

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RECÔNCAVO DA BAHIA
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS, AMBIENTAIS E BIOLÓGICAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA
CURSO DE MESTRADO

**ACLIMATAÇÃO DO CACAUEIRO À REDUÇÃO DO VOLUME DE
SOLO MOLHADO**

Ancelmo Cazuza Neto

CRUZ DAS ALMAS – BAHIA
FEVEREIRO DE 2019

ACLIMATAÇÃO DO CACAUEIRO À REDUÇÃO DO VOLUME DE SOLO MOLHADO

Ancelmo Cazuzo Neto
Engenheiro Agrônomo
Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, 2016.

Dissertação apresentada ao Colegiado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, como requisito parcial para obtenção do Título de Mestre em Engenharia Agrícola, Área de Concentração: Agricultura Irrigada e Recursos Hídricos.

Orientador: Prof. Dr. Lucas Melo Vellame

CRUZ DAS ALMAS – BAHIA

FEVEREIRO DE 2019

FICHA CATALOGRÁFICA

C386a Cazuza Neto, Ancelmo.
Aclimação do cacauero à redução do volume de solo molhado / Ancelmo Cazuza Neto. – Cruz das Almas, BA, 2019.
45f.; Il.

Orientador: Lucas Melo Vellame.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Centro de Ciências Agrárias Ambientais e Biológicas.

1.Cacau – Cultivo – Análise foliar. 2.Cacau – Microirrigação. 3.Recursos hídricos – Análise. I.Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Centro de Ciências Agrárias, Ambientais e Biológicas. II.Título.

CDD: 633.74

Ficha elaborada pela Biblioteca Universitária de Cruz das Almas – UFRB.
Responsável pela Elaboração – Antonio Marcos Sarmiento das Chagas (Bibliotecário – CRB5 / 1615).
Os dados para catalogação foram enviados pelo usuário via formulário eletrônico.

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RECÔNCAVO DA BAHIA
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS, AMBIENTAIS E BIOLÓGICAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA
CURSO DE MESTRADO**

**ACLIMATAÇÃO DO CACAUEIRO À REDUÇÃO DO VOLUME DE
SOLO MOLHADO**

Comissão Examinadora da Defesa de Trabalho de Conclusão do Curso de Mestrado
Ancelmo Cazuza Neto

Dissertação aprovada em 24 de janeiro de 2019

Prof. Dr. Lucas Melo Vellame - UFRB
(Orientador)

Prof. Dr Alison Jadavi Pereira da Silva – IF-Baiano
(Examinador interno)

Prof. Dr. Delfran Batista dos Santos– IF-Baiano
(Examinador externo)

DEDICATÓRIA

Aos meus pais, Jizélia Cazuzza Simões e José Francisco Simões

Aos Meus Irmãos Jucélio Cazuzza Simões, Gionelton Cazuzza Simões e Jefferson Cazuzza Simões

“ A essência do conhecimento científico é sua aplicação prática ”

Confúcio, 551-479 a.C

AGRADECIMENTOS

A Deus por estar sempre presente em minha vida e tornar meus sonhos possíveis.
Aos meus pais, Jizélia e José Francisco, pelo apoio incondicional, por todo amor, carinho e atenção dedicados a mim ao longo dessa jornada e em toda a minha vida.
Amo vocês!

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), e a Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, pelo apoio financeiro e técnico-científico.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes), pela concessão da bolsa de estudo e financiamento da pesquisa.

A Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado da Bahia (FAPESB) pelo financiamento da pesquisa.

Aos meus amigos da Residência Universitária Hospício por todos os momentos compartilhados nessa trajetória, "XD"!

A Neuza Helena por todo apoio na fase mais importante da conclusão desse trabalho, *Je ne sais pas comment te remercier.*

Ao meu orientador, Dr. Lucas Melo Vellame, pela atenção, paciência, ensinamentos e conselhos. Muito obrigado por me apresentar o mundo da pesquisa científica!

A todo o grupo de do laboratório de instrumentação e tecnologia embarca por todo o conhecimento científico compartilhado e pelos momentos de distração, *Je vous suis vraiment reconnaissant pour tout ce que vous avez fait pour moi !*

Enfim, a todos que de uma forma ou de outra contribuíram para a realização deste trabalho.

Obrigado !

ACLIMATAÇÃO DO CACAUEIRO À REDUÇÃO DO VOLUME DE SOLO MOLHADO

RESUMO: Um dos fatores decisivos para o dimensionamento, planejamento e manejo eficiente de projetos de microirrigação em culturas perenes, como o cacaueteiro, é a definição do percentual de volume de solo molhado. Objetivou-se avaliar a aclimatação do cacaueteiro à redução do percentual de volume de solo molhado com base no crescimento da parte aérea, avaliação do sistema radicular e transpiração. Plantas jovens de cacaueteiro foram transplantadas para reservatório de 0,5 m³ divididos internamente em compartimentos e foram submetidas a irrigação de 12,5%, 25%, 50% e 100% do volume, em delineamento experimental inteiramente casualizado. Da parte aérea foi avaliada a área foliar, número de folhas, altura da planta e diâmetro do caule. A transpiração foi estimada pelo método da sonda de dissipação térmica em todas as plantas do experimento, a temperatura do dossel foi monitorada de forma contínua por sensores de infravermelho em três plantas. Foi avaliada a densidade de raízes e a variação de armazenamento de água nos compartimentos. 30 dias após restrição do percentual de volume de solo molhado (WV) não se observou diferenças na área foliar e transpiração das plantas, indicando que em períodos de escassez de água menor ou igual a 30 dias a irrigação de 0,06 m³ de solo não afetaria o desenvolvimento vegetativo da cultura. Com a redução do percentual do volume de solo molhado houve redução da transpiração das plantas diferindo das plantas sem restrição de volume de solo molhado aos 90 dias de restrição. Apesar de não apresentar diferença na área foliar, aos 120 dias após a restrição a transpiração média mensal no período foi maior nas plantas com maior volume de solo molhado em relação às plantas sob restrição, indicando que apenas a avaliação da área foliar do cacaueteiro não é suficiente para indicar uma condição de aclimatação da planta a redução do volume de solo molhado. A transpiração do cacaueteiro independente do percentual de volume de solo molhado não segue uma tendência linear com o aumento da demanda atmosférica, apresentando não linearidade da transpiração com ETo acima de 2,3 mm.dia⁻¹ e radiação solar acima de 1,6 MJm⁻²h.

Palavra-chave: Microirrigação; Percentagem de Área Molhada; Temperatura Foliar; *Theobroma cacao L.*

ACCLIMATIZATION OF COCOA TO THE REDUCE OF WET SOIL VOLUME

ABSTRACT: One of the decisive factors for the design, planning and efficient management of microirrigation systems in perennial crops, such as cocoa, is the definition of the percentage of wet soil volume. The objective of this study was to evaluate the acclimatization of the cocoa tree to reduce the percentage of soil volume based on vegetative growth, root system evaluation and transpiration. Young plants of cocoa were transplanted to a 0.5 m³ reservoir internally divided into compartments and were submitted to irrigation of 12.5%, 25%, 50% and 100% of the volume, in a completely randomized experimental design. Leaf area, number of leaves, height of plant and stem diameter were evaluated from the aerial part. Transpiration was estimated by the thermal dissipation probe method in all plants of the experiment, the canopy temperature was monitored continuously by infrared sensors in three plants. The root density and the variation of water storage in the compartments were evaluated. 30 days after restriction of the percentage of volume of wet soil (WV) no differences were observed in leaf area and transpiration of the plants, indicating that in periods of water scarcity less than or equal to 30 days, irrigation of 0,06 m³ soil would not affect the vegetative development of the crop. With the reduction of the percentage of the volume of wet soil there was reduction of the transpiration of the plants differing from the plants without restriction of volume of wet soil at the 90 days of restriction. Although there was no difference in leaf area, at 120 days after the restriction the monthly mean transpiration in the period was higher in the plants with greater volume of wet soil in relation to the plants under restriction, indicating that only the evaluation of the leaf area of cocoa is not enough to indicate a condition of acclimatization of the plant to reduce the volume of wet soil. The transpiration of the cocoa tree independent of the percentage of volume of wet soil does not follow a linear tendency with the increase of the atmospheric demand, presenting non-linearity of the transpiration with ETo above 2.3 mm.dia⁻¹ and solar radiation above 1.6 MJm⁻²h.

Key words: Microirrigation ; Percentage of Wetted Area; Leaf Temperature

Theobroma cocoa L

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	1
REVISÃO DE LITERATURA.....	3
Relações hídricas do cacaueteiro	3
Irrigação na cultura do cacaueteiro	4
Microirrigação e percentual de área molhada	5
Transpiração das Plantas.....	7
MATERIAIS E MÉTODOS	11
Delineamento experimental e tratamentos	11
Medidas do fluxo de seiva por sondas de dissipação térmica (SDT)	13
Temperatura foliar	14
Evapotranspiração de Referência	15
Avaliação da parte aérea	16
Avaliação do sistema radicular.....	16
Variação de armazenamento de água no solo nos compartimentos.....	17
Análise estatística	18
RESULTADOS E DISCUSSÃO	19
Sistema radicular e variação de armazenamento de água no solo nos compartimentos.....	19
Parte área	21
Fluxo de seiva em escala horária e sua relação com a radiação solar	24
Relação do fluxo de seiva em escala diária com a evapotranspiração de referência e área foliar.	27
Fluxo de seiva ao longo do período experimental	29
Temperatura foliar e Fluxo de seiva	30
CONCLUSÃO	33
REFERÊNCIAS	34

INTRODUÇÃO

A cacauicultura brasileira é uma atividade de grande importância socioeconômica, sendo o cacau uma importante commodity agrícola de exportação no mundo. Por conta de condições climáticas desfavoráveis e principalmente por problemas fitossanitários há a redução da produtividade da cacauicultura da Bahia (maior produtor nacional) desde a década de 1980 (SANTOS & SODRÉ, 2017; ZUGAIB, 2008). Com o uso de novas técnicas de irrigação, fertirrigação, manejo e materiais genéticos melhorados, trabalhos têm demonstrado a viabilidade econômica e uma nova oportunidade de investimentos para a cultura em áreas tradicionais e expansão para áreas não tradicionais (ALMEIDA, 2014; BABADELE, 2018).

O cacauero irrigado é pouco conhecido já que as regiões tradicionais de plantio apresentam elevada precipitação pluviométrica bem distribuída ao longo do ano. O sistema de irrigação predominantemente adotado nos cacauais, assim como nas demais fruteiras, tem sido a microirrigação. A microirrigação distribui água diretamente na zona radicular das culturas, assim o volume de água aplicado é reduzido e restrito a uma parcela de solo, reduzindo-se as perdas por evaporação, de modo que o volume de solo molhado é um dos primeiros parâmetros para o dimensionamento hidráulico de um projeto de microirrigação (FRIZZONE, 2012). O volume de solo molhado é fator limitante na distribuição do sistema radicular, armazenamento de água e nutriente. Fatores estes que pode afetar o desenvolvimento vegetativo e qualidade dos frutos em fruteiras (COELHO, 2002).

O percentual de área molhada é um critério adotado por diversos autores para o dimensionamento de projetos de microirrigação, e que nestes deve-se prever um número de pontos de emissão suficiente para molhar entre 30% e 60% da superfície horizontal potencialmente ocupada pelo sistema radicular (BERNARDO et al., 2011; FRIZZONE, 2012). No entanto foi observado que a redução do percentual de área molhada em algumas fruteiras como citrus, mangueira, cerejeira e mamoeiro não afetaram o crescimento vegetativo e a produção destas culturas (VELLAME et al., 2015; CARVALHO et al., 2014; YILDIRIM, 2012).

Informações das relações hídricas do cacauero em cultivos irrigados são escassas, no entanto, essas informações são necessárias para o correto

planejamento, dimensionamento e manejo da irrigação. A carência destas informações pode contribuir para projetos de irrigação sub ou superdimensionados, com retorno econômico insuficiente.

Os resultados diversos encontrados na literatura indicam que o percentual de volume de solo molhado ou de área molhada a ser adotado depende principalmente da cultura, visto que, em algumas plantas a redução do percentual de volume de solo molhado não tem apresentado efeitos negativos na produção, enquanto que em outras culturas a redução do volume de solo molhado tem levado a redução da produção. Evidência esta que justifica o desenvolvimento de pesquisas para determinar o percentual de volume de solo molhado que otimize o uso da água de irrigação em diferentes condições edafoclimáticas.

Dessa forma o trabalho teve por objetivo avaliar a aclimação do cacaueteiro a redução do percentual de volume de solo molhado com base no crescimento da parte aérea, avaliação do sistema radicular e transpiração.

REVISÃO DE LITERATURA

Relações hídricas do cacau

O cacau (*Theobroma cacao* L.) é uma planta típica dos climas tropicais e subtropicais onde o consumo de água pelos vegetais é geralmente alto. Poucas plantas cultivadas são tão sensíveis à deficiência de água como o cacau e, praticamente, todos os seus processos fisiológicos são afetados pela falta de umidade no solo (AMORIM & VALLE, 1993; CARR E LOCKWOOD, 2011).

A deficiência de água no solo promove o fechamento dos estômatos, favorece o decréscimo da taxa fotossintética. A falta de água pode inibir a floração do cacau, que é retomada após o aumento do potencial de água no solo. O déficit hídrico é o maior obstáculo que o cacau pode enfrentar em relação a qualquer outro risco natural inclusive fitogênico, sendo sua produtividade regulada pela disponibilidade de água no solo (ALVIM et al, 1965).

Simulações realizadas por Zuidema et al. (2005), mostraram que a diferença de rendimento produtivo devido à limitação de água, pode atingir até 50%, em algumas regiões produtoras de cacau. Essa diferença de rendimento é fortemente (e negativamente) relacionada com a reduzida precipitação na estação seca (< 50 mm) e o tipo de solo.

Almeida et al (2016) ao avaliar as respostas fisiológicas à seca, déficit hídrico experimental e alagamento de quatro clones de cacau selecionados para cultivo na Venezuela, evidenciam que os clones submetidos a déficits hídricos apresentaram uma redução significativa do potencial de água na folha. Resultados semelhantes foram encontrados em cultivares Crioulo durante a estação seca na Venezuela (Ávila-Lovera et al., 2016).

Segundo Fraga Junior (2017) em condições de secamento do solo a transpiração diária do cacau não foi afetada até o ponto crítico de -24,89 kPa, a partir do qual apresentou redução de 1,5%.kPa⁻¹, o mesmo autor notou que a diferença na área foliar na faixa de 1,11 a 3,71 m² do cacau jovem não tem efeito significativo na transpiração.

Segundo Alvim (1965) a velocidade com que a água se movimenta das raízes para as folhas varia conforme os fatores meteorológicos. As condições que favorecem uma alta intensidade de transpiração, tais como intensa radiação solar,

alta temperatura, ventos e baixa umidade do ar, aceleram a circulação de água nas plantas e aumentam a absorção de água pelas raízes. Durante as horas do dia, a transpiração geralmente supera a absorção de água, o que resulta em déficit de umidade dentro da planta. Se a umidade do solo não é deficiente, a absorção de água durante a noite será suficiente para cobrir esse déficit, deixando um saldo de umidade para novos crescimentos. Se a umidade do solo é deficiente, o crescimento paralisa e sobrevém o murchamento.

Rada et al (2005), ao avaliar as relações hídricas e as trocas gasosas em *Theobroma cacao* var. Guasare sob períodos de déficit hídrico em plantas sujeitas a 3, 12 e 25 dias sem água. Notaram uma diminuição significativa ($p < 0,05$) na condutância estomática com o aumento do estresse hídrico em plantas submetidas a 3 e 12 dias sem água. A eficiência no uso da água aumentou conforme a disponibilidade de água diminuiu. Taxas de assimilação de CO_2 foram reduzidos em 25% em plantas severamente estressadas enquanto as taxas de transpiração diminuiram 39%, indicando que o fechamento estomático afeta as perdas de água em maior grau.

Alguns genótipos considerados tolerantes são menos afetados e, no caso do cacau, existem materiais genéticos que podem suportar sem prejuízos significativos ao crescimento e produção em valores de potencial de água na folha (Ψ_w) entre -2,0 a -2,5 MPa (Santos et al., 2014).

Irrigação na cultura do cacau

Somente uma proporção muito pequena (cerca de 0,5 %) da área plantada com cacau é considerada irrigado (Ávila-Lovera et al., 2016). No entanto, trabalhos tem demonstrado aumento na produtividade do cacau com o uso da irrigação mitigando os efeitos do déficit hídrico provocado pelos períodos sem precipitações pluviométricas (BABADELE, 2018).

O tempo de ocorrência da seca ou escassez de água durante o ciclo anual do cacau tem efeito chave na produção esperada. Quando ocorre redução na disponibilidade de água nos primeiros anos de estabelecimento em campo, ocorre o aumento das taxas de mortalidade que podem alcançar de 14 a 27 % (Araque et al., 2012). Se a seca ocorre durante a fase de enchimento dos frutos (5- 6 meses), haverá a redução de seu tamanho, além disso, a fase de crescimento vegetativo da planta no final da colheita será severamente afetada pela redução de sua

capacidade fotossintética (Orozco-Aguilar e Sampson, 2016). O cultivo do cacau em regiões onde a precipitação média anual varia entre 600 a 800 mm, demandam indispensavelmente práticas de irrigação para assegurar produções regulares (Carr & Lockwood, 2011).

Com o advento da irrigação, a produção de cacau tem incrementado em 40 a 100% da produtividade em plantios comerciais em várias regiões. No norte do Espírito Santo, em cacauzeiros fertirrigados ocorreu um aumento de 54% (SIQUEIRA et al., 1996). Siqueira et al. (1987) em experimento conduzido com cacau irrigado no recôncavo da Bahia, submetido a três tratamentos, com aplicação de 80% e 50% de disponibilidade de água no solo e um não irrigado. Observaram que não houve diferença significativa entre os tratamentos irrigados, mas os tratamentos irrigados demonstraram rendimento superior a 100% em relação ao não irrigado.

Almeida et al. (2014) avaliando diferentes lâminas de irrigação e doses de nitrogênio constaram que o peso de amêndoas por fruto aumentou de forma quadrática em função do aumento das lâminas de irrigação, entretanto, apenas para 70% de nitrogênio da recomendação de adubação para a cultura do cacauzeiro nos três primeiros anos. Evidenciando que a água provavelmente seja o principal fator para o aumento do peso das sementes.

As elevadas produtividades notadas recentemente com os trabalhos da Comissão Executiva do Plano da Lavoura Cacaueira (CEPLAC) com cacauzeiro irrigado no Vale do São Francisco com uma produtividade média de 200 arrobas ha⁻¹ em um ciclo produtivo de 10 anos, tem evidenciado favoravelmente na quebra de paradigma, na aceitação da proposição que o cacauzeiro irrigado é uma atividade lucrativa (BEGIATO et al., 2009).

Microirrigação e percentual de área molhada

A percentagem de volume de solo molhado é um dos primeiros parâmetros para o dimensionamento hidráulico de um projeto de microirrigação. O percentual de área molhada (Pw) corresponde à proporção da superfície (Aw) ou volume de solo que deve ser umedecido em relação à superfície total ou ao volume de solo que pode estar ocupado pelas raízes (KELLER & KARMELI, 1975).

A microirrigação distribui água diretamente na zona radicular das culturas, assim o volume de água aplicado é reduzido e restrito a uma parcela de solo, reduzindo-se as perdas por evaporação e drenagem profunda, de modo que a

seleção de emissores deve considerar as características do sistema radicular das culturas, o volume de solo molhado, a quantidade total de água a ser aplicada, bem como a estimativa do tempo total admissível de irrigação por dia (FRIZZONE, 2012; COELHO FILHO, 2002).

A distribuição do sistema radicular sob microirrigação é influenciado pelo volume do solo molhado perpendicularmente aos emissores, principalmente em regiões semiárida. Se o volume do solo molhado é muito pequeno, o sistema radicular é limitado a uma pequena faixa, restringindo a absorção de nutrientes e água. Se o volume do solo úmido for muito grande, o grande volume do solo molhado pode levar a uma grande perda por evaporação da água e possível drenagem de água e nutrientes (Ben-wang et al, 2006; Li et al. , 2006).

O diâmetro máximo do bulbo molhado por emissor sempre que possível deve ser medido diretamente no campo, recomenda-se que a área molhada, em gotejamento, seja determinada a partir de uma estimativa da área média molhada à profundidade de aproximadamente 0,20 m. Já na microaspersão para obter a área molhada é suficiente calcular a superfície molhada utilizando-se o raio efetivo de alcance do microaspersor; nesse caso, mesmo que a área efetivamente molhada abaixo da superfície do solo seja algo maior, a diferença pode ser desconsiderada (BERNARDO et al., 2011; FRIZZONE, 2012).

A área molhada por um emissor (AW) pode ser estimada pelo diâmetro máximo do bulbo molhado por emissor (W) por:

$$AW = \frac{\pi \times W^2}{4} \quad (1)$$

Em que, Aw = área molhada (m^2) e W = diâmetro máximo do bulbo molhado pelo emissor (m).

Um critério adotado por diversos autores para o dimensionamento de projetos de microirrigação, é que nestes a fração de área molhada para culturas mais espaçadas como cacaueteiro deve ser maior que 33% em regiões áridas e maior que 20% em regiões úmidas, para evitar problemas de tombamento das árvores devido à ação do vento e reduzir os o risco de os mesmos serem insuficientes em relação ao consumo de água pela planta, ao passo que acima dessa faixa a situação é mais segura, entretanto o custo de implantação do sistema torna-se mais elevado. (BERNARDO et al., 2011; PIZARRO, 1990; KELLER & BLIESER,1990, FRIZZONE 2012).

Vellame et al (2015) ao avaliar o efeito parcial do molhamento do solo, usando 12% de área molhada, em plantas jovens de citros, observaram que a transpiração destas é reduzida, quando comparada a plantas com 100% de área molhada, sendo esta redução influenciada pelo número de dias após a imposição da irrigação parcial, como também pela demanda evaporativa da atmosfera e estágio fenológico da planta. Apesar da redução da transpiração, não houve diferença entre os tratamentos com 12% e 100% da área de solo umedecido em termos de crescimento vegetativo. Souza et al. (2003), verificaram que porcentagens de área molhada (Pw) correspondendo a 15, 31 e 46% não afetaram a produção da limeira ácida 'Tahiti', contudo a PW 15% proporcionou frutos com maior teor de sólidos solúveis, seguida PW 31% e PW 46%, respectivamente.

No entanto, Pannunzio et al (2010) ao avaliar o impacto dos sistemas de irrigação por gotejamento em mirtilos com uma e duas linhas laterais observaram que houve aumento da produção quando usadas duas linhas laterais. Os autores atribuem essa evidencia ao maior volume de solo molhado, visto que, plantas de mirtilos apresentam sistema radicular superficial e que uma redução no volume de solo molhado pode levar a um grave déficit hídrico, com serias reduções na evapotranspiração da cultura.

Transpiração das Plantas

A estimativa do consumo de água pelas plantas apresenta relevante importância no manejo adequado da irrigação. O manejo da irrigação frequentemente é realizado baseando-se na estimativa da evapotranspiração obtido a partir de dados meteorológicos e de uma cultura de referência, denominada evapotranspiração de referência (ET_o). A evapotranspiração estimada dessa maneira é afetada por um coeficiente relativo à cultura em questão, o coeficiente da cultura (K_c), obtendo-se a evapotranspiração da cultura (ET_c) (BERNARDO, 2008). Esta medida tem levado a bons resultados principalmente em culturas com cobertura baixa e uniforme. No caso de culturas com maior porte e maiores espaçamentos, como é o caso das fruteiras, verifica-se certo desajustamento nas estimativas. Nestes casos a medição da evapotranspiração apresenta maiores dificuldades do que em cultivos baixos e homogêneos (PAÇO, 2004).

O cacauero deposita suas folhas no solo minimizando as perdas de água por evaporação, tornando a transpiração o principal componente da demanda hídrica da

cultura. Além disso, com sistema de microirrigação, o volume de água aplicado é restrito a uma parcela do solo, reduzindo-se as perdas por evaporação. Assim é importante separar os componentes evaporação e transpiração para o manejo da água na cultura.

Segundo Kool et al (2014) o método mais preciso para determinar a transpiração é a medida do fluxo de seiva. Varias técnicas tem sido desenvolvidas para a mensuração do fluxo de seiva e pode ser classificado principalmente em três grupos gerais: balanço de calor (SAKURATANI, 1987), pulso de calor (BURGUESS et al., 2011) e sonda de dissipação térmica (GRANIER, 1985).

Segundo Delgado-Rojas et al (2007) o método da sonda de dissipação permite avaliar em escala temporal de curtos intervalos de tempo o comportamento hídrico das plantas em seu ambiente natural de cultivo e em condições não perturbadas durante longos períodos, além disso, apresenta em relação ao demais métodos facilidade de confecção e instalação, bem como versatilidade para qualquer planta lenhosa.

O método da sonda de dissipação térmica (SDT), desenvolvido por Granier (1985), permite a determinação da densidade do fluxo de seiva no caule, possibilitando, assim, a estimativa do fluxo de seiva, o qual está diretamente associado à transpiração da planta. Esse método pressupõe a equivalência entre o fluxo de seiva no caule e o fluxo transpiratório nas folhas, pressuposto válido quando se considera o fluxo em escala diária (POMPONET, 2012, VELLAME 2009, DELGADO-ROJAS, 2007).

O método da sonda de dissipação térmica funciona através da inserção perpendicular de duas sondas termopares na mesma linha axial no tronco da planta. A sonda superior é aquecida constantemente a uma potência elétrica de 0,2 W, por centímetro de comprimento do sensor, e a inferior mede a temperatura ambiente da planta. A corrente elétrica é fornecida por meio de fonte de tensão ou fonte de corrente, onde a última apresenta vantagem de manter a potência na sonda constante quando resistências elétricas dos fios de cobre variam com a temperatura ambiente Figura 1. (VELLAME, 2015).

A variação de temperatura entre as duas sondas é registrada por um sistema de aquisição de dados, e é proporcional a densidade de fluxo de seiva ocorrido em um intervalo de tempo analisado. O fluxo de seiva é mínimo ou nulo, quando ocorre a máxima diferença de temperatura entre as duas sondas, enquanto que a

quantidade máxima de fluxo de seiva ocorre com a mínima diferença de temperatura entre as sondas (DELGADO-ROJAS, 2007).

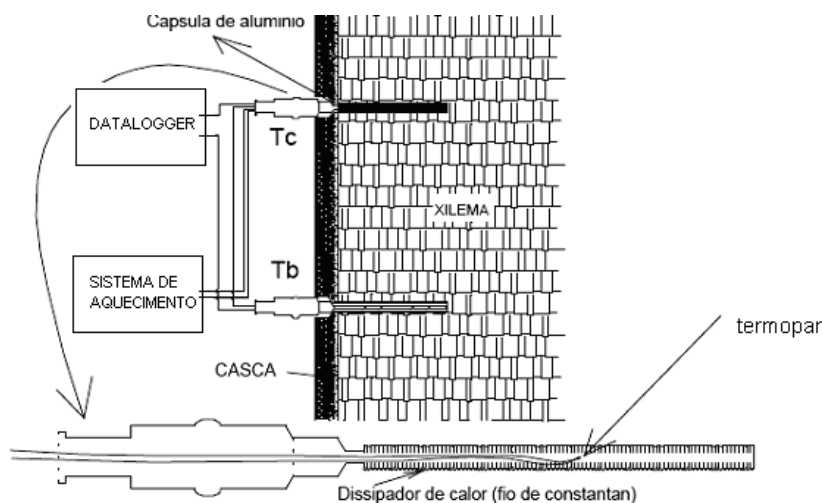


Figura 1. Esquema de medição do sensor de dissipação térmica (Fonte: DELGADO – ROJAS, 2007)

Para a determinação da densidade do fluxo de seiva Granier (1985) propôs uma equação que relaciona a densidade de fluxo de seiva (F_d) e a diferença de temperatura (Δt) entre as duas sondas, aquecida e não aquecida, como segue na Equação 2:

$$F_d = \alpha K^\beta = 118,9 \times 10^{-6} \times \left(\frac{\Delta T_{max} - \Delta T}{\Delta T} \right)^{1,231} \quad (2)$$

Em que, F_d = densidade de fluxo de seiva, $m^3 m^{-2} s^{-1}$; ΔT_{max} = diferença máxima de temperatura entre os dois pontos de medida, normalmente na madrugada; ΔT = diferença de temperatura atual entre as duas sondas; α e β – coeficientes empíricos

O fluxo de seiva é calculado considerando a área de seção efetiva do xilema que conduz a seiva bruta, como sugere a Equação 3:

$$F_s = F_d \times A_S \quad (3)$$

Em que, F_s = fluxo de seiva, $m^3 \cdot s^{-1}$; F_d = densidade de fluxo de seiva, $m^3 \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$; A_S = área de seção efetiva do xilema, m^2 .

Trabalhos desenvolvidos baseados no método proposto por Granier têm explicitado a necessidade de se avaliar a acurácia do método, pois algumas fontes de erros podem estar associadas, principalmente por conta das diferenças nas propriedades térmicas do caule entre espécies, a determinação da área condutora

de seiva, os gradientes térmicos naturais, bem como a distribuição e condução da seiva no caule (VELLAME, 2011; POMPONET, 2012, DELGADO ROJAS, 2007).

Delgado-Rojas et al. (2007), baseado em medidas lisimétricas de citros, concluíram que o método da SDT pode ser aplicado com boa exatidão desde que os efeitos dos gradientes térmicos naturais no caule sejam corrigidos. Em mangueira, Vellame et al. (2011), obtiveram boa concordância com a transpiração diária, ao corrigir os gradientes térmicos naturais e modificar os parâmetros empíricos da equação geral de Granier.

Pamponet et al. (2012), também verificaram que para uma estimativa acurada do fluxo de seiva pelo método Granier na cultura do cacaueteiro é indispensável à correção dos gradientes térmicos naturais presentes no caule, podendo ser utilizada a temperatura do ar para estimativa das diferenças térmicas naturais.

Segundo Vellame (2015), há uma tendência da transpiração estimada pelo fluxo de seiva, acompanhar a variação da demanda evaporativa do ar, caracterizada pela evapotranspiração de referência (ET_o), indicando o grande potencial desta metodologia na quantificação de água perdida pela transpiração, que deverá ser repostada pela irrigação. Configurando-se como um indicador vegetal, relevante no manejo da irrigação, tal como citado por Coelho Filho et al (2013).

Desta maneira, o monitoramento da transpiração das plantas em condição de redução de volume de solo molhado aliado ao acompanhamento do desenvolvimento da cultura pode auxiliar de forma segura na determinação do volume mínimo de solo molhado que garanta o pleno desenvolvimento da cultura.

O efeito da disponibilidade de água no solo na transpiração e temperatura foliar ainda não está bem definida para os cacaueteiros. Cazuza Neto et al (2017) ao submeter plantas jovens a diferentes limites de potenciais de água no solo (20, 40, 60 e 80 KPa), observaram que as plantas apresentam temperatura foliar superior a temperatura do ar mesmo sob alta disponibilidade de água no solo mesmo em condições de baixa demanda da atmosfera.

MATERIAIS E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em casa de vegetação na Universidade Federal do Recôncavo da Bahia (UFRB), nas dependências do Núcleo de Engenharia de Água e Solo (NEAS), no município de Cruz das Almas, Bahia (12°40'19"S, 39°06'23"W e altitude de 220 m).

Plantas de cacaueteiro do clone CCN 51 com porta enxerto do clone CEPEC 2002 foram transplantadas em março de 2016 para reservatórios com volume de 0,5 m³ preenchidos com Latossolo Amarelo (Tabela 1 e 2). Em cada reservatório foi instalado um sistema de drenagem formado por um dreno de 0,025 m de diâmetro, uma camada de 0,08 m de espessura de brita, uma tela de nylon (2000 micra) e uma camada de 0,01m de areia lavada.

Após o transplante, todo o volume de solo dos reservatórios foi adubado segundo recomendações de Chepote et al (2012) e irrigado a fim de que o sistema radicular ocupasse de forma uniforme o volume de solo dos vasos. Para possibilitar aplicação uniforme de água, foram utilizados gotejadores autocompensantes conectados a divisores de descarga.

Tabela 1: Caracterização físico-hídrica do solo

Profundidade (m)	Granulometria (%)			P (%)	Dg (g/cm ³)	Dp (g/cm ³)
	Areia	Silte	Argila			
0,00-1,00	68,25	20,22	11,53	51,30	1,31	2,69

P, porosidade; Dg, densidade global; Dp, densidade de partículas

Tabela 2: Caracterização química do solo

Profundidade (m)	pH em H ₂ O	MO (g/kg)	P (mg/dm ³)	K	Ca	Mg	Al	Na	H+Al	S	CTC	V (%)
0,00-0,20	4,9	9	3	0,04	0,37	0,17	0,50	0,01	2,68	0,59	3,28	18
0,20-0,40	4,7	9	1	0,02	0,30	0,08	0,70	0,01	2,63	0,41	3,04	14
0,00-1,00	4,7	7	3	0,03	0,31	0,11	0,60	0,01	2,65	0,46	3,11	15

MO, matéria orgânica; P, fósforo; K, potássio; Ca, cálcio; Mg, magnésio; Al, alumínio; Na, sódio; H+Al, acidez total; S, soma de bases; CTC, capacidade de troca catiônica; V, saturação por bases.

Delineamento experimental e tratamentos

No período de fevereiro a agosto de 2018 (aproximadamente 2 anos após o transplante) a fim de avaliar a aclimatação do cacaueteiro a restrição de volume de

solo molhado , as plantas foram submetidas a irrigação de 12,5%, 25%, 50% e 100% do volume do reservatório (%WV) correspondendo a 0,06; 0,12; 0,25 e 0,5 m³, de volume de solo. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado com 8 repetições.

Para garantir que apenas a fração do volume estipulado fosse molhada, antes do plantio das mudas os reservatórios tiveram seu volume interno subdividido com placas de madeira processada (Eucatex), revestidas por duas camadas de lona plástica para impedir o movimento da água para os compartimentos não irrigados. Na parte central das divisórias foi feito um corte de 0,15 m de profundidade onde realizou o plantio das mudas com as raízes nuas, a fim de obter a distribuição uniforme das raízes nos compartimentos (Figura 2).



Figura 2. Percentuais de volume de solo molhado: A = 100%WV, B = 50%WV, C= 25%WV e D =12,5 %WV.

No dia 07 de fevereiro de 2018 foram iniciados os tratamentos restringindo a aplicação de água aos compartimentos com volumes de solo correspondentes aos tratamentos. Após 150 dias de restrição do percentual de volume de solo molhado todos os compartimentos foram irrigados por 30 dias.

O manejo da irrigação foi realizado com base em medidas do potencial matricial do solo através de tensiômetros a 20 cm de profundidade, mantendo o potencial de água no solo entre 10 e 25 kPa com irrigações diárias.

Medidas do fluxo de seiva por sondas de dissipação térmica (SDT)

Foi estimada a transpiração de todas as plantas do experimento através de sondas de dissipação térmica que foram confeccionadas e instaladas segundo Vellame (2011).

A sonda superior foi aquecida por meio de fonte de corrente constante, com fornecimento de potência elétrica de 0,2 W por centímetro de comprimento da sonda.

O fluxo de seiva foi estimado pelo método de Sondas de Dissipação Térmica - SDT ou método de Granier (1985) com modificações de Fraga Junior (2017) que ajustou o coeficiente angular da equação pela minimização dos desvios absolutos entre o fluxo de seiva acumulado em 24h e a transpiração medida com lisímetros de pesagem (Equação 4).

$$FS = 0,000357 \left(\frac{(\Delta T_{\max} - \Delta T)}{\Delta T} \right)^{1,231} \cdot AS \quad (4)$$

Em que: FS = Fluxo de seiva, $m^3 s^{-1}$; ΔT = diferença de temperatura entre as sondas, °C; ΔT_{\max} = diferença de temperatura entre as sondas em fluxo nulo, °C; AS = área de seção condutora do caule; m^2 .

A estimativa da área de seção condutora do caule (AS – m^2) foi obtida a partir da Equação 5 proposta por Fraga Junior (2017):

$$AS = (-0,0004Pe^2 + 1,1367Pe - 4,8927) \cdot 10^{-4} \quad (5)$$

Em que: AS = Área de seção condutora de seiva, m^2 ; Pe = Perímetro externo do caule, cm.

As medidas dos sensores utilizados foram realizadas a cada 30 s; com médias armazenadas a cada 15 min. O sinal proveniente das sondas foi conectado ao sistema de aquisição e armazenamento de dados (“datalogger” CR1000 Campbell SCi).

Após a instalação das sondas, o segmento do caule foi revestido acima e abaixo com papel laminado e colocada, no local do sensor, uma proteção com papel laminado no formato de saia, minimizando dessa maneira os efeitos dos gradientes térmicos naturais. Além disso, foi realizado o desligamento das sondas em períodos regulares de três dias consecutivos a cada 15 dias durante o decorrer do experimento, sendo que uma sonda estava constantemente desligada (sonda de referência) para a tomada dos gradientes térmicos naturais no período de leitura

efetiva da transpiração das plantas. As diferenças térmicas naturais foram correlacionadas com a sonda tomada como referência, para gerar, por meio de regressão linear, modelos de estimativa para cada segmento de caule monitorado (Equação 6).

$$\Delta TN_E = a \times \Delta TN_{ref} + b \quad (6)$$

Em que: ΔTN_E = a diferença térmica natural estimada para cada sonda ($^{\circ}\text{C}$); ΔTN_{ref} = a diferença térmica natural da sonda de referência ($^{\circ}\text{C}$); a e b são coeficientes empíricos.

A diferença térmica de cada sonda aquecida foi corrigida por meio da Equação 7.

$$\Delta T = \Delta T_m - \Delta TN_E \quad (7)$$

Em que: ΔT = Diferença térmica atual corrigida ($^{\circ}\text{C}$); ΔT_m = Diferença térmica não corrigida medida pela sonda ($^{\circ}\text{C}$); ΔTN_E = Diferença térmica natural medida pela sonda ($^{\circ}\text{C}$).

Temperatura foliar

Um sistema de aquisição de dados idealizado foi constituído de sensores endereçados que enviam as informações de forma digital via barramento I₂C para um circuito eletrônico que organiza os dados e os transmite no formato serial. Outro circuito eletrônico é responsável pelo armazenamento dos dados em forma de médias. Um programa computacional é responsável pela aquisição dos dados via computador portátil e por configurações básicas como o intervalo de tempo das médias e configuração de data e hora (Figura 3).

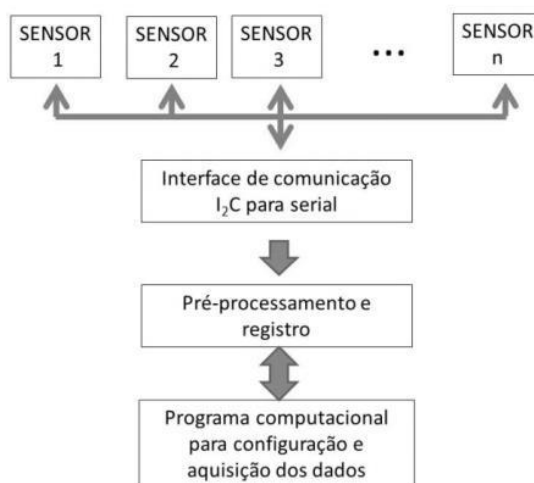


Figura 3. Diagrama em blocos do sistema de aquisição de dados.

O sensor utilizado no sistema de aquisição de dados foi o MLX90614 que é um

termômetro infravermelho para medições de temperatura sem contato, de acordo com o manual do fabricante (Data Sheet Melexis , 2015).

A detecção da temperatura se dá por um sistema de termopilha. O condicionador de sinal é formado por um amplificador de baixo ruído (OPA), um conversor analógico digital de 17 bits (ADC) e uma unidade de processamento de sinal digital (DSP). O termômetro vem calibrado de fábrica e apresenta acurácia de 0,5°C de acordo com o fabricante. Foi utilizada a saída digital SMBus (System Management Bus) para a comunicação com o protocolo I₂C do sistema de aquisição de dados. O sensor foi inserido em um suporte articulado para fixação em haste metálica construído para essa finalidade (Figura 4).

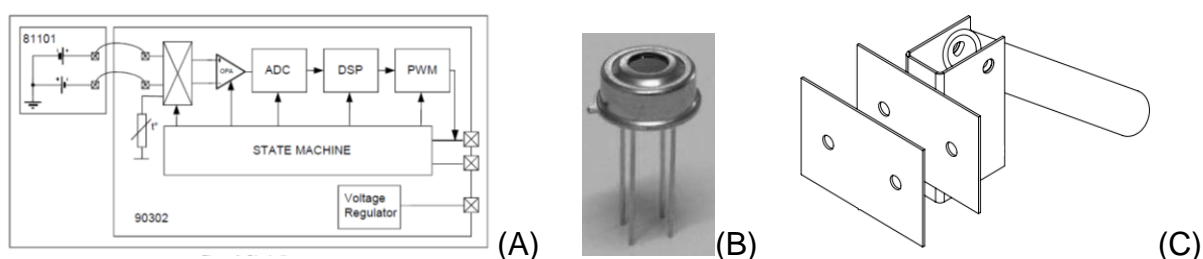


Figura 4. Diagrama em blocos MLX90614 (Fonte: Data Sheet Melexis , 2015) (A), encapsulamento (B) e suporte articulado do sensor (C).

Foi monitorada a temperatura do dossel (T_c) de uma planta dos tratamentos (12,5%, 50% e 100% WV). Ambos estavam posicionados sob a copa das plantas, com exposição direta a radiação solar. Sendo correlacionada com a transpiração das plantas sob os diferentes percentuais de volume de solo molhado.

Evapotranspiração de Referência

Para o monitoramento da evapotranspiração no interior da estufa, A radiação solar global foi monitorada por meio de piranômetro (LP02-L12 -Campbell Sci.) e a umidade relativa e temperatura do ar por sensor Vaisala (HMP45C-L12 -Campbell Sci.). Os sensores foram instalados a 2 m de altura no centro da estufa. As medidas dos sensores utilizados foram realizadas a cada 30s; com médias armazenadas a cada 15min. O sinal proveniente dos sensores foi conectado ao sistema de aquisição e armazenamento de dados (“datalogger” CR1000 Campbell Sci.).

Os dados meteorológicos foram utilizados para o cálculo diário da

evapotranspiração de referência (ET_o) pela equação de Penman-Montheith parametrizada pela FAO. A velocidade do vento no interior da estufa teve seu valor fixado em 0,5 m s⁻¹ como recomendado no Boletim FAO 56 para condições em que esse elemento é praticamente nulo (ALLEN et al., 1998).

Avaliação da parte aérea

A biometria do cacauzeiro foi realizada 30 dias antes da imposição dos tratamentos, no momento da imposição e após este período foi realizada mensalmente até o final do período experimental, abrangendo variáveis diretas tais como, altura de planta, diâmetro do caule, diâmetro da copa, número de folhas e área foliar.

A área foliar (AF) foi estimada pelo método direto não destrutivo, conforme o modelo proposto por Oliveira et al. (2012), em conformidade com Santos et al. (2014), para o clone CCN-51 irrigado, não sombreado, como segue:

$$AF = 0,6638 \cdot L \cdot W \quad (8)$$

Em que, AF = área foliar, m²; L = comprimento ao longo do limbo foliar, m, e W = largura máxima da folha perpendicular à nervura central.

As medidas de cada planta foram tomadas considerando o número total de folhas existentes, amostrando-se 20% delas para a estimativa da área foliar média (AF_{média}), que, multiplicada pelo número de folhas da planta, permitiu a estimativa da área foliar total.

Avaliação do sistema radicular

A avaliação do sistema radicular foi realizada amostrando-se as raízes de todas as plantas tanto nos compartimentos irrigados, quanto nos compartimentos com solo seco antes da restrição de volume de solo molhado, aos 150 dias de restrição e após 30 dias de irrigação em todos os compartimentos.

A coleta de raízes foi realizada com um cilindro de aço de 0,4 m de comprimento e 0,048 m de diâmetro interno na camada de 0 - 0,4 m com o solo próximo a capacidade de campo. Posteriormente as raízes foram separadas do solo por imersão em água, em seguidas foram digitalizadas e a soma do comprimento das raízes foi obtida usando o software Safira® 2010.

Os dados de comprimento de raízes permitiram a determinação da densidade do comprimento de raízes, pela razão entre o comprimento de todos os segmentos de raízes da amostra e o volume da mesma. Com base nos dados dessa amostragem estimou-se o comprimento total de raízes por compartimento multiplicando-se a densidade de raízes pelo volume do compartimento.

Variação de armazenamento de água no solo nos compartimentos

Para quantificar a variação de armazenamento de água no solo em cada compartimento dos reservatórios foi instalado um tensiômetro na profundidade de 20 cm. As medidas de potencial matricial foram realizadas por meio de tensímetro digital durante 15 dias antes da restrição de volume de solo molhado e após a restrição aos 150 dias de imposição dos tratamentos. A umidade volumétrica do solo foi calculada usando a equação de Van Genuchten (1980) parametrizada para o solo (equação 9).

$$\theta(\Psi_m) = \theta_R + \frac{\theta_s - \theta_R}{\left[1 + (\alpha \cdot \Psi_m)^n\right]^m} \quad (9)$$

Em que :

$\theta(\Psi_m)$ - umidade volumétrica em função do potencial mátrico, $m^3 \cdot m^{-3}$

θ_s - umidade volumétrica do solo saturado, $0.48636 m^3 \cdot m^{-3}$

θ_R - umidade volumétrica residual do solo, $0.10119 m^3 \cdot m^{-3}$

m e n – são parâmetros adimensionais da equação, 0.256284 e 1.3446 respectivamente;

α - parâmetro adimensional da equação, 0.05613;

Ψ_m - Potencial matricial, KPa.

A variação média do armazenamento de água no solo nos compartimentos foi realizado nos volume de solo molhado (WV) e no volume de solo seco (DV) segundo as equações 10 e 11, respectivamente. A variação percentual média do armazenamento de água no volume de solo molhado (WV) foi obtida segundo a equação 12.

$$\Delta h_{WV} = (\theta_1 - \theta_2) \cdot V \cdot P_{WV} \quad (10)$$

$$\Delta h_{DV} = (\theta_1 - \theta_2) \cdot V \cdot P_{DV} \quad (11)$$

$$\Delta h_{\%} = \frac{\Delta h_{WV}}{(\Delta h_{WV} + \Delta h_{DV})} \quad (12)$$

Onde:

Δh_{WV} – variação de armazenamento de água no volume de solo molhado durante a o período de restrição de volume de solo molhado, m^3 ;

Δh_{DV} – variação de armazenamento de água no volume de solo seco durante a o período de restrição de volume de solo molhado, m^3 ;

V – volume de solo do reservatório, $0,5m^3$

P_{WV} – percentual de volume de solo molhado, em decimal.

P_{DV} – percentual de volume de solo seco, em decimal.

Θ_1 – umidade do solo no tempo 1, m^3m^{-3} ;

Θ_2 – umidade do solo no tempo 2, m^3m^{-3} ;

Análise estatística

Devido a perda de algumas plantas acometidas pela murcha-de-Ceratocystis (*Ceratocystis fimbriata*) na área experimental foram usadas 8, 6, 4 e 6 repetições respectivamente para os tratamentos de 12,5%, 25%, 50% e 100% WV. Os dados de área foliar, diâmetro do caule, altura das plantas, densidade de raiz e comprimento total da raiz, foram submetidos a ANOVA com a seguinte fonte de variação: percentual de volume molhado. Para os dados de transpiração, foram submetidos a ANOVA como fonte de variação percentual de volume molhado. O teste de Tukey com probabilidade de 5% foi utilizado para diferenciar as médias dessas variáveis.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Sistema radicular e variação de armazenamento de água no solo nos compartimentos

Antes da restrição do volume de solo molhado não havia diferença significativa da densidade de raízes entre as plantas e nem entre os compartimentos em que os reservatórios foram divididos. Sendo assim, o sistema radicular apresentava-se uniforme nos compartimentos e entre as plantas (Tabela 3). Nessa avaliação os compartimentos a serem irrigados apresentavam em média 18%, 25% e 49% do comprimento total das raízes respectivamente para os percentuais de volume de solo molhado (WV) de 12,5%, 25%, 50%. A variação do armazenamento de água no solo também se encontrava relativamente uniforme entre os compartimentos, apresentando 16,65%; 27,94% e 52,44% da variação de armazenamento respectivamente para 12,5%, 25%, 50% WV (Tabela 4).

Tabela 3. Densidade de comprimento das raízes ($\text{cm}^3 \cdot \text{m}^{-3}$) do cacaueteiro antes da restrição do percentual de volume de solo molhado, após a restrição e após 30 dias de irrigação sem restrição do percentual de volume de solo molhado no final do período experimental.

Percentual do volume de solo molhado (%)	Antes da restrição do percentual de volume de solo molhado		150 dias após a restrição do percentual de volume de solo molhado		30 dias de irrigação em todo volume de solo	
	Volume seco	Volume irrigado	Volume seco	Volume irrigado	Volume seco	Volume irrigado
100	-----	71,68A	-----	80,2A	-----	120,73A
50	76,57Aa	72,29Aa	41,45Aa	105,05ABb	82,08Aa	141,76Aa
25	48,11Aa	48,15Aa	25,91Aa	116,48ABb	179,35Aa	288,74Aa
12,5	49,1Aa	73,11Aa	28,4Aa	125,69 Bb	108,79Aa	220,55Aa

*Médias seguidas de mesma letra maiúsculas nas colunas e minúsculas nas linhas dentro de cada avaliação, não diferem estatisticamente entre si pelo teste Tukey 5% de probabilidade.

Tabela 4. Variação percentual média do armazenamento de água no solo nos compartimentos antes da restrição do volume de solo molhado e após restrição.

Período	Antes da restrição de volume de solo molhado			150 dias após a restrição do volume de solo molhado		
	12,5	25	50	12,5	25	50
Extração (%)	16,65	27,94	52,44	43,22	48,57	57,30
CV (%)	56,40	40,65	32,88	57,65	43,19	34,55

150 dias após a restrição do percentual de volume de solo molhado, notou-se que houve um aumento da densidade de raízes no compartimento irrigado comparado ao compartimento seco para todos os tratamentos. Nos compartimentos

mantidos secos observou-se que houve a morte das raízes constatada pela redução da densidade do comprimento das raízes, não havendo diferença entre os tratamentos. Os compartimentos irrigados apresentavam em média 39%, 60% e 72% respectivamente do comprimento total das raízes para os percentuais de volume de solo molhado de 12,5%, 25% e 50% WV. Os resultados demonstram que apesar do aumento da densidade do comprimento das raízes nos compartimentos irrigados houve limitação no crescimento do total de raízes da planta em função da restrição.

Assim que foi retomada a irrigação em todos os compartimentos por um período de 30 dias, houve em média 43%, 49% e 57% da variação de armazenamento de água do solo respectivamente para os tratamentos de 12,5%, 25% e 50% WV. Observou-se que houve um aumento da densidade das raízes em todos os compartimentos para todos os tratamentos. Nos compartimentos irrigados e não irrigados não houve diferença significativa entre os tratamentos. O percentual do comprimento total de raízes no compartimento irrigado correspondeu a 22%, 35% e 63% respectivamente para o tratamento de 12,5%, 25% e 50% WV, fato este atrelado ao crescimento radicular nos compartimentos mantidos secos durante o período de restrição de volume de solo molhado. Os aumentos da densidade de raízes nos compartimentos mantidos irrigados demonstram à aclimação do sistema radicular a condição imposta pelos tratamentos, o que justifica o aumento da variação de armazenamento de água nestes compartimentos. (Tabela 3 e 4).

Pires (2011) avaliando o efeito da irrigação localizada no desenvolvimento radicular no bulbo úmido e produção da laranjeira-pera no Estado de São Paulo, notou que após 9 meses da submissão dos tratamentos houve concentração de 80% das raízes no bulbo molhado, apresentando maior número de raízes no tratamento com menor percentual de área molhada (8%) e que possivelmente o desenvolvimento radicular já era suficiente para manter o desenvolvimento vegetativo das plantas, pois não houve diferença significativa na produção das plantas entre os tratamentos irrigados.

Uma possível redução do volume de solo irrigado no dimensionamento de sistemas de microirrigação para a cultura do cacaueteiro é justificada, pois com a ocorrência de precipitações pluviométricas favorecerá o desenvolvimento radicular fora do bulbo molhado compensando o desenvolvimento radicular da planta.

Entretanto, 30 dias de irrigação nos volumes de solo mantidos secos não foi suficiente para que os compartimentos tivessem homogeneidade na variação de armazenamento de água no solo, devido a provável menor extração de água nos compartimentos não irrigados durante o período de restrição mesmo havendo aumento da densidade de raízes nestes compartimentos. Assim para que haja homogeneidade entre a variação de armazenamento de água no solo nos percentuais de volume de solo molhado e nos percentuais de volume de solo seco é necessário um maior período de tempo de irrigação de todo volume de solo ocupado pela planta ou precipitação pluviométrica por um período de tempo maior que 30 dias (Tabela 3). Essa concentração maior de raízes no volume molhado, em condições de campo, reduz a eficiência de aproveitamento da água da chuva tendo em vista a menor extração no volume de solo não irrigado.

Resultado semelhante foi alcançado por Coelho et al (2001) em mangueira ao avaliar a distribuição do sistema radicular da mangueira sob irrigação localizada observando que houve uma maior densidade de raiz no lado que passava linha de gotejadores mantida por sete anos e ao mudar a configuração da posição linear para anel dos gotejadores houve o aumento da densidade de raízes em profundidades menores que 0,5 m e a distância de 2 m no lado oposto da planta.

Parte área

A redução do volume molhado não proporcionou diferenças significativas entre os tratamentos para as variáveis: altura da planta, diâmetro do caule e diâmetro da copa no período experimental, apresentado em média 1,9 m; 0,06 m, 1,72 m com coeficiente de variação de 12%, 14% e 15%, respectivamente. Resultado semelhante foi encontrado por Yildirim (2012) ao avaliar o efeito da área do solo molhado no crescimento do caule, produção e qualidade de cerejas irrigadas por gotejamento com porcentagens de área úmida variando de 9% a 36%. No qual observaram que a redução do percentual de área de solo molhado não teve efeito significativo no crescimento anual da planta.

No período de 30 dias antes até 30 dias após a submissão dos tratamentos não havia diferença significativa ($p < 0,05$) da área foliar das plantas. Aos 60 e 90 dias de submissão dos tratamentos houve diferença significativa da área foliar para o tratamentos de 12,5% WV em relação ao tratamento de 100% WV, mas não se

diferenciou dos demais tratamentos sob restrição do percentual de volume solo molhado (Tabela 5).

Os tratamentos com restrição do percentual de volume de solo molhado não diferiram significativamente ($p>0,05$) entre si em todo o período experimental.

Tabela 5. Valores médios de área foliar do cacauzeiro submetido a diferentes percentuais de volume de solo molhado, 30 dias antes da restrição do volume de solo molhado, durante o período de restrição (150 dias) e 30 dias de irrigação em todo o volume de solo disponível para a planta.

Percentual de volume de solo molhado (%)	Área foliar (m ²)							
	30 dias antes	5 dias após	30 dias após	60 dias após	90 dias após	120 dias após	150 dias após	30 dias de irrigação em todo volume de solo
100	7,93 A	12,22 A	15,24 A	16,35 B	16,01 B	15,84 A	12,38 B	9,44 A
50	7,26 A	15,22 A	11,79 A	12,27 AB	12,5 AB	13,44 A	8,5 AB	6,43 A
25	8,38 A	12,6 A	12,9 A	13,03 AB	12,41 AB	11,04 A	9,79 AB	7,6 A
12,5	8,09 A	11,63 A	11,48 A	10,3 A	10,96 A	11,11 A	7,52 A	7,04 A

*Médias seguidas de mesma letra, nas colunas, não diferem estatisticamente entre si pelo teste Tukey 5% de probabilidade.

As diferenças de área foliar entre os tratamentos podem ser atribuídas à aclimação do sistema radicular. A partir de 60 dias após início dos tratamentos houve redução linear da área foliar média com a restrição, apresentando redução de 6% e 5% da área foliar a cada 1% de redução do volume de solo molhado, aos 60 e 90 dias da submissão dos tratamentos respectivamente (Figura 5).

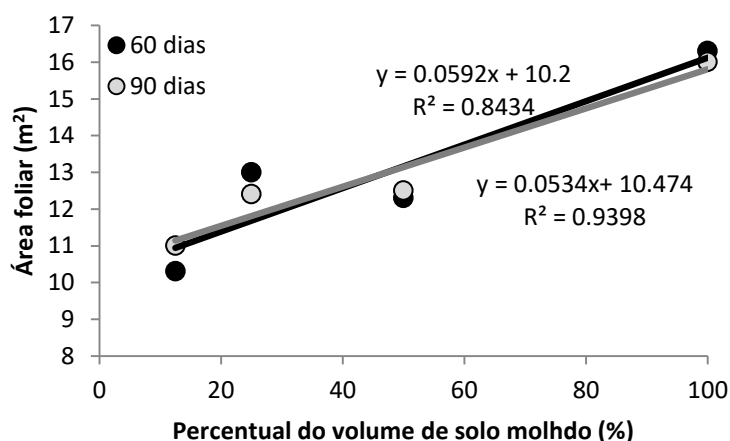


Figura 5. Área foliar média em função do percentual de volume molhado, aos 60 e 90 dias após a imposição dos tratamentos.

Apesar das diferenças iniciais da área foliar, aos 120 dias da submissão dos tratamentos não houve diferença significativa ($p < 0,05$) da área foliar entre os tratamentos. Indicando uma aclimatação da planta a condição de redução do percentual de volume de solo molhado. Resultados semelhantes foram encontrados por Carvalho (2014) avaliando o crescimento e produção do mamoeiro cv. Sunrise solo sob diferentes configurações de irrigação localizada, no qual notou o menor desenvolvimento vegetativo do tratamento com menor volume de solo molhado na maior parte do período avaliado, mas que não houve diferença significativa ao final do experimento para os demais tratamentos, resultado semelhante foi notado por Vellame (2015) ao avaliar o crescimento vegetativo de citros sob redução do percentual de área molhada do solo, observando que com a redução do percentual de área molhada há a redução da área foliar mas que ao final do período avaliado não havia diferença significativa entre os tratamentos.

Aos 150 dias da imposição dos tratamentos e 30 dias de irrigação em todo volume de solo foi notada a redução da área foliar para todos os tratamentos, não sendo possível verificar se tal redução está ligada a queda das folhas devido a restrição do volume ocupado pelas raízes das plantas durante o período experimental, em virtude do cacaueteiro mesmo sob alta disponibilidade de água no solo apresentar senescência das folhas (ISMÍNIO et al., 2016).

Em regiões tradicionais de cultivo há ocorrência de veranicos que geralmente leva a redução da produtividade, uma vez que os processos fisiológicos do cacaueteiro são muito sensíveis ao déficit hídrico (AMORIM & VALLE, 1993). Nestas regiões de cultivo a irrigação suplementar tem demonstrado aumento da produtividade da cultura. Visto que não houve diferença significativa entre os tratamentos na área foliar do cacaueteiro 30 dias após a submissão da redução do percentual de volume de solo molhado, pode-se inferir que a irrigação de uma pequena porção de solo para essas regiões não apresentaria problema. Uma vez que a ocorrência de precipitação pluviométrica reduz a dependência da água no bulbo molhado por conta do aumento do conteúdo de água no solo em superfície que ativa o desenvolvimento radicular promovendo a capacidade de extração de água pelas raízes fora do bulbo molhado, além de promover maior sustentação das plantas (CAO et al, 2018).

Caso se faça necessárias irrigações em períodos maiores que 30 dias o volume de solo molhado deve ser levado em consideração devendo apresentar um volume de solo molhado maior ou igual $0,12 \text{ m}^3$.

Fluxo de seiva em escala horária e sua relação com a radiação solar

O fluxo de seiva não é conduzido somente pelas condições de umidade do solo, sendo influenciado também por fatores meteorológicos como temperatura do ar, déficit de pressão de vapor e radiação solar. Isso sugere que as plantas respondem diferentemente com a mudança de fatores meteorológicos e armazenamento de água no solo (FENG et al, 2017).

A Figura 6 representa o curso da radiação global e do fluxo de seiva médio do cacauzeiro sob diferentes percentuais de volume de solo molhado em três dias de baixa e alta demanda evapotranspirométrica no período experimental. O fluxo de seiva seguiu a mesma tendência da radiação global observando-se defasagem entre essas variáveis. Nos dias de maior demanda da atmosfera ($ET_0 > 2 \text{ mm dia}^{-1}$), principalmente nos tratamentos com 12,5% e 100% WV, o fluxo de seiva apresentou maior defasagem em relação aos dias em que a demanda foi baixa ($ET_0 < 2 \text{ mm dia}^{-1}$). Segundo Vellame et al (2009) ao comparar a transpiração com o fluxo de seiva medido por SDT e balanço de calor constatou que esta defasagem não é função do tempo de resposta da sonda de dissipação térmica. Este comportamento está associado ao fato que no início da noite o fluxo de seiva continua para reidratar os tecidos que liberaram água para a atmosfera durante o dia (COELHO FILHO, 2002). Além disso, tanto o fluxo de seiva como a transpiração não acompanham, no tempo, exatamente a demanda atmosférica, em função da resistência e capacitância hidráulica encontrada nas plantas.

A redistribuição de seiva durante a noite para os diferentes tecidos da planta é uma desvantagem do método da sonda de dissipação térmica para a quantificação do fluxo de seiva num período de 24h, uma vez que, não se pode separar o fluxo de seiva da redistribuição mensurada pela sonda no período noturno. Por esta razão foi adotado para a quantificação da transpiração das plantas o período de 6 às 18h, que coincide respectivamente com o início do aumento da demanda atmosférica e final da demanda no fim da tarde.

As plantas submetidas a 100% WV apresentaram maior fluxo noturno entre os tratamentos em dias de baixa e alta demanda. As plantas submetidas a 12,5% WV

apresentaram fluxo noturno superior em relação às plantas submetidas aos tratamentos de 25% e 50% WV em dias de alta demanda evapotranspirométrica. Fato este que pode estar ligado a uma menor capacidade do sistema radicular em atender a perda de água dos tecidos vegetais durante o dia favorecendo um maior fluxo noturno para reidratação.

Quando a demanda evaporativa aumenta em termos de saldo de radiação e das diferenças entre a pressão de vapor nas folhas e no ar, a planta responde aumentando a resistência estomática diminuindo a transpiração. Observou-se que para os tratamentos com restrição do percentual do volume de solo molhado que a linha que representa o curso do fluxo de seiva nos dias de alta demanda fica abaixo da linha de radiação global, comportamento que se inverte nos dias de baixa demanda, indicando uma mudança da relação entre estas variáveis, provavelmente pela regulação estomática.

Os tratamentos de 12,5% e 25% WV em dias de alta demanda da atmosfera apresentaram redução da transpiração nos horários de maior demanda o que não ocorreu nos tratamentos de 50% e 100% WV.

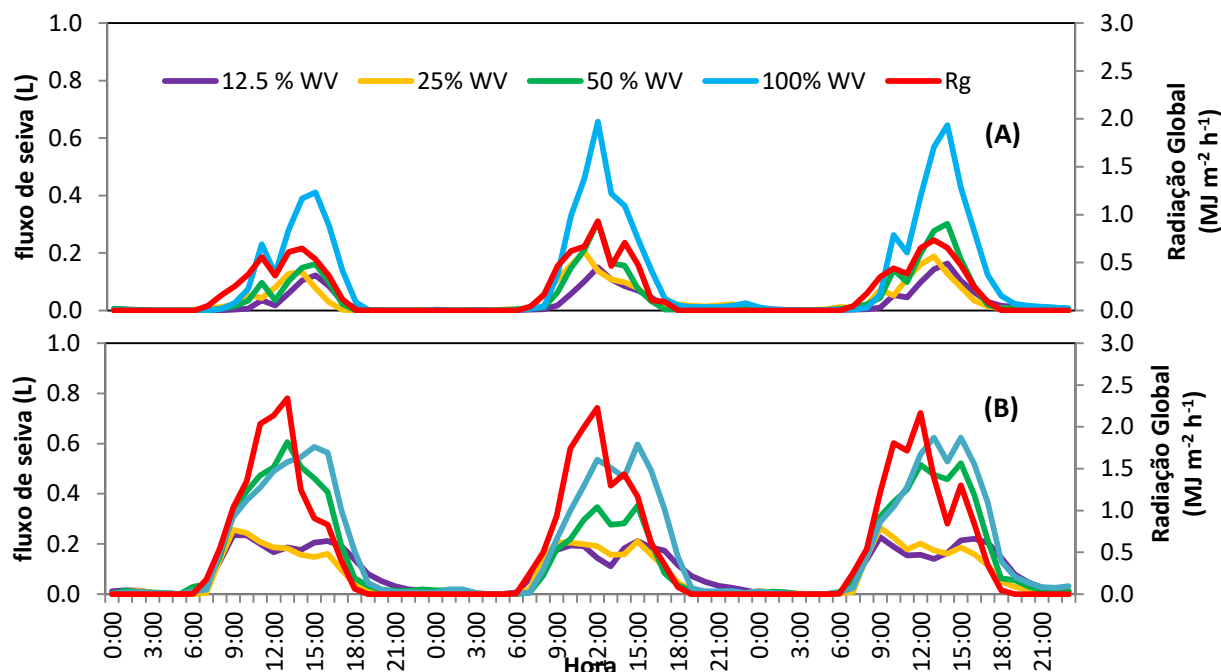


Figura 6. Curso da radiação global e do fluxo de seiva médio do cacauero sob diferentes percentuais de volumes de solo molhado. (A) nos dias 26/05 ($ET_o=1,04 \text{ mm.dia}^{-1}$), 02/06 ($ET_o=1,09 \text{ mm.dia}^{-1}$), 03/06 ($ET_o=1,17 \text{ mm.dia}^{-1}$); (B) nos dias 10/03 ($ET_o=3,45 \text{ mm.dia}^{-1}$); 14/03 nos dias ($ET_o=3,32 \text{ mm.dia}^{-1}$), 03/06 ($ET_o=3,22 \text{ mm.dia}^{-1}$).

Foi observada uma boa concordância ao avaliar-se o fluxo de seiva horário com a radiação global horária, encontrou-se uma relação linear, com coeficiente angular da reta de regressão apresentando 0,43, 0,26, 0,15 e 0,15 para os tratamentos de 100%, 50%, 25% e 12,5% WV, respectivamente. Assim à medida que reduziu o percentual de volume de solo molhado provavelmente houve a redução da condutividade hidráulica das plantas o que justifica a redução do coeficiente angular da reta de regressão. Para valores de radiação acima de aproximadamente 1,56, 1,61, 1,55 e 1,52 $\text{MJ.m}^{-2}\text{h}^{-1}$ para os tratamentos de 100%, 50%, 25% e 12,5% WV respectivamente, notou-se que houve certa estabilidade na transpiração. Evidenciando um controle fisiológico para reduzir a perda de água para atmosfera (Figura 7).

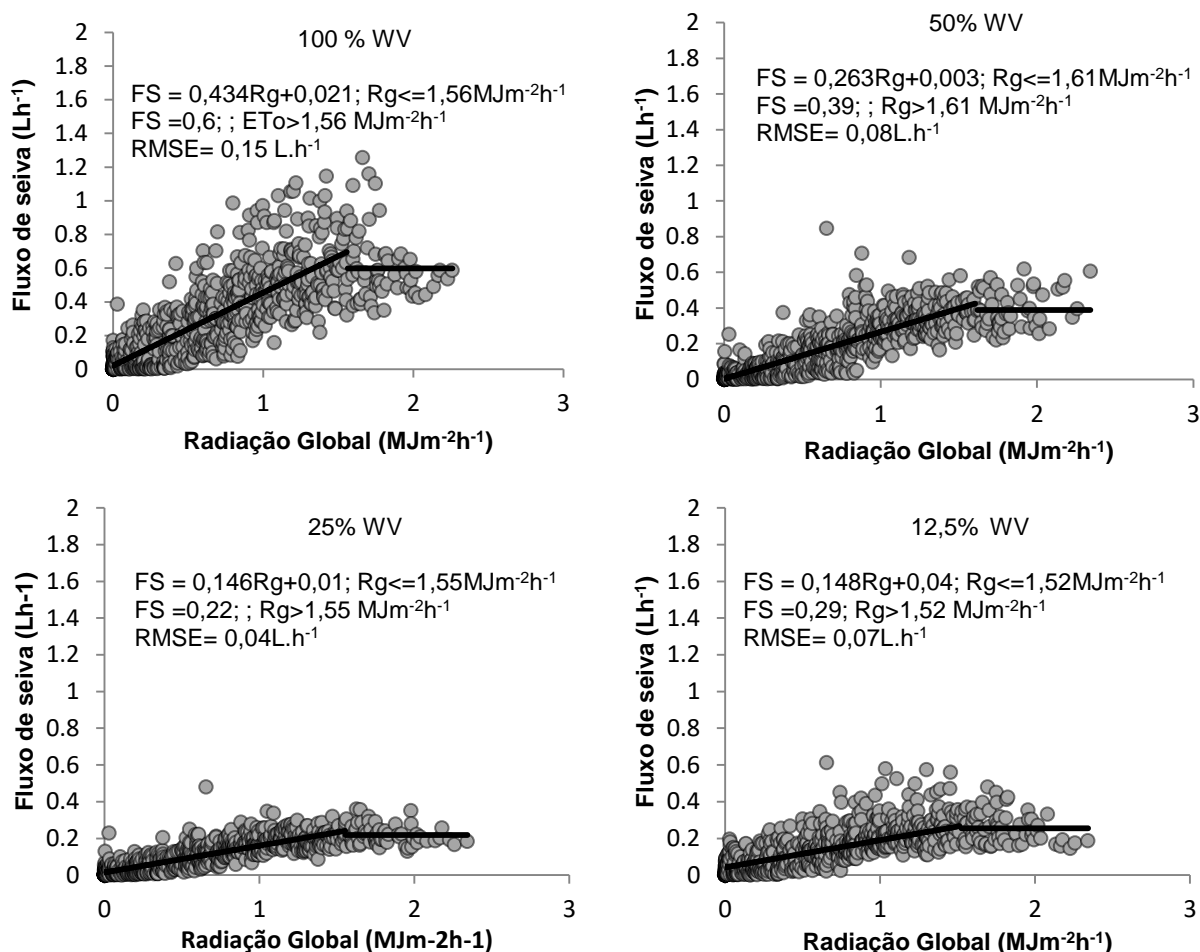


Figura 7. Regressão linear segmentada do fluxo de seiva horário (L.h^{-1}) em função da radiação solar horária ($\text{MJ.m}^{-2}\text{h}^{-1}$)

Relação do fluxo de seiva em escala diária com a evapotranspiração de referência e área foliar.

Não houve boa concordância da razão entre a transpiração média diária e da evapotranspiração de referência (ET_o) com a área foliar das plantas sem restrição do volume de solo molhado, evidenciando que não há uma correlação linear entre a área foliar do cacaueteiro e a transpiração das plantas, esse fato pode estar atribuído ao auto sombreamento das folhas. Valle et al (1987), verificaram que plantas de cacauete adultas tem aumento gradativo da resistência estomática nas folhas da camada superior para a camada inferior da copa e conseqüentemente decréscimo da transpiração. Fraga Junior (2017) ao avaliar o efeito da área foliar na transpiração em plantas jovens do cacaueteiro evidenciou que a área foliar na faixa de 1,11 a 3,71 m² do cacaueteiro não teve efeito significativo na transpiração.

Observa-se pela Figura 8, que a transpiração tendeu a aumentar linearmente com o aumento da ET_o até certo limite, para todos os tratamentos avaliados. A alta dispersão dos dados principalmente quando os níveis da demanda atmosférica foram superiores a 2 mm.dia⁻¹ em ambos os tratamentos pode está associado aos diversos fatores que afetam o fluxo de seiva como a disponibilidade de água e a condutividade hidráulica da planta. O cacaueteiro é originado e cultivado tradicionalmente em ambientes úmidos e sombreados, condição esta que favorece baixo déficit de pressão de vapor e baixa radiação solar que resulta em baixas demandas evapotranspirométricas. Dessa forma a não linearidade do fluxo de seiva com a ET_o em condições de alta demanda, ocorrida em todos os tratamentos, pode ter como causa as condições de adaptação genética da espécie ao ambiente. Ayyoub et al. (2017) ao avaliar o fluxo de seiva por unidade de área foliar em plantas de oliveiras e citrus em Marrocos e México notaram uma boa concordância dos dados entre a transpiração e a evapotranspiração de referência (R² = 0.8) e coeficiente angular da reta de regressão de 0,3 e 0,35 respectivamente para oliveiras e citros. Feng et al (2017) ao avaliar a resposta do fluxo de seiva e evapotranspiração em jujuba pera sob déficit de irrigação em condições de casas de vegetação na região semiárida da china notaram que o fluxo de seiva variou conforme as condições climáticas e apresentou maior correlação entre o fluxo de seiva e a evapotranspiração de referências para os tratamentos sem restrição de água do que os tratamentos com déficit hídrico.

Assim, a influência da evapotranspiração e da área foliar na transpiração apresenta diferenças em cada cultura devido suas características anatômicas e fisiológicas, não sendo recomendado a estimativa da transpiração do cacauzeiro em função da área foliar e da evapotranspiração de referência como recomendado por Coelho Filho et al (2007) para a cultura dos citrus.

À medida que reduziu o percentual de volume de solo molhado o coeficiente angular da equação da regressão linear reduziu, indicando uma menor condutância para as plantas submetidas aos menores percentuais de volume de solo molhado. A condutância estomática (g_s) também pode ser reduzida mesmo em altos valores de potencial de água na folha, como defesa ao estresse hídrico, podendo ser decorrente de um eficiente mecanismo de transferência de informação desde a raiz até as folhas (Bates & Hall, 1981), assim como em resposta a elevados níveis de radiação, temperatura e mudanças no déficit de pressão de vapor.

Observou-se que para níveis de até E_{To} de 2,39 mm.dia⁻¹, 2,36 mm.dia⁻¹, 2,27 mm.dia⁻¹ e 2,29 mm.dia⁻¹ respectivamente para os tratamentos de 12,5%, 25%, 50% e 10% WV, existe um aumento linear da transpiração das plantas com o aumento da demanda evapotranspirométrica, após estes limites notou-se não linearidade do fluxo de seiva (Figura 8). Fato este que tem implicância no manejo da irrigação da cultura utilizando os valores de K_c disponíveis na literatura, uma vez que a transpiração da planta não segue a tendência linear com o aumento da evapotranspiração de referência, o que pode levar a um maior erro no manejo da irrigação.

Com a redução do volume de solo molhado houve redução do coeficiente linear da reta de regressão entre a E_{To} e a transpiração diária, apresentando 3,58; 1,85; 1,01 e 2,22 para os tratamentos de 100%, 50%, 25% e 12,5% WV respectivamente, fato este que pode estar atrelado a redução da condutividade hidráulica da planta em resposta ao menor volume de solo irrigado ocupado pelo sistema radicular. As plantas sob 12,5% WV pode ter apresentado coeficiente linear maior que os demais tratamentos sob redução do volume de solo molhado por apresentar maior densidade de raiz constatada no momento final da restrição (aos 150 dias de restrição) que favoreceu a uma maior condutividade hidráulica na planta.

O valor de aproximadamente 2,3 mm.dia⁻¹ como limite entre as faixas de demanda da atmosfera foi escolhido em função do menor valor da raiz quadrada da média dos quadrados dos desvios (RMSE) na estimativa geral da transpiração.

Independente do volume de solo molhado avaliado para níveis de ETo acima de $2,29 \text{ mm.dia}^{-1}$ plantas de cacauero possivelmente apresentaram certa regulação estomática para evitar a perda de água, este resultado é esperado pois plantas de cacauero, segundo Alvim (1965), apresentam sensibilidade quanto ao déficit hídrico.

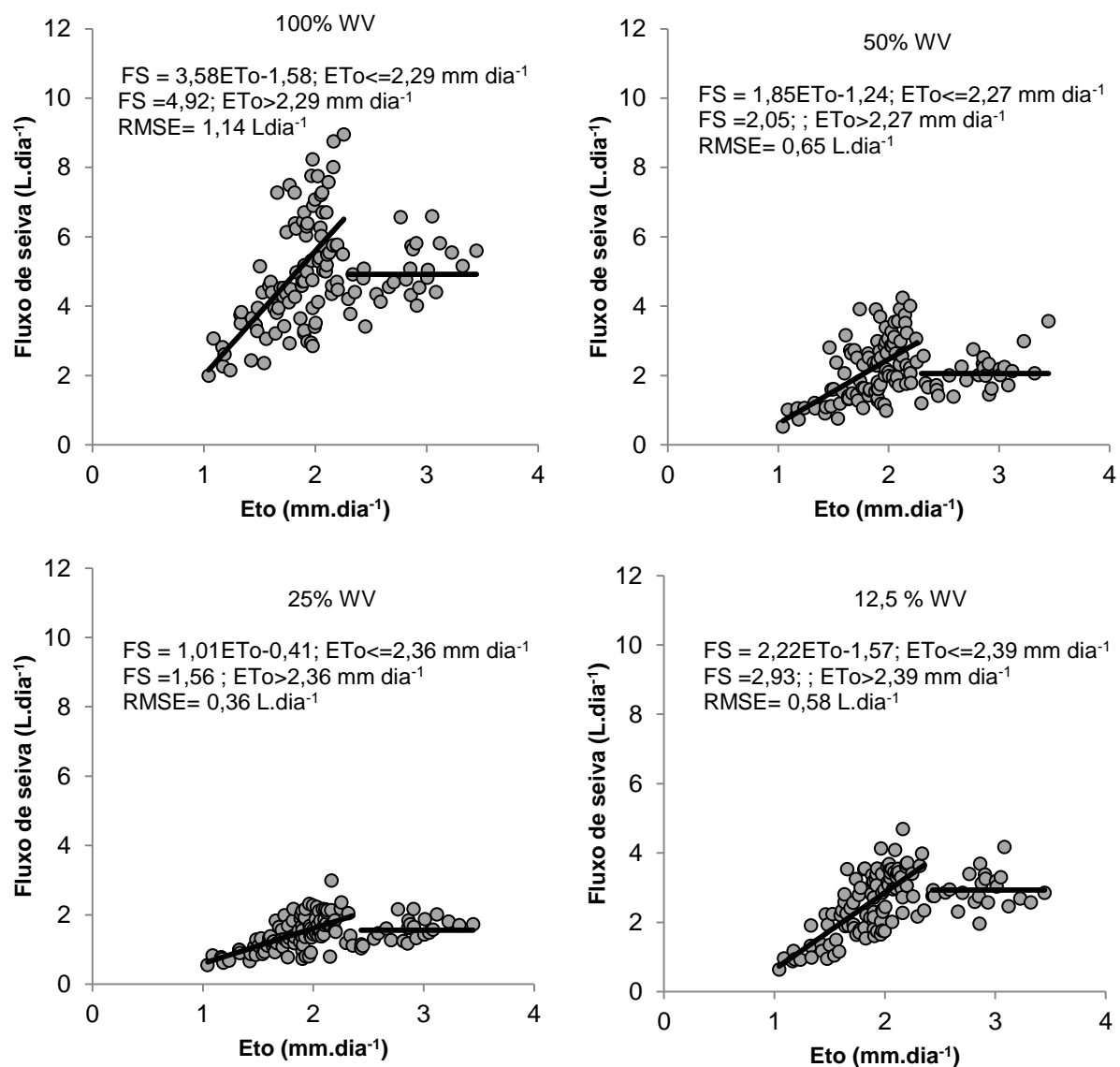


Figura 8. Regressão linear segmentada do fluxo de seiva diário (L.dia^{-1}) em função da evapotranspiração de referência (mm.dia^{-1}).

Fluxo de seiva ao longo do período experimental

Não houve diferença significativa da transpiração entre os tratamentos até os 90 dias de imposição dos tratamentos quando comparado dados médios mensais. Após este período houve certa estabilização no fluxo de seiva nos menores volumes de solo molhado. Aos 120 e 150 dias de submissão da restrição não havia diferença

significativa entre os tratamentos com redução de volume molhado, no entanto, estes se diferenciaram significativamente do tratamento com 100% WV (Tabela 6). Apenas a avaliação da área foliar do cacauero não é suficiente para indicar uma condição de adaptação da planta visto que 120 dias após a restrição de volume de solo molhado as plantas sob restrição não apresentavam diferença significativa quanto a área foliar, no entanto, apresentando menor transpiração nos tratamentos sob restrição, caso este que tem implicância direta na atividade fotossintética da planta.

150 dias após a restrição todo o volume de solo para ambos os tratamentos foi irrigado por 30 dias, observou-se que depois desse período ocorreu certo aumento da transpiração das plantas sob os menores percentuais de área molhada, não havendo diferença significativa entre os tratamentos de 100%, 50%, e 12,5% WV (Tabela 6).

Tabela 6. Valores médios da transpiração do cacauero submetido a diferentes volumes de solo molhado ao longo do período experimental.

Percentual do volume de solo molhado (%)	Fluxo de seiva (L.dia ⁻¹)						
	5 dias após	30 dias após	60 dias após	90 dias após	120 dias após	150 dias após	30 dias de irrigação de em todo volume de solo
100	3,53 A	5,03 A	5,03 A	5,92 B	6,37 B	6,53 B	5,68 B
50	3,43 A	2,06 A	2,08 A	3,20 A B	3,46 A	3,33 A	3,89 A B
25	2,5 A	1,11 A	1,11 A	2,23 A	2,14 A	2,59 A	2,27 A
12,5	3,87 A	2,76 A	2,76 A	3,62 A B	3,37 A	3,15 A	3,71 A B

*Médias seguidas de mesma letra, nas colunas, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey 5% de probabilidade.

Temperatura foliar e Fluxo de seiva

A medida que houve aumento da radiação global a diferença de temperatura da cultura e do ar (Tc-Tar) médio do período experimental tendeu a aumentar em um mesmo padrão de comportamento ao longo do curso da radiação para ambos os tratamentos em condições de baixa e alta demanda da atmosfera, mesmo com a alta disponibilidade de água no solo (Figura 9 e 10).

No período de menor demanda atmosférica a diferença de temperatura para ambos os tratamentos se assemelharam ao longo do curso da radiação solar. Evidenciando

que as plantas sob as mesmas condições de demanda atmosférica, mas com e sem restrição de volume de solo molhado com as mesmas condições de disponibilidade de água no solo apresentam temperatura foliar superior a temperatura do ar.

Cazuza Neto et al. (2017) avaliando o fluxo de seiva e o índice de estresse hídrico em cacauero sob diferentes potenciais de água no solo (20, 40, 60 e 80 KPa) observaram que mesmo nos tratamentos com maior disponibilidade de água a temperatura do dossel da cultura manteve-se acima da temperatura do ar ao meio-dia. Fato este que pode está ligado à característica anatômicas do dossel da planta, visto que o cacauero apresenta folha cerosa e hipoestomática (os estômatos são encontrados na face abaxial da folha) com estômatos anomocíticos.

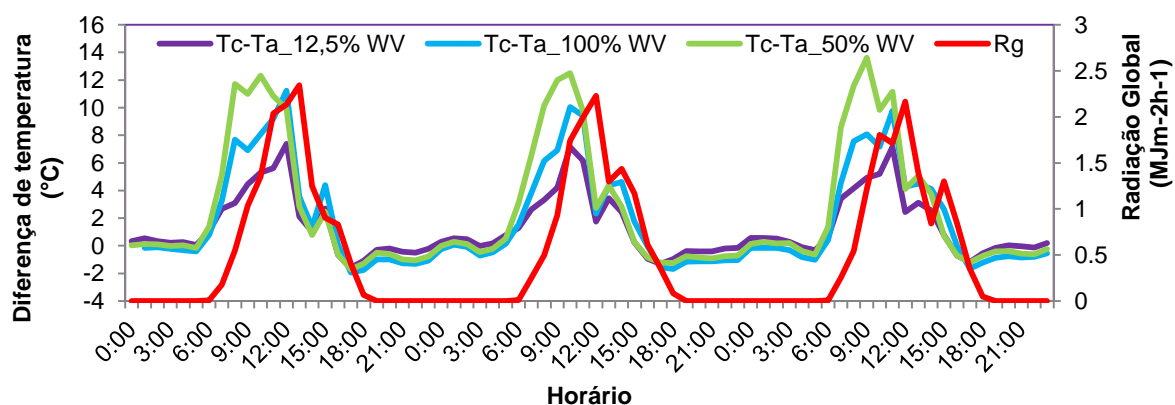


Figura 9. Diferença de temperatura em alta demanda da atmosfera

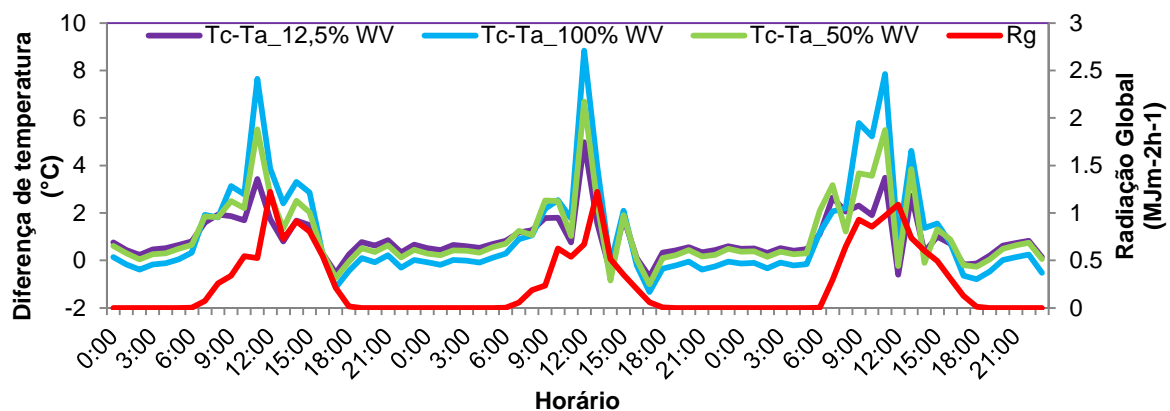


Figura 10. Diferença de temperatura em baixa demanda da atmosfera

Mesmo com o aumento do fluxo de seiva com o curso da radiação, esta não foi capaz de reduzir a temperatura da cultura em relação à temperatura do ar no período experimental (Figura 11). Observando-se que existe uma defasagem entre a temperatura do dossel e a transpiração das plantas submetidas aos tratamentos, caso este atrelado as resistências hidráulicas dos tecidos vegetais na planta que

resulta na defasagem entre a temperatura foliar e a transpiração das plantas. Uma vez que a temperatura foliar aumenta em um menor período de tempo com o aumento da radiação global em relação a transpiração foliar, ocorrência esta que justifica os valores da diferença de temperatura positivo nas plantas.

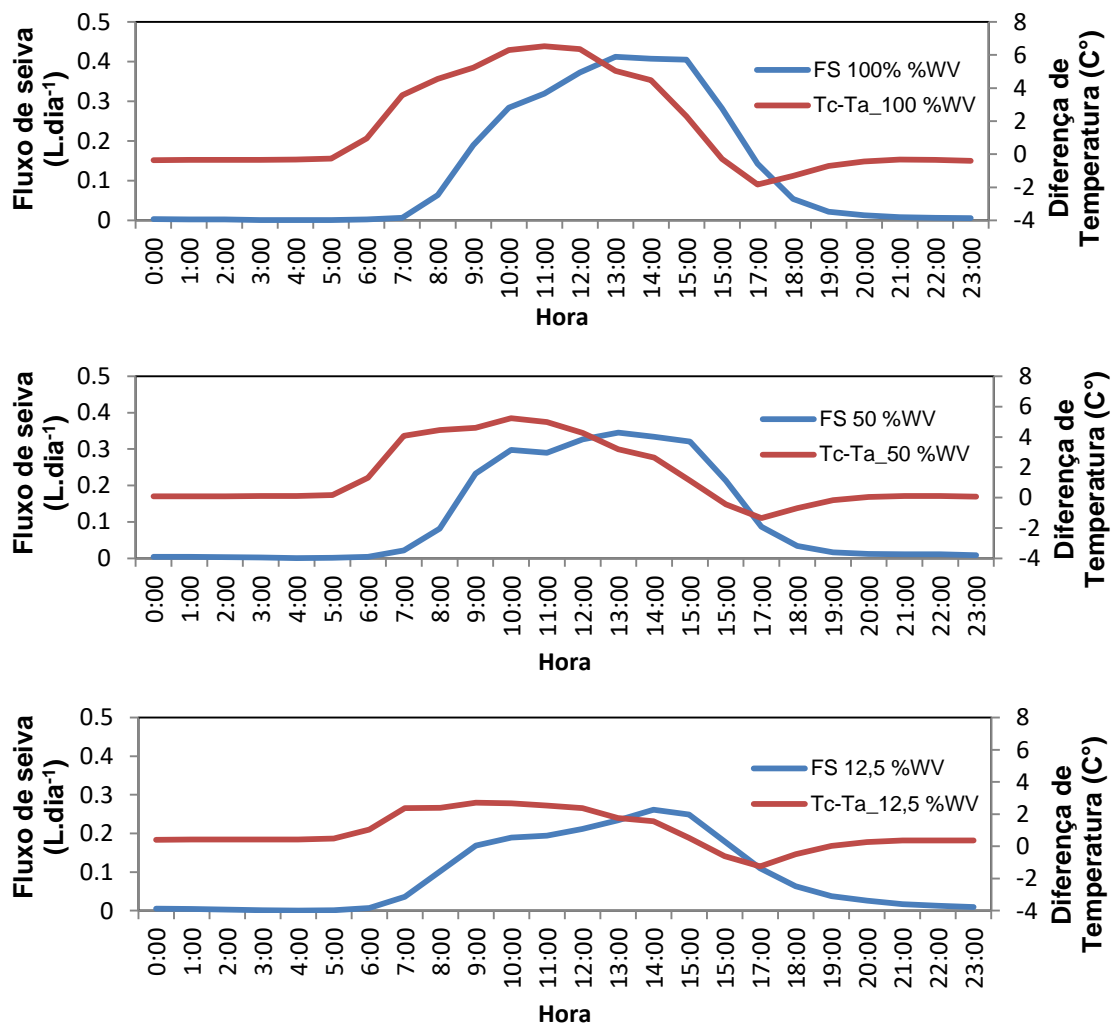


Figura 11. Temperatura foliar e transpiração média do período experimental

CONCLUSÃO

Ocorreu aclimatação da parte aérea e do sistema radicular do cacauero após 120 dias de irrigação parcial do sistema radicular independente do percentual de volume molhado. Entretanto ocorreu uma redução significativa da transpiração em relação às plantas sem restrição de volume de solo molhado que possivelmente afete a produtividade da cultura.

A transpiração do cacauero independente do percentual de volume de solo molhado não segue uma tendência linear com o aumento da demanda atmosférica, apresentando não linearidade da transpiração com E_{To} acima de $2,3 \text{ mm.dia}^{-1}$ e radiação solar acima de $1,6 \text{ MJm}^{-2}\text{h}^{-1}$.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, R.L.S.; CHAVES, L.H.G.; BONOMO,P.; ALMEIDA JUNIOR ,R.L.S.; FERNANDES,J.D. Produção do cacau submetido a diferentes lâminas de irrigação e doses de nitrogênio. Revista Caatinga, Mossoró, v. 27, n. 4, p. 171 – 182, 2014.

ALMEIDA, J.;TEREZA, W.; HERRERA, A. Physiological responses to drought and experimental water deficit and waterlogging of four clones of cacao (*Theobroma cacao* L.) selected for cultivation in Venezuela. Agricultural Water Management, v. 171, p. 80-88, 2016.

ALVIM, P de T. As necessidades de água do cacau. Cacao atualidades. Ilhéus, v.1, n.3, p. 29-38, 1965.

AMORIM, S.M.C. de; VALLE, R.R. Absorção e resistência ao movimento da água no cacau. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v.28, n.8, p. 907-913, 1993.

ARAQUE, O.; JIMEZ, R. E.; TEZARA, W.; CORONEL, I.; URICH, R.; ESPINOZA,W. Comparative photosynthesis, water relations, growth and survival rates in juvenile criollo cacao cultivars (*Theobroma cacao*) during dry and wet seasons. Experimental agriculture, v. 48, n. 4, p. 513-522, 2012.

ÁVILA-LOVERA, E.; CORONEL, I.; JAIMEZ, R.; URICH, R.; PEREYRA, G., ARAQUE, O.; CHACÓN, I., TEZARA, W. Ecophysiological traits of adult trees of Criollo cocoa cultivars (*Theobroma cacao* L.) from a germplasm bank in Venezuela. Experimental agriculture, v. 52, n. 1, p. 137-153, 2016.

AYYOUB, A.; ER-RAKI, S.; KHABBA, S., MERLIN, O.; EZZAHAR, J.; RODRIGUEZ, J.C.;CHEHBOUNI, A. A simple alternative approach based on reference evapotranspiration and leaf area index for estimating tree transpiration in semi-arid regions. Agricultural Water Management, v. 188, p. 61-68, 2017.

BABADELE,F.I.; Effects of Shade Regimes and Varying Seasons of Irrigation on Survival, Developmental Pattern and Yield of Field Grown Cacao (*Theobroma cacao*). International Journal of Plant & Soil Science. v.22, n.3, p. 1-12, 2018.

BATES, M. L. & HALL, E. A. Stomatal closure with soil water depletion not associated with changes in bulk water status. Oecologia, v. 50, n. 1, p. 62-65, 1981.

BEGIATO, G. F; SPERS, E. E; CASTRO, L. T; NEVES, M. F. Análise do sistema agroindustrial e Atratividade dos Vales do São Francisco para a cacauicultura irrigada. Custos e @gronegocio, v. 5, n. 3, p. 55-87. 2009.

BERNARDO, S.; SOARES, A.A.; MANTOVANI, E.C. Manual de irrigação. 8ed. Viçosa: UFV, 2011. 625 p.

BURGESS, S.S.O.; ADAMS, M.A.; TURNER, N.C.; BEVERLY, C.R.; ONG, C.K., KHAN, A.A.H.; BLEBY, T.M. An improved heat pulse method to measure slow and reverse flow in woody plants. Tree physiology, v. 21, n. 9, p. 589-598, 2001

CARR, M. K. V. & LOCKWOOD, G. The water relations and irrigation requirements of cocoa (*Theobroma cacao* L.). *Experimental Agriculture*, v. 47, n. 4, p. 653-676, 2011.

CARVALHO, G.C.; COELHO,E.F.;SILVA,A.S.A.M.;PAMPONET, A.J.M. Trickle Irrigation: Effects on Papaya Crop. *Engenharia. Agrícola.*, Jaboticabal, v.34, n.2, p.236-243, 2014.

CAZUZA NETO, A. VELLAME, L. M.; ARAÚJO, G. P.; VASCONCELOS, R. S.; SANTANA, R. A. Índice de Estresse Hídrico e Fluxo de Seiva em Cacaueiros Jovens em Condições de Baixa Demanda de Água da Atmosfera. . In: INOVAGRI INTERNATIONAL MEETING, 2017, Fortaleza. Anais...Fortaleza: INOVAGRI, 2017.

COELHO, E.F.; OLIVEIRA, F. das C.; ARAUJO, E.C.E.; VASCONCELOS, L.F.L. Distribuição de raízes de laranja 'Pêra' sob sequeiro e irrigação por microaspersão em solo arenoso. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 37, n. 5, p. 603-611, 2002.

COELHO, E.F.; OLIVEIRA, F.C.; ARAÚJO. E.C.E.; LÚCIO FLAVO LOPES 4; VASCONCELOS, D.M.L. Distribuição do sistema radicular da mangueira sob irrigação localizada em solo arenoso de tabuleiros costeiros. *Revista Brasileira de Fruticultura.*, Jaboticabal - SP, v. 23, n. 2, p. 250-256, 2001

COELHO FILHO, Maurício Antonio. Determinação da transpiração máxima em um pomar jovem de lima ácida 'Tahiti'(Citrus latifolia Tan.) e sua relação com a evapotranspiração de referência. Piracicaba: USP, 2002.

COELHO FILHO, M.A.; CASTRO NETO, M.T. de; COELHO, E.F. Transpiração máxima de plantas de Mamão (*Carica papaya* L.) em pomar fertirrigado, nas condições de Cruz das Almas. Embrapa Mandioca e Fruticultura Tropical. Boletim de pesquisa e desenvolvimento, 2007.

COELHO FILHO, M.A.; ANGELOCCI, L.R.; ROJAS, J.S.D. Indicadores vegetais para monitoramento das condições hídricas de plantas e técnicas de determinação. In: AGUIAR NETTO, A. de O.; BASTOS, E. A. Princípios agrônômicos da Irrigação. Brasília: Embrapa Meio- Norte, 2013, Cap. 4, p.135-139.

DELGADO-ROJAS, J.S.; ANGELOCCI, L.R.; FOLEGATTI, M.V.; COELHO FILHO, M.A. Desempenho da sonda de dissipação térmica na medida da transpiração de plantas jovens de Lima Ácida. *Engenharia Agrícola*, Jaboticabal, v. 27, n. 2, p. 404-413, 2007.

ESPADAFOR, M.; ORGAZ, F.; TESTI, L., LORITE, I. J., GARCÍA-TEJERA, O., VILLALOBOS, F. J., FERERES, E. Almond tree response to a change in wetted soil volume under drip irrigation. *Agricultural Water Management*, v. 202, p. 57-65, 2018.

FRAGA JUNIOR, L.S.; Relações hídricas do cacaueiro: efeito da área foliar, potencial da água no solo, em condições de sombreamento. Dissertação de mestrado – Universidade federal do recôncavo da Bahia. Cruz das almas. 2017. 61 f

FENG, Y., CUI, N., DU, T., GONG, D., HU, X., & ZHAO, L.. Response of sap flux and evapotranspiration to deficit irrigation of greenhouse pear-jujube trees in semi-arid northwest China. *Agricultural Water Management*, v. 194, p. 1-12, 2017.

FRIZZONE, J. A. ; Microirrigação: Gotejamento e Microaspersão. Maringá: Eduem, 2012.

GRANIER, A. Une nouvelle methode pour la mesure du flux de seve brute dans le tronc des arbres. *Annales Sciences Forestieres*, v.42, p.193-200, 1985.

ISMÍNIO, L.P. Potencial hídrico foliar, trocas gasosas e crescimento em genótipos de *Theobroma cacao* L. submetidos à deficiência hídrica e adubação potássica. Dissertação de mestrado. UFV: Viçosa - MG, 2016. 76p.

JUHÁSZ, Á.; SEPSI, P.; NAGY, Z.; TŐKEI, L.; HROTKÓ, K. Water consumption of sweet cherry trees estimated by sap flow measurement. *Scientia horticulturae*, v. 164, p. 41-49, 2013.

LEITE, M.S.B. Consumo hídrico do cacauero jovem irrigado por gotejamento em consorcio com bananeira e pau-brasil. 2013. 68p. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Universidade Estadual de Santa Cruz, Ilhéus, Bahia, 2013.

KELLER, J.; BLIESNER, R.D. Sprinkle and trickle irrigation. New York: Van Nostrand Reinold, 1990. 652 p.

KELLER, J.; KARMELI, D. Trickle irrigation design parameters. *Transactions of the ASAE*, v. 17, n. 4, p. 678-0684, 1974

KOOL, D.; AGAM, N.; LAZAROVITCH, N.; HEITMAN, J.L.; SAUER, T.J.; BEN-GAL, A.. A review of approaches for evapotranspiration partitioning. *Agricultural and forest meteorology*, v. 184, p. 56-70, 2014 .

OROZCO-AGUILAR, L.; SAMPSON, A.L. Balance de agua y requerimientos de riego en cacao. Report number: 20 Affiliation: CATIE-CEI-VECOMA

PAÇO, M.T.G.A.; FERREIRA, M.I.F.R. Medição da evapotranspiração em cobertos descontínuos: necessidade de rega em pomar de pessegueiro. In : congresso da água, .,2004, Lisboa, Portugal anais... lisboa, Portugal: LNEC,2004. <Disponível em http://www.isa.utl.pt/wateruse/PUBLICATIONS/106_pessegueiro.pdf>. Acesso em: 24/05/2018.

PAMPONET, B.M.; OLIVEIRA, A. S. de; MARINHO, L. B.; VELLAME, L. M.; PAZ, V.P. da S. Efeitos das diferenças térmicas naturais na estimativa do fluxo de seiva pelo método de granier em cacauero a pleno sol. *IRRIGA*, v. 1, n. 1, p. 120-132, 2012.

PIRES, R.C.D.M.; BODINE JUNIOR, D.; SAKAI, E.; VILLAR, H.L.; DA SILVA, T.J.; ARRUDA, F.B. Effect of trickle irrigation on root development of the wet bulb and 'pera' orange tree yield in the state of São Paulo, Brazil. *Engenharia Agrícola*. v.31, n.6, p.1096-1103, 2011

PIZARRO, F. Riegos localizados de alta frecuencia (RLAF): goteo, microaspersión. exudación. 2.ed. Madrid: Ediciones Mundi-Prensa, 1990. 471 p.

PANNUNZIO , A.; VILELLA, F.; TEXEIRA, P.; PREMUIK, Z. Impacto de los sistemas de riego por goteo en arándanos. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental-Agriambi, v. 15, n. 1, 2011.

OLIVEIRA, A.S.; GHEYI, H.J.; SILVA, N.D. Área foliar de cacau irrigado e não-sombreado, cultivado no semi-árido da Bahia. In: CONGRESSO BRASILEIRO DO CACAU, 2., 2012, Ilhéus, BA. Anais... Ilhéus: CEPLAC, 2012.

RADA, F.; JAIMEZ, R. E.; RAMÍREZ, A.; AZÓCAR, M. E. Relaciones hídricas e intercambio de gases en *Theobroma cacao* var . Guasare bajo períodos de déficit hídrico. Revista de la Facultad de Agronomía, v.22.p.112–120, 2005.

RAZI, M. I.; HALIM, A. H.; KAMARIAH, D.; NOH, M. J. Growth , Plant Water Relation and Photosynthesis Rate of Young *Theobroma cacao* as Influenced by Water Stress. Pertanika, v.15, n. 2 p.:93–97, 1992.

SAKURATANI, T., 1981. *A heat balance method for measuring sap flow in the stem of an intact plant.* Journal of Agricultural Meteorology, v. 37, n. 1, p. 9-17, 1981.

SANTOS, S.N.dos; DIGAN, R.C.; AGUILAR, M.A.G.; ZOUZA, C.A.S.; PINTO, D.G. Análise comparativa de métodos de determinação de área foliar em genótipos de cacau. Bioscience Journal, Uberlândia, v. 30, n.1, p. 411-419, 2014.

SANTOS, D.M.; SODRÉ, G.A. Relações hídricas e efeitos da irrigação no cultivo do cacau. In:SODRÉ, G. A. Cultivo do cacau no estado da Bahia. Ilhéus-BA, MAPA/Ceplac/Cepec. 2017. 126.

SANTOS, I. C.; ALMEIDA, A. A. F.; ANHERT, D., CONCEIÇÃO, A. S.; PIROVANI, C. P., PIRES, J. L.; BALIGAR, V. C.. Molecular, physiological and biochemical responses of *Theobroma cacao* L. genotypes to soil water deficit. PloS one, v. 9, n. 12, p. e115746, 2014.

SANTOS, D.M. & SODRÉ, G. A.; Relações hídricas e efeitos da irrigação no cultivo do cacau, in: SODRÉ, G. A. ed. 2017. Cultivo do cacau no estado da Bahia. Ilhéus, BA, MAPA/Ceplac/Cepec. 126.

SIQUEIRA, P. R.; MULLER, M. W.; PINHO, A. F. S. Efeito da irrigação na produtividade do cacau (*Theobroma cacao* L.).In: Anais ...XVI Congresso Brasileiro de engenharia agrícola –CONBEA. Jundiaí, SP. 1987. Vol 7, p 116-127.

SIQUEIRA, P. R.; SENA GOMES, A.; DIAS, L. A.; SOUZA, C. A. S. Efeito da irrigação na produtividade do cacau (*Theobroma cacao* L.) em Linhares, ES, Brasil. 12th International Cocoa Research Conference. Salvador, BA, Brasil. 1996 p867-877.

SOUZA, C.R.; ROSSI, L.M.B.; AZEVEDO, C.P. de, VIEIRA, A.H. Paricá: *Schizolobium parahyba* var. amazonicum (Huber x Ducke) Barneby. Manaus: Embrapa Florestas, 2003. 12 p. (Embrapa Manaus. Circular técnica, 18).

TAIZ, L.; ZEIGER, E. Fisiologia vegetal. 5. ed., Artmed, 2004. 918 p.

VELLAME, L.M; FRAGA JÚNIOR, E.F.; COELHO, R.D. Effect of partial soil wetting on transpiration, vegetative growth and root system of young orange trees. *Scientia Agricola*, v.72, n.5, p.377-384, 2015.

VELLAME, L.M; COELHO FILHO, M.A.; PAZ, V. P. da SILVA; COELHO, E.F. Gradientes térmicos naturais na estimativa do fluxo de seiva pelo método Granier. *Revista Caatinga*, Mossoró, v. 24, n. 1, p. 116-122, 2011.

VELLAME, L. M.; COELHO FILHO, M. A.; PAZ, V. P. S. Transpiração em mangueira pelo método Granier. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*. Campina Grande, v. 13, n. 5, p. 516-523, 2009.

VELLAME, L.M; COELHO FILHO, M.A.; PAZ, V. P. da SILVA; COELHO, E.F. Gradientes térmicos naturais na estimativa do fluxo de seiva pelo método Granier. *Revista Caatinga*, Mossoró, v. 24, n. 1, p. 116-122, 2011.

YILDIRIM, H.D; GUNES, N,T; YILDIRIM, M; AYGUN, A; SAN, B. Effect of Wetted Soil Area on Trunk Growth , Yield , and Fruit Quality of Drip-Irrigated Sour Cherry Trees. *Turkish journal of Agriculture and Forestry*. v. 36, n. 4, p. 439-450, 2012.

ZUGAIB, A.C.C. Mudanças cambiais e o efeito dos fatores de crescimento ou declínio das receitas de exportações brasileiras de cacau em amêndoas. *Bahia Agrícola*. v.8, n. 2, p.43-48. 2008.

ZUIDEMA, P.A.; LEFFELAAR, P.A.; GERRITSMA, W.G.; MOMMER, L.; ANTEN, N.P.R. A physiological production model for cocoa (*Theobroma cacao*): model presentation, validation and application. *Agricultural Systems*, v. 84, n.1, p. 195–225, 2005.