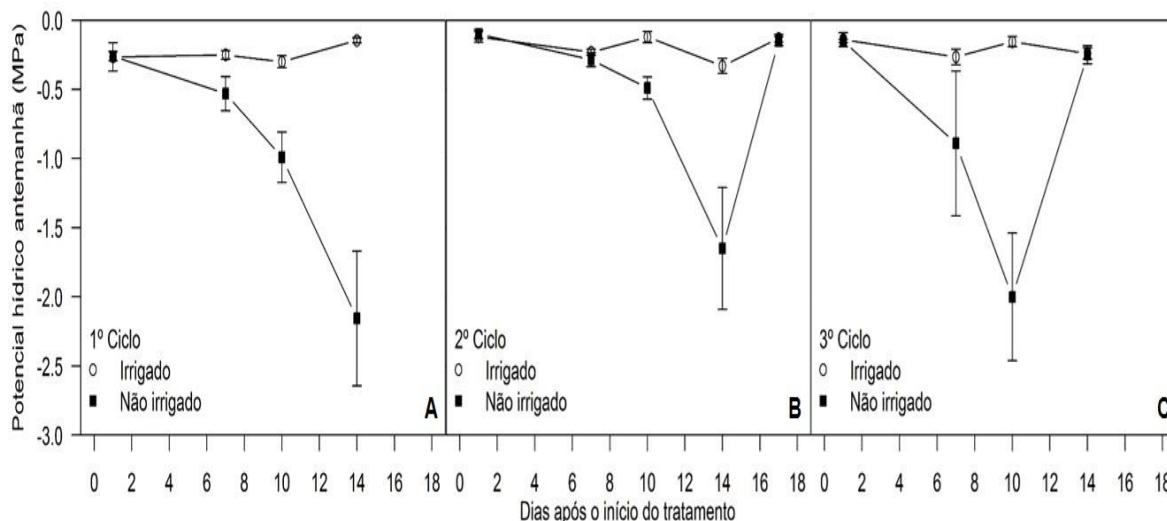


Figura 12. Potencial hídrico foliar antemanhã ( $\Psi_{AM}$ ), para o cafeeiro conilon, clone 12 V, entre os tratamentos irrigado (T1) e não irrigado (T2). A) 1º Ciclo, de 09 a 23 de junho de 2015. B) 2º Ciclo, de 14 a 31 de julho de 2015. C) 3º Ciclo, 18 de agosto a 01 de setembro de 2015. Intervalo de confiança igual a 95%.

No primeiro ciclo, o  $\Psi_{AM}$  das plantas sob restrição hídrica foi menor significativamente, no 7º, 10º e 14º dia, com valor igual a -0,53, -0,99 e -2,1 MPa, respectivamente (Figura 12, A). Durante o segundo ciclo (Figura 12, B), o  $\Psi_{AM}$  foi significativamente menor para as plantas do T2 no 10º e 14º dias, com valor igual a -0,49 e -1,65 MPa, respectivamente. Com o retorno da irrigação ao final do 14º dia, o  $\Psi_{AM}$  para do 16º dia não apresentou diferença significativa entre os tratamentos (Figura 12, B).

Para o terceiro ciclo (Figura 12, C), o  $\Psi_{AM}$  das plantas do T2 foi menor significativamente comparado às plantas do T1, no 7º e 10º dias, com valor igual a -0,89 e -2,0 MPa, respectivamente. Ao final do 10º dia, as plantas do T2 foram irrigadas e conseqüentemente, o valor do  $\Psi_{AM}$  aumentou, não diferindo das plantas do T1 (Figura 12, C).

Durante os três ciclos avaliados, o  $\Psi_{AM}$  para as plantas do T1 variou entre -0,14 a -0,30 MPa para o primeiro ciclo, -0,14 a -0,33 MPa para o segundo ciclo, e -0,14 a -0,24 MPa para o terceiro ciclo (Figura 12, A, B e C, respectivamente).

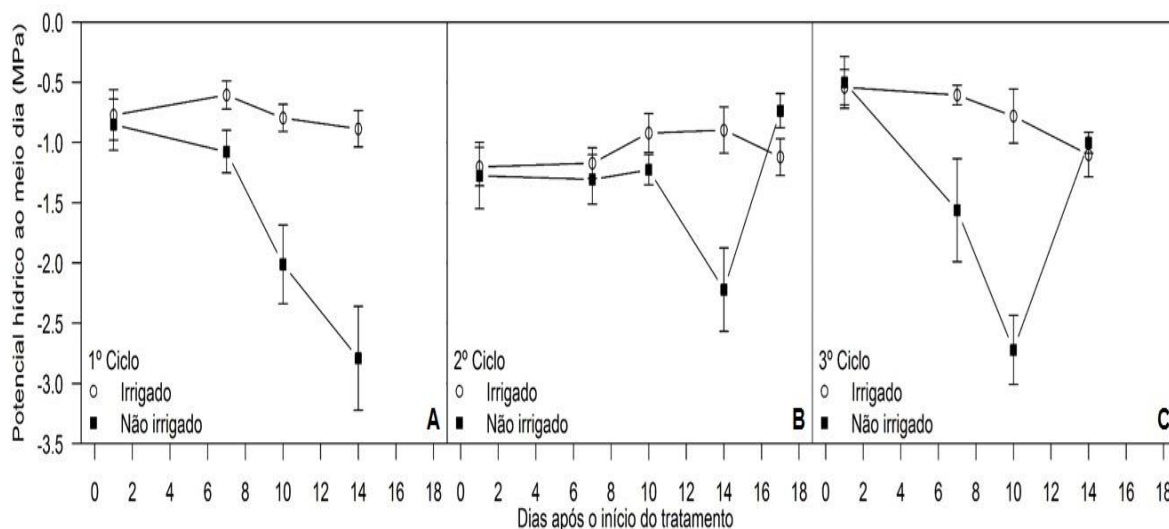


Figura 13. Potencial hídrico foliar ao meio dia ( $\Psi_{MD}$ ), para o cafeeiro conilon, clone 12 V, entre os tratamentos irrigado (T1) e não irrigado (T2). A) 1º Ciclo, de 09 a 23 de junho de 2015. B) 2º Ciclo, de 14 a 31 de julho de 2015. C) 3º Ciclo, 18 de agosto a 01 de setembro de 2015. Intervalo de confiança igual a 95%.

O  $\Psi_{MD}$  diferiu significativamente nos três ciclos avaliados (Figura 13, A, B e C), no qual as plantas do T2 apresentaram médias menores com relação às obtidas pelas plantas do T1. Para o primeiro ciclo (Figura 13, A), há diferença significativa entre os tratamentos a partir do 7º até o 14º dia, onde as plantas do T2 apresentaram médias inferiores igual a -1,07, -2,01 e -2,79 MPa para os dias avaliados (7º, 10º e 14º dias, respectivamente).

No segundo ciclo (Figura 13, B), as plantas do T2 apresentaram médias iguais a -1,22 e -2,22 MPa (10º e 14º dias, respectivamente), sendo significativamente menores. Foi realizada a irrigação das plantas do T2 no final do 14º dia, acarretando no aumento do  $\Psi_{MD}$  e sendo significativamente maior do que o encontrado para as plantas do T1 para o 17º dia (Figura 13, B).

No terceiro ciclo (Figura 13, C), as plantas do T2 apresentaram médias significativamente inferiores de  $\Psi_{MD}$  no 7º e 10º dias (-1,56 e -2,72 MPa, respectivamente), e com a irrigação das mesmas, no final do 10º dia, não houve diferença significativa entre os tratamentos na avaliação seguinte (14º dia).

Durante os três ciclos avaliados, o  $\Psi_{MD}$  para as plantas do T1 variou entre -0,60 a -0,88 MPa para o primeiro ciclo, -0,89 a -1,20 MPa para o

segundo ciclo, e -0,54 a -1,10 MPa para o terceiro ciclo (Figura 13, A, B e C, respectivamente).

O potencial hídrico foliar permite identificar o estado hídrico em que a planta se encontra, pois, acompanha as variações diurnas da demanda evaporativa da atmosfera, atingindo seu valor máximo logo antes do nascer do sol. Nesse momento, as plantas encontram-se com a máxima turgescência possível para uma dada condição hídrica no solo. Dessa forma, o potencial hídrico de antemanhã tem sido considerado um indicativo do estado hídrico das plantas, bem como da quantidade de água disponível no solo, uma vez que há tendência de equilíbrio entre as condições hídricas da planta e do solo (Silva et al., 2003; Larcher, 2004; Taiz e Zeiger, 2009).

O potencial hídrico antemanhã (Figura 12), bem como ao meio dia (Figura 13), refletiu a queda de umidade do solo (Figura 11) para o T2, alcançando valores significativamente negativos, e garantindo a aplicação do estresse hídrico proposto para o tratamento em questão.

No decorrer dos três ciclos, o  $\Psi_{AM}$  e  $\Psi_{MD}$  (Figuras 12 e 13), das plantas não irrigadas, atingiram valores máximos negativos de -2,1; -1,62; e, -2,0 MPa (1º, 2º e 3º ciclos, respectivamente), e -2,79; -2,22; e, -2,72 MPa (1º, 2º e 3º ciclos, respectivamente), respectivamente, indicando estresse hídrico severo. Segundo DaMatta e Rena (2000), considera-se um estresse hídrico severo, para o cafeeiro, quando a planta apresenta potencial hídrico foliar entre -2,0 a -3,0 MPa. Contudo, Silva et al. (2010), afirmam que para um determinado clone de cafeeiro conilon, o potencial hídrico antemanhã entre -1,5 a -3,0 MPa, caracteriza estresse hídrico moderado a severo, respectivamente.

Durante a condução dos três ciclos de avaliação, também não foram visualizados sintomas de murchas das folhas, mesmo quando o cafeeiro atingiu seu máximo negativo potencial hídrico, tanto na antemanhã quanto ao meio dia. O cafeeiro conilon possui elevado teor relativo de água, mesmo a potenciais hídricos consideravelmente negativos, sintomas visíveis de murcha na folhagem são raros (DaMatta et al., 1993; 2002; Pinheiro et al., 2005). Segundo os autores supracitados, o ponto de perda de turgescência, usualmente próximo a 90%, é associado à alta rigidez da parede celular, apresentando potencial hídrico na faixa de -1,7 a -2,2 MPa para clones irrigados e alcançando valores mais negativos para clones não irrigados.

Em plantas sob restrições hídricas, é comum haver redução do  $\Psi_w$  em consequência do declínio do  $\Psi_s$  (potencial de solutos), causado pelo aumento da concentração de solutos nos tecidos foliares, como verificado por diversos autores (DaMatta e Rena, 2000; DaMatta et al., 2003; Cavatte, 2007). Segundo Morgan (1984), a implicação direta do mecanismo de abaixamento do  $\Psi_s$  é a redução da perda de água pelas plantas, associada à manutenção da absorção de água do solo. Pequenas reduções no  $\Psi_w$  podem contribuir para manter o gradiente de energia livre da água entre a planta e o solo. Decréscimos na elasticidade da parede celular levam à manutenção da turgescência celular, na medida em que a parede acompanha a redução do volume do simplasma, sob condições de seca.

#### 4.2.2. CONDUÇÃO ESTOMÁTICA - Gs

A Gs apresentou diferença significativa nos três ciclos avaliados (Figura 14).

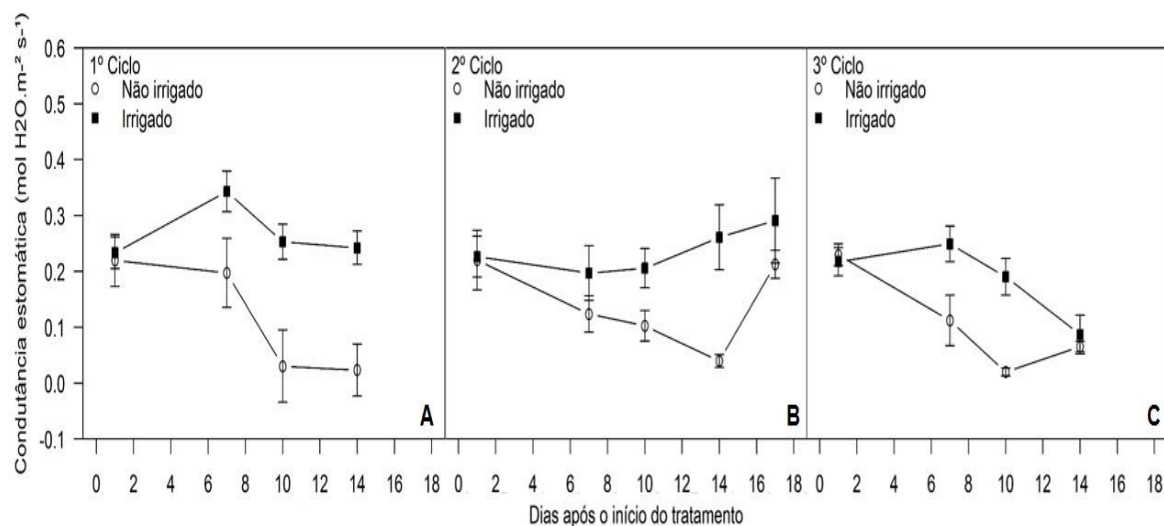


Figura 14. Condutância estomática ( $\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ), para o cafeeiro conilon, clone 12 V, entre os tratamentos irrigado (T1) e não irrigado (T2). A) 1º Ciclo, de 09 a 23 de junho de 2015. B) 2º Ciclo, de 14 a 31 de julho de 2015. C) 3º Ciclo, 18 de agosto a 01 de setembro de 2015. Intervalo de confiança igual a 95%.

No primeiro e terceiro ciclos (Figura 14, A e C), ocorre a diminuição dos valores de  $G_s$  a partir do 7º dia, sendo significativamente menor para as plantas do T2, até o final do primeiro ciclo, e 10º dia para o terceiro ciclo. O retorno da irrigação, no terceiro ciclo (Figura 14, C), é feito no final do 10º dia, logo, o valor da  $G_s$  no 14º dia não apresenta diferença significativa com relação ao T1.

Para o segundo ciclo (Figura 14, B), as plantas do T2 apresentaram valores significativamente menores de  $G_s$  no 10º e 14º dias. Neste ciclo, a irrigação retornou no 14º dia, portanto, os valores de  $G_s$  na avaliação seguinte (17º dia), não apresentaram diferença significativa entre os tratamentos.

As plantas de cafeeiro conilon, clone 12 V, submetidas ao T1, apresentaram valores médios de  $G_s$  entre 0,23 a 0,34 mol H<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup>s<sup>-1</sup> para o primeiro ciclo (Figura 14, A), 0,19 a 0,29 mol H<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup>s<sup>-1</sup> para o segundo ciclo (Figura 14, B) e 0,08 a 0,24 mol H<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup>s<sup>-1</sup> para o terceiro ciclo (Figura 14, C). Contudo, as plantas submetidas ao T2, apresentaram valores mínimos iguais a 0,02, 0,03 e 0,02 mol H<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup>s<sup>-1</sup>, para o primeiro, segundo e terceiro ciclos (Figura 14, A, B e C), respectivamente, sendo significativamente menor, comparados ao T1, durante o período de menor potencial hídrico e máximo estresse aplicado.

Com o retorno da irrigação no 14º e 10º dia, para as plantas do T2, do segundo e terceiro ciclos, respectivamente, a  $G_s$  não apresentou diferença significativa em relação às plantas do T1, para o 17º e 14º dias, para o segundo e terceiro ciclos (Figura 14, B e C). Andrade (2011), Silva et al. (2010) e DaMatta et al. (2002), encontraram resultados semelhantes, afirmando que a deficiência hídrica causou a diminuição da condutância estomática em plantas de cafeeiro conilon.

Portanto, a diminuição da porcentagem de umidade de água no solo (Figura 11), e conseqüentemente, do potencial hídrico antemanhã e ao meio dia (Figura 12 e 13), resultou no fechamento estomático e queda nos valores  $G_s$  das plantas do T2 (Figura 14).

### 4.2.3. TRANSPIRAÇÃO – E

A Figura 15 indica a variação da E, entre as plantas do T1 e T2, para os três ciclos de avaliação.

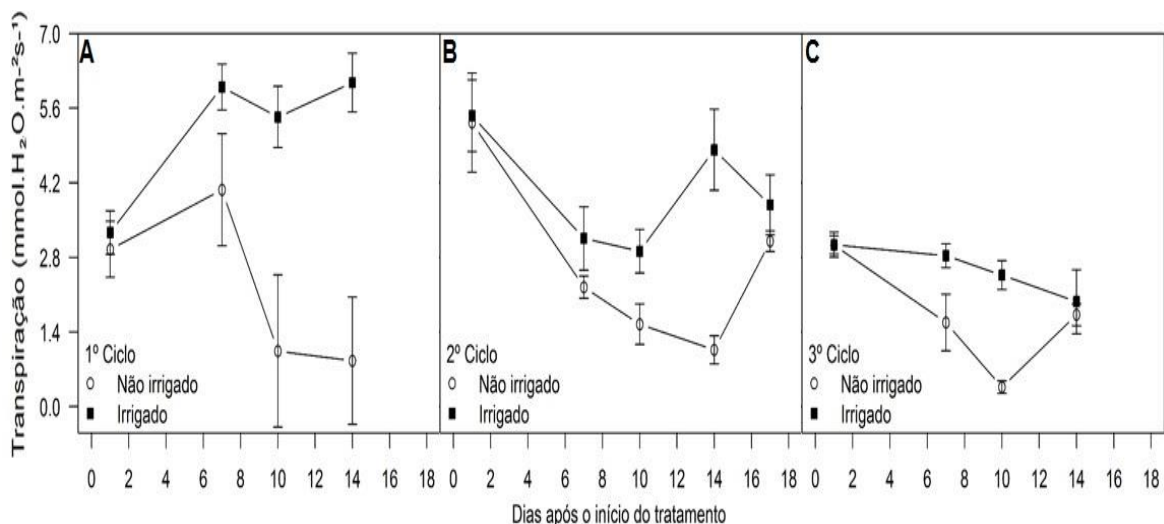


Figura 15. Transpiração ( $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ), para o café conilon, clone 12 V, entre os tratamentos irrigado (T1) e não irrigado (T2). A) 1º Ciclo, de 09 a 23 de junho de 2015. B) 2º Ciclo, de 14 a 31 de julho de 2015. C) 3º Ciclo, 18 de agosto a 01 de setembro de 2015. Intervalo de confiança igual a 95%.

No primeiro ciclo (Figura 15, A), do 7º ao 14º dia, a E das plantas do T2 foi significativamente menor com relação ao T1. O segundo ciclo (Figura 15, B), apresentou o mesmo padrão de resposta, contudo, após a irrigação das plantas do T2 ao final do 14º dia, não foi observada diferença significativa, entre os tratamentos, na avaliação seguinte (17º dia). Para o terceiro ciclo (Figura 15, C), a E das plantas do T2 foi menor significativamente, do 7º ao 10º dia. Com o retorno da irrigação no 10º dia, ocorreu o aumento da E das plantas do T2, conseqüentemente não diferindo do T1 na avaliação seguinte (14º dia).

A transpiração das plantas do T1, variou entre 3,26 a 6,07  $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$  para o primeiro ciclo (Figura 15, A), 2,91 a 5,46  $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$  para o segundo ciclo (Figura 15, B) e 1,96 a 3,03  $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$  para o terceiro ciclo (Figura 15, C). Para as plantas do T2, as quais atingiram valores significativamente mais baixos, a E variou entre 4,07 a 0,86  $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$



(máximo e mínimo valor, respectivamente) para o primeiro ciclo (Figura 15, A), 5,32 a 1,06 mmol H<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> (máximo e mínimo valor, respectivamente) para o segundo ciclo (Figura 15, B) e 3,03 a 0,36 mmol H<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> (máximo e mínimo valor, respectivamente) para o terceiro ciclo (Figura 15, C).

O movimento estomático é o principal mecanismo de controle das trocas gasosas nas plantas superiores terrestres. Os estômatos quando abertos permitem a assimilação de CO<sub>2</sub> e fechando-se, conservam água e reduzem o risco de desidratação (Tenhunen et al., 1987). Segundo Larcher (2004), à medida que a disponibilidade de água no solo diminui, a taxa de transpiração decresce, como resultado do fechamento dos estômatos. Esse é um dos importantes mecanismos de defesa que as plantas apresentam contra as perdas exageradas de água e eventual morte por déficit hídrico. Segundo Maestri e Vieira (1958), os estômatos do cafeeiro podem permanecer fechados durante todo o dia, exceto algumas horas pela manhã, devido ao baixo teor de umidade do solo.

Durante as avaliações, o valor da porcentagem de umidade do solo, das plantas do T2, diminuiu para todos os ciclos avaliados, sendo significativamente menor com relação ao T1 a partir do 7º dia, exceto para o primeiro ciclo, ocorrendo somente no 10º dia (Figura 11, A, B e C), o que segundo os autores supracitados, pode ter ocasionado o fechamento estomático e conseqüentemente, valores menores de E. Silva (2000), obtiveram resultados semelhantes, concluindo que a taxa transpiratória do cafeeiro irrigado é superior à do não irrigado, sendo influenciada, além do déficit hídrico, pela radiação fotossinteticamente ativa. Andrade (2011), também encontrou resultados semelhantes, onde o déficit hídrico afetou negativamente a transpiração do cafeeiro.

A transpiração depende principalmente da condutância estomática, a qual reduz de acordo com a incidência de radiação fotossinteticamente ativa e quantidade de água disponível para o vegetal (Bergonci e Pereira, 2002). Os resultados observados para Gs (Figura 14, A, B e C) e E (Figura 15, A, B e C), para os três ciclos avaliados, corroboram com Andrade (2011), segundo o autor, valores menores de condutância estomática, ocasionam, conseqüentemente, menor transpiração. A diminuição da condutância

estomática, em cafeeiro, é um mecanismo para evitar a perda de água pela transpiração (Andrade, 2011).

#### 4.2.4. FOTOSÍNTESE- A

A fotossíntese das plantas do T2, apresentou valores significativamente menores, com relação às plantas do T1, durante os três ciclos avaliados (Figura 16).

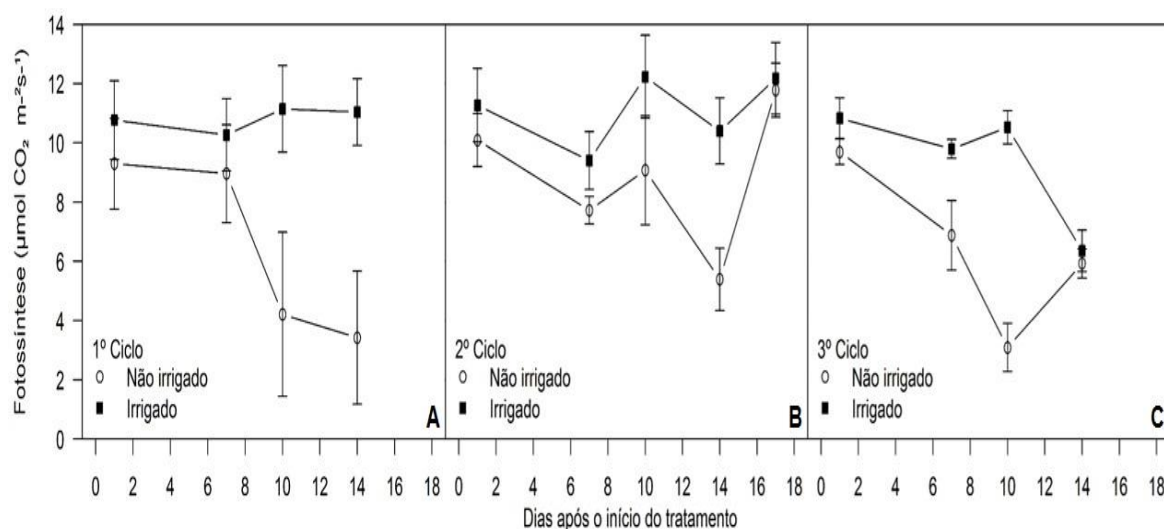


Figura 16. Fotossíntese ( $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ), para o cafeeiro conilon, clone 12 V, entre os tratamentos irrigado (T1) e não irrigado (T2). A) 1º Ciclo, de 09 a 23 de junho de 2015. B) 2º Ciclo, de 14 a 31 de julho de 2015. C) 3º Ciclo, 18 de agosto a 01 de setembro de 2015. Intervalo de confiança igual a 95%.

No primeiro ciclo, a A (Figura 16, A) das plantas do T2 foi menor significativamente, no 10º e 14º dia. Para o segundo ciclo (Figura 16, B), a diferença entre os tratamentos ocorreu no 7º e 14º dias, onde as plantas do T2 apresentaram valores menores significativos, com relação aos resultados obtidos no T1. Já no terceiro ciclo (Figura 16, C), no 7º e 10º dias, também se observa valores significativamente menores, para as plantas do T2. Para os demais dias do primeiro, segundo e terceiro ciclos, não houve diferença significativa entre os tratamentos (Figura 16, A, B e C).

Para o segundo e terceiro ciclos (Figura 16, B e C), com retorno da irrigação ao 14º e 10º dias, respectivamente, não foi observada diferença significativa entre os tratamentos, na avaliação seguinte (17º e 14º dias para o segundo e terceiro ciclos, respectivamente).

Os valores da A para o T1, variaram entre 10,77 a 11,14  $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ , para o primeiro ciclo (Figura 16, A), 9,40 a 12,23  $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  para o segundo ciclo (Figura 16, B) e 6,35 a 10,83  $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  para o terceiro ciclo (Figura 16, C). Entretanto, para as plantas do T2, foram observados valores de A significativamente menores, como 3,42, 5,39 e 3,09  $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ , para o primeiro, segundo e terceiro ciclos, respectivamente (Figura 16, A, B e C).

DaMatta et al. (2002), também verificaram redução na fotossíntese em plantas de *Coffea canephora*, sob déficit hídrico. Oliveira (2009), estudando o déficit hídrico em condições de adubação convencional, também encontrou valores menores de fotossíntese em plantas não irrigadas, quando comparados aos resultados das plantas irrigadas. Andrade (2011), estudando as relações hídricas do cafeeiro obteve menores valores de fotossíntese nas plantas sob déficit hídrico.

Andrade (2011), afirma que a deficiência hídrica em cafeeiro, ocasiona a redução da taxa fotossintética, sendo afetada negativamente, devido à redução da condutância estomática (Costa e Marengo, 2007), para evitar perda de água por transpiração, a qual compromete o influxo de  $\text{CO}_2$  para a câmara subestomática (devido ao fechamento estomático), ou ao efeito direto da desidratação sobre a maquinaria fotossintética. Os resultados observados para Gs (Figura 14), E (Figura 15) e A (Figura 16), durante os ciclos avaliados, corroboram com os autores supracitados.

Segundo De Lucia et al. (2003), a taxa fotossintética das plantas é determinada por características bioquímicas, fisiológicas e morfológicas da maquinaria fotossintética, as quais variam de acordo com as condições ambientais preponderantes durante o crescimento, tais como irradiância, temperatura e suprimento de água e nutrientes (Mohotti e Lawlor, 2002).

No geral, observa-se que a A (Figura 16) das plantas do T2, apresentou valores menores com relação ao T1, no mesmo período em que a Gs (Figura 15) também foi menor significativamente, exceto para o 7º dia do

primeiro ciclo (Figuras 16 e 15, A e A, respectivamente), e no 10<sup>o</sup> dia do segundo ciclo (Figuras 16 e 15, B e B, respectivamente). Segundo Cornic (2000), sob condições de deficiência hídrica moderada, o fechamento estomático restringe fortemente a fotossíntese, de tal forma que o controle estomático tem sido apontado como a fração principal da limitação total da fotossíntese. Araújo (2006) afirma que baixas taxas fotossintéticas, em algumas espécies lenhosas como em *Coffea arabica*, podem ser atribuídas, fundamentalmente, a baixos valores de condutância estomática.

Silva et al. (2010), verificaram uma redução acentuada para a condutância estomática do cafeeiro conilon sob déficit hídrico, comparada com uma pequena redução da taxa fotossintética e que também, o fechamento estomático acarretou decréscimos, proporcionalmente, maiores à transpiração do que à fotossíntese, já que a eficiência instantânea do uso da água (A/E) aumentou em condições de estresse hídrico. O que poderia explicar para o 7<sup>o</sup> dia do primeiro ciclo, e 10<sup>o</sup> dia do segundo ciclo, resultados significativamente menores da Gs (Figura 15, A e B) para o T2, porém, apresentando valores iguais, estatisticamente, de A (Figura 16, A e B) entre o T1 e T2. Esses dados são indicativos de que a redução da fotossíntese pelo estresse hídrico foi associada, principalmente, a limitações à difusão do CO<sub>2</sub>, e não a limitações bioquímicas da maquinaria fotossintética (DaMatta e Ramalho, 2006).

#### 4.3. MEDIDAS DE CRESCIMENTO

O desenvolvimento do cafeeiro conilon está intimamente relacionado com condições favoráveis para o seu crescimento vegetativo, portanto, a redução da disponibilidade hídrica pode diminuir substancialmente o seu crescimento, ainda que não seja observado qualquer sinal de déficit hídrico.

A altura relativa das plantas de cafeeiro conilon (Figura 17), durante os três ciclos de avaliação, somente apresentou diferença significativa, entre os tratamentos, para o segundo ciclo avaliado (Figura 17, B). Para os demais ciclos, não houve diferença significativa entre os tratamentos (Figura 17, A e C).

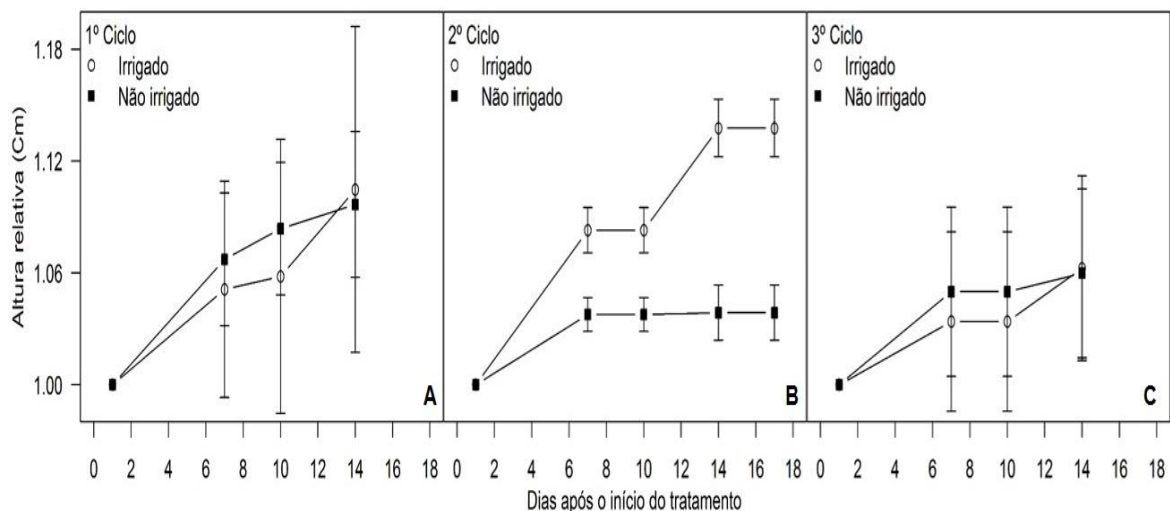


Figura 17. Altura relativa, em centímetros, para o cafeeiro conilon, clone 12 V, entre os tratamentos irrigado (T1) e não irrigado (T2). A) 1º Ciclo, de 09 a 23 de junho de 2015. B) 2º Ciclo, de 14 a 31 de julho de 2015. C) 3º Ciclo, 18 de agosto a 01 de setembro de 2015. Intervalo de confiança igual a 95%.

As plantas do T1, para o segundo ciclo (Figura 17, B), apresentaram altura relativa maior, a partir da segunda avaliação, ou seja, do 7º dia após o início da aplicação dos tratamentos, com relação às plantas do T2. Em média, as plantas do T1 incrementaram 0,13 cm de altura relativa ao longo do ciclo, chegando ao máximo de 1,13 cm (Figura 17, B). Contudo, as plantas do T2 mantiveram a altura relativa constante, com valor de 1,03 cm a partir do 7º dia até o final do ciclo (Figura 17, B).

Os resultados obtidos para a altura relativa, durante a condução do segundo ciclo (Figura 17, B), possuem semelhança com os resultados de Santana et al. (2004), que após estudarem o desenvolvimento inicial do cafeeiro arábica, concluíram que as plantas submetidas ao tratamento com irrigação apresentaram valores da altura significativamente superiores às plantas submetidas aos tratamentos sem uso de irrigação. Rodrigues et al. (2015b), analisando a disponibilidade hídrica no solo durante o desenvolvimento inicial do cafeeiro conilon, concluíram que altura do cafeeiro é comprometida com o déficit hídrico, tornando-se mais expressiva com o aumento do período da restrição hídrica, demonstrando sensibilidade da cultura em níveis baixos de água disponível no solo. Busato et al. (2007), também verificaram menores alturas para o cafeeiro conilon quando submetidos a

menores níveis de água disponível no solo, ressaltando a influência negativa do estresse hídrico sobre o desenvolvimento inicial do cafeeiro.

O número relativo de folhas (Figura 18) do cafeeiro conilon, clone 12, apresentou diferença significativa, entre tratamentos, para o segundo ciclo (Figura 18, B). Contudo, o primeiro e terceiro ciclos, não apresentaram diferenças significativas entre os tratamentos (Figura 18, A e C).

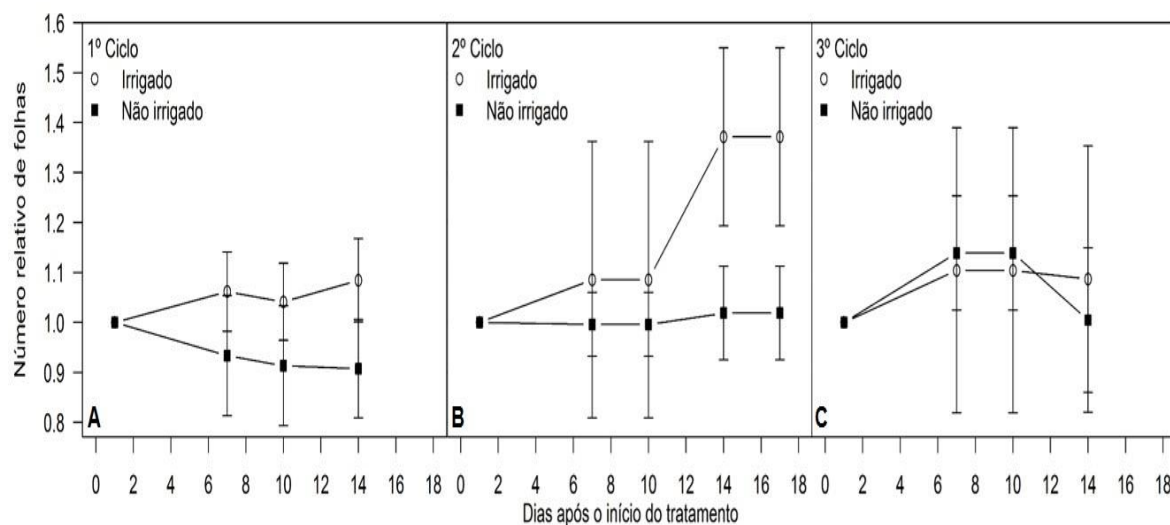


Figura 18. Número relativo de folhas, para o cafeeiro conilon, clone 12 V, entre os tratamentos irrigado (T1) e não irrigado (T2). A) 1º Ciclo, de 09 a 23 de junho de 2015. B) 2º Ciclo, de 14 a 31 de julho de 2015. C) 3º Ciclo, 18 de agosto a 01 de setembro de 2015. Intervalo de confiança igual a 95%.

Durante o segundo ciclo de avaliação (Figura 18, B), no 14º e 17º dias, as plantas do T1 apresentaram um número relativo de folhas significativamente maior, sendo igual a 1,37, contra 1,01 do T2 no mesmo período (Figura 18, B). Para os dias anteriores, não houve diferença significativa entre os tratamentos (Figura 18, B).

Pizetta et al. (2012), estudaram a influência do déficit hídrico no desenvolvimento inicial do cafeeiro conilon, observaram que as plantas sem restrição hídrica, apresentaram maiores médias de número de folhas quando comparadas com o tratamento que foi aplicado o déficit hídrico. Pinto et al. (2008), também verificaram uma redução no número de folhas de diferentes espécies sob estresse hídrico. Busato et al. (2007), afirmam que o cafeeiro

conilon apresentou redução do número de folhas, quando submetido à disponibilidade hídrica limitada.

O resultado obtido para a área foliar relativa (Figura 19), apresentou o mesmo padrão verificado para o número relativo de folhas (Figura 18). Não houve diferença, entre tratamentos, para o primeiro e terceiro ciclos (Figura 19, A e C, respectivamente), contudo, para o segundo ciclo, após 14<sup>o</sup> e 17<sup>o</sup> dias, as plantas do T1 apresentaram valores significativamente maiores com relação às plantas do T2 (Figura 19, B).

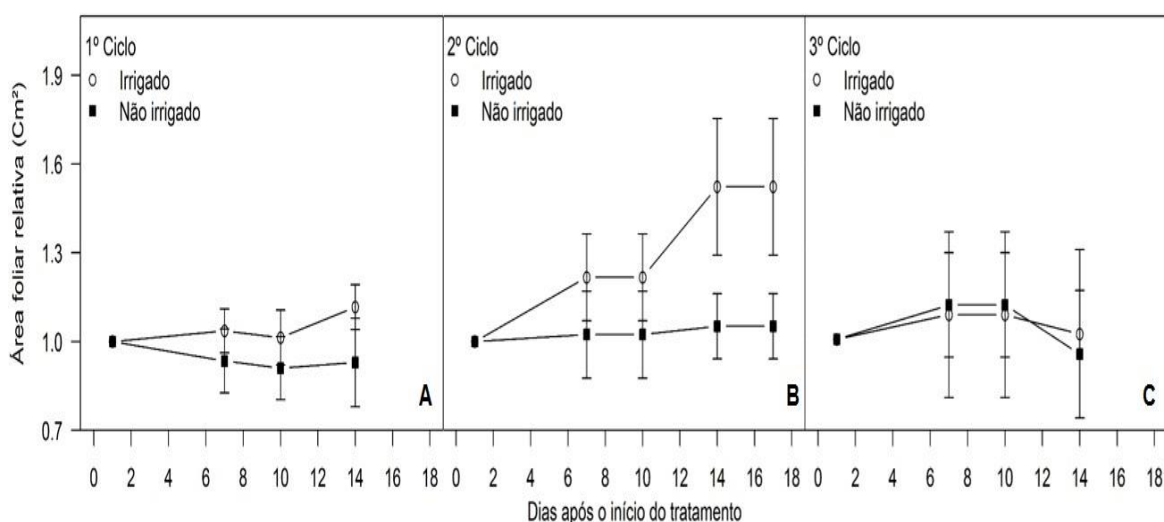


Figura 19. Área foliar relativa (Cm<sup>2</sup>), para o cafeeiro conilon, clone 12 V, entre os tratamentos irrigado (T1) e não irrigado (T2). A) 1<sup>o</sup> Ciclo, de 09 a 23 de junho de 2015. B) 2<sup>o</sup> Ciclo, de 14 a 31 de julho de 2015. C) 3<sup>o</sup> Ciclo, 18 de agosto a 01 de setembro de 2015. Intervalo de confiança igual a 95%.

A área foliar relativa, para o segundo ciclo de avaliação (Figura 19, B), no 14<sup>o</sup> e 17<sup>o</sup> dias, foi de 1,5 e 1,05 cm<sup>2</sup> para T1 e T2, respectivamente. Durante todo o ciclo, houve um incremento na área foliar das plantas do T1 de 0,5 cm<sup>2</sup> e 0,05 cm<sup>2</sup> para as plantas do T2 (Figura 19, B).

Dardengo et al. (2009), estudaram a influência da disponibilidade hídrica no crescimento inicial do cafeeiro conilon, também encontraram menores valores de área foliar com a redução da água disponível no solo. Pizetta et al. (2012), encontraram menores valores para área foliar, em plantas submetidas a déficit hídrico prolongado, demonstrando assim, maiores danos

no desenvolvimento inicial do cafeeiro conilon em períodos prolongados de estresse hídrico. Segundo Rodrigues et al. (2015b), há redução da área foliar do cafeeiro conilon, à medida que a disponibilidade hídrica do solo é reduzida, observando-se maiores reduções com o prolongamento da diminuição da água disponível no solo.

Segundo DaMatta et al. (2006), a redução da área foliar constitui-se em uma estratégia utilizada para as plantas desenvolverem-se em ambientes com restrição hídrica, uma vez que a redução da área foliar contribui para a redução da transpiração e da fotossíntese, e com isso, acarreta crescimento mais lento, e proporcionando maior economia de água no solo.

Para as demais características de crescimento avaliadas, como diâmetro relativo do caule (Figura 20) e número relativo de ramos (Figura 21), não houve diferença significativa entre os tratamentos, para os três ciclos avaliados. No geral, as médias das plantas irrigadas (T1) foram maiores, numericamente, comparadas com as plantas sob déficit hídrico (T2), para as variáveis anteriormente citadas, no decorrer dos três ciclos, exceto para o diâmetro relativo do caule, durante o segundo e terceiro ciclos (Figura 20, B e C).

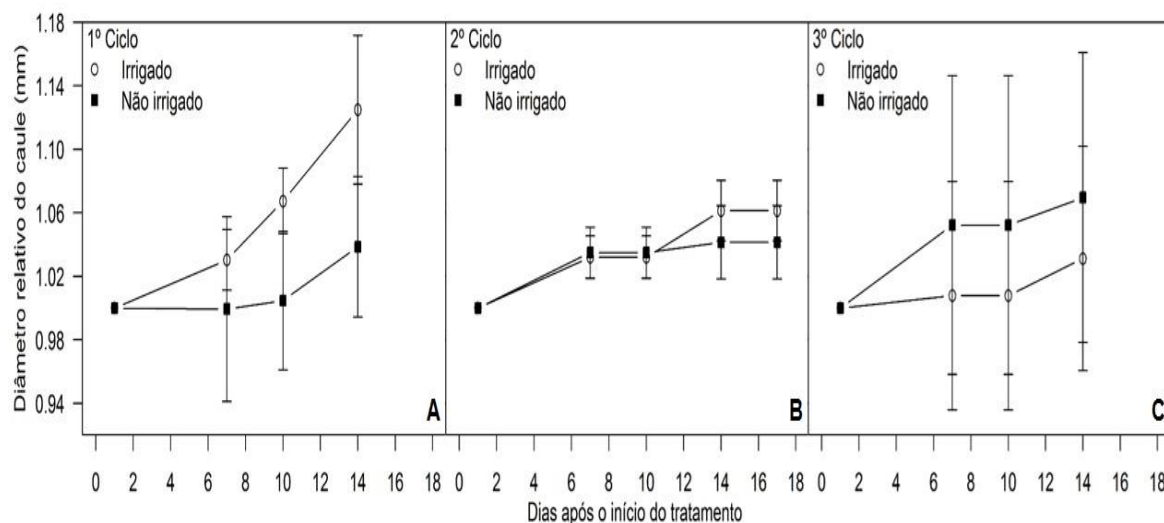


Figura 20. Diâmetro relativo do caule, em milímetros, para o cafeeiro conilon, clone 12 V, entre os tratamentos irrigado (T1) e não irrigado (T2). A) 1º Ciclo, de 09 a 23 de junho de 2015. B) 2º Ciclo, de 14 a 31 de julho de 2015. C) 3º Ciclo, 18 de agosto a 01 de setembro de 2015. Intervalo de confiança igual a 95%.



Pizetta et al. (2012), concluíram que o diâmetro do cafeeiro conilon em desenvolvimento inicial, não é afetado pelo estresse hídrico. Dardengo et al. (2009), analisaram o déficit hídrico em estágio inicial de desenvolvimento de cafeeiro conilon, e constataram que o déficit hídrico reduziu o diâmetro de caule desta espécie. Segundo Zonta et al. (2009), os menores valores de diâmetro de caule estão associados a maiores intervalos de irrigação, ou seja, maiores períodos de restrição hídrica.

Provavelmente o período de exposição ao estresse hídrico não foi suficiente para comprometer o diâmetro de caule das plantas durante a condução dos três ciclos de avaliação.

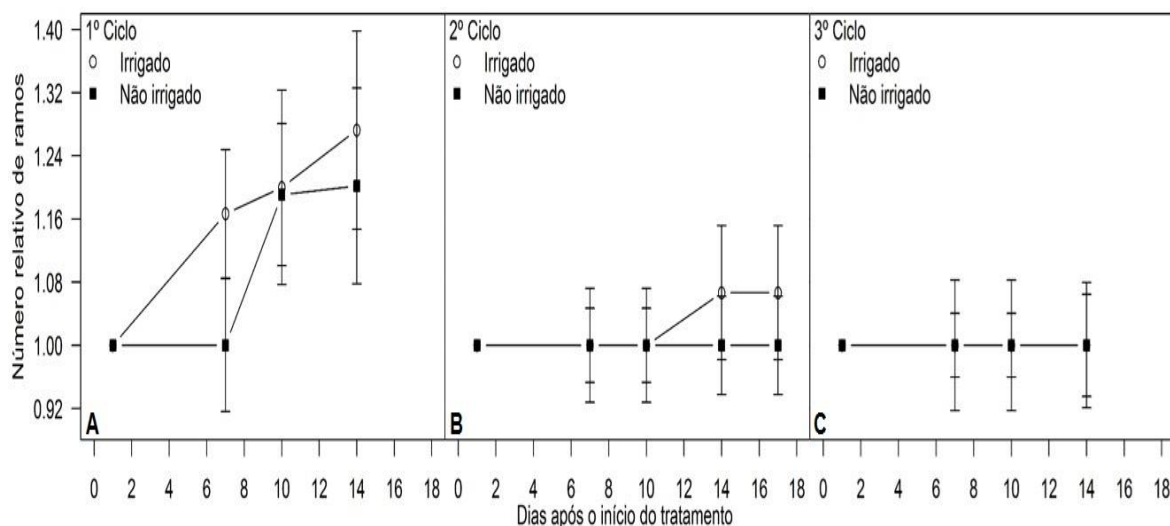


Figura 21. Número relativo de ramos, para o cafeeiro conilon, clone 12 V, entre os tratamentos irrigado (T1) e não irrigado (T2). A) 1º Ciclo, de 09 a 23 de junho de 2015. B) 2º Ciclo, de 14 a 31 de julho de 2015. C) 3º Ciclo, 18 de agosto a 01 de setembro de 2015. Intervalo de confiança igual a 95%.

O número relativo de ramos para o primeiro e segundo ciclos (Figura 21, A e B), foi maior para as plantas do T1, numericamente. Resultados parecidos foram encontrados por Alves et al. (2000), em que, as lâminas de irrigação aplicadas no cafeeiro Acaia MG-1474, não resultaram em diferenças significativas, porém, lâminas maiores de irrigação, promoveram um aumento do número de ramos plagiotrópicos, e lâminas menores, um aumento discreto.

#### 4.4. COMPRIMENTO DA NERVURA CENTRAL DA FOLHA

O Comprimento relativo da nervura central da folha (Figura 22), apresentou diferença significativa, entre os tratamentos, somente para o terceiro ciclo de avaliação (Figura 22, C).

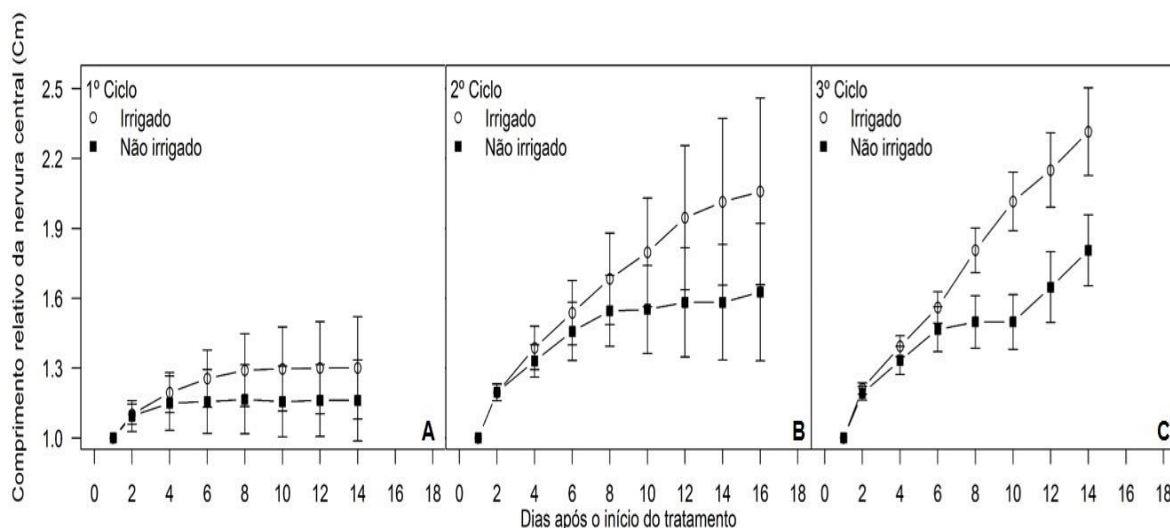


Figura 22. Comprimento relativo da nervura central da folha (cm), para o cafeeiro conilon, clone 12 V, entre os tratamentos irrigado (T1) e não irrigado (T2). A) 1º Ciclo, de 09 a 23 de junho de 2015. B) 2º Ciclo, de 14 a 31 de julho de 2015. C) 3º Ciclo, 18 de agosto a 01 de setembro de 2015. Intervalo de confiança igual a 95%.

Com o estresse hídrico aplicado durante o terceiro ciclo (Figura 22, C), o CNC do T2 apresentou menor crescimento significativo a partir do 8º dia, mantendo-se com 1,42; 1,43; 1,55; 1,72 cm de comprimento, para 8º; 10º; 12º e 14º dias, respectivamente. Com o retorno da irrigação no 10º dia, o CNC, para T2 aumentou para 1,62 cm na avaliação seguinte (12º dia), contudo, ainda menor significativamente comparado ao T1. Mesmo apresentando um aumento numérico nos valores após a irrigação, o CNC do cafeeiro conilon, para o clone 12, durante o terceiro ciclo de avaliação, foi significativamente menor em comparação ao T1, o qual teve seu crescimento relativo variando de 1 a 2,05 cm (Figura 22, C).

Para os demais ciclos avaliados (Figura 22, A e B), numericamente, o tratamento irrigado apresentou maiores valores CNC, contudo, não houve diferença significativa entre os tratamentos.

A diferença significativa entre tratamentos para o CNC, somente para o terceiro ciclo avaliado (Figura 22, C), pode estar associada com o estágio de desenvolvimento foliar das folhas medidas. Para o terceiro ciclo, antes da normalização dos dados, as folhas das plantas do T1 e T2 apresentavam, em média, comprimento de 4,5, e 5,0 cm, respectivamente. Entretanto, para o primeiro ciclo, o comprimento médio da nervura central da folha era de 9,7 e 9,5 cm para T1 e T2, respectivamente, e para o segundo ciclo, era de 6,1 e 7,6 cm para T1 e T2, respectivamente.

Batista et al. (2010), concluíram que, cafeeiros com menor potencial hídrico apresentavam menor espessura da nervura central, em comparação com cafeeiros de maiores valores de potencial hídrico. Corroborando com os autores supracitados, durante a avaliação para o CNC (Figura 22), as plantas correspondentes ao T1, e conseqüentemente com maiores resultados de  $\Psi_{AM}$  (Figura 12, C) e  $\Psi_{MD}$  (Figura 13, C), apresentaram valores significativamente maiores para CNC durante o terceiro ciclo de avaliação (Figura 22, C). Numericamente, o mesmo padrão de resposta foi verificado para o CNC durante o primeiro e segundo ciclos (Figura 22, A e B, respectivamente).

A condição hídrica influencia diretamente a anatomia e o desenvolvimento foliar (Silva et al., 2005; Castro et al., 2009). Segundo Batista et al. (2010), as características da estrutura das folhas podem ser importantes para discriminar o nível de tolerância para o estresse hídrico. O aumento da nervura central pode estar relacionado com um maior fluxo de fotossintatos e/ou translocação de água, necessária na manutenção da turgidez celular das folhas. Portanto, a diminuição gradativa da umidade do solo (Figura 11, C) durante o terceiro ciclo para o T2, influencia em valores mais negativos de  $\Psi_{AM}$  (Figura 12, C) e  $\Psi_{MD}$  (Figura 13, C), o que acarreta na diminuição da Gs (Figura 14, C), da E (Figura 15, C) e conseqüentemente da A (Figura 16, C), diminuindo a translocação de água e fotossintatos.

A limitação do crescimento do CNC foi uma resposta ao déficit hídrico pois, logo após o retorno da irrigação no 10º dia, ocorre imediato retorno do crescimento do CNC para o T2 (Figura 22, C). Nota-se que, para o mesmo

período, os valores do  $\Psi_{AM}$  (Figura 12, C) e  $\Psi_{MD}$  (Figura 13, C), da  $G_s$  (Figura 14, C) e da  $A$  (Figura 15, C), não apresentavam diferença significativa entre os tratamentos.

#### 4.5. CALIBRAÇÃO DO SENSOR DE FLUXO DE SEIVA

Para a calibração dos sensores de fluxo de seiva, foram utilizados dados diários diurnos da evapotranspiração de referência diária ( $ET_o$  em  $mm.h^{-1}$ ) durante o período antecedente ao início das avaliações (Figura 23).

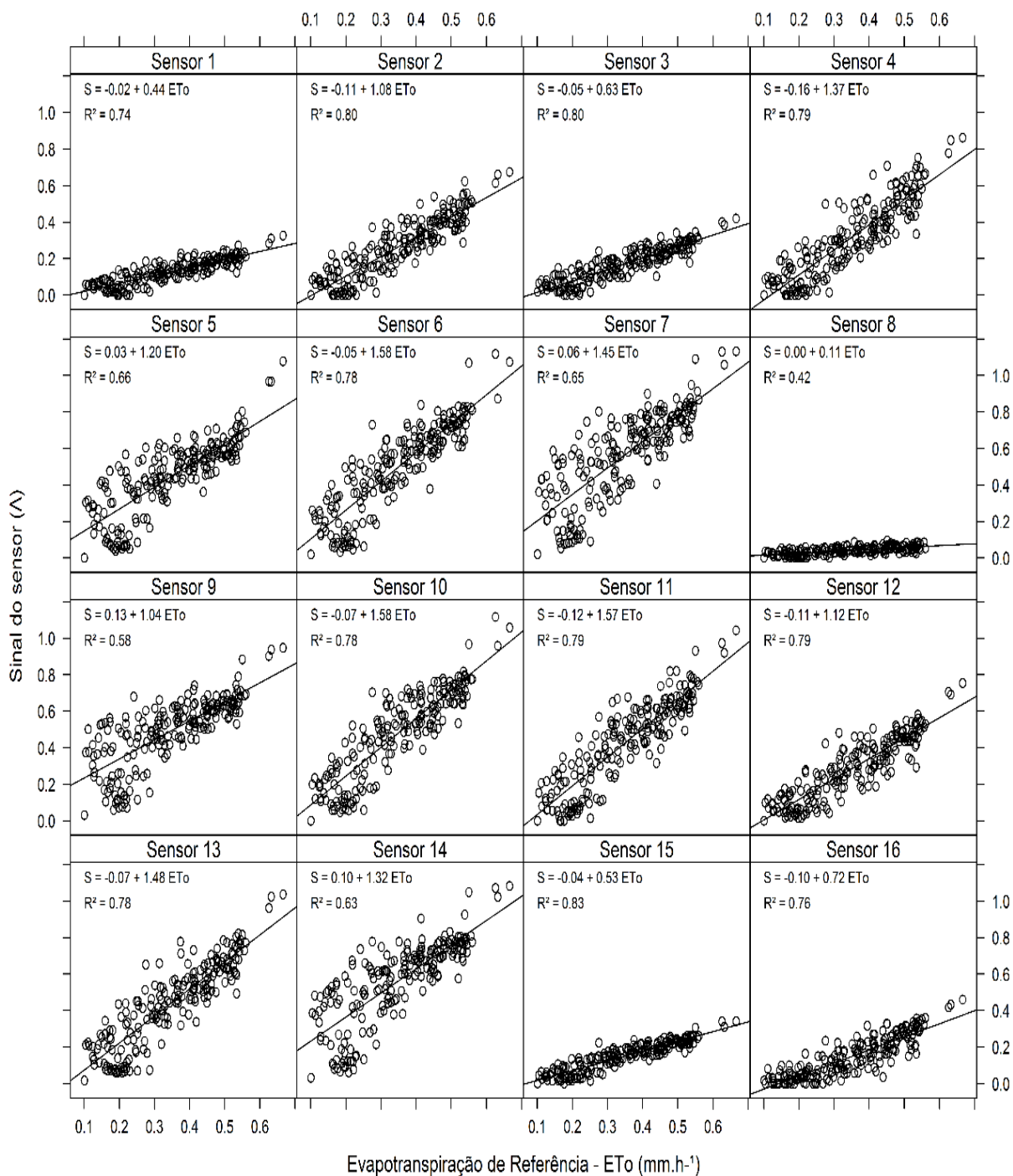


Figura 23. Relação entre sinal real do sensor ( $\Delta$ ) e a evapotranspiração de referência diária ( $ETo$ ) diurna em  $mm.h^{-1}$ , para cada sensor (sensor 1 a 16) de cada planta de cafeeiro conilon, clone 12 V, avaliados.

Observa-se uma correlação linear positiva entre o sinal de cada sensor ( $\Delta$ ) e a  $ETo$  horária, com valores de  $R^2$  iguais a 0,74; 0,8, 0,8; 0,79; 0,66; 0,78; 0,65; 0,42; 0,58; 0,78; 0,79; 0,79; 0,78; 0,63; 0,83; e, 0,76, para os sensores 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15 e 16, respectivamente (Figura 23).

No geral, o modelo de sensor proposto apresentou boa correlação com a ETo com base no coeficiente de determinação, exceto pelos sensores 8 e 9, com baixo valor de  $R^2$  (0,42 e 0,58, respectivamente), porém, com correlação linear satisfatória (Figura 23). O sinal dos sensores 8 e 9 (Figura 23), pode ter sido influenciado devido à baixa resposta a ETo, por particularidades quanto às suas características próprias de construção, ou restrição quanto à sua posição e/ou instalação no ramo do cafeeiro. Os resultados corroboram com Conejero et al. (2006), após estudarem o fluxo de seiva pela técnica da compensação do pulso de calor, em pessegueiro, sob déficit hídrico e recuperação após o estresse, também encontram correlação linear entre o sinal do sensor e a ETo com valor de  $R^2$  igual a 0,77.

#### 4.6. COEFICIENTE DE ESTRESSE HÍDRICO

Para as plantas analisadas, obteve-se uma relação, estatisticamente significativa, entre sinal real do sensor ( $\Lambda$ ) e a evapotranspiração de referência (ETo) em uma situação de irrigação plena (T1). Isto possibilitou a elaboração de um coeficiente de estresse hídrico, em que o valor 0 (zero) indica ausência de estresse e 1 (um) indica o máximo estresse (sem transpiração). Para o tratamento T2, o coeficiente variou dentro da faixa estimada, sendo possível identificar o status hídrico das plantas, com diferença estatisticamente significativa em relação ao tratamento T1 (Figuras 24, 25 e 26).

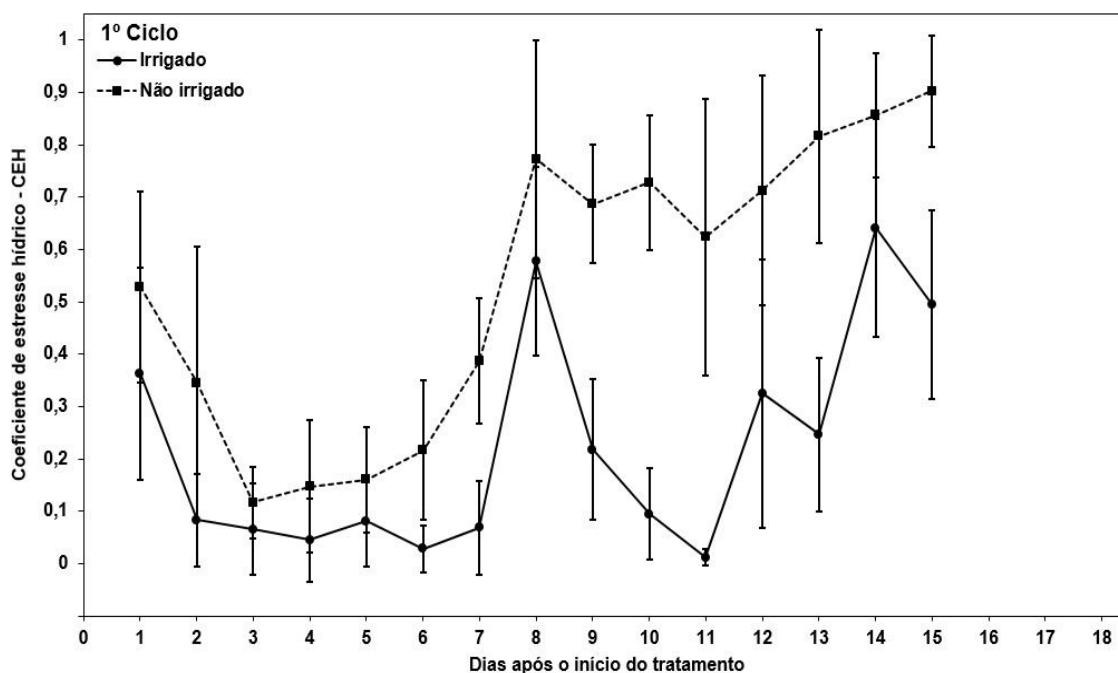


Figura 24. Coeficiente de estresse hídrico para o 1º ciclo de avaliação (09 a 23 de junho de 2015), variando de 0 (sem estresse hídrico) a 1 (máximo estresse hídrico), entre os tratamentos irrigado (T1) e não irrigado (T2), para o cafeeiro conilon, clone 12 V. Intervalo de confiança igual a 95%.

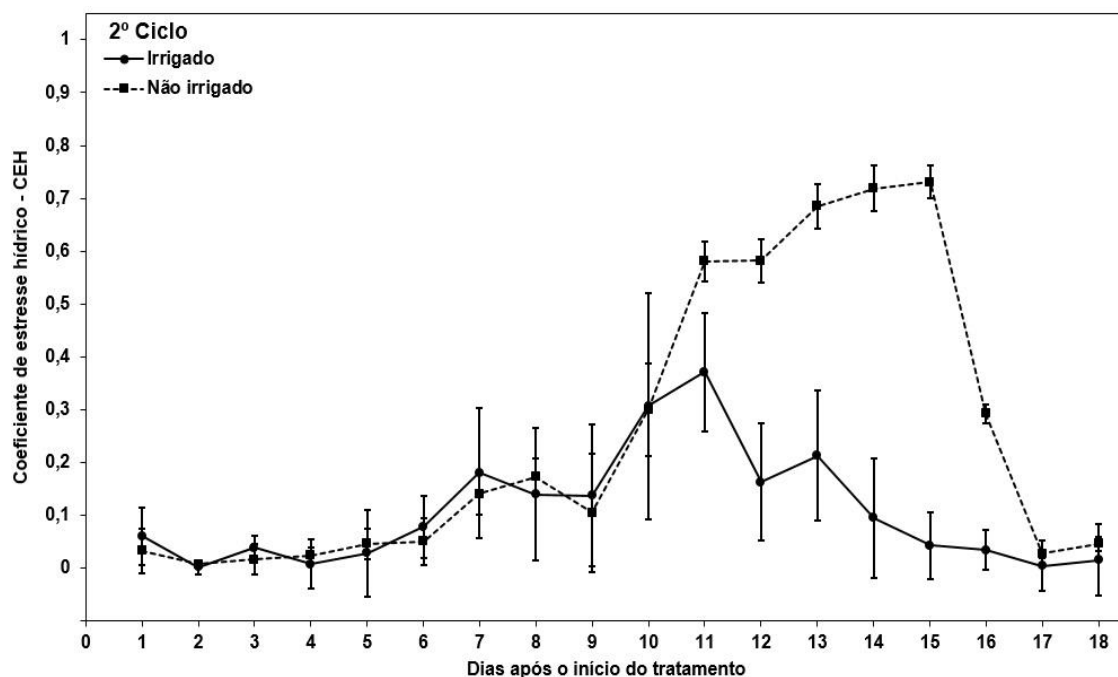


Figura 25. Coeficiente de estresse hídrico para o 2º ciclo de avaliação (14 a 31 de julho de 2015), variando de 0 (sem estresse hídrico) a 1 (máximo estresse hídrico), entre os tratamentos irrigado (T1) e não irrigado (T2), para o cafeeiro conilon, clone 12 V. Intervalo de confiança igual a 95%.

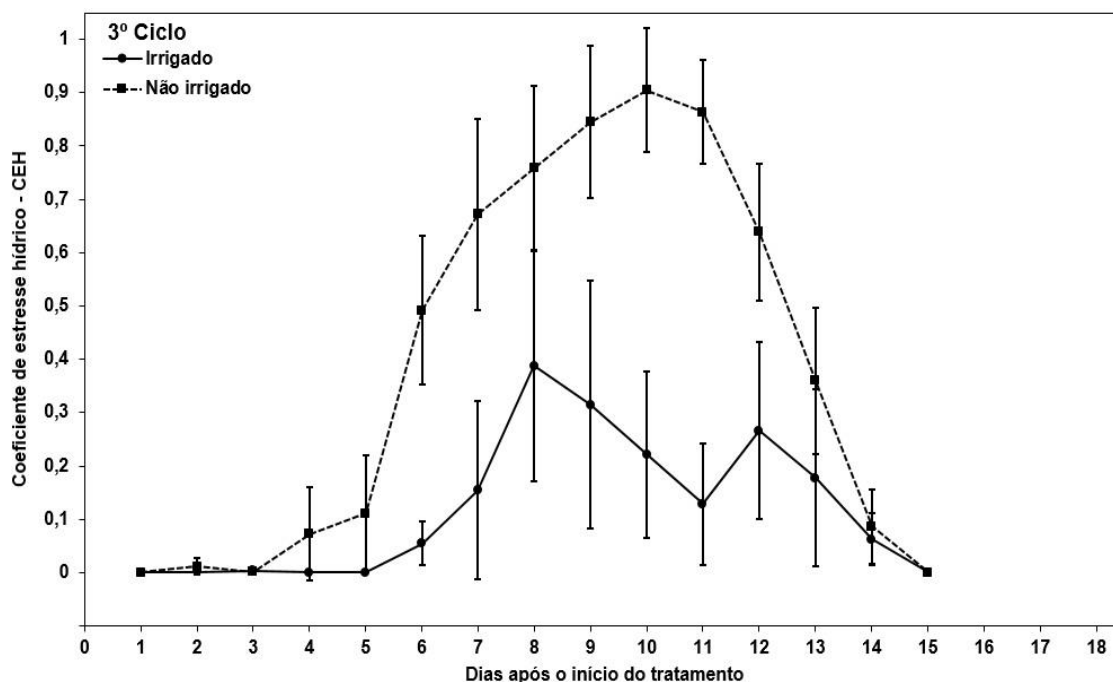


Figura 26. Coeficiente de estresse hídrico para o 3º ciclo de avaliação (18 de agosto a 01 de setembro de 2015), variando de 0 (sem estresse hídrico) a 1 (máximo estresse hídrico), entre os tratamentos irrigado (T1) e não irrigado (T2), para o cafeeiro conilon, clone 12 V. Intervalo de confiança igual a 95%.

No decorrer do primeiro ciclo, o CEH para o T1 (Figura 24), variou de 0,0 a 0,6, e para o T2, de 0,1 a 0,9. Após o 6º dia, o T2 apresentou aumento significativo do CEH até o final do ciclo, reflexo do déficit hídrico aplicado. Para o 8º, 12º e 14º dias, não houve diferença significativa entre os tratamentos, pois houve um aumento do valor do CEH das plantas do T1.

No segundo ciclo de avaliação, o CEH para as plantas do T2 (Figura 25), apresentou um aumento gradativo e diferenciou-se significativamente do T1, no período do 11º ao 16º dias. As plantas do T2 tiveram uma variação do CEH de 0,0 no 1º dia, a 0,73 no 10º dia, entretanto, para as plantas do T1, a variação do CEH foi de 0,37 a 0,0. Às 16:00 horas do 14º dia, ocorreu o retorno da irrigação das plantas do T2 e conseqüentemente, para o 16º dia, ocorreu a diminuição do valor do CEH, contudo, ainda apresentando diferença significativa com relação ao T1. Nos dias seguintes (17º e 18º dia), os valores do CEH entre os tratamentos T1 e T2 não apresentaram diferenças significativas, ou seja, as plantas do T2 estavam igualmente hidratadas, comparadas com as plantas do T1.



Durante todo o segundo ciclo o CEH (Figura 25), para as plantas do T1 e T2, variou de 0,0 (valor mínimo) para 0,37 e 0,73 (valor máximo), respectivamente.

No terceiro ciclo (Figura 26), o padrão de resposta do CEH para as plantas do T1 e T2, foi semelhante aos ciclos anteriores (Figuras 24 e 25). Para o T1, o CEH variou entre 0,0 a 0,38, correspondendo ao mínimo e máximo valor, respectivamente, alcançados para o terceiro ciclo (Figura 26). As plantas do T2, apresentaram CEH significativamente maior, variando de 0,0 a 0,9, entre o 1º e 10º dia, alcançando o máximo valor do CEH. Para o ciclo em questão, após a irrigação no 10º dia, observa-se a diminuição do valor do CEH para o T2, no 11º e 12º dias, porém, ainda significativamente maior comparado às plantas do T1. Para os dias seguintes (13º, 14º e 15º dias), o CEH das plantas não apresentou diferença significativa entre os tratamentos (Figura 26).

Foi observado um aumento do valor do CEH do T1, no 8º, 12º e 14º dia para o primeiro ciclo (Figura 24), entre o 10º e 14º dia para o segundo ciclo (Figura 25) e no 8º e 12º dias para o terceiro ciclo (Figura 26). O aumento do CEH para o T1 (Figura 24, 25 e 26) sugere baixo fluxo de seiva, consequentemente relacionado a uma baixa transpiração das plantas nos dias em questão. Percebe-se, para o mesmo período, valores maiores da UR e menores da Tmax e Tmed (Figura 08, 09 e 10). Baixas temperaturas afetam negativamente a condutância estomática e a transpiração (Praxedes et al., 2006; Partelli et al., 2009; 2010; 2011a; 2011b; Fernandes et al., 2012). Segundo Pimentel et al. (2010), o fluxo de seiva diminui influenciado por baixas temperaturas e alta umidade relativa do ar, apresentando correlação entre as variáveis com valor de R<sup>2</sup> igual a 0,6 e 0,7, respectivamente.

#### 4.7. UMIDADE DO SOLO E O COEFICIENTE DE ESTRESSE HÍDRICO

A Figura 27 indica a relação entre a umidade do solo e o CEH, para os três ciclos avaliados.

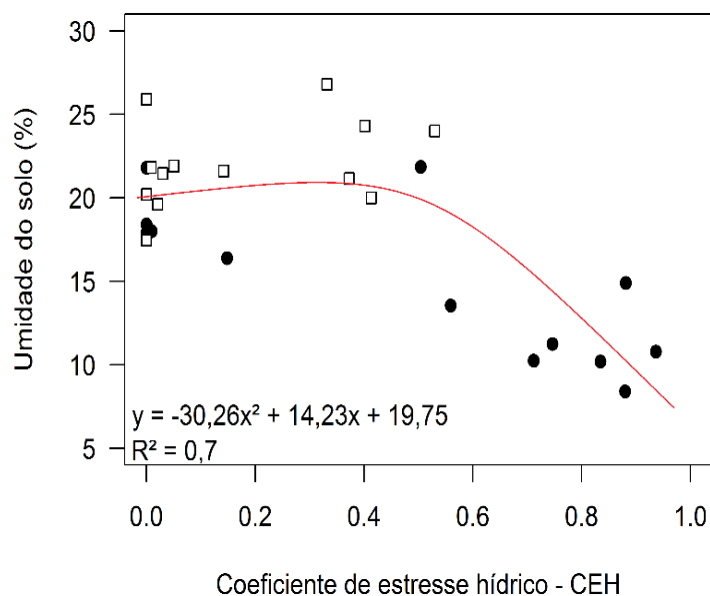


Figura 27. Relação entre a umidade do solo (%) e o coeficiente de estresse hídrico (CEH), entre os tratamentos irrigado (T1 - quadrado) e não irrigado (T2 - círculo), para o cafeeiro conilon, clone 12 V, durante o período de 09 de junho a 01 de setembro de 2015.

Para o T1, durante cada ciclo, e para o T2, quando no início de cada ciclo, observa-se valores elevados de umidade do solo, e valores mais próximos de 0,0 para o CEH, contudo, com a diminuição da umidade do solo (T2) ocorre o aumento dos valores do CEH (Figura 27). A relação entre as duas variáveis apresentou valor de  $R^2$  igual a 0,7 (Figura 27).

Durante os três ciclos de avaliação, nota-se que a umidade do solo, para o T1 variou entre 17,45 a 26,80%, e o CEH entre 0,0 a 0,5. Mas, para o T2, a porcentagem de umidade do solo variou de 21,85 a 8,40%, já o CEH variou de 0,0 a 0,9.

#### 4.8. POTENCIAL HÍDRICO FOLIAR ANTEMANHÃ ( $\Psi_{AM}$ ) E AO MEIO DIA ( $\Psi_{MD}$ ), E O COEFICIENTE DE ESTRESSE HÍDRICO

O  $\Psi_{AM}$  com relação ao CEH (Figura 28, A), para as plantas do T1, observa-se valores de -0,1 a -0,3 MPa, e 0,0 a 0,5, respectivamente. Para o T2, no início de cada ciclo, os valores de  $\Psi_{AM}$  apresentaram o mesmo comportamento das plantas do T1, contudo, com o decorrer do agrave do

déficit hídrico, o  $\Psi_{AM}$  diminuiu passando de -0,1 para -2,2 MPa. Conseqüentemente, os valores de CEH acompanharam a variação do  $\Psi_{AM}$ , aumentando o valor de 0,0 (início dos ciclos) para 0,9 (final dos ciclos) (Figura 28, A).

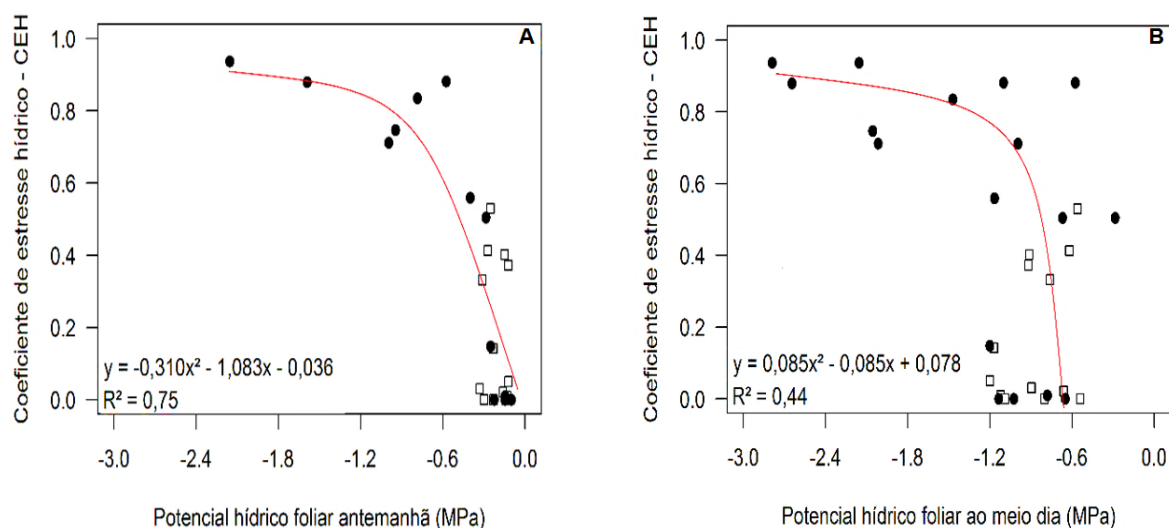


Figura 28. Relação entre o coeficiente de estresse hídrico (CEH) e o potencial hídrico foliar, para o cafeeiro conilon, clone 12 V, entre os tratamentos irrigado (T1 – quadrado) e não irrigado (T2 – círculo), durante o período de 09 de junho a 01 de setembro de 2015. A) Potencial hídrico foliar antemanhã ( $\Psi_{AM}$ ) em MPa. B) Potencial hídrico foliar ao meio dia ( $\Psi_{MD}$ ) em MPa.

O  $\Psi_{MD}$  relacionado com o CEH (Figura 28, B) apresenta a mesma tendência de resposta observada para o  $\Psi_{AM}$  e o CEH (Figura 28, A), porém, com um aumento da dispersão dos resultados. As plantas do T1 obtiveram valores de  $\Psi_{MD}$  variando de -0,5 a -1,2 MPa, e dentro desse intervalo, o CEH variou de 0,0 a 0,5 (Figura 28, B). No entanto, para as plantas sob estresse hídrico (T2), ocorre um aumento do CEH concomitantemente com a diminuição  $\Psi_{MD}$ , ou seja, dentro do intervalo de variação do  $\Psi_{MD}$  (-0,6 a -2,7 MPa), o CEH aumentou de 0,0 para 0,9 (Figura 28, B).

A relação entre  $\Psi_{AM}$  e  $\Psi_{MD}$  com CEH apresentou valor de  $R^2$  igual a 0,75 e 0,44, respectivamente, indicando melhor adequação do  $\Psi_{AM}$  com o modelo proposto (Figura 28, A e B). O potencial hídrico de antemanhã tem sido considerado um indicativo do estado hídrico das plantas, bem como da

quantidade de água disponível no solo, uma vez que há tendência de equilíbrio entre as condições hídricas da planta e do solo (Silva et al., 2003; Larcher, 2004; Taiz e Zeiger, 2009). Portanto, pode-se inferir o estado hídrico da planta pelo CEH devido à boa correlação do mesmo com o  $\Psi_{AM}$ .

A Figura 28 (A e B) indica, durante a condução dos ciclos para o T1, e no início de cada ciclo, quando as plantas não estão sob influência do estresse hídrico para o T2, grande variação do valor do CEH entre 0,0 e 0,5 e baixa variação do  $\Psi_{AM}$  e  $\Psi_{MD}$ , entre 0,0 e -0,5 MPa e -0,5 e -1,3 MPa, respectivamente. Porém, com o agrave do estresse hídrico (T2), ocorre a diminuição da variação dos valores do CEH entre 0,6 e 0,9, e aumento da variação do  $\Psi_{AM}$  e  $\Psi_{MD}$ , com valores entre -0,6 e -2,3 MPa e -0,6 e -2,5 MPa, respectivamente.

#### 4.9. CONDUTÂNCIA ESTOMÁTICA E O COEFICIENTE DE ESTRESSE HÍDRICO

A relação entre a Gs e o CEH está indicada na Figura 29.

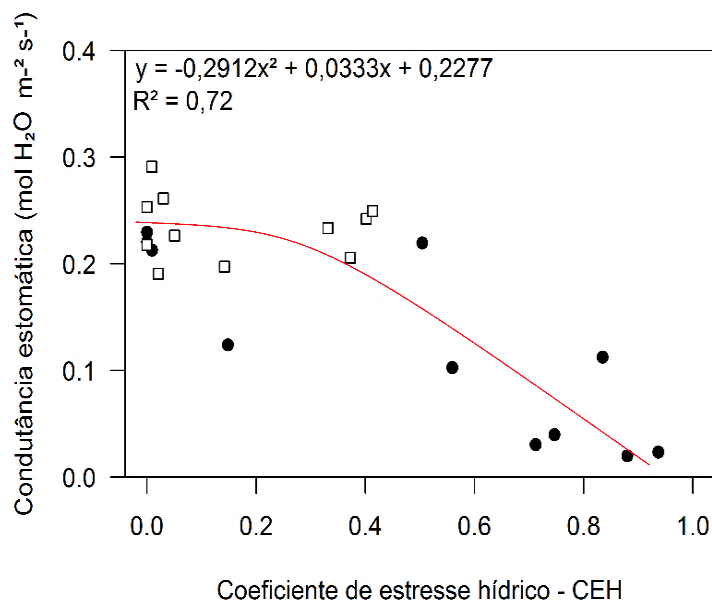


Figura 29. Relação entre a condutância estomática (mol H<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>) e o coeficiente de estresse hídrico (CEH), para o cafeeiro conilon, clone 12 V, entre os tratamentos irrigado (T1 - quadrado) e não irrigado (T2 - círculo), durante o período de 09 de junho a 01 de setembro de 2015.

Durante a avaliação dos ciclos, observa-se, para as plantas do T1, valores de CEH mais baixos, variando entre 0,0 a 0,5 e valores de Gs entre 0,09 a 0,34 mol H<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> (Figura 29). Contudo, para as plantas do T2, observa-se um declínio da Gs, concomitante com o aumento do CEH, com valores variando entre 0,23 a 0,02 mol H<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>, e 0,0 a 0,9, respectivamente (Figura 29). A Gs e o CEH, apresentaram relação polinomial com valor de R<sup>2</sup> igual a 0,72 (Figura 29).

No início de cada ciclo de avaliação, todas as plantas estavam na mesma condição de umidade no solo, portanto, com o avanço dos dias e consequentemente, com a redução da umidade do solo, há a diminuição de água disponível para a planta, e redução da sua transpiração, acarretando no aumento do CEH e diminuição da condutância estomática, para as plantas do T2 (Figura 29).

#### 4.10. TRANSPIRAÇÃO E O COEFICIENTE DE ESTRESSE HÍDRICO

A Figura 30 indica a relação entre o CEH e a E do cafeeiro conilon clone 12, para os três ciclos avaliados.

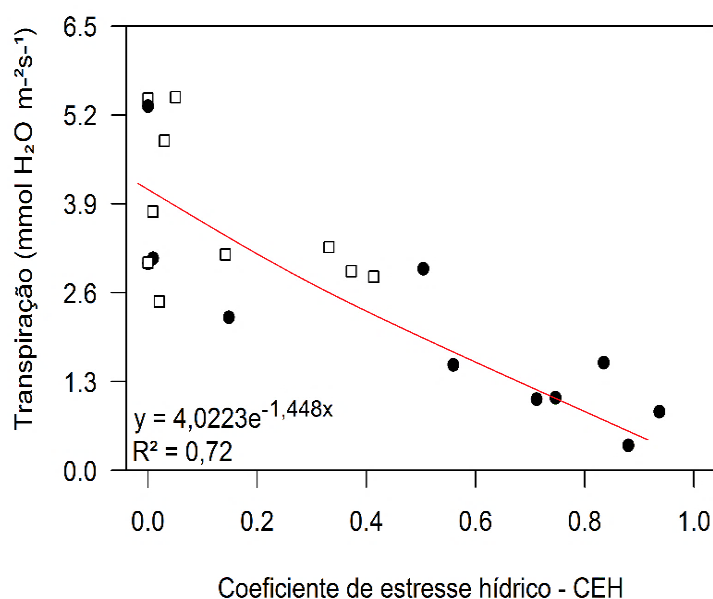


Figura 30. Relação entre a transpiração (mmol H<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>) e o coeficiente de estresse hídrico (CEH), para o cafeeiro conilon, clone 12 V, entre os tratamentos irrigado (T1 - quadrado) e não irrigado (T2 - círculo), durante o

Figura 30, Cont. período de 09 de junho a 01 de setembro de 2015.

A transpiração das plantas, do T1 e T2 obedeceu uma relação exponencial com o CEH, com valor de  $R^2$  igual a 0,72 (Figura 30). Quando não há restrição hídrica para as plantas, neste caso, para o T1 e início dos ciclos para o T2, as mesmas possuem valores elevados de E e valores de CEH mais próximos de zero. Com a diminuição da E, ocorre o aumento do CEH, se aproximando de 1 (Figura 30).

Durante o decorrer dos três ciclos, para o T1, e no início de cada ciclo para o T2, os valores da E variaram entre 1,9 a 5,4  $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$  para o T1 e 0,3 a 5,3  $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$ . Os valores da E mais altos como 5,4 e 5,3  $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , encontram-se mais próximos do valor zero do CEH, contudo, com a diminuição dos valores da E para 1,9 e 0,3  $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , o valor do CEH aumentou, ficando próximo de um.

#### 4.10.1 COEFICIENTE DE ESTRESSE HÍDRICO BASEADO NA TRANSPIRAÇÃO ( $\text{CEH}_t$ ) E O COEFICIENTE DE ESTRESSE HÍDRICO (CEH)

Com base na medição da transpiração das plantas de cafeeiro conilon, clone 12, com o equipamento portátil para medições de trocas gasosas por infravermelho (IRGA), foi proposto um  $\text{CEH}_t$ . A Figura 31 indica os valores do CEH e do  $\text{CEH}_t$ , para as plantas do T2.

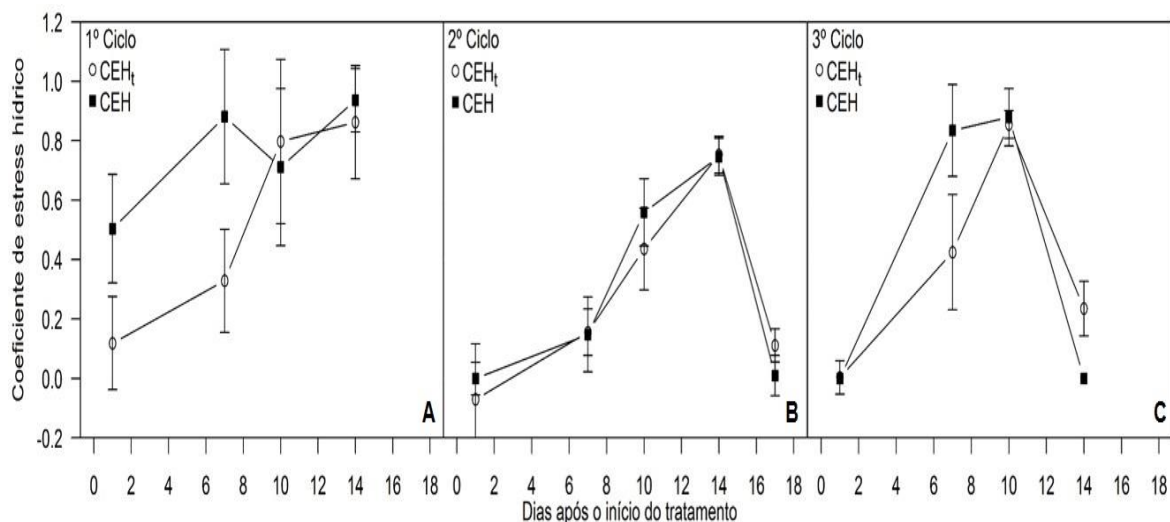


Figura 31. Coeficiente de estresse hídrico baseado na medição da transpiração ( $CEH_t$ ) e pelo sensor de fluxo de seiva proposto (CEH), para o cafeeiro conilon, clone 12 V, para o tratamento não irrigado (T2). A) 1º Ciclo, de 09 a 23 de junho de 2015. B) 2º Ciclo, de 14 a 31 de julho de 2015. C) 3º Ciclo, 18 de agosto a 01 de setembro de 2015. Intervalo de confiança igual a 95%.

Para o primeiro ciclo (Figura 31, A), o  $CEH_t$  apresentou valor significativamente menor, para o 1º e 7º dias após o início da aplicação dos tratamentos, com relação ao CEH. Nos dias conseguintes, não houve diferença significativa entre os valores do  $CEH_t$  e do CEH. Também foi verificada diferença significativa para o terceiro ciclo (Figura 31, C), no 7º e 14º dia, nos demais dias não houve diferença significativa entre os coeficientes. Mas, para o segundo ciclo (Figura 31, B), durante todo o período de avaliação, não houve diferença significativa entre o CEH e  $CEH_t$ .

O CEH é baseado na medição do fluxo de seiva afim de estimar a transpiração potencial da planta, já o  $CEH_t$  é calculado com base na medição da transpiração real da planta aferida pelo equipamento IRGA. No geral, percebe-se pouca diferença entre os dois coeficientes de estresse hídrico, ressaltando maior confiabilidade dos resultados calculados para o CEH. O CEH e o  $CEH_t$  refletem a condição hídrica da planta, em condições de baixa disponibilidade de água (valores próximos de 1,0) ou em condições de água facilmente disponível (valores próximos de 0,0).

#### 4.11. FOTOSSÍNTESE E O COEFICIENTE DE ESTRESSE HÍDRICO

O CEH obteve relação polinomial com a fotossíntese, com valor de  $R^2$  igual a 0,78 (Figura 32).

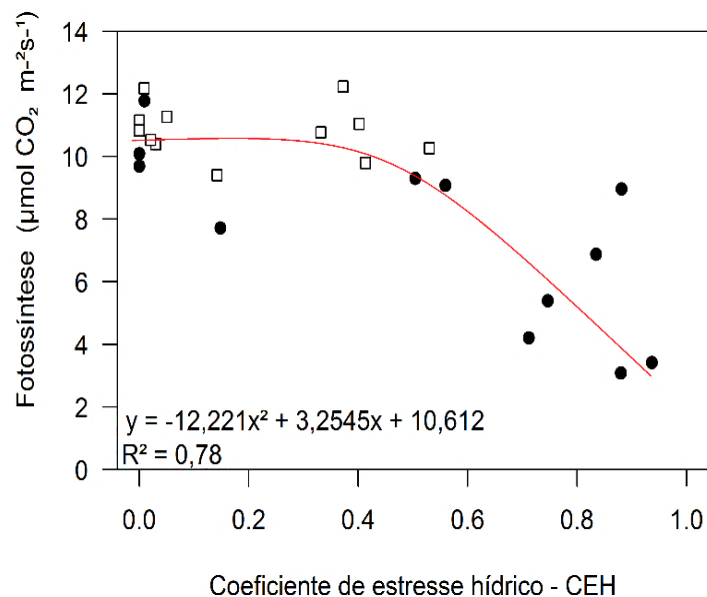


Figura 32. Relação entre a fotossíntese ( $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ) e o coeficiente de estresse hídrico (CEH), para o cafeeiro conilon, clone 12 V, entre os tratamentos irrigado (T1 - quadrado) e não irrigado (T2 - círculo), durante o período de 09 de junho a 01 de setembro de 2015.

Durante os três ciclos de avaliação, percebe-se uma tendência em que as plantas do T1 possuem menores valores de CEH, variando entre 0,0 a 0,5, e maior valor de fotossíntese, variando entre 6,35 a  $12,23 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  (Figura 32). No entanto, as plantas do T2, no início de cada ciclo, apresentaram uma relação semelhante ao T1, porém, no decorrer dos dias, há a diminuição da taxa fotossintética devido ao déficit hídrico aplicado, e conseqüentemente o aumento do CEH, com valores de fotossíntese, para o T2 variando de 11,7 (no início dos ciclos) a 3,0 (no final dos ciclos)  $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ , e o CEH de 0,0 a 0,9 (Figura 32).

As taxas de fotossíntese líquidas, para o cafeeiro conilon, são relativamente baixas, registrando-se valores máximos em torno de  $11 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  comparadas a outras espécies lenhosas (DaMatta et al., 2000; Lima



et al., 2002; DaMatta, 2003; Pinheiro et al., 2004; 2005; Ronchi et al., 2005; Praxedes et al., 2006). Contudo, para o cafeeiro conilon, clone 12, foi observada uma variação do valor da taxa de fotossíntese, sem o estresse hídrico, entre 7 a 13  $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ , sendo superior aos valores encontrados na literatura consultada.

Durante o início de cada ciclo, o cafeeiro apresentava valores estatisticamente iguais de umidade do solo,  $\Psi_{AM}$  e  $\Psi_{MD}$ , Gs, E e A, entre os tratamentos (Figuras 27, 28, 29, 30 e 32, respectivamente), todavia, com o agravante do estresse hídrico para o T2, ocorre a queda dos valores das variáveis em questão, concomitante com o aumento do CEH. Nota-se que a diminuição dos valores de umidade do solo,  $\Psi_{AM}$  e  $\Psi_{MD}$ , Gs, E e A (Figuras 27, 28, 29, 30 e 32, respectivamente), inicia-se entre os valores 0,4 a 0,6 para o CEH. A relação entre o CEH e umidade do solo,  $\Psi_{AM}$  e  $\Psi_{MD}$ , Gs, E e A (Figuras 27, 28, 29, 30 e 32, respectivamente), sugere um valor crítico para o CEH entre 0,4 a 0,6 para as plantas de cafeeiro conilon, clone 12 V, em estágio inicial de desenvolvimento, no período de junho a setembro, submetidas ao déficit hídrico.

## 5. RESUMO E CONCLUSÕES

A altura, o número de folhas e a área foliar do cafeeiro conilon, bem como o potencial hídrico foliar antemanhã e ao meio dia, a condutância estomática, a transpiração e a fotossíntese, foram afetados negativamente pelo estresse hídrico aplicado.

O Comprimento da nervura central apresentou sensibilidade ao estresse hídrico, para o cafeeiro conilon, clone 12 V.

O CEH apresentou boa correlação com a porcentagem de umidade do solo, com o potencial hídrico foliar antemanhã, com a condutância estomática, com a transpiração e com a fotossíntese do cafeeiro conilon, clone 12 V.

O sensor de fluxo de seiva proposto pode ser usado na determinação do fluxo de seiva em plantas jovens de cafeeiro conilon, clone 12 V, bem como, na elaboração do CEH e estimar o status hídrico da cultura.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Allen R.G., Pereira, L., Raes, D., Smith, M. (1998) Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements. *FAO: Irrigation and Drainage Paper*, 56.
- Allen, S.J., Grime, V.L. (1995) Measurements of transpiration from savannah shrubs using sap flow gauges. *Agricultural and Forest Meteorology*, 75: 23-41.
- Almeida, C. A. B. (2012) *Transpiração em Coffea canephora: lisimetria, fluxo de seiva e balanço hídrico*. Tese (Doutorado em Tecnologias Energéticas e Nucleares) - Recife - PE, Universidade Federal de Pernambuco. 112p.
- Alves, E.L. (1999) *Desenvolvimento de um sistema de medição dos fluxos de transpiração líquida para a cultura de cana-de-açúcar a partir do fluxo de seiva*. Tese (Mestrado) - Campinas - SP, Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP, 71p.
- Alves, M.E.B., Faria, M.A., Guimarães, R.J., Muniz, J.A., Silva, E.L. (2000) Crescimento do cafeeiro sob diferentes lâminas de irrigação e fertirrigação. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.4, n.2, p.219-225.

- Améglio, T., Archer, P., Cohen, M., Valancogne, C., Daudet, F.A., Dayau, S., Cruiziat, P. (1999) Significance and limits in the use of predawn leaf water potential for tree irrigation. *Plant Soil*, 207:155-167.
- Améglio, T., Archer, P., Cruiziat, P., Daudet, F. A., Cohen, M., Valancogne, C., Dayau, S. (1997) A limit in the use of predawn leaf water potential for tree irrigation. *Acta Horticulturae*, 449:431-436.
- Anandacoomaraswamy, A., Costa, W.A.J.M., Shyamalie, H.W., Campbell, G.S. (2000) Factors controlling transpiration of mature field-grown tea and its relationship with yield. *Agricultural and Forest Meteorology*, 103: 375-386.
- Andrade, M.A.F. (2011) *Relações hídricas e crescimento de plantas jovens de café sob diferentes regimes hídricos e dose de N e K*. Tese (Mestrado em Agronomia) - Vitória da Conquista – BA, Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, 55p.
- Angelocci, L. R. (2002) *Água na planta e trocas gasosas/ energéticas com a atmosfera: Introdução ao tratamento biofísico*. Piracicaba: O autor, 268p.
- Angelocci, L. R., Marin, F. R., Oliveira, R. F., Righi, E. Z. (2004) Transpiration, leaf diffusive conductance, and atmospheric water demand relationship in an irrigated acid lime orchard. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, Londrina, v. 16, p. 53-64.
- Araujo, M.C. (2003) *Demanda hídrica e distribuição de raízes do coqueiro anão verde (Cocos nucifera L.) na Região Norte Fluminense*. Tese (Mestrado em Produção Vegetal) - Campos dos Goytacazes - RJ, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro - UENF, 46p.
- Araújo, W.L. (2006) *Limitações da fotossíntese e metabolismo do carbono em folhas de diferentes posições da copa do cafeeiro (Coffea arabica L.)*. Tese (Mestrado em Fisiologia Vegetal) - Viçosa - MG, Universidade Federal de Viçosa - UFV, 39p.
- Arruda, F.B., Iaffe, A., Weill, M.A.M., Sakai, M., Calheiros, R.O. (2000) Resultados do consumo de água e do coeficiente de cultura do cafeeiro a

partir do controle da umidade do solo em Pindorama. *Anais do Simpósio De Pesquisas Dos Cafés Do Brasil*, 1, Poços de Caldas, p.775-778.

- Baker, J.M., Van Bavel, C.H.M. (1987) Measurement of mass flow of water in the stem of herbaceous plants. *Plant, Cell and Environment*, 10: 777-782.
- Barbosa, D.H.S.G., Vieira, H.D., Partelli, F.L., Souza, R.M. (2006) Estabelecimento de normas DRIS e diagnóstico nutricional do cafeeiro arábica na região noroeste do Estado do Rio de Janeiro. *Ciência Rural*, 36 (6):1717-1722.
- Barros, R.S., Maestri, M., Coons, M.P. (1978) The physiology of flowering in coffee: a review. *Journal of coffee research*, v. 8, p. 29-72.
- Batista, L.A., Guimarães, R.J., Pereira, F.J., Carvalho, G.R., Castro, E.M. (2010) Anatomia foliar e potencial hídrico na tolerância de cultivares de café ao estresse hídrico. *Revista Ciência Agronômica*, v. 41, n. 3, p. 475-481.
- Bergonci, J.I., Pereira, P.G. (2002) Comportamento do potencial da água na folha e da condutância estomática do milho em função da fração de água disponível no solo. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, 10 (2): 229-235.
- Berthaud, J. (1985) *Les ressources génétiques pour l'amélioration des caféiers africains diploïdes. Evaluation de la richesse génétique des populations sylvestres et de ses mécanismes organisateurs. Conséquences pour l'application*. Paris: ORSTOM, 379p. (Document ORSTOM n. 1988).
- Blaikie, S.J., Chacko, E.K. (1998) Sap flow, leaf gas exchange and chlorophyll fluorescence of container-grown cashew (*Anacardium occidentale* L.) trees subjected to repeated cycles of soil drying. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 38: 305-311.
- Boehringer, D. (2010) *Determinação da transpiração da cana-de-açúcar por métodos térmicos*. Tese (Mestrado em Meteorologia Agrícola) - Viçosa - MG, Universidade Federal de Viçosa - UFV, 97p.

- Bonomo, R.D.S. (1999) *Análise da irrigação na cafeicultura em áreas de cerrado de Minas Gerais*. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Viçosa - MG, Universidade Federal de Viçosa - UFV, 224p.
- Bragança, S.M. (2005) *Crescimento e acúmulo de nutrientes pelo cafeeiro conilon (Coffea canephora Pierre)*. Tese (Doutorado em Fitotecnia) - Viçosa - MG, Universidade Federal de Viçosa - UFV, 99p.
- Burgess, S.S.O., Adams, M.A., Turner, N.C., Beverly, C.R., Ong, C.K., Khan, A.A.H., Bleby, T.M. (2001) An improved heat pulse method to measure low and reverse rates of sap flow in woody plants. *Tree Physiology*, 21: 589-598.
- Busato, C., Reis, E. F., Martins, C. C., Pezzopane, J. E. M. (2007) Lâminas de irrigação aplicadas ao café conilon na fase inicial de desenvolvimento. *Revista Ceres*, Viçosa, v. 54, n. 314, p. 351-357.
- Cabibel, B.; Do, F. (1991) Mesures thermiques des flux de sève dans les troncs et les racines et fonctionnement hydrique des arbres: I. Analyse théorique des erreurs sur la mesure des flux et validation des mesures en présence de gradients thermiques extérieurs. *Agronomie*, v.11, p.669-678.
- Calder, I. A. (1990) *Evaporation in the uplands*. John Wiley and Sons, Chichester 148p.
- Camargo, A.P.O. (1985) *Clima e a cafeicultura no Brasil*. Informe Agropecuário, Belo Horizonte, v. 11, n. 126.
- Campostrini, E., Maestri, M. (1998) Photosynthetic potential of give genotypes of *Coffea canephora* Pierre. *Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal*, v. 10, p. 13-18.
- Cannell, M.G.R. (1976) Crop physiological aspects of coffe bean yiedl – a review. *Kenya Coffe*, v. 41, p. 245-253.

- Cannell, M.G.R. (1985) Physiology of coffee crop. *In*: Clifford, M. N., Willson, K. C. (eds) *Coffee: botany, biochemistry and production of production of beans and beverage*. London, Croom Helm, p. 108-134.
- 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: IAC.
- Carvalho, L.M.C., Silva, E.A.M., Azevedo, A.A., Mosquim, P.R., Cecon, P.R. (2001) Aspectos morfológicos das cultivares de cafeeiro Catuaí Vermelho e Conilon. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 36, p. 411-416.
- Castro, E.M.; Pereira, F.J.; Paiva, R. (2009) *Histologia Vegetal: Estrutura e Função de Órgãos Vegetativos*. Lavras - MG, Universidade Federal de Lavras - UFLA, 234p.
- Cavatte, P.C. (2007) *Morfologia, relações hídricas e fotossíntese em dois cultivares de Coffea canephora submetidos ao déficit hídrico*. Tese (Mestrado em Ciência Agrárias) - Lavras - MG, Universidade Federal de Lavras - UFLA, 52p.
- Cermak, J., Cienciala, E., Kucera, J., Lindroth, A., Bednárová, E. (1995) Individual variation of sap-flow rate in large pine and spruce trees stand transpiration: a pilot study at the central NOPEX site. *Journal of Hydrology*, 168: 17-27.
- Cermak, J., Deml, M., Penka, M.A. (1973) A new method of sap flow rate determination in trees. *Biologia Plantarum*, 15: 171-178.
- Cermak, J., Kucera, J., Nadezhdina, N. (2004) Sap flow measurements with some thermodynamic methods, flow integration within trees and scaling up from sample trees to entire forest stands. *Trees* 18: 529–546.
- Choné, X., Van Leeuwen, C., Dubourdieu, D., Gaudillere, J.P. (2001) Stem water potential is a sensitive indicator of grapevine water status. *Ann. Bot.* 87:477-483.

- Cienciala, E., Lindroth, A., Cermak, J., Hällgren, J.E., Kucera, J. (1994) The effects of water availability on transpiration, water potential and growth of *Picea abies* during a growing season. *Journal of Hydrology*, 155: 57-71.
- Clearwater, M.J., Meinzer, F.C., Andrade, J.L., Goldstein, G., Holbrook, N.M. (1999) Potential errors in measurements of nonuniform sap flow using heat dissipation probes. *Tree Physiology*, 19: 681-687.
- Cohen, M., Goldhamer, D., Fereres, E., Girona J., Mata, M. (2001) Assessment of peach tree responses to irrigation water deficits by continuous monitoring of trunk diameter changes. *J. Hort. Sci. Biotech.* 76:55-60.
- Cohen, Y., Adar, E., Dody, A., Schiller, G. (1997) Underground water use by Eucalyptus trees in an arid climate. *Trees – Structure and Function*, 11: 356- 362.
- Cohen, Y., Fuchs, M., Green, G.C. (1981) Improvement of the heat pulse method for determining sap flow in trees. *Plant, Cell and Environment*, 4: 391-397.
- CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. *Acompanhamento da Safra Brasileira de Café, Terceiro Levantamento - Safra 2015/16*. Disponível em:  
<[http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/15\\_12\\_11\\_11\\_02\\_58\\_boletim\\_graos\\_dezembro\\_2015.pdf](http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/15_12_11_11_02_58_boletim_graos_dezembro_2015.pdf)> Acesso em: dezembro de 2015.
- Conejero, W., Alarcón, J.J., García-Orellana, Y., Abrisqueta, J.M., Torrecillas, A. (2006) Daily sap flow and maximum daily trunk shrinkage measurements for diagnosing water stress in early maturing peach trees during the post-harvest period. *Tree Physiology* 27: 81–88.
- Cornic, G. (2000) Drought stress inhibits photosynthesis by decreasing stomatal aperture: not by affecting ATP synthesis. *Trends in Plant Science* 5: 187-188.



- Costa, G.F., Marengo, R.A. (2007) Fotossíntese, condutância estomática e potencial hídrico foliar em árvores jovens de andiroba (*Carapa guianensis*). *Acta Amazonica*, 37 (2): 229–234.
- Coste, R. (1992) *Coffea: the plant and the product*. London: Macmillan, 328p.
- DaMatta, F.M. (2003) Drought as a multidimensional stress affecting photosynthesis in tropical tree crop. In: Hemantaranja, A. (ed). *Advances in Plant Physiology*, vol. 5. Scientific Publishers, Jodhpur, p. 227-265.
- DaMatta, F.M. (2004a) Ecophysiological constraints on the production of shaded and unshaded coffee: a review. *Field Crops Research*, v. 86, p. 99-114.
- DaMatta, F.M. (2004b) Exploring drought tolerance in coffee: a physiological approach with some insights for plant breeding. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, v. 16, p. 1-6.
- DaMatta, F.M., Chaves, A.R.M., Pinheiro, H.A., Ducatti, C., Loureiro, M.E. (2003) Drought tolerance of two field-grown clones of *Coffea canephora*. *Plant Science*. v. 164, p.111-117.
- DaMatta, F.M., Loos, R.A., Emerson A., Silva, E.A., Loureiro, M.E. (2002) Limitations to photosynthesis in *Coffea canephora* as a result of nitrogen and water availability. *Journal of Plant Physiology*. v.159, p. 975–981.
- DaMatta, F.M., Loos, R.A., Rodrigues, R., Barros, R.S. (2001) Actual and potential photosynthetic rates of tropical crop species. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, v. 13, p. 24-32.
- DaMatta, F.M., Maestri, M., Barros, R.S. (1997) Photosynthetic performance of two coffee species under drought. *Photosynthetica*, v. 34, p. 257-264.
- DaMatta, F.M., Maestri, M., Barros, R.S., Regazzi, A.J. (1993) Water relations of coffee leaves (*Coffea arabica* and *C. canephora*) in response to drought. *Journal of Horticultural Science*, v. 68, p. 741-746.

- 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*, v.18, p.55- 81.
- DaMatta, F.M., Rena, A.B. (2000) Relações hídricas no cafeeiro. *Anais do Simpósio De Pesquisa De Cafés Do Brasil*, 1, Poços de Caldas, Embrapa café, p.9-44.
- DaMatta, F.M., Silveira, J.S.M., Ducatti, C., Loureiro, M.E. (2000) Eficiência do uso da água e tolerância à seca em *Coffea canephora*. *Anais do Simpósio De Pesquisa De Cafés Do Brasil*, 1, Poços de Caldas, MG. Embrapa café, p. 907-910.
- Dardengo, M.C.J.D., Reis, E.F., Passos, R.R. (2009) Influência da disponibilidade hídrica no crescimento inicial do cafeeiro Conilon. *Bioscience Journal*, Uberlândia, v. 25, n.6, p.1-14.
- De Lucia, E.H., Whitehead, D., Clearwater, M.J. (2003) The relative limitation of photosynthesis by mesophyll conductance in co-occurring species in a temperate rainforest dominated by the conifer *Dacrydium cupressinum*. *Functional Plant Biology*, 30: 1197-1204.
- Do, F., Rocheteau, A. (2002a) Influence of natural temperature gradients on measurements of xylem sap flow with thermal dissipation probes. 1. Field observations and possible remedies. *Tree Physiology*, 22: 641-648.
- Do, F., Rocheteau, A. (2002b) Influence of natural temperature gradients on measurements of xylem sap flow with thermal dissipation probes. 2. Advantages and calibration of a noncontinuous heating system. *Tree Physiology*, 22: 649-654.
- Doorenbos, J., Kassam, A.H. (1979) Yield response to water. *Irrigation and Drainage* 33. FAO, Roma.
- Doorenbos, J., Pruitt, W. O. (1977) Las necesidades de agua de los cultivos. *Irrigation and Drainage* 33. FAO, Roma.

- Dugas, W.A., Heuer, M.L., Hunsaker, D., Kimball, B.A., Lewin, K.F., Nagy, J., Johnson, M. (1994) Sap flow measurements of transpiration from cotton grown under ambient and enriched CO<sub>2</sub> concentration. *Agricultural and Forest Meteorology*, 70: 231-245.
- Eastman, J., Gray, S.A. (1998) A preliminary evaluation of the suitability of sap flow sensors for use in scheduling vineyard irrigation. *Am. J. Enol. Vitic.* 49:171-176.
- Eccardi, F., Sandalj, V. (2002) *Coffe – A celebration of diversity*. Sandalj Eccardi Company, Trieste, Italy. 228p.
- Fazuoli, 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.
- Fereres, E., Goldhamer, D., Cohen, M., Girona, J., Mata, M. (1999) Continuous trunk diameter recording can reveal water stress in peach trees. *California Agriculture*. 53(4):21-25.
- Fernandes, A.L.T., Partelli, F.L., Bonomo, R., Golynski, A. (2012) A moderna cafeicultura dos cerrados brasileiros. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, Goiânia, v. 42, n. 2, p. 231-240.
- Fernandes, A.L.T., Santinato, R., Santo, J.E., Amaral, R. (1998) Comportamento vegetativo-reprodutivo do cafeeiro catuaí cultivado no Oeste Baiano sob irrigação por pivô central. *Anais do Simpósio Brasileiro De Pesquisa Em Cafeicultura Irrigada*. Araguari. Uberlândia: UFU/DEAGO, p.40-44.
- Fernández, J.E., Palomo, M.J., Díaz-Espejo, A., Clothier, B.E., Green, S.R., Girón, I.F., Moreno, F. (2001) Heat-pulse measurements of sap flow in olives for automating irrigation: tests, root flow and diagnostics of water stress. *Agr. Water Manage*, 51:99-123.

- Ferrão, R.G., Fonseca, A.F.A., Bragança, S.M., Ferrão, M.A.G., Muner, L.H. (2007) *Café Conilon*. Vitória: Incaper, 702p.
- Ferreira, M.I., Zitscher, H. (1996) Measurements performed with Granier method in short trunks near the soil. *Anais do Workshop On Measuring Sap Flow In Intact Plant*, Barcelona, p.3.
- Ginestar, C., Eastham, J., Gray, S., Iland, P. (1998a) Use of sap-flow sensors to schedule vineyard irrigation. I. Effects of post-veraison water deficits on water relations, vine growth and yield of shiraz grapevines. *American Journal of Enology and Viticulture*, 49 (4): 413-420.
- Ginestar, C., Eastham, J., Gray, S., Iland, P. (1998b) Use of sap-flow sensors to schedule vineyard irrigation. II. Effects of post-veraison water deficits on composition of shiraz grapevines. *American Journal of Enology and Viticulture*, 49 (4): 421-428.
- Giorio, P., Giorio, G. (2003) Sap flow of several olive trees estimated with the heat-pulse technique by continuous monitoring of a single gauge. *Environmental and Experimental Botany*, 49: 9-20.
- Goldhamer, D.A., Fereres, E. (2001) Irrigation scheduling protocols using continuously recorded trunk diameter measurements. *Irrig. Sci.* 20:115-125.
- 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 American Soc. Hort. Sci.* 124:437-444.
- Gomide, R. L., Durães, F. O. M. (2004) Caracterização de Estresse Hídrico de Duas Linhagens de Milho (*Zea mays* L.) com Sondas de Fluxo de Seiva. *Anais do XXV Congresso Nacional De Milho e Sorgo*. Cuiabá. Disponível em: <<http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/33089/1/Caracterizacao-estresse.pdf>>. Acesso em: 3 de dezembro de 2015.

- Granier, A. (1985) Une nouvelle méthode pour la mesure du flux de sève brute dans le tronc des arbres. *An. des Sciences Forestières*, 42 (2): 193-200.
- Granier, A. (1987) Evaluation of transpiration in Douglas-fir stand by means of sap flow measurements. *Tree Physiology*, 3: 309-320.
- Granier, A., Loustau, D. (1994) Measuring and modelling the transpiration of a maritime pine canopy from sap-flow data. *Agricultural and Forest Meteorology*, 71: 61-81.
- Green, S., Clothier, B., Jardine, B. (2003a) Theory and practical application of heat pulse to measurement sap flow. *Agronomy Journal*, 95: 1371-1379.
- Green, S., Mcnaughton, K., Wünsche, J.N., Clothier, B. (2003b) Modeling light interception and transpiration of apple tree canopies. *Agronomy Journal*, 95: 1380-1387.
- Green, S.R., Clothier, B.E., McLeod, D.J. (1997) The response of sap flow in apple roots to localized irrigation. *Agricultural Water Management*, 33: 63-78.
- Gutiérrez, M.V., Harrington, R.A., Meinzer, F.C., Fownes, J.H. (1994b) The effect of environmentally induced stem temperature gradients on transpiration estimates from the heat balance method in two tropical woody species. *Tree Physiology*, 14: 179-190.
- Gutiérrez, M.V., Meinzer, F.C. (1994) Estimating water use and irrigation requirements of coffee in Hawaii. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 119 (3): 652-657.
- Gutiérrez, M.V., Meinzer, F.C., Grantz, D.A. (1994a) Regulation of transpiration in coffee hedgerows: covariation of environmental variables and apparent responses of stomata to wind and humidity. *Plant, Cell and Environmental*, 17: 1305-1313.
- Hsiao, T.C. (1990) *Measurements of plant water status*. In: *Irrigation of Agricultural Crops*. Madison: American Society of Agronomy, p.243-279.

- Jackson, R.D. (1982) Canopy temperature and crop water stress: Water Resour. *Journal of Experimental Botany*, 132:67-77.
- Jara, J., Stockle, C.O., Kjelgaard, J. (1998) Measurements of evapotranspiration and its components in a corn (*Zea mays* L.) field. *Agricultural and Forest Meteorology*, 92: 131-145.
- Karasawa, S. (2001) *Crescimento e produtividade do cafeeiro (Coffea arábica L. cv. Topázio MG-1190) sob diferentes manejos de irrigação localizada*. Tese (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Lavras - MG, Universidade Federal de Lavras - UFLA, 72p.
- Katerji, N., Itier, B., Ferreira, I. (1988) Etude de quelques critères indicateurs de l'éthathydrique d'une culture de tomate em région semi-aride. *Agronomie*, 8(5):425-433.
- Köppen, W. (1948) *Climatologia: com um estúdio de los climas de la tierra*. New Jersey: Climatology, 104p.
- Kurpius, M.R., Panek, J.A., Nikolov, N.T., McKay, M., Goldstein, A.H. (2003) Partitioning of water flux in a Sierra Nevada ponderosa pine plantation. *Agricultural and Forest Meteorology*, 117:173-192.
- Larcher, W. (2004) *Ecofisiologia vegetal*. São Carlos: Rima, 531p.
- Lima, A.L., DaMatta, F.M., Pinheiro, H.A., Totola, M.R., Loureiro, M. E. (2002) Photochemical responses and oxidative stress in two clones of *Coffea canephora* under water deficit conditions. *Environmental and Experimental Botany*, v. 47, p. 239-247.
- Loustau, D., Domec, J.C., Bosc, A. (1998) Interpreting the variations in xylem sap flux density within the trunk of maritime pine (*Pinus pinaster* Ait.): Application of a model for calculating water flows at tree and stand levels. *An. des Sciences Forestières*, Versailles, v. 55, p. 29- 40.
- Lu, P., Chacko, E. (1998) Evaluation of Granier's sap flux sensor in young mango trees. *Agronomie*, 18: 461-471.

- Lu, P., Müller, W.J., Chacro, E.K. (2000) Spatial variations in xylem sap flux density in the trunk of orchard-grown, mature mango trees under changing soil water conditions. *Tree Physiology*, v.20, p. 683-692.
- Lundblad, M., Lagergren, F., Lindroth, A. (2001) Evaluation of heat balance and heat dissipation methods for sap flow measurements in pine and spruce. *An. of Forest Science*, v.58, 625–638.
- Maestri, M., Vieira, C. (1958) Movimento de estômatos em café, sob condições naturais. *Revista Ceres*, v.10, p.324-331.
- Mantovani, E. C., Soares, A. R. (2003) *Irrigação do cafeeiro: informações técnicas e coletânea de trabalhos*. Viçosa, MG: Associação dos Engenheiros Agrícolas de Minas Gerais, 260p. (Engenharia na Agricultura – Boletim Técnico, 8).
- Mantovani, E.C. (1996) Gerenciamento e manejo da irrigação. *In: Curso de gestão de recursos hídricos para o desenvolvimento sustentado de projetos hidroagrícolas*. Módulo 08. Brasília: ABEAS, 75 p.
- Mantovani, E.C., Bernardo, S., Palaretti, L.F. (2007) *Irrigação princípios e métodos*. 2. ed. Viçosa: UFV, 358p.
- Marin, F. R., Angelocci, L. R., Nassif, D. S. P., Costa, L. G., Vianna, M. S., Carvalho, K. S. (2016) Crop coefficient changes with reference evapotranspiration for highly canopy-atmosphere coupled crops. *Agricultural Water Management*. 163, 139 –145.
- Marin, F.B., Angelocci, L.R., Righi, E.Z., Sentelhas, P.C. (2005) Evapotranspiration and irrigation requirements of a coffee plantation in southern Brazil. *Expl. Agric.* 41:187-197.
- Marshall, D.C. (1958) Measurement of sap flow in conifers by heat transport. *Plant Physiology*, 33: 385-396.

- Martins, C.C., Soares, A.A., Busato, C., Reis, E.F. (2007) manejo da irrigação por gotejamento no cafeeiro (*Coffea arabica* L.). *Biosci. J.*, Uberlândia, v. 23, n. 2, p. 61-69.
- Martins, C.P., Vilela, L.A.A., Gomes, N.M. (2002) Influência de diferentes lâminas de irrigação aplicadas nos parâmetros de crescimento do cafeeiro. *Anais do Simpósio Brasileiro De Pesquisa Em Cafeicultura Irrigada*, Araguari-MG, 5:111-115.
- Matiello, J.B. (1991) *O Café: do cultivo ao consumo*. São Paulo: Globo, 320 p.
- Matiello, J.B. (1998) *Café conilon: Como plantar, tratar, colher, preparar e vender*. Rio de Janeiro, RJ. 162p.
- Meinzer, F.C., Fownes, J.H., Harrington, R.A. (1996) Growth indices and stomatal control of transpiration in *Acacia koa* stand planted at different densities. *Tree Physiology*, 16: 607-615.
- Meinzer, F.C., Goldstein, G., Jackson, P., Holbrook, N.M., Gutiérrez, M.V., Cavalier, J. (1995) Environmental and physiological regulation of transpiration in tropical forest gap species: the influence of boundary layer and hydraulic properties. *Oecologia*, 101: 514-522.
- Miller, B.J., Clinton, P.W., Buchan, G.D., Robson, A.B. (1998) Transpiration rates and canopy conductance of *Pinus radiata* growing with different pasture understories in agroforestry systems. *Tree Physiology*, 18: 575-582.
- Mohotti, A.J., Lawlor, D.W. (2002) Diurnal variation of photosynthesis and photoinhibition in tea: effects of irradiance and nitrogen supply during growth in the field. *Journal of Experimental Botany*, 53: 313-322.
- Moreno, F., Fernández, J.E., Clothier, B.E., Green, S.R. (1996) Transpiration and root water uptake by olive trees. *Plant Soil*, 184:85–96.
- Morgan, J.M. (1984) Osmoregulation and water stress in higher plants. An. Review of *Plant Physiology*, Palo Alto, v. 35, p. 299-319.



- Mudrik, A.S. (2005) *Manejo da irrigação por gotejamento em cafeeiros nas condições edafoclimáticas do cerrado do Triângulo Mineiro*. Tese (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Viçosa - MG, Universidade Federal de Viçosa - UFV, 75p.
- Naor, A. (2003) Sensitivity and variability of maximum trunk shrinkage, midday stem water potential, and transpiration rate in response to withholding irrigation from field-grown apple trees. *Hort. Sci.* 38(4):547-551.
- Ngolo, A.O. (2014) *Zoneamento agroclimático para a cultura do café em Angola*. Tese (Mestrado em Agroecologia) - Viçosa - MG, Universidade Federal de Viçosa - UFV, 76p.
- Nicolás, E., Torrecillas, A., Ortuño, M.F., Domingo, R., Alarcón, J.J. (2005) Evaluation of transpiration in adult apricot trees from sap flow measurements. *Agr. Water Manage.* 72:131-145.
- Oliveira, A.A.G. (2009) *Aclimação da maquinaria fotossintética do cafeeiro cultivado em diferentes níveis de luz e de disponibilidade hídrica*. Tese (Mestrado em Fisiologia Vegetal) – Viçosa – MG, Universidade Federal de Viçosa - UFV, 50p.
- Ortuño, M.F., Alarcón, J.J., Nicolás, E., Torrecillas, A. (2004) Comparison of continuously recorded plant-based water stress indicators for young lemon trees. *Plant and Soil*, 267:263-270.
- Ortuño, M.F., Garcia-Orellana, Y., Conejero, W., Ruiz-Sánchez, M.C., Mounzer, O., Alarcón, J.J., Torrecillas, A. (2006) Relationships between climatic variables and sap flow, stem water potential and maximum daily trunk shrinkage in lemon trees. *Plant and Soil*, 279:229-242.
- Partelli, F. L., Vieira, H. D., Silva, A. G., Ramalho, J. C. (2010) Seasonal vegetative growth of different age branches of conilon coffee tree. *Semina: Ciências Agrárias*, 31 (3): 619-626.
- Partelli, F.L., Batista-Santos, P., Scotti-Campos, P., Pais, I.P., Quartin, V.L., Vieira, H.D., Ramalho, J.C. (2011a) Characterization of the main lipid

components of chloroplast membranes and cold induced changes in *Coffea* spp. *Environmental and Experimental Botany*, Paris, v. 74, n. 1, p. 194-204.

Partelli, F.L., Viera, H.D., Rodrigues, A.P.D., Pais, I., Campostrini, E.; Chaves, M.M.C.C., Ramalho, J.C. (2011b) Cold induced changes on sugar contents and respiratory enzyme activities in coffee genotypes. *Ciência Rural*, Santa Maria, v. 40, n. 4, p. 781-786.

Partelli, F.L., Viera, H.D., Viana, A.P., Batista-Santos, P., Rodrigues, A.P., Leitão, A.E., Ramalho, J.C. (2009) Low temperature impact on photosynthetic parameters of coffee genotypes. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, DF, v. 44, n. 11, p. 1404-1415.

Pereira, L. S., Allen, R. A., Smith, M., Raes, D. (2015) Crop evapotranspiration estimation with FAO 56: past and future. *Agric. Water Manage.* 147 (1), 4–20.

Pimentel, J.S., Silva, T.J.A., Júnior, J.C.F.B., Folegatti, M.V., Montenegro, A.A.A. (2010) Estimativa da transpiração em cafeeiros utilizando-se sensores de dissipação térmica. *Rev. Bras. Eng. Agríc. Ambient.* Campina Grande, vol.14 n.2.

Pinheiro, H.A., DaMatta, F.M., Chaves, A.R.M., Fontes, E.P.B., Loureiro, M.E. (2004) Drought tolerance in relation to protection against oxidative stress in clones of *Coffea canephora* subjected to long-term drought. *Plant Science*, v. 167, p. 1207-1314.

Pinheiro, H.A.; DaMatta, F.M.; Chaves, A.R.M. Lourenço, M.E.; Ducatti, C. (2005) Drought tolerance is associated with rooting depth and stomatal control of water use in clones of *Coffea canephora*. *Annals of Botany*, v. 96, p. 101-108.

Pinto, C.M., Távora, F.J.F.A., Bezerra, M.A., Corrêa, M.C.M. (2008) Crescimento, distribuição do sistema radicular em amendoim, gergelim e mamona a ciclos de deficiência hídrica. *Revista Ciência Agronômica*, v. 39, n. 03, p. 429-436.

- Pizetta, S.C., Oliveira, A.C.R., Reis, E.F., Rodrigues, R.R., Olmo, B.T. (2012) Influência do déficit hídrico no desenvolvimento inicial do cafeeiro conilon. *Enciclopédia Biosfera, Centro Científico Conhecer, Goiânia*, v. 8, n. 15, p. 1090-1101.
- Pohlan, H.A.J., Janssens, M.J.J. (2012) Growth and production of coffee. *Soil, Plant Growth Crop Produc*, v. 3, p. 1-11.
- Posse, R.P. (2005) *Relações hídricas em plantas de coqueiro anão verde (Cocos nucifera L.) na Região Norte Fluminense*. Tese (Mestrado em Produção Vegetal) - Campos dos Goytacazes - RJ, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro - UENF, 104p.
- Praxedes, S.C., DaMatta, F.M., Loureiro, M.E., Ferrão, M.A.G., Cordeiro, A.T. (2006) Effects of long-term soil drought on photosynthesis and carbohydrate metabolism in mature robusta coffee (*Coffea canephora* Pierra var. Koulliou) leaves. *Environmental and Experimental Botany*, v. 56, p. 236-273.
- R Core Team (2015). *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL: <https://www.R-project.org/>.
- Ramalho, A. R., Rocha, R. B., Souza, F. F., Teixeira, A. L., Veneziano, W. (2011) Progresso genético com a seleção de clones de conilon no estado de Rondônia. *Anais do VII Simpósio de Pesquisa dos Cafés do Brasil*. Araxá – MG, 22 a 25 de agosto.
- Reis, F.O. (2003) *Trocas gasosas, eficiência fotoquímica e fluxo de seiva xilemático em mamoeiro do grupo "Formosa" cultivado em condições de campo na Região Norte Fluminense*. Tese (Mestrado em Produção Vegetal) - Campos dos Goytacazes - RJ, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro - UENF, 59p.
- Reis, F.O., Campostrini, E., Sousa, E.F., Silva, M.G. (2006) Sap flow in papaya plants: Laboratory calibrations and relationships with gas exchanges under field conditions. *Scientia Horticulturae*, 110: 254–259.

- Rena, A.B. (1998) A água na fisiologia do cafeeiro. *Anais do Simpósio Estadual Do Café*, 3, Vitória - ES. Vitória: CETCAF, p.132-152.
- Rena, A.B.A., Barros, R.S., Maestri, M. (2001) Desenvolvimento reprodutivo do cafeeiro. *In: Zambolim, L. (org) Tecnologias de produção de café com qualidade*. p. 101-128.
- Rena, A.B.A., DaMatta, F.M. (2002) O sistema radicular do cafeeiro: morfologia e ecofisiologia. *In: Zambolim, L. (org) O estado da arte de tecnologias na produção do café*. p. 11-92.
- Rena, A.B.A., Maestri, M. (1985) *Fisiologia do cafeeiro*. Informe agropecuário, v. 11, p. 26-40.
- Rena, A.B.A.; Barros, R.S. (2004) Aspectos críticos no estudo da floração do café. *In: Zambolim, L. (org) Efeitos da irrigação sobre a qualidade e produtividade do café*. p. 149-172.
- Ringersma, J., Mecherqui, M., Pijenburg, S. (1996) Transpiration measurements in Date Palms using the Granier method. *In: American Society Ag Engineers, Proceedings of the International Conference*, p.141-146.
- Robert, S., Vertessey, R., Graysson, R. (2001) Transpiration from *Eucalyptus sieberi* (L. Johnson) forests of different age. *Forest Ecology and Management*, 143: 153-161.
- Rodrigues, R. R., Pizetta, S. C., Reis, E. F., Ribeiro, W. R., Garcia, G. O. (2015a) Fração de água transpirável no solo no desenvolvimento inicial do cafeeiro conilon. *Coffee Science*, Lavras, v. 10, n. 3, p. 337–345.
- Rodrigues, R.R., Pizetta, S.C., Reis, E.F., Garcia, G.O. (2015b) Disponibilidade hídrica no solo no desenvolvimento inicial do cafeeiro conilon. *Coffee Science*, Lavras, v. 10, n. 1, p. 46–55.
- Rojas, J.S.D. (2003) *Avaliação do uso do fluxo de seiva e da variação do diâmetro do caule e de ramos na determinação das condições hídricas de*

*citros, como base para o manejo de irrigação*. Tese (Doutorado em Agronomia, Área de Concentração: Irrigação e Drenagem) - Piracicaba - SP, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 110p.

Ronchi, C.P., Silvana, A.A., Terra, A.A., Miranda, G.B., Ferreira, L.F. (2005) Effect of 2,4-dichlorophenoxyacetic acid applied as a herbicide on fruit shedding and coffee yield. *Weed Research*, v. 45, p. 41-47.

Rosa, R. D., Paredes, P., Rodrigues, G. C., Fernando, R. M., Alves, I., Pereira, L. S., Allen, R. G. (2012) Implementing the dual crop coefficient approach in interactive software: 2. Model testing. *Agric. Water Manage.* 103, 62–77.

Sakuratani, T. (1981) A heat balance method for measuring water flux in the stem of intact plants. *J. Agr. Met.* 37: 9–17.

Santana, M.S., Oliveira, C.A.S., Quadros, M. (2004) Crescimento inicial de duas cultivares de cafeeiro adensado influenciado por níveis de irrigação localizada. *Engenharia Agrícola*, Jaboticabal, v. 24, n. 3, p. 644-653.

Santinato, R., Fernandes, A.L.T., Fernandes, D.R. (1996) *Irrigação na cultura do café*. Campinas: Arbore, 146p.

Santolin, M.A. (2013) *Desenvolvimento de um modelo para estimativa de fluxo de água em meio poroso*. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) - Campos dos Goytacazes - RJ, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro - UENF, 74p.

Saraiva, J.S.T., Silveira, J.S.M. (1995) Irrigação do café. In: Costa, E.B. (org) *Manual técnico para a cultura do café no Estado do Espírito Santo*. Vitória, ES: SEAG, p. 111-120.

Schiller, G., Cohen, Y. (1995) Water regime of a pine forest under mediterranean climate. *Agricultural and Forest Meteorology*, 74: 181-193.

- Scholander, P.F., Bradstreet, E.D., Hemmingsen, E.A., Hammel, H.T. (1965) Sap pressure in vascular plants Negative hydrostatic pressure can be measured in plants. *Science*, 148:36-68.
- SEAG - Secretária De Estado Da Agricultura. *Café: caracterização, cenário, estratégias e ações*. Vitória, ES. Disponível em: <<http://www.seag.es.gov.br/setores/cafe>>. Acesso em: dezembro de 2015.
- Shackel, K.A., Ahmadi, H., Biasi, W. (1997) Plant water status as an index of irrigation need in deciduous fruit trees. *Hort. Technology*, 7(1):23-29.
- 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*, 23 (3): 434 – 440.
- Silva, E.A. (2000) *Periodicidade do crescimento vegetativo em Coffea arabica L.: relações com a fotossíntese em condições de campo*. Dissertação (Mestrado Fisiologia Vegetal) - Viçosa - MG, Universidade Federal de Viçosa - UFV, 42p.
- Silva, L.M., Alquini, Y., Cavallet, V.J. (2005) Interrelações entre a anatomia vegetal e a produção vegetal. *Acta Botânica Brasílica*, v. 19, n. 01, p. 183-194.
- Silva, M.G. (2008) *Desenvolvimento de sensor de fluxo de seiva e de coeficiente indicador de estresse hídrico para plantas de cafeeiro arábica*. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) - Campos dos Goytacazes - RJ, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro - UENF, 102p.
- Silva, P. E. M., Cavatte, P. C., Moraes, L. E., Martins, S. C. V., Medina E. F., Sanglard, L. M. V. P., DaMatta, F. M. (2011) Variações nos padrões de alocação de biomassa em nove clones de *Coffea canephora* submetidos à deficiência hídrica. *Anais do VII Simpósio de Pesquisa dos Cafés do Brasil* 22 a 25 de Agosto - Araxá - MG.

- 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.
- Smith, D.M., Allen, S.J. (1996) Measurement of sap flow in plants stems. *Journal of Experimental Botany*, 47 (305): 1833-1844.
- Soares, A. R. (2001) *Irrigação, fertirrigação, fisiologia e produção em cafeeiros adultos na região da Zona da Mata de Minas Gerais*. Tese (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Viçosa - MG, Universidade Federal de Viçosa - UFV, 90p.
- Soegaard, H., Boegh, E. (1995) Estimation of evapotranspiration from millet crop in the Sahel combining sap flow, leaf area index and eddy correlation technique. *Journal of Hydrology*, 166: 265-282.
- Souza, L.F. (2009) *Utilização da Variação Dendrométrica como Indicador para o Manejo da Irrigação de Plantas de Café*. Tese (Mestrado em Produção Vegetal) - Campos dos Goytacazes - RJ, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro - UENF, 65p.
- Steinberg, S.L., McFarland, M.J., Worthington, J.W. (1990) Comparison of trunk and branch sap flow with canopy transpiration in pecan. *Journal of Experimental Botany*, 41 (227): 653-659.
- Swanson, R.H. (1994) Significant historical developments in thermal methods for measuring sap flow in trees. *Agricultural and Forest meteorology*, 72: 113-132.
- Swanson, R.H.; Whitfield, D.W.A. (1981) A numerical analysis of heat pulse velocity theory and practice. *Journal of Experimental Botany*, 32 (126): 221-239.
- Taiz, L., Zeiger, E. (2009) *Fisiologia vegetal*. 4. ed. Porto Alegre: Artmed, 819p.

- Taylor, N. J., Mahohoma, W., Vahrmeijer, J. T., Gush, M. B., Allen, R. G., Annandale, J. G. (2015) Crop coefficient approaches based on fixed estimates of leaf resistance are not appropriate for estimating water use of citrus. *Irrig. Sci.*153–166.
- Tenhunen, J.D., Pearcy, R.W., Larance, O.L. (1987) Diurnal variation in leaf conductance and gas exchange in natural environments. *In: Zeiger, E., Farquhar, G., Cowan, I. (eds) Stomatal function*. Stanford: Stanford University Press. p. 323-351.
- Weibel, F.P., Boersman, K. (1995) An improved stem heat balance method using analog heat control. *Agricultural and Forest Meteorology*, 75: 191-208.
- Weibel, F.P., Vos, J.A. (1994) Transpiration measurements on apple trees with an improved stem heat balance method. *Plant and Soil*, 166: 203-219.
- Willson, K.C. (1999) *Coffe, Cocoa ant Tea*. Wallingford, CAB International.
- Wullschleger, S.D., Hanson, P.J., Todd, D.E. (2001) Transpiration from a multispecies deciduous forest as estimated by xylem sap flow techniques. *Forest Ecology and Management*, 143: 205-213.
- 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.