

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

**FLUXO DE SEIVA E EVAPOTRANSPIRAÇÃO DO
MARACUJAZEIRO SOB DIFERENTES TIPOS DE
PROPAGAÇÃO**

Giselle Da Cruz De Almeida

CRUZ DAS ALMAS – BAHIA

2019

FLUXO DE SEIVA E EVAPOTRANSPIRAÇÃO DO MARACUJAZEIRO SOB DIFERENTES TIPOS DE PROPAGAÇÃO

Giselle Da Cruz De Almeida

Engenheira Agrônoma

Instituto Federal De Educação, Ciência E Tecnologia Do Maranhão, 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

2019

FICHA CATALOGRÁFICA

A447f	<p>Almeida, Giselle da Cruz de. Fluxo de seiva e evapotranspiração do maracujazeiro sob diferentes tipos de propagação / Giselle da Cruz de Almeida._ Cruz das Almas, BA, 2019. 55f.; il.</p> <p>Orientador: Lucas Melo Vellame.</p> <p>Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Centro de Ciências Agrárias Ambientais e Biológicas.</p> <p>1.Maracujá – Cultivo. 2.Maracujá – Irrigação – Manejo. 3.Evapotranspiração – Análise. I.Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Centro de Ciências Agrárias, Ambientais e Biológicas. II.Título.</p> <p>CDD: 634.425</p>
-------	---

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 pela usuária 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**

**FLUXO DE SEIVA E EVAPOTRANSPIRAÇÃO DO
MARACUJAZEIRO SOB DIFERENTES TIPOS DE PROPAGAÇÃO**

Comissão Examinadora da Defesa de Dissertação de
Giselle da Cruz de Almeida

Aprovada em: 30 de Julho de 2019

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

Prof. Dr. Alisson Jadavi Pereira da Silva
(Examinador interno)

Prof. Dr^a. Alide Mitsue Watanabe Cova
(Examinador externo)

DEDICATÓRIA

Dedico esse trabalho aos meus pais Maria Francisca Lisboa da Cruz e Edmar Caetano de Almeida e a minha vovó Maria do Carmo Lisboa da Cruz.

AGRADECIMENTOS

A Deus por me sustentar e cuidar de tudo.

Aos meus pais por me darem todo o suporte e amor.

Ao meu irmão por todo carinho.

A minha vó por ser meu ponto de paz.

A todos os amigos que Deus colocou na minha vida no decorrer dessa fase: Irací, Rejane, Nita, Amanda, Fernanda, Jade, Ninha e as meninas do Independente futsal feminino.

A Universidade Federal do Recôncavo da Bahia pelo apoio técnico, científico e financeiro.

A Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado da Bahia (FAPESB) pela concessão da bolsa de estudos.

Aos meus amigos do Laboratório de Instrumentação.

A meu amigo Boi que inúmeras vezes não hesitou em ajudar.

A meu orientador Lucas Vellame por todo o conhecimento repassado, paciência e parceria.

A todos que fizeram parte mesmo que indiretamente.

Muito obrigada!

FLUXO DE SEIVA E EVAPOTRANSPIRAÇÃO DO MARACUJAZEIRO SOB DIFERENTES TIPOS DE PROPAGAÇÃO

RESUMO: A quantificação do consumo de água pelas plantas de forma mais acurada requer metodologias melhoradas, técnicas de avaliação simples e modelos que expressem bem a dinâmica de água no sistema. O presente trabalho tem como objetivo avaliar o método da razão de calor para a cultura do maracujazeiro. O estudo foi conduzido com a cultivar BRS GA1 cultivado em estufa agrícola, na área experimental do Núcleo de Engenharia de Água e Solo, da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, município de Cruz das Almas-BA. O método de irrigação utilizado foi gotejamento com turno de rega de dois dias. As variáveis monitoradas foram: fluxo de seiva; umidade do solo; e evapotranspiração de referência. O fluxo de seiva foi monitorado continuamente pelo método da razão de calor, que consiste em uma técnica melhorada que utiliza o calor como marcador da seiva. A umidade do solo foi monitorada através de sensores de TDR instalados a 0,25m de distância do caule da planta e a 0,10, 0,20, 0,30 e a 0,40m de profundidade. As variáveis meteorológicas foram obtidas da estação instalada dentro da área experimental, que forneceu dados de radiação, temperatura máxima, mínima e média e umidade relativa do ar. Os dados obtidos foram relacionados buscando estabelecer índices que permitiram quantificar o consumo e o status hídrico do maracujazeiro.

Palavras chave: *Passiflora edulis sims*, manejo da irrigação, pulso de calor.

SAP FLOW AND EVAPOTRANSPIRATION OF PASSION FRUIT IN DIFFERENT TYPES OF SPREAD

ABSTRACT:The more accurate quantification of water consumption by plants requires improved methodologies, simple evaluation techniques and models that express well the water dynamics in the system. Therefore, the present work aims to evaluate the heat ratio method for passion fruit crop. The study was conducted with the cultivar BRS GA1 grown in an agricultural greenhouse, in the experimental area of the Water and Soil Engineering Center, Federal University of Recôncavo da Bahia, Cruz das Almas-BA. The irrigation method used was two-day drip irrigation. The monitored variables were: sap flow; soil moisture; and reference evapotranspiration. The sap flow was continuously monitored by the heat ratio method, which is an improved technique where heat is used as a sap marker. Soil moisture was monitored by TDR sensors installed 0.25m away from the plant stem and 0.10, 0.20, 0.30 and 0.40m deep. Meteorological variables were obtained from the station installed within the experimental area, which provided radiation, maximum, minimum and mean temperature and relative humidity data. The obtained data were related seeking to establish indices that allowed to quantify the consumption and the water status of the passion fruit.

Key words:*Passiflora edulis sims*, irrigation management, heat pulse.

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO GERAL	9
REVISÃO DE LITERATURA	10
Manejo da irrigação e demanda de água do maracujazeiro.....	10
Propagação do maracujazeiro.....	11
Transpiração e fluxo de seiva.....	12
Evapotranspiração do Maracujazeiro	14
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	15
CAPÍTULO 1	18
FLUXO DE SEIVA PELO MÉTODO DA RAZÃO DE CALOR E EVAPOTRANSPIRAÇÃO DO MARACUJAZEIRO	18
INTRODUÇÃO	21
METODOLOGIA.....	22
RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	30
CONCLUSÕES	36
REFERÊNCIAS.....	36
CAPÍTULO 2	39
FLUXO DE SEIVA DO MARACUJAZEIRO SOB DIFERENTES TIPOS DE PROPAGAÇÃO	39
INTRODUÇÃO	42
METODOLOGIA.....	43
RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	48
CONCLUSÕES	55
REFERÊNCIAS.....	55

INTRODUÇÃO GERAL

Entender os subsistemas planta-água-atmosfera como interligados e interdependentes possibilita uma compreensão global, portanto, para um manejo eficiente deve-se levar em consideração cada sistema, com suas características e funções distintas conjuntamente, como um sistema dinâmico, assim os estudos relacionados às necessidades hídricas das culturas torna-se mais completos e eficientes.

Embora haja uma maior ênfase nas medidas meteorológicas e de água do solo, o monitoramento da planta começa a ter destaque para o manejo da irrigação de algumas culturas, nesse sistema de controle a variável controlada deixa de ser a umidade do solo e passa a ser a condição hídrica da planta. Esses métodos por indicarem a condição hídrica da planta são particularmente interessantes no caso da irrigação com déficit e para estresse hídrico controlado, na indução de florescimento em fruteiras e maturação da cana por exemplo.

Diversos são os estudos sobre transpiração de plantas baseando-se na metodologia de fornecimento de calor no caule (COELHO FILHO et al. 2005; VELLAME et al.2012; PAMPONET et al. 2012). Dentre as metodologias existentes, as técnicas mais utilizadas são Balanço de Calor no Caule (SAKURATANI, 1981), Dissipação de Calor (GRANIER, 1985), Velocidade do Pulso de Calor (HUBER, 1932).

O manejo baseado no clima, através da estimativa da ETo, comparado com outros métodos, apresenta desvantagens referentes a superestimativa dos valores, tendo em vista que muitas vezes os dados são extrapolados de outras áreas, como afirma López-Urrea et al. (2006) que ao testarem equações de estimativa de ETo em relação a lisímetros de pesagem, em um clima semiárido, concluíram que o método de PM/FAO foi o mais adequado para calcular a ETo média diária, embora tenha produzido subestimativas consideráveis.

Por esses motivos, metodologias e modelos capazes de estimar a transpiração da cultura são de grande importância para manejo da irrigação.

Além de fornecerem informações pontuais, poderiam ser correlacionados com a disponibilidade de água o solo, fatores relacionados à planta, como, área foliar, geometria da copa, e com a demanda de água pela atmosfera.

Diante do exposto, o objetivo do presente trabalho foi calibrar o método da razão de calor para estimativa do fluxo de seiva do maracujazeiro e estudar sua relação com a umidade do solo, demanda de água pela atmosfera, área foliar

REVISÃO DE LITERATURA

Manejo da irrigação e demanda de água do maracujazeiro

O maracujazeiro, por ser uma cultura de crescimento contínuo e vigoroso torna-se bastante exigente em água necessitando de até 10 litros ou mais por dia, a depender do estágio de desenvolvimento (GONDIM, 2003). Desta maneira, a deficiência hídrica no solo pode reduzir seu crescimento, floração afetando diretamente a produtividade, todavia, a utilização da irrigação na produção de maracujá, além de garantir aumentos na produtividade, assegura uma produção contínua e uniforme, portanto, para fins comerciais, torna-se mais viável o cultivo sob regime de irrigação (ARAÚJO et al., 2012; MANICA, 1981).

O manejo da irrigação para a cultura do maracujazeiro ainda é baseado na lâmina de irrigação (ARAUJO et al. 2012). Essas lâminas ainda são determinadas considerando dados de coeficiente de cultura. Todavia, essa metodologia por muitas vezes é considerada ineficiente devido as condições de cultivo (irrigação localizada, alta taxa de sombreamento etc.). Para o manejo da irrigação da cultura do maracujá recomenda-se que as plantas sejam submetidas a potenciais matriciais de -0,06 atm em solos arenosos e superiores a -0,2 atm em solos de textura média a argilosa, considerados como o limite crítico de água no solo, para que não proporcione déficit hídrico a cultura (STAVELY e WOLSTENHOLME, 1990). Para evitar tais problemas, os autores recomendam que sejam feitas irrigações frequentes, de modo que se mantenha o solo próximo da capacidade de campo, principalmente nos períodos de floração e frutificação.

A utilização da irrigação no maracujazeiro promove o aumento da produtividade, permite a obtenção de produção de forma contínua e uniforme, com frutos de boa qualidade (RUGGIERO et al. 1996). A falta de umidade no solo provoca a queda das folhas e dos frutos, principalmente no estágio inicial de desenvolvimento. Menzel et al. (1986) afirmam que a escassez de água no solo também afeta a hidratação dos tecidos da planta e sob condições de estresse hídrico formam-se ramos menores, com menor número e comprimento de internos.

Pesquisas realizadas por Martins (1998), Carvalho et al. (2000), Sousa (2000), mostraram que a cultura expressou produtividade máxima, aproximadamente 40 t ha⁻¹, com um consumo de água para irrigação suplementar em torno de 1.300 a 1.400 mm ano⁻¹.

Propagação do maracujazeiro

A propagação do maracujazeiro para comercialização é feita principalmente via sementes, mas estas apresentam alguns problemas como à falta de uniformidade na germinação e emergência das plântulas (SILVA et al. 2015). Além da propagação via sementes, o maracujazeiro pode ser propagado via assexuada como o método da estaquia, permitindo a multiplicação a partir de plantas-matrizes produtivas e de qualidade, para formação de pomares com maior uniformidade e vigor (HUH et al. 2017), no entanto, esse método de propagação é pouco utilizado em escala comercial, principalmente, devido aos maiores custos de produção das mudas e também ao maior tempo necessário para a formação destas (LIMA, 2005).

A propagação por sementes, apesar de suas desvantagens comparadas aos demais métodos de propagação, ainda é o usado na totalidade dos pomares. Em muitos casos, o plantio de novos pomares é feito reutilizando sementes de plantios anteriores, todavia, essa prática deve ser evitada, porém em caso de reaproveitamento, as sementes utilizadas devem ser retiradas de plantas vigorosas, produtivas, precoces, resistentes a doenças e pragas, com alto rendimento em suco, melhorando desse modo a qualidade das mudas produzidas. Outro aspecto que também deve ser visto com cuidado é o poder germinativo das sementes de maracujá, de acordo com Meletti et al. (2002), a

semente recém-colhida apresenta um tipo de dormência temporária, que pode ser superada com o armazenamento, em geral possibilita a obtenção de índices de germinação superiores a 95%, todavia, esse valor decresce cerca de 8% ao mês, portanto, o tempo de armazenamento das sementes também deve ser verificado cuidadosamente.

A propagação por estacas é o processo de multiplicação de plantas de forma assexuada, onde se utilizam segmentos de caules, raízes, brotos apicais e folhas que submetidos às condições favoráveis, desenvolvem enraizamento originando novas plantas (LORENZI et al. 2006). Plantas propagadas por estaquia podem ter seu enraizamento prejudicado devido à condição fisiológica, idade da planta-mãe, o tipo de estaca, além de condições ambientais, como, temperatura, umidade, luminosidade e substrato (PAIVA e GOMES, 2005) por esse motivo, a utilização de reguladores vegetais capazes de auxiliar no enraizamento das estacas são muito úteis. Toda e qualquer prática que vise melhorar a condição da muda deve-se levar em consideração, segundo Fachinello et al. (2005), o corte em bisel inicia a formação de um tecido cicatricial a partir da desdiferenciação celular das células parenquimáticas, o qual evolui para calos com diferentes etapas de lignificação de suas células, diminuindo a desidratação na área injuriada, diminuindo assim os riscos de infecção ou ataques de patógenos.

Transpiração e fluxo de seiva

Quantificar o consumo de água das plantas de forma mais precisa implica em metodologias melhoradas, técnicas de avaliação simples e que forneça resposta rápida ao produtor. De modo que a irrigação se torne o mais eficiente possível, tanto no aspecto da quantidade de água demandada pela planta quanto no momento de aplicação. Por esse motivo, o estudo da transpiração é importante, pois evidencia a influência dos condicionantes atmosféricos, da disponibilidade hídrica do solo, 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). Técnicas que possibilitem estimar a transpiração são muito úteis em estudos sobre relações hídricas, pois permitem analisar a planta como um todo e não apenas frações

de folhas, o que é comum na porometria e na análise de gases por absorção de radiação infravermelha (ANGELOCCI et al. 2004).

Os métodos térmicos para a determinação da transpiração têm se difundido nos últimos anos, tendo sido amplamente estudados em várias culturas, pois estes têm inúmeras vantagens, como: fácil manuseio e instalação, baixo custo e apresentam boa acurácia quando utilizados para determinadas culturas de plantas.

Para determinação da transpiração via método térmico as técnicas mais utilizadas são Balanço de Calor no Caule (SAKURATANI, 1981), Dissipação de Calor (GRANIER, 1985), Velocidade do Pulso de Calor (HUBER, 1932,). Os métodos térmicos que utilizam o balanço de calor no tronco ou no caule da planta, local onde os sensores são instalados, são baseados nos mesmos princípios físicos. Sendo realizado o no balanço de energia nessa região, à qual é aquecida 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 (CERMÁK et al. 1973; SAKURATANI, 1981).

O método de dissipação térmica 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. O método conta com uma instrumentação simples contendo duas sondas com junção de termopar de cobre e constata inseridas no caule e através da diferença de temperatura do caule no ponto do aquecimento e outro abaixo, é obtida a diferença de temperatura a qual é dependente da velocidade de seiva (GRANIER, 1985).

O método do pulso de calor tem como princípio promover um aquecimento da seiva em um determinado local do caule e acompanhar o comportamento desse calor ao longo do percurso da seiva por meio de sensores de temperatura. Segundo Swanson (1994), o primeiro relato do uso do calor para mensurar a velocidade do fluxo de seiva foi feito por Huber, em 1932. Estudos sobre a teoria e prática do método da velocidade do pulso de

calor foram feitos por Swanson e Whitfield em (1981), apresentando correções e melhorando o cálculo da transpiração.

A técnica do pulso de calor para mensurar o fluxo de seiva é uma ferramenta duplamente benéfica, pois pode ser usada para verificar o comportamento hídrico das culturas, e na tomada de decisões acerca do manejo da irrigação como afirma, Fernández et al. (2001). A principal limitação do método de pulso de calor é a estimativa de baixos fluxos de seiva, verificado por Burgess et al. (2001), que então apresentou um método melhorado, chamado de método da razão de calor, onde este é capaz de mensurar baixos fluxos de seiva e, ainda, sensíveis à direção do fluxo.

Evapotranspiração do Maracujazeiro

Na literatura são poucos os trabalhos que tratam do consumo hídrico do maracujazeiro. Todavia, devido a expansão da cultura ao longo dos anos, faz-se necessário estudos referentes ao assunto de forma a aprimorar sua exploração por parte dos produtores.

A evapotranspiração de referência (ET_o) compõe uma metodologia básica para determinação da quantidade de água necessária para o bom desenvolvimento das culturas bem como o seu uso racional. A evapotranspiração da cultura (ET_c) normalmente é determinada a partir de medidas diretas considerando o balanço hídrico em volume de solo conhecido, essas medidas podem ser a partir de lisímetros que consiste de uma caixa impermeável, contendo um volume de solo representativo da área a ser avaliada e coberta com a vegetação a ser estudada.

Apesar do número de trabalhos referentes ao assunto ainda ser bem reduzido, é possível encontrar na literatura algumas pesquisas relacionadas a evapotranspiração do maracujazeiro. Alencar (2000), trabalhando com lisímetros de drenagem, verificou um aumento da ET_c de acordo com o aumento da área foliar das plantas de maracujá amarelo, apresentando um valor de 4,68 mm dia⁻¹ no período entre 182 e 196 dias após o transplante, período correspondente ao início da floração e frutificação.

Corrêa (2004), também utilizando lisímetro de drenagem, em Piracicaba, SP, determinou o coeficiente de cultivo para seis estágios de desenvolvimento

da cultura. Esses valores variaram de 0,3 para a fase de desenvolvimento inicial, a 0,9 para a fase de florescimento, frutificação e maturação dos frutos, fase de maior demanda hídrica por parte da cultura.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALENCAR, C.M. **Consumo de água do maracujazeiro amarelo (*Pasiflora edulis* Sims var *flavicarpa* Deg)**. 2000. 49f. Dissertação (Mestrado em Agronomia)- Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2000.

ANGELOCCI, L.R.; VALANCOGNE, C.; VILLA NOVA, N.A.; PEREIRA, A.R. Relações entre fluxo de seiva de macieiras em pomar irrigado, área foliar e evapotranspiração de referência. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 10., Piracicaba, 1997. **Anais**. Piracicaba: SBA, 1997. p. 716-718.

ARAÚJO, H. F. de.; COSTA, R. N. T.; CRISÓSTOMO, J. R.; SAUNDERS, L. C. U.; MOREIRA, O. da C.; MACEDO, A. B. M. Produtividade e análise de indicadores técnicos do maracujazeiro-amarelo irrigado em diferentes horários. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental Campina grande**, v.16, n.2, p.159–164, 2012

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.

CALDER, I.A. Evaporation in the uplands. John Wiley and Sons, Chichester 148p. 1990.

CARVALHO, A. J. C. de, MARTINS, D. P., MONNERAT, P. H.; BERNARDO, S. Adubação nitrogenada e irrigação no maracujazeiro-amarelo. I. Produtividade e qualidade dos frutos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 35, n. 6, p. 1101-1108, 2000

ČERMÁK, J.; DEMIL, M.; PENKA, M. A new method of sap flow rate determination in trees. **Biol. Plant**. 15. p.171–8, 1973

COELHO FILHO M. A.; ANGELOCCI, L.R.; CAMPECHE, L.F.S.M.; FOLEGATTI, M. V.; BERNARDES, M. S. Field determination of young acid lime plants transpiration by the stem heat balance method. **Sciencia Agrícola**, Piracicaba, v. 62, n.3, p.240-247, 2005.

CORRÊA, R.A.L. **Evapotranspiração e coeficiente de cultura em dois ciclos de produção do maracujazeiro amarelo**. 2004. 57 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia)- Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2004.

FACHINELLO, J. C.; HOFFMANN, A.; NACHTIGAL, J. C.; KERSTEN, E. Propagação vegetativa por estaquia. In: FACHINELLO, J. C.; HOFFMANN, A.; NACHTIGAL, J. C. Propagação de plantas frutíferas. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2005, 221p.

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: test, root flow and diagnostic of water stress. **Agricultural Water Management**, 51: 99-123.

GRANIER, A. (1985) Une nouvelle méthode pour la mesure du flux de sève brutedans le tronc des arbres. **Annales des Sciences Forestieres**, 42 (2): 193-200.

GONDIM, S. C. **Comportamento do maracujazeiro-amarelo IAC 273/ 277 + 275, em função do número de plantas por cova e lâminas de água.** Areia: UFPB, 2003. 73p. Dissertação Mestrado

HUBER, B. Beobachtung und messung pflanzlicher saftstromes. Berichte Deutsche Botanische Gesellschaft, n. 50, p. 89-109, 1932.

HUH, Y. S.; LEE, J. K.; NAM, S. Y. Effect of plant growth regulators and antioxidants on in vitro plant regeneration and callus induction from leaf explants of purple passion fruit (*Passiflora edulis* Sims). **Journal of Plant Biotechnology**, v. 44, n. 3, p. 335-342, 2017.

LIMA, A. A. Aspectos fitotécnicos: desafios da pesquisa. Maracujá: germoplasma e melhoramento genético/ editado por Fabio Gelape Faleiro, Nilton Tadeu Vilela Junqueira, Marcelo Fideles Braga. Planaltina, DF: **Embrapa Cerrados**, 2005. p.643-677.

LOPES-URREA, R.; OLALLA, F. M. S.; FABEIRO, C.; MORATALLA, A. Testing evapotranspiration equations using lysimeter observations in a semiarid climate. **Agricultural Water Management**, v.85, p.15-26, 2006.

LORENZI, H.; SARTORI, S.; BACHER, L. B. e LACERDA, M. Frutas brasileiras e exóticas cultivadas: (de consumo in natura). São Paulo: Instituto Plantarum de Estudos da Flora, 2006. 639p.

MANICA, I, OLIVEIRA JR., M .E. DE. (2005). MARACUJÁ NO BRASIL. IN: MANICA, I. BRANCHER, A., SANZONOWICS, C., ICUMA, I.M., AGUIAR, J.L.P. DE, AZEVEDO, J.A. DE, VASCONCELLOS, M.A. DA S., JUNQUEIRA, N.T.V. *Maracujá-doce: tecnologia de produção, pós-colheita, mercado.* Cinco Continentes: Porto Alegre. p.11-26. 2005.

MARTINS, D. P. **Resposta do maracujazeiro amarelo (*Passiflora edulis* Sims var. *flavicarpa* Deg) a lâminas de irrigação e doses de nitrogênio e potássio.** Campos dos Goytacases, 1998, Tese (Doutorado) Centro de Ciências e tecnologia da Universidade Estadual do Norte Fluminense.

MELETTI, L. M. M.; MAIA, M. L. *Maracujá: produção e comercialização*. Campinas: Instituto Agrônomo de Campinas, 64p. (**Boletim técnico, 181**), 1999.

PAIVA, H. N.; GOMES, J. M. Propagação vegetativa de espécies florestais. 3 ed. Viçosa: UFV, 2005. p. 25-38.

PAMPONET, B. M.; OLIVEIRA, A. S.; MARINHO, L. B.; VELLAME, L. M.; PAZ, V. P. S. Efeitos das diferenças térmicas naturais na estimativa do fluxo de seiva pelo método de Granier em cacauzeiro a pleno sol. **Irriga**, v. 1, n. 1 (edição especial), p. 120 - 132, 2012.

RUGGIERO, C. Maracujá para exportação: aspectos técnicos da produção. Brasília: Embrapa-SPI, 1996. 64p.

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

SILVA, M. S.; OLIVEIRA, R. C.; ALMEIDA, R. F.; SÁ JUNIOR, A.; SANTOS, C. M. Aryl removal method sand passion fruit seed positions: Germination and emergence. **Journal of Seed Science**, v. 37, n. 2, p. 125-130, 2015.

SOUSA, V. S. **Níveis de irrigação e doses de potássio aplicadas via fertirrigação por gotejamento no maracujazeiro amarelo (*Passiflora edulis* Sims var. *flavicarpa* Deg.)** Piracicaba, 2000, 145p. Tese (Doutorado). Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"- Universidade de São Paulo.

STAVELY, G. W.; WOLSTENHOLME, B. N. Effects of water stress on growth and flowering of *Passiflora edulis* (Sims) grafted to *P. caerulea* L. **Acta Horticulturae, Netherlandf**, n. 275, p. 251-258, 1990.

SWANSON, R. H. (1994) Significant historical developments in thermal methods for measuring sap flow in trees. **Agricultural and Forest meteorology**, 72: 113-132.

VELLAME, L. M.; COELHO, R. D.; TOLENTINO, J. B. Transpiração de plantas jovens de laranjeira "valência" sob porta-enxerto limão „cravo" e citrumelo „swingle" em dois tipos de solo. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v.34, n.1, p.024-032, mar., 2012.

CAPÍTULO 1

FLUXO DE SEIVA PELO MÉTODO DA RAZÃO DE CALOR E EVAPOTRANSPIRAÇÃO DO MARACUJAZEIRO

FLUXO DE SEIVA PELO MÉTODO DA RAZÃO DE CALOR E EVAPOTRANSPIRAÇÃO DO MARACUJAZEIRO

RESUMO: O maracujazeiro, é uma cultura que tem como característica a alta demanda por água, sendo bastante sensível a déficits hídricos, principalmente em fases críticas, como a frutificação. Atualmente existem várias metodologias que auxiliam no manejo da irrigação, todavia, ainda é escasso, para a cultura, metodologias baseadas na condição hídrica da planta. Portanto, o presente trabalho teve como objetivo avaliar o método da razão de calor para estimativa da transpiração do maracujazeiro. O estudo foi conduzido com a cultivar BRS Gigante Amarelo cultivado em estufa agrícola, na área experimental do Núcleo de Engenharia de Água e Solo, da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Município de Cruz das Almas-BA. O método de irrigação utilizado foi o gotejamento com turno de rega de dois dias. O manejo foi conduzido com base em dados de umidade do solo monitorada através de sensores de TDR instalados a 0,20 m do caule da planta e a 0,25 m de profundidade. O fluxo de seiva foi relacionado com a evapotranspiração obtida por lisímetro de pesagem. Como resultados, foi determinado a difusividade térmica da madeira do caule do maracujazeiro ($1,28 \times 10^{-3} \text{ cm}^2 \text{ s}^{-1}$), e a estimativa da área da seção condutora por uma equação polinomial de ordem dois ($\hat{y} = 0,0129x^2 - 0,2224x + 1,2511$) e R^2 de 0,8817. O fluxo de seiva foi em média 16%, menor que a evapotranspiração.

Palavras chave: Razão de calor, lisímetro, evapotranspiração.

SAP FLOW THROUGH THE METHOD OF HEAT RATIO AND PASSION FRUIT EVAPOTRANSPIRATION

ABSTRACT: Passion fruit is a crop whose characteristic is the high demand for water, being very sensitive to water deficits, especially in critical phases, such as fruiting. Currently there are several methodologies that help in the management of irrigation, however, methodologies based on the water condition of the plant are still scarce. Therefore, the present work aimed to evaluate the heat ratio method to estimate passion fruit perspiration. The study was conducted with the cultivar BRS GA1 cultivated in an agricultural greenhouse, in the experimental area of the Water and Soil Engineering Center, Federal University of Recôncavo da Bahia, Cruz das Almas-BA. The irrigation method used was a two-day watering drip. Management was conducted based on soil moisture data monitored through TDR sensors installed at 0.20 m from the plant stem and at 0.25 m depth. The sap flow was related to the evapotranspiration obtained by weighing lysimeter. As a result, it was determined the thermal diffusivity of the passionflower stem wood ($1.28 \times 10^{-3} \text{ cm}^2 \text{ s}^{-1}$), and the conductive section area estimate by a two-order polynomial equation ($\hat{y} = 0.0129x^2 - 0.2224x + 1.2511$) and R^2 of 0.8817. Sap flow averaged 16%, lower than evapotranspiration.

Keywords: Reason for heat, lysimeter, evapotranspiration.

INTRODUÇÃO

Quantificar o consumo de água das plantas de forma mais acurada implica em metodologias melhoradas, técnicas de avaliação simples e modelos da dinâmica da água adequados. De modo que a irrigação se torne o mais eficiente possível, tanto no aspecto da quantidade de água demandada pela planta quanto no momento de aplicação. Algumas metodologias são comumente utilizadas para quantificar a quantidade de água consumida pelas culturas, dentre elas, temos: lisimetria (SCHMIDT et al., 2013; CAMPECHE et al., 2011); fluxo de seiva (PAMPONET et al., 2012); e métodos micrometeorológicos (KANG et al., 2008).

Estudos relacionados a transpiração das plantas, principalmente em fruteiras lenhosas, baseiam-se em metodologias de fornecimento de calor no caule (VELLAME et al. 2011), as quais pressupõem a equivalência entre o fluxo xilemático e o fluxo transpiratório foliar, em escala diária. Muitos desses estudos estão associados a alguma característica particular da planta.

Pamponet et al. (2012), estudando o cacauzeiro, afirma que por ser uma planta caducifólia, que possui como característica o depósito de suas folhas sobre o solo, provocava uma redução nas perdas de água por evaporação, o que aumenta ainda mais a importância de estudos relacionados a transpiração na determinação da demanda hídrica da cultura. O maracujazeiro, assim com cacauzeiro, possui características atípicas que configuram a importância de estudos relacionados a transpiração. Sua disposição no campo (cultivos em espaldeira) muitas vezes ocasionando uma alta taxa de sombreamento no solo. Além disso, a irrigação localizada é o método comumente utilizado pelos produtores de maracujá. Portanto as características citadas acima acarretam uma diminuição considerável da taxa de evaporação de água pelo solo, ficando a transpiração responsável pelo maior percentual de perdas de água no cenário que considera a evapotranspiração da planta.

Segundo Coelho Filho et al. (2004), a quantificação do fluxo de seiva é essencial para o manejo da cultura e da irrigação e a utilização de métodos térmicos de medição de fluxo de seiva possui como vantagem a possibilidade de acompanhar os curtos intervalos de tempo o estado hídrico das plantas.

A técnica do pulso de calor para mensurar o fluxo de seiva é uma ferramenta duplamente benéfica, pois pode ser usada para verificar o comportamento hídrico das culturas, e na tomada de decisões acerca do manejo da irrigação como afirma, Fernández et al. (2001). A principal limitação do método de pulso de calor é a estimativa de baixos fluxos de seiva, verificado por Burgess et al. (2001), que então apresentou um método melhorado, chamado de método da razão de calor, onde este é capaz de mensurar baixos fluxos de seiva e, ainda, sensíveis à direção do fluxo. Além desses fatores, o método da razão de calor, configura-se como uma técnica arrojada em relação a algumas outras devido a inclusão de algumas variáveis inerentes a cultura de interesse, como a difusividade térmica da madeira.

Desse modo, o objetivo do trabalho foi avaliar o método da razão de calor para estimativa do fluxo de seiva do maracujazeiro por meio de comparações com a evapotranspiração, demanda de água pela atmosfera e umidade do solo.

METODOLOGIA

Caracterização da área experimental e da planta

O experimento foi conduzido em estufa agrícola com cobertura plástica nas dimensões de 6 m de largura e 30 m de comprimento, nas instalações do Núcleo de Engenharia de Água e Solo, da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Município de Cruz das Almas-BA, (12°40'19" de latitude Sul, 39°06'23" de longitude Oeste, altitude média de 220 m). O clima local é classificado como tropical quente e úmido, com médias pluviométricas anuais, temperatura e umidade relativa do ar de 1.131,17 mm, 24,5 °C e 80%, respectivamente (GUIMARÃES et al., 2017).

Dentro da estufa agrícola foram instalados lisímetros de drenagem e de pesagem com dimensões de 1,1 x 1,1 x 0,9m. Para preenchimento dos lisímetro utilizou-se solo classificado quanto a sua textura como franco arenoso, o qual apresentava 68,25 % de areia e 11,53 % de argila. O solo local é classificado como Latossolo Amarelo Distrocoeso.

O estudo foi realizado em uma área com maracujá, cultivar Gigante Amarelo (BRS GA1). O espaçamento de transplântio foi 2,0 x 1,5 m. Foi feito tutoramento do tipo espaldeira vertical, com um fio de arame liso a 1,8 m de altura da base da planta. O sistema de irrigação utilizado foi do tipo localizada por gotejamento com emissores autocompensantes de vazão de 2 L h⁻¹ e diâmetro do bulbo molhado de 0.8m.

A planta utilizada no experimento estava sendo cultivada sob o lisímetro de pesagem e estava com 10 meses após o transplântio, com área foliar de aproximadamente 1,54 m².

Calibração do lisímetro de pesagem

Para compor o lisímetro de pesagem um dos reservatórios da área experimental foi disposto sob duas plataformas de pesagem com capacidade de 1000 kg com resolução de 0,1 kg (modelo AZ-9090-1T - Alfa Instrumentos). As plataformas de pesagem foram conectadas a um mesmo canal analógico de um “datalogger” CR1000 (Campbell SCi), programado para realizar leituras 30 segundos e médias armazenadas a cada 10 minutos.

Segundo a metodologia apresentada por Amaral et al., (2018) com essa configuração de sistema de medição, a incerteza esperada para as medidas de massa, de acordo com os valores de acurácia apresentados pelos fabricantes é de 1,74 kg. Considerando que o valor da média de massa armazenada pelo lisímetro corresponde a 20 leituras (leituras 30 segundos e médias a cada 10 minutos) e que a incerteza é definida pela equação 1, pode-se considerar que o valor da média apresenta uma incerteza de 0,39 kg.

$$l = \frac{\sigma.t}{\sqrt{n}} \quad (1)$$

A plataforma de pesagem foi calibrada pela aplicação e retirada de massas conhecidas, obtendo-se uma relação entre a massa aplicada/retirada (kg) e sinal elétrico (mV V⁻¹) emitido pelas células de carga. A massa inicial era composta pela soma das massas referente ao solo seco ao ar, brita presente no dreno, as sondas de TDR e ao tanque seco. Em seguida, fez se a adição de 10 em 10L de água com massa específica de 1000 kg m⁻³, até a obtenção da

massa de 2000 kg. Para cada massa obtida após a adição dos 10 L de água, fez-se a leitura do sinal das células de carga. Em seguida, iniciou-se a retirada da água, 10L por vez, e a leitura do sinal. Por fim, a partir da relação entre a massa (m) do lisímetro e do valor do sinal elétrico (Se) das células de carga, determinou-se a equação 2.

$$m=874,3se-1334.3 \quad (2)$$

Conhecendo-se a massa do lisímetro, obteve-se a quantidade de água evapotranspirada através da diferença de massa de um dado intervalo de tempo.

Através da equação linear obtida na calibração do lisímetro, foi determinada a lâmina de água evapotranspirada pela cultura do maracujazeiro, considerando os dias sem irrigação, assim a ET será calculada levando em consideração a variação de massa do lisímetro, conforme a equação 3:

$$E_{c\text{lisímetro}}=(m_i -m_{i+1}) \quad (3)$$

Em que,

$E_{c\text{lisímetro}}$ - Volume evapotranspirado entre 0:00 e 23:00h, L;

m_i - Massa lida no lisímetro as 0:00h, kg;

m_{i+1} - Massa lida no lisímetro as 23:00, kg.

Variáveis meteorológicas e ETo

A radiação solar global foi monitorada por meio de piranômetro (LP02L12 - Campbell Sci.) e a umidade relativa e temperatura do ar pelo 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 30 s; com médias armazenadas a cada 10 min. Para aquisição e armazenamento dos dados foi utilizado o “datalogger” CR1000 Campbell Sci. Os dados meteorológicos foram utilizados para o cálculo da evapotranspiração de referência (ETo) em intervalos diários pela equação de Penman-Montheith parametrizada pela FAO. Adotou-se como velocidade do

vento no interior da estufa o valor fixado de $0,5 \text{ m s}^{-1}$ como recomendado no Boletim FAO 56 para condições em que esse elemento é praticamente nulo (ALLEN et al., 1998).

Cálculo do fluxo de seiva- método da razão de calor

Utilizou-se a metodologia preconizada por Burgess et al. (2001) calculando-se a velocidade do pulso de acordo com a equação 4. As medições foram feitas 80 segundos após a aplicação de um pulso de calor de $2,15 \text{ W}$ por 3 s ($6,45 \text{ J}$). O valor de β utilizado foi de $1,723$, valor recomendado por Burgess et al. (2001) para um diâmetro do orifício de inserção das sondas de $0,17 \text{ cm}$.

$$V_c = \frac{4 K t \ln\left(\frac{v_1}{v_2}\right) - x_2^2 + x_1^2}{2 t (x_1 - x_2)} \times \beta \times 3600 \quad (4)$$

Em que:

V_c - Velocidade do pulso de calor corrigida, cm h^{-1}

K – Difusividade térmica do caule, $\text{cm}^2 \text{ s}^{-1}$

x_1, x_2 – Espaçamentos corrigidos dos sensores em relação ao aquecedor, cm

v_1, v_2 – São os incrementos de temperatura nas sondas acima e abaixo do aquecedor em determinado tempo de medição.

t – Tempo de medição, s .

β - Coeficiente empírico em função do diâmetro da ferida, adimensional.

Para corrigir o desalinhamento da sonda, considerou-se uma das sondas de temperatura como estando inserida simetricamente ($0,6 \text{ cm}$) e o espaçamento da outra sonda foi calculado utilizando-se a equação 5. O valor da razão entre os incrementos de temperatura (v_1/v_2) foi tomado como a média das leituras no período de 4 às 5 h de um dia com boa disponibilidade de água do solo, quando se espera um fluxo nulo.

$$x_2 = \sqrt{4 K t \ln\left(\frac{v_1}{v_2}\right) + x_1^2} \quad (5)$$

Em que,

x_2 – Espaçamento considerado incorreto, cm;

x_1 - Espaçamento considerado correto, cm;

k - Difusividade térmica da madeira $\text{cm}^2 \text{s}^{-1}$;

t - Tempo de medição, s.

A velocidade de seiva, equação 6, foi determinada em função da velocidade do pulso corrigida em uma dada área do xilema, medindo-se as frações de seiva e madeira e contabilizando suas diferentes densidades e capacidades específicas de calor.

$$V_s = \frac{V_c \rho_b (c_w + m_c c_s)}{\rho_s c_s} \quad (6)$$

Em que,

V_s – Velocidade da seiva, cm h^{-1}

V_c - Velocidade do pulso de calor corrigida, cm h^{-1}

ρ_b - Densidade da madeira, Kg cm^{-3} ;

c_w - Calor específico da matriz da madeira, ($1200 \text{ J kg}^{-1} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$);

c_s - Calor específico da seiva, ($4182 \text{ J kg}^{-1} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$);

m_c - Teor de água do alburno; e

ρ_s - Densidade da água, Kg cm^{-3} .

O fluxo volumétrico foi calculado pelo o produto da velocidade da seiva e área de seção transversal do xilema conforme equação 7.

$$FS = V_s A_s \quad (7)$$

Em que,

FS – Fluxo de seiva, $\text{cm}^3 \text{ h}^{-1}$

V_s – Velocidade da seiva no xilema, cm h^{-1}

A_s – Área de secção do xilema, cm^2

Construção dos sensores

As sondas de pulso de calor foram construídas no Laboratório de Instrumentação Agrícola do Núcleo de Engenharia de Água e Solo - NEAS da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia - UFRB, Cruz das Almas – BA. O sensor é composto por duas sondas para medição de temperatura e uma sonda aquecedora. Nas sondas de medição de temperatura utilizou-se termopares de cobre-constantan, de 0,5 mm de diâmetro, inseridos em agulhas hipodérmicas de 1,3 mm de diâmetro interno com 1,5 cm de comprimento. A sonda de aquecimento constitui de uma agulha revestida com fio de constantan por onde passa um pulso elétrico acarretando o aquecimento da sonda, conforme figura 1.

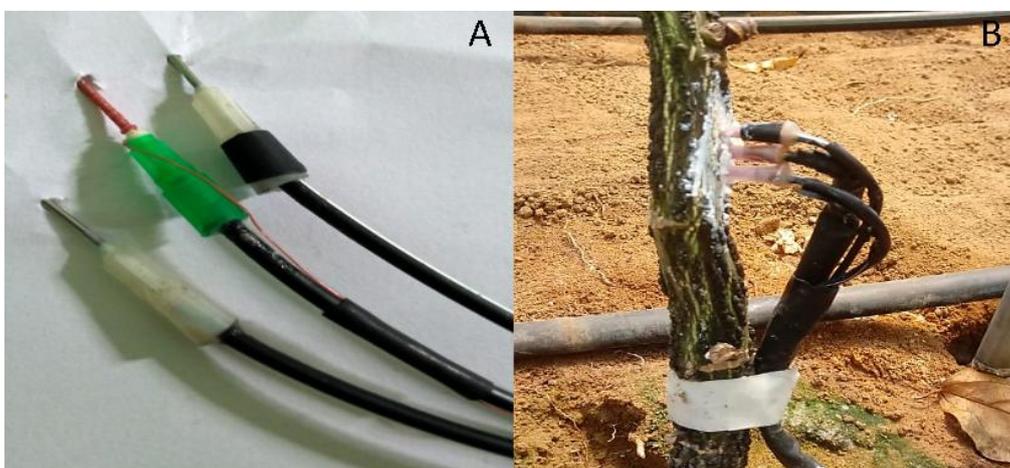


Figura 1. Sonda de pulso de calor (A) Sonda em campo (B).

As sondas foram instaladas a aproximadamente 25 cm acima da superfície do solo, para isso, foram feitas perfurações com 1.3 mm de diâmetro na linha radial do caule espaçadas a 0.6 cm acima e abaixo da sonda aquecedora, a instalação das sondas será feito com o auxílio de uma furadeira e um guia para assegurar o espaçamento adotado e para garantir perfurações paralelas ao longo do eixo. No momento da inserção das sondas, foi utilizado pasta térmica para garantir o contato da sonda com o tecido da madeira. Depois de instaladas, o segmento do caule onde as sondas estavam inseridas

foi revestido com papel laminado de forma a reduzir os efeitos do ambiente externo.

Características térmicas do caule

Para determinação da difusividade térmica e outras características térmicas do caule também foi utilizada a metodologia proposta por Burgess et al. (2001).

Foi feita a coleta de quatro amostras que mediam 1cm de comprimento, em seguida foi feita a pesagem da massa fresca e pelo princípio de deslocamento de fluido verificou-se o volume das secções, logo após foram levadas a estufa a 65° onde ficaram por 72h e realizada nova pesagem para determinação da massa seca. De posse desses dados determinou-se a condutividade térmica da madeira fresca (K_{gw}) e o calor específico da madeira fresca (c), equações 8 e 9. Para tanto foi necessário calcular a condutividade térmica da madeira seca pelas equações 10 e 11.

$$K_{gw} = K_s m_c \frac{\rho_b}{\rho_s} + K_w (1 - m_c \frac{\rho_b}{\rho_s}) \quad (8)$$

Em que,

K_s - Condutividade térmica da água, $J m^{-1} s^{-1} ^\circ C^{-1}$;

K_w - Condutividade térmica da madeira seca, $J m^{-1} s^{-1} ^\circ C^{-1}$;

M_c - Umidade do alburno;

ρ_b - Densidade da madeira, $Kg m^{-3}$;

ρ_s - Densidade da seiva, $Kg m^{-3}$.

$$c = \frac{W_d c_w + C_s (W_f - W_d)}{W_f} \quad (9)$$

Em que,

c_w , Calor específico da madeira, $J Kg^{-1} ^\circ C^{-1}$;

c_s - Calor específico da seiva, $J Kg^{-1} ^\circ C^{-1}$;

w_f - Massa da amostra fresca, Kg;

w_d - Massa da amostra seca, Kg.

$$K_w = 0,04182 (21.0 - 20 F_v) \quad (10)$$

Em que,

F_v - Fração do xilema.

$$F_v = 1 - \left(\frac{\rho_b 0.06536 + m_c}{1000} \right) \quad (11)$$

Em que,

ρ_b - Densidade da madeira, Kg m⁻³

M_c - Umidade do alburno

A difusividade térmica foi determinada pela equação 12.

$$K = \frac{K_{gw}}{\rho c} 10000 \quad (12)$$

Em que,

K - Difusividade térmica, cm² s⁻¹;

K_{gw} - Condutividade térmica da madeira fresca, J m⁻¹ s⁻¹ °C⁻¹;

ρ - Densidade da madeira fresca, Kg m⁻³;

c - Calor específico da madeira fresca, J kg⁻¹ °C⁻¹.

Área de seção condutora de fluxo de seiva

Foram seccionados ramos e troncos de diversos diâmetros de quatro plantas adultas distintas presentes no experimento. As imagens das seções transversais foram digitalizadas (Figura 2), posteriormente com o auxílio do “software” CAD, foi determinada a área da seção condutora e o diâmetro externo das amostras.

Para determinar a relação da área da seção condutora com o diâmetro externo do caule foi feito um estudo de regressão e para expressar a magnitude média do erro utilizou-se o valor do erro médio quadrático (RMSE).

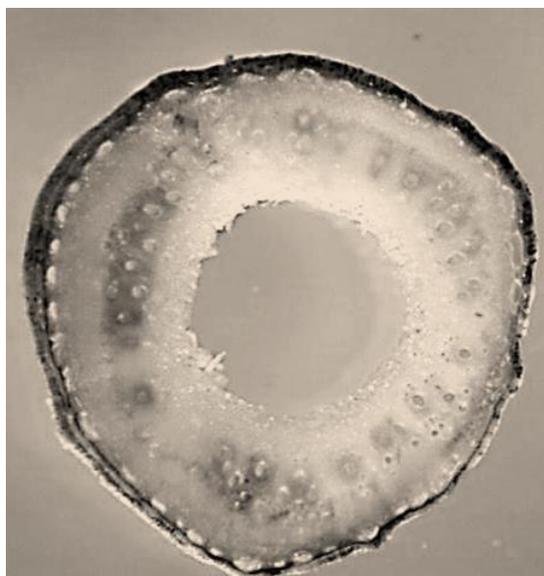


Figura 2. Corte da seção de caule do maracujá

Aquisição e análise de dados

Para aquisição e armazenamento dos dados foi utilizado um “datalogger” CR1000 (Campbell SCi), programado para realizar leituras 30 segundos e médias armazenadas a cada 10 minutos. Por meio de análise de regressão múltipla foram estabelecidas as relações entre a transpiração média das plantas com a umidade do solo, e ETo.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Caracterização da planta e difusividade térmica da madeira, K

A difusividade térmica (K) é um parâmetro fundamental na determinação do fluxo de seiva pelo método da razão de calor, pois esse implica no quão rápido um material pode absorver calor. Como o princípio do método consiste na determinação da velocidade do pulso de calor e conseqüentemente na

velocidade da seiva, conhecer as características térmicas do material por onde ocorrerá essa passagem de seiva é essencial. As umidades do alburno das quatro amostras retiradas variaram em 85% provocando uma variação de apenas 2% na difusividade térmica do caule em relação à média. Para fins dos cálculos de fluxo de seiva, considerou-se a média de quatro amostras, resultando em uma difusividade térmica de $1,28 \times 10^{-3} \text{ cm}^2 \text{ s}^{-1}$ (Tabela 2).

Fuchs et al. (2017), ao desenvolverem estudos com calibração e comparação de três métodos para estimativa do fluxo de seiva em plantas de grande porte, encontraram difusividades térmicas de $2,99 \times 10^{-3}$, $2,73 \times 10^{-3}$ e $2,84 \times 10^{-3} \text{ cm}^2 \text{ s}^{-1}$.

Tabela 2. Variáveis utilizadas na determinação da difusividade térmica do caule do maracujazeiro. Wf-Massa fresca; Wd- Massa seca; cw-Calor específico da madeira; cs-Calor específico da seiva; c-Calor específico da madeira fresca; m_c - Umidade do alburno; Fv-Fração do xilema; K_w -Condutividade térmica da madeira seca; K_s -Condutividade térmica da água; K_{gw} - Condutividade térmica da madeira fresca; K-Difusividade térmica da madeira

	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3	Amostra 4
Wf (Kg)	0,0006	0,0006	0,0005	0,0005
Wd (Kg)	0,00014	0,00019	0,00019	0,00019
cw (J Kg ⁻¹ °C ⁻¹)	1200	1200	1200	1200
cs (J Kg ⁻¹ °C ⁻¹)	4182	4182	4182	4182
c (J kg ⁻¹ °C ⁻¹)	3474,4068	3151,8545	2976,5106	3048,8400
m_c	3,2143	1,8947	1,4737	1,6316
Fv	0,9004	0,9082	0,9217	0,9167
K_w (J m ⁻¹ s ⁻¹ °C ⁻¹)	0,1251	0,1186	0,1073	0,1115
K_s (J m ⁻¹ s ⁻¹ °C ⁻¹)	0,5984	0,5984	0,5984	0,5984
K_{gw} (J m ⁻¹ s ⁻¹ °C ⁻¹);	0,6576	0,5504	0,4511	0,4889
K (cm ² s ⁻¹)	0,001283	0,001270	0,001290	0,001283

Área da seção condutora

A escolha da equação que melhor expressou a relação diâmetro externo e área do xilema foi feita observando a simplicidade do modelo, R^2 alto (0,88), e baixo valores de RMSE (0,068 cm²). Com isso, foi possível estimar a área da seção condutora da planta onde o sensor foi instalado (Figura 3).

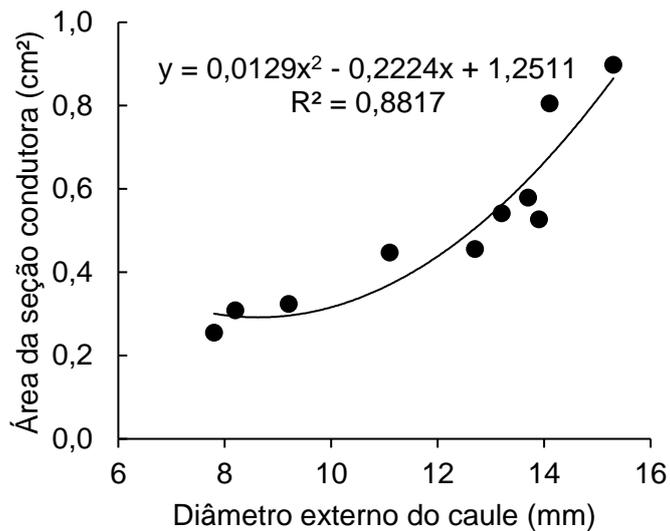


Figura 3. Relação da área de seção condutora de seiva com o diâmetro externo do caule do maracujazeiro.

Fluxo de seiva e evapotranspiração

A avaliação do método para estimativa do fluxo de seiva (FS) foi realizada com base na comparação com dados lisimétricos, para isso considerou-se os dias sem irrigação. A entrada de água no sistema por várias horas afeta o valor de evapotranspiração (ET) determinado pelo lisímetro de pesagem tornando inválida a estimativa do dia com irrigação (Figura 4).

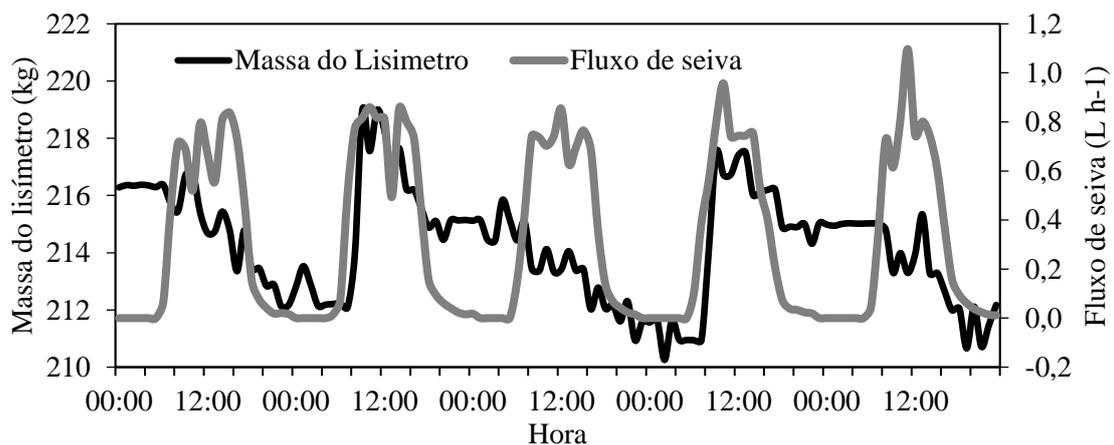


Figura 4. Curso horário do fluxo de seiva e da massa do lisímetro ao longo de cinco dias.

Muitos estudos sobre transpiração de plantas lenhosas usam fluxo de seiva com métodos térmicos. A estimativa da transpiração baseada nesses métodos pressupõe a equivalência entre o fluxo de seiva no tronco e o fluxo transpiratório na superfície foliar em uma escala diária. (JIAN e HU, 2019;. FLO et al. 2019; DANG et al. 2019; COELHO et al. 2012; VELLAME et al. 2010). Dessa forma possíveis causas de dispersão ligadas a estimativa da transpiração são geralmente apontadas a imprecisão dos métodos de fluxo de seiva, como por exemplo, aos gradientes térmicos naturais e a distribuição radial de fluxo no caule. Na maioria dos trabalhos não são consideradas as diferenças entre os processos de transpiração e fluxo de seiva.

Durante 13 dias dos 19 dias monitorados o fluxo de seiva é menor que a evapotranspiração. Quando observamos o curso da relação FS/ET_o e ET/ET_o antes da poda ocorrida dia 14 de março verifica-se um comportamento dessas relações atrelado a umidade do solo (Figura 4). She et al. (2013), ao estudarem a transpiração em plantas de caragana, afirmaram que alguns modelos exibiram alta sensibilidade à umidade do solo, no entanto, a relação obtida entre transpiração e conteúdo de água no solo é imprecisa. Esses autores afirmam que é necessária uma análise mais detalhada da dinâmica da água, do solo bem como um estudo da fisiologia vegetal, para entender o mecanismo da transpiração das plantas, a fim de desenvolver um modelo mais confiável.

Após a poda observou-se um período de crescimento vegetativo intenso com a área foliar aumentando em média 0,09m² dia⁻¹. No início desse período, em que o crescimento da massa área geralmente é mais pronunciado, observaram-se altos valores de fluxo de seiva. Essa variação de armazenamento de água na planta pode diferenciar os processos de fluxo de seiva e transpiração. Entretanto, as medidas lisimétricas nesse período foram baixas e não se mostraram confiáveis, dado o grande incremento de massa diária provocando forte subestimativa uma vez que essa entrada de massa não é contabilizada (Figura 5).

A alteração das características térmica do caule em função da umidade do alburno também ocasiona erro na estimativa do fluxo de seiva. Calculando-se a variação da difusividade térmica e da velocidade de seiva com um aumento de 10% de água nos tecidos e considerando as demais variáveis

constantes observa-se que apesar da difusividade térmica aumentar menos que 1% a velocidade de seiva pode aumentar em torno de 48%.

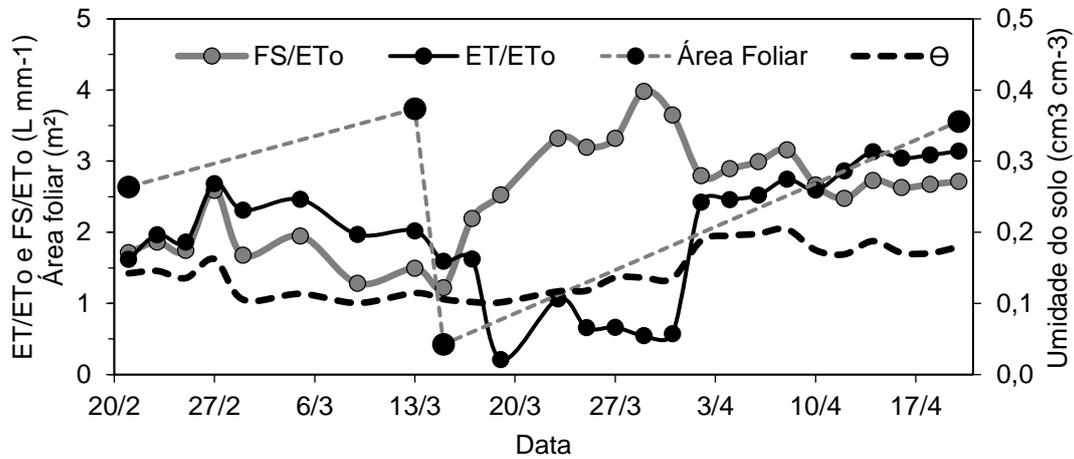


Figura 5. Curso da umidade do solo, da relação fluxo de seiva e evapotranspiração de referência (FS/ETo) e da relação evapotranspiração medida pelo lisímetro de pesagem e evapotranspiração de referência (ET/ETo).

As diferenças entre as medidas lisimétricas e de fluxo de seiva se dão não unicamente pela contribuição da evaporação do solo, mas também pelas diferenças entre os processos de fluxo de seiva e transpiração e às incertezas associadas ao métodos. Assumindo as diferenças nos processos de transpiração e fluxo de seiva causados pela variação de umidade do solo e crescimento vegetativo relacionou-se o fluxo de seiva com a evapotranspiração apenas nos dias em que o fluxo de seiva foi menor que a evapotranspiração. Nessas condições o fluxo de seiva foi em média 16% (1,14 L) menor que a evapotranspiração e as variáveis apresentam boa correlação (Figura 6).

As diferenças são consideradas aceitáveis levando-se em conta que além dos erros dos sistemas de medição (0,39L para o sistema de pesagem do lisímetro), a evapotranspiração engloba não só a transpiração mas também a evaporação do solo. Almeida et al. (2016), em plantas de café conilon, e Coelho et al. (2012), com laranja valência, comparando a transpiração com o fluxo de seiva verificaram, em ambos trabalhos, um erro inferior a 10%.

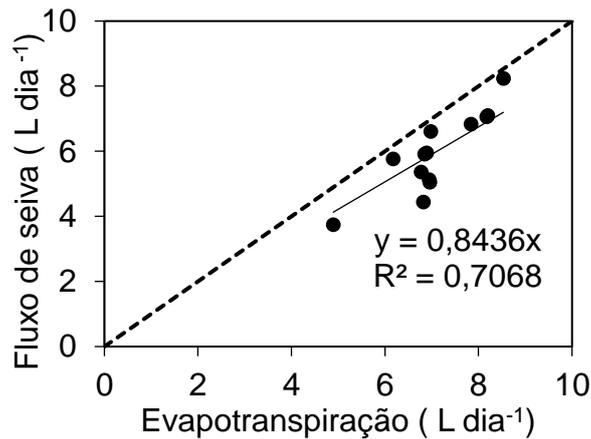


Figura 6. Relação entre o fluxo de seiva estimado pelo método da razão de calor e a evapotranspiração medida pelo lisímetro de pesagem nos dias em o fluxo de seiva é menor que a evapotranspiração.

Quando se estima a evapotranspiração pelo fluxo de seiva, multiplicando o mesmo por um coeficiente (1,16) correspondente a evaporação, se observa que ainda existem diferenças sistemáticas entre as variáveis além da evaporação do solo. Os coeficientes da regressão, tabela 3, entre os valores observados de evapotranspiração e estimados por fluxo de seiva diferiram significativamente ($p > 0.05$) de 1 para o coeficiente angular e 0 para o coeficiente linear, apesar da boa correlação (r^2 ajustado de 0,2217). Para avaliar as diferenças entre os processos de transpiração e fluxo de seiva são necessários estudos da dinâmica da água no sistema solo-planta-atmosfera que meçam as variáveis fisiológicas e de crescimento da planta, além da umidade do solo e demanda de água pela atmosfera. Recomenda-se ainda que sejam realizadas avaliações do efeito no fluxo de seiva da umidade do caule por meio medições contínuas.

Tabela 3. Análise da regressão ($Y=aX+b$) entre os valores de evapotranspiração observada (Y) e estimada pelo fluxo de seiva (X)

Intervalo de estimativa para a	$3,0524 \pm 0,7149$
Intervalo de estimativa para b	$0,5782 \pm 0,1007$
R ² ajustado	0,7271
RMSE	0,5005
Valor - P para H ₀ : a = 0 e b = 1	0,0046

CONCLUSÕES

1. A metodologia avaliada, com a determinação da difusividade térmica da madeira ($1,28 \times 10^{-3} \text{ cm}^2 \text{ s}^{-1}$) área da seção condutora através da equação modelada ($\hat{y}=0,0129x^2-0,2224x+1,2511$) é eficiente para estimar a transpiração.
2. O fluxo de seiva é em média 16%, menor que a evapotranspiração, resultado dentro do esperado tendo em vista que, além dos erros associados aos sistemas de medição, este último fenômeno engloba tanto a evaporação quanto a transpiração.
3. As variações entre fluxo de seiva e evapotranspiração são explicadas pelas variações de umidade do solo e crescimento vegetativo que diferenciaram os processos em escala diária.

REFERÊNCIAS

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. Crop evapotranspiration guidelines for computing crop water requirements. Roma: **FAO Irrigation and Drainage Paper**, n. 56. Rome, p.297, 1998.

ALMEIDA, C. A. B.; OLIVEIRA, I. A.; SILVA NETO, J. A.; SILVA, C.J. TRANSPIRAÇÃO EM COFFEA CANEPHORA L. VIA BALANÇO DE CALOR NO CAULE E LISÍMETRO DE PESAGEM ELETRÔNICA **HOLOS**, vol. 3, 2016, pp. 62-75 Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte Natal, Brasil

AMARAL, A. M.; CABRAL FILHO, F. R.; VELLAME, L. M.; TEIXEIRA, M. B.; SOARES, F. A.; dos SANTOS, L. N. Uncertainty of weight measuring systems applied to weighing lysimeters. **Computers and Electronics in Agriculture**, v.145, p.208-216, 2018.

BARRETT, D. J., T. J. HATTON, J. E. ASH AND M. C. BALL.1995. Evaluation of the heat pulse velocity technique for measurement of sap flow in rain for stand eucalypt forest species of south-eastern Australia. **Plant Cell Environ.** 18:463–469.

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. **TreePhysiology**, 21: 589-598.

CAMPECHE, L. F. M. S.; AGUIAR NETTO, A. O.; SOUZA, I. F.; FACCIOLI, G. G.; SILVA, V. P. R.; AZEVEDO, P. V. Lisímetro de pesagem de grande porte. Parte I: Desenvolvimento e calibração. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 15, n. 5, p. 519-525, 2011. <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662011000500013>

EDWARDS, W. R. N. AND N. W. M. WARWICK. 1984. Transpiration from a Kiwifruit vine as estimated by the heat pulse technique and the Penman-Monteith equation. *N. Z. J. Ag. Res.* 27:537–543.

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: test, root flow and diagnostic of water stress. **Agricultural Water Management**, 51: 99-123.

FERNÁNDEZ, J.E.; DURÁN, P.J.; PALOMO, M.J.; DIAZ-ESPEJO, A.; CHAMORRO, V.; GIRÓN, I. F. Calibration of sap flow estimated by the compensation heat pulse method in olive, plum and orange trees: relationships with xylem anatomy. **Tree Physiology**, Victoria, v. 26, p.719–728, 2006.

S. FUCHS, C. LEUSCHNER, R. LINK, H. CONERS, B. SCHULDT. Calibration and comparison of thermal dissipation, heat ratio and heat field deformation sap flow probes for diffuse-porous trees *Agric. For. Meteorol.*, 244–245 (2017), pp. 151-161

GUIMARÃES, M. J.; M., LOPES, I.; OLDONI, H.; COELHO FILHO, M. A. Balanço hídrico para diferentes regimes pluviométricos na região de Cruz das Almas-BA. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 59, n. 3, p. 252-258, 2017.

HUBER, B. Beobachtung und messung pflanzlichersaftstrome. *Berichte Deutsche Botanische Gesellschaft*, n. 50, p. 89-109, 1932.

KANG, S.; ZHANG, B.; LI, F.; ZHANG, L. Comparison of three evapotranspiration models to Bowen ratio-energy balance method for a vineyard in an arid desert region of northwest China. **Agricultural Journal**, v.148, p.1629-1640, 2008.

Marshall, D.C. 1958. Measurement of sap flow in conifers by heat transport. **PlantPhysiol.** 33:385–396.

PAMPONET, B. M.; OLIVEIRA, A. S.; MARINHO, L. B.; VELLAME, L. M.; PAZ, V. P. S. Efeitos das diferenças térmicas naturais na estimativa do fluxo de seiva pelo método de Granier em cacauieiro a pleno sol. **Irriga**, v. 1, n. 1 (edição especial), p. 120 - 132, 2012.

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

SCHMIDT, C. D. S.; PEREIRA, A. C.; OLIVEIRA, A. S.; GOMES JÚNIOR, J. F.; VELLAME, L. M. Design, installation and calibration of a weighing lysimeter for crop evapotranspiration studies. **Water Resources and Irrigation**

Management, v. 2, n. 2, p. 77- 85, 2013 <http://dx.doi.org/10.15809/irriga.2012v1n01p120>.

SHE, D.; XIA, Y.; SHAO, M.; PENG, S.; YU, S. Transpiration and canopy conductance of *Caragana korshinskii* trees in response to soil moisture in sand land of China. **Agroforest System, Amsterdam**, v.87, p.667-678, 2013.

SWANSON, R.H. AND D. W. A. WHITFIELD. 1981. A numerical analysis of heat pulse velocity and theory. *J. Exp. Bot.* 32:221–239

TREJO-CHANDRA, J.E.; ANGELOCCI, L.R.; OLIVEIRA, R.F.. Aplicação do método de balanço de calor na determinação da transpiração de mudas de limoeiro. **Scientia Agrícola**. v. 54, n. 3. Piracicaba, 1997.

TRENTIN, R.; ZOLNIER, S.; RIBEIRO, A. e STEIDLE NETO, A. J. Transpiração e temperatura foliar da cana-de-açúcar sob diferentes valores do potencial matricial. **Revista Engenharia Agrícola**, v. 31, n. 6, p. 1085-1095, 2011.

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

VELLAME, L. M.; COELHO, R. D.; TOLENTINO, J. B. Transpiração de plantas jovens de laranjeira “valência” sob porta-enxerto limão, “cravo” e citrumelo „swingle” em dois tipos de solo. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v.34, n.1, p.024-032, mar., 2012.

CAPÍTULO 2

FLUXO DE SEIVA DO MARACUJAZEIRO SOB DIFERENTES TIPOS DE PROPAGAÇÃO

FLUXO DE SEIVA DO MARACUJAZEIRO SOB DIFERENTES TIPOS DE PROPAGAÇÃO

RESUMO: O Brasil é um dos países que mais produz maracujá no cenário mundial. Entretanto, a cultura ainda apresenta baixos índices de produtividade no Nordeste cerca de 12,12t ha, e isso se deve principalmente ao fato de ser uma planta de crescimento contínuo bastante exigente em água, que muitas vezes advém da irrigação. O que ressalta a importância de estudos relativos ao manejo da irrigação para a cultura do maracujazeiro. Portanto, o objetivo do presente trabalho foi estimar a transpiração do maracujazeiro pelo método da razão de calor bem como estabelecer sua relação com o potencial de água no solo, área foliar e demanda evaporativa da atmosfera. O estudo foi conduzido com a cultivar BRS Gigante Amarelo cultivado em estufa agrícola, na área experimental do Núcleo de Engenharia de Água e Solo, da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Município de Cruz das Almas-BA. Os resultados mostraram que através da análise de regressão linear múltipla com base na E_{To} , área foliar e umidade do solo se mostrou mais eficiente na estimativa do fluxo de seiva do que na estimativa da evapotranspiração; A estimativa da transpiração e evapotranspiração pela metodologia convencional com base em valores de coeficiente de cultura não foi considerado eficiente. As plantas propagadas por sementes são mais sensíveis a umidade do solo que as propagadas por estacas; de maneira geral, a E_{To} não influenciou significativamente a estimativa da evapotranspiração das plantas.

Palavras chave: Fluxo de seiva, coeficiente de cultura, evapotranspiração.

PASSIONFRUIT SAP FLOW UNDER DIFFERENT TYPES OF PROPAGATION

ABSTRACT: Brazil is one of the countries that produces the most passion fruit in the world scenario. However, the crop still has low productivity rates in the Northeast of about 12.12t ha, and this is mainly due to the fact that it is a water-demanding continuous growth plant, which often comes from irrigation. This highlights the importance of studies on irrigation management for passion fruit crop. Therefore, the objective of the present work was to estimate passion fruit perspiration by the heat ratio method as well as to establish its relationship with soil water potential, leaf area and atmospheric evaporative demand. The study was conducted with the cultivar BRS Gigante Amarelo cultivated in an agricultural greenhouse, in the experimental area of the Water and Soil Engineering Center, Federal University of Recôncavo da Bahia, Cruz das Almas-BA. The results showed that through the multiple linear regression analysis based on E_{To} , leaf area and soil moisture was more efficient in the estimation of sap flow than in the evapotranspiration estimation; Estimation of transpiration and evapotranspiration by the conventional methodology based on culture coefficient values was not considered efficient. Seed propagated plants are more sensitive to soil moisture than cuttings; In general, E_{To} did not significantly influence the estimation of plant evapotranspiration.

Keywords: Sap flow, crop coefficient, evapotranspiration.

INTRODUÇÃO

Os fatores climáticos das regiões tropicais (radiação, temperatura, umidade) associados a irrigação rendem bons resultados em termos produtivos. Todavia, a depender das condições, a escolha do melhor manejo é decisivo para o sucesso dos cultivos irrigados.

Um dos parâmetros utilizados para o planejamento e manejo de culturas irrigadas é baseado na evapotranspiração da cultura (ET_c), que é dado através do produto entre a evapotranspiração de referência (ET_o) e o coeficiente de cultura (K_c). Essa metodologia é utilizada para estimar a quantidade de água que deve ser reposta ao solo através de lâminas de irrigação de forma a assegurar o crescimento, desenvolvimento e produção das plantas em condições ideais (BASSOI et al. 2001). Allen et al. (1998), define evapotranspiração como a combinação de dois processos separados, por um lado a água perdida da superfície do solo por evaporação, e por outro lado a água perdida pela cultura através da transpiração.

Para tanto, em um solo cultivado a evaporação é determinada principalmente pela fração da radiação solar que incide sobre a superfície do solo, fração essa que diminui de acordo com o grau de sombreamento provocado pelo dossel e à medida que o sombreamento aumenta, a transpiração tende a prevalecer (ALLEN et al. 1998). Outro aspecto que também deve ser considerado na escolha do melhor manejo é o tipo de irrigação utilizado no cultivo. No caso da irrigação localizada, assim como no caso do sombreamento, onde somente uma parte da superfície do solo é molhada em virtude da aplicação de água próximo ao sistema radicular da cultura, tem como consequência uma redução da evaporação direta da água do solo (PIZARRO, 1990).

O conhecimento da transpiração a partir de relações lineares entre a área foliar e a evapotranspiração de referência pode ser utilizado na determinação da quantidade de água a ser aplicada ao solo para suprimento das necessidades hídricas das plantas. De acordo com Coelho Filho, (2002) esse tipo de metodologia assume maior importância quando se está sendo utilizada a irrigação por gotejamento no pomar, visto que as perdas de água

por evaporação são minimizadas. Coelho Filho et al. (2007) estudando o manejo do mamoeiro baseado na transpiração afirma que para se manejar a irrigação de forma eficiente é necessário o conhecimento dos fatores que afetam o consumo hídrico do pomar.

Portanto, o objetivo do presente trabalho foi estimar a transpiração do maracujazeiro pelo método da razão de calor bem como estabelecer sua relação com o potencial de água no solo, área foliar e demanda evaporativa da atmosfera.

METODOLOGIA

Caracterização da área experimental

O experimento foi conduzido em estufa agrícola com cobertura plástica nas dimensões de 6 m de largura e 30 m de comprimento, nas instalações do Núcleo de Engenharia de Água e Solo, da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Município de Cruz das Almas-BA, (12°40'19" de latitude Sul, 39°06'23" de longitude Oeste, altitude média de 220 m). O clima local é classificado como tropical quente e úmido, com médias pluviométricas anuais, temperatura e umidade relativa do ar de 1.131,17 mm, 24,5 °C e 80%, respectivamente (GUIMARÃES et al. 2017).

Dentro da estufa agrícola foram instalados lisímetro de drenagem e de pesagem com dimensão de 1,1 x 1,1 x 0,9 m. Para preenchimento dos lisímetro utilizou-se solo classificado quanto a sua textura como franco arenoso, o qual apresentava 68,25% de areia e 11,53% de argila. O solo local é classificado como Latossolo Amarelo Distrocoeso.

O estudo foi realizado com plantas de maracujá, cultivar Gigante Amarelo (BRS GA1). O espaçamento de transplântio foi 2,0 x 1,5 m. Foi feito tutoramento do tipo espaldeira vertical, com um fio de arame liso a 1,8 m de altura da base da planta. O sistema de irrigação utilizado foi do tipo localizada por gotejamento com emissores autocompensantes de vazão de 2 L h⁻¹ e bulbo molhado de 0.8 m.

As plantas utilizadas no experimento estavam com 10 meses após o transplântio e área foliar de aproximadamente 1,54 m². Na ocasião, adotou-se duas fontes de variação (tipo de propagação e potenciais de água no solo) e foi avaliada uma planta por condição dentro das fontes de variação.

Fontes de variação e variáveis analisadas

O estudo foi feito com plantas de maracujá sob quatro fontes de variação. Quanto ao tipo de propagação (propagação por sementes e propagação por estaquia) e quanto ao potencial de água no solo (0,1 e 0,2 atm), portanto, estabeleceu-se os seguintes tratamentos: S1 – propagada por semente e irrigada a um potencial de 0,1 atm; S2 – propagada por semente e irrigada a um potencial de 0,2 atm; E1 - propagada por estaca e irrigada a um potencial de 0,1 atm; e E2 - propagada por estaca e irrigada a um potencial de 0,2 atm.

As variáveis analisadas foram: Transpiração, demanda evaporativa da atmosfera e área foliar.

Manejo da irrigação

Foi instalado um sistema de microirrigação do tipo gotejamento. O sistema em questão foi composto por linhas laterais distribuídas de um lado da planta com a distância de 0,05 m do caule, com dois emissores por planta, espaçados entre si em 0,15 m. Os emissores são do tipo autocompensado, com vazão de 2 L h⁻¹.

Os intervalos entre irrigações foram de 2 dias. Em cada irrigação, o volume de água aplicado foi necessário para retornar à umidade do solo para próximo da capacidade de campo equivalente ao potencial de 10 kPa. Para isso, dados de umidade do solo foram obtidos em sondas instaladas nas camadas (Z) de 0,10; 0,20; 0,30 e 0,40m de profundidade e nas distâncias (r) da planta de 0,10 e 0,25 m. De posse dos dados de umidade, a lâmina de irrigação foi calculada conforme equação 1.

$$IRN_r = \sum_{Z=0,10\text{ m}}^{Z=0,40\text{ m}} (\theta_{cc} - \theta_{atual}) * Z \quad (1)$$

Em que,

IRN -Irrigação real necessária, L;

θ_{cc} -Umidade volumétrica na capacidade de campo, $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ (θ_{-1atm} - 0,20 $\text{cm}^3\text{cm}^{-3}$; θ_{-2atm} - 0,16 $\text{cm}^3\text{cm}^{-3}$);

θ_{atual} -Umidade volumétrica atual do solo, $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$;

Z -Profundidade monitorada pela sonda de umidade do solo, mm;

A irrigação real necessária aplicada nos intervalos de irrigação foi obtida a partir da média entre os valores calculados para R=0,10 m e R=0,25 m, conforme a equação 2.

$$IRN_{m\acute{e}dia} = \frac{(IRN_{0,10\text{ m}} + IRN_{0,25\text{ m}})}{Nr} \quad (2)$$

Em que:

Nr -Número de leituras utilizadas no cálculo da lâmina de irrigação.

A irrigação será ajustada para as condições da área molhada pelos emissores com o uso da equação 3.

$$IRN_{ajustada} = IRN_{m\acute{e}dia} * A_w \quad (3)$$

Em que:

IRN_{ajustada}- Irrigação real ajustada para a área molhada pelos gotejadores, L;

A_w -Área molha da pelos gotejadores, m².

Foi considerada a área molhada pelo emissor sendo o raio molhado na porção média do bulbo.

Variáveis climáticas e ETo

Foi monitorada a radiação solar global por meio de piranômetro (LP02-L12 -Campbell Sci.) e a umidade relativa e temperatura do ar pelo 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 10min. Para aquisição e armazenamento dos dados, foi utilizado o “datalogger” CR1000 Campbell Sci. Os dados meteorológicos foram utilizados para o cálculo da evapotranspiração de referência (ETo) em intervalos diários pela equação de Penman-Montheith parametrizada pela FAO. Adotou-se como velocidade do vento no interior da estufa o valor fixado de $0,5\text{ms}^{-1}$ como recomendado no Boletim FAO 56 para condições em que esse elemento é praticamente nulo (ALLEN et al. 1998).

Análise biométrica do maracujá

A biometria do maracujá foi realizada mensalmente, contemplando as seguintes variáveis diretas, diâmetro do caule; comprimento e largura do lóbulo central da folha. E como variável derivada, teremos a área foliar estimada (AF).

A estimativa da área foliar foi feita de acordo com a modelo proposto por Morgado et al. (2013), onde obteve um coeficiente de determinação (R^2) de 0,989.

$$AF = -0,7 + 0,82 (C \times L) \quad (4)$$

Em que,

C – Comprimento da folha, m

L – Largura da folha, m

Fluxo de seiva

Foi utilizado o método da razão de calor para estimar a transpiração de quatro plantas de maracujá (S1, S2, E1 e E2) através dos dados de fluxo de seiva durante três meses de análise. As sondas foram construídas no

Laboratório de Instrumentação Agrícola do Núcleo de Engenharia de Água e Solo - NEAS da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia - UFRB, Cruz das Almas – BA. O instrumento é composto por duas sondas com sensor de temperatura simples, utilizando-se termopares de cobre-constantan, de 0,5 mm de diâmetro, inseridos em agulhas hipodérmicas de 1,3 mm de diâmetro interno com 1,5 cm de comprimento e uma sonda de aquecimento, que constitui-se de uma agulha revestida com fio de constantan por onde passa um pulso elétrico acarretando no aquecimento da sonda, com as mesmas dimensões preenchidas com resina epóxi para melhor fixação.

As sondas foram instaladas a aproximadamente 25 cm acima da superfície do solo, para isso, foram feitas perfurações com 1,3 mm de diâmetro na linha radial do caule espaçadas a 0,6 cm acima e abaixo da sonda aquecedora, a instalação das sondas será feito com o auxílio de uma furadeira e um guia para assegurar o espaçamento adotado e para garantir perfurações paralelas ao longo do eixo. No momento da inserção das sondas, foi utilizado pasta térmica para garantir o contato da sonda com o tecido da madeira. Depois de instaladas, o segmento do caule onde as sondas estavam inseridas foi revestido com papel laminado de forma a reduzir os efeitos dos gradientes térmicos naturais conforme Vellame et al. (2011).

Aquisição e análise dos dados

Para aquisição e armazenamento dos dados foi utilizado um “datalogger” CR1000 (Campbell SCi), programado para realizar leituras 30 segundos e médias armazenadas a cada 10 minutos.

Foi realizada análise de variância e teste de médias para a área foliar tendo como fontes de variação e o potencial de água no solo e o tipo de propagação. O teste Tukey com probabilidade de 5% foi utilizado para diferenciar as médias dessas variáveis.

O fluxo de seiva, a umidade do solo, área foliar e ETo foram relacionados através de análise de regressão múltipla. O teste F (F-test) foi utilizado para determinar a probabilidade de diferença entre os valores

observados e estimados pelas regressões e aplicado o teste de Mayer et al. (1994).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na figura 1, observou-se que os maiores índices de fluxo de seiva ocorreram entre as 10:00 e 13:00hs corroborando com Trentin et al. (2011) e Cabral (2013). Tal comportamento foi explicado por Angelocci (2002), este afirma que a radiação solar global é a fonte primária de energia para a transpiração e a variação do fluxo de seiva em plantas sob condições hídricas normais, acompanha o seu curso ao longo do dia. Entretanto, o curso do fluxo de seiva não segue completamente o curso da radiação solar devido a transpiração está associada a quantidade de água armazenada nos tecidos da planta, de modo que ao final do dia, quando a transpiração cessa, o fluxo de seiva tende a continuar a fim de repor a água dos tecidos perdidos ao longo do dia.

Nota-se também, que o fluxo de seiva da planta propagada por estaca e sem restrição hídrica (E1) apresenta-se maior que as demais, isso pode ser explicado devido ao fato, da planta está em condições de bordadura, enquanto as outras além de receberem o sombreamento proporcionado pelo próprio ambiente recebem também o sombreamento de plantas vizinhas.

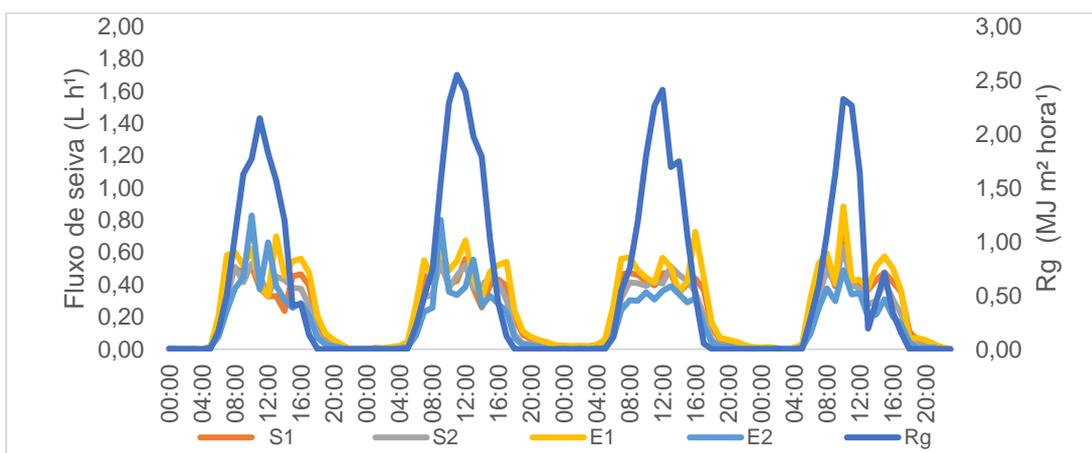


Figura 1. Comportamento do fluxo de seiva dentro das fontes de variação e da radiação solar dentro incidente na área experimental.

No primeiro mês de análise (10 meses após o transplântio) não foi verificado diferença significativa entre os tratamentos para a variável área foliar ($p < 0,05$). Freitas (2019), ao estudar o efeito de faixas de potenciais de água no solo (-0,1 a -0,4atm) em condições semelhantes encontrou o mesmo resultado. No segundo evento de medição da área foliar, foi verificado diferença significativa entre os tratamentos. Ao estudar o desdobramento verificou-se que as plantas (tanto das propagadas por sementes quanto por estacas) e irrigadas a -0,1atm apresentaram maior área foliar quando comparada com as plantas irrigadas a -0,2atm.

Tabela 1. Área foliar e fluxo de seiva

14 meses após o transplântio				
Tratamentos	Área foliar		Fluxo de seiva	
Propagação/Potenciais	0,1 atm	0,2atm	0,1 atm	0,2atm
Semente	1,54Aa	1,37Aa	9,03	3,82
Estaca	2,03Aa	1,68Aa	4,82	2,62

15 meses após o transplântio				
Tratamentos	Área foliar		Fluxo de seiva	
Propagação/Potenciais	0,1 atm	0,2atm	0,1 atm	0,2atm
Semente	4,41Aa	1,80Ab	5,15	3,39
Estaca	3,79Aa	2,54Ab	6,74	3,97

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

Na Tabela 2, são apresentados os coeficientes da regressão múltipla para estimativa do fluxo de seiva e da $ET_{\text{lisimétrica}}$ em função da ET_o , umidade do solo (θ) e área foliar. De acordo com a análise de regressão, verificou-se evidências de que pelo menos uma variável no modelo está relacionada ao fluxo de seiva e a $ET_{\text{lisimétrica}}$ ($F < 0,05$).

Conforme a tabela 2, é possível notar que as variáveis ET_o e a umidade do solo (θ) influenciam significativamente o fluxo de seiva ($P\text{-Valor} < 0,05$). A

evapotranspiração é influenciada significativamente pela área foliar e a umidade do solo. A área foliar expressou pouca relação com o fluxo de seiva isso pode ser devido ao fato das folhas de sobreporem ocasionando um autosobreamento.

O modelo de regressão linear múltipla se mostrou mais eficiente na estimativa do fluxo de seiva do que na estimativa da evapotranspiração uma vez que pela análise de regressão para valores observados e estimados do fluxo de seiva as variáveis apresentaram pequena dispersão (R^2 ajustado=0,8468), enquanto que os valores observados e estimados da evapotranspiração as variáveis apresentaram maior dispersão (R^2 ajustado=0,4852). Os coeficientes de regressão entre os valores observados e estimados não diferiram significativamente ($p > 0.9999$) de 1 para o coeficiente angular e 0 para o coeficiente linear.

Tabela 2. Parâmetros da regressão múltipla com ET_o , θ e AF para estimativa do fluxo de seiva e $ET_{lisimétrica}$ e análise da regressão ($Y=ax+b$) entre os valores observados e estimados do modelo de fluxo de seiva e $ET_{lisimétrico}$

Fluxo de seiva			$ET_{lisimétrica}$		
Regressão		Pr>Fc	Regressão		Pr>Fc
$Y = \beta_0 + (\beta_1 * ET_o) + (\beta_2 * \theta) + (\beta_3 * AF)$			$Y = \beta_0 + (\beta_1 * ET_o) + (\beta_2 * \theta) + (\beta_3 * AF)$		
	Coeficientes	Valor - P		Coeficientes	Valor - P
β_0 (Intercepto)	-4,1194	0,0470	β_0 (Intercepto)	-2,1045	0,5546
$\beta_1(ET_o)$	1,1586	0,0126	$\beta_1(ET_o)$	0,5030	0,3502
$\beta_2(\theta)$	41,4745	0,0000	$\beta_2(\theta)$	23,3954	0,0199
$\beta_3(AF)$	0,2359	0,1415	$\beta_3(AF)$	1,3259	0,0032

Análise da Regressão Múltipla

Fluxo de seiva		$ET_{lisimétrica}$	
Intervalo de estimativa para a	$0,0023 \pm 0,6644$	Intervalo de estimativa para a	$-0,0024 \pm 1,8044$
Intervalo de estimativa para b	$0,9998 \pm 0,1037$	Intervalo de estimativa para b	$1,0003 \pm 0,2576$
R^2 ajustado	0,8468	R^2 ajustado	0,4852
RMSE	0,4947	RMSE	0,5666
Valor - P para $H_0: a = 0$ e $b = 1$	$>0,9999$	Valor - P para $H_0: a = 0$ e $b = 1$	$>0,9999$

A figura 2 apresenta a relação entre os valores observados e os medidos dos dois modelos. Conforme a figura, ficou evidente que o modelo de estimativa do fluxo de seiva é considerado mais eficiente em relação ao modelo

de estimativa da $ET_{\text{lisimétrica}}$, principalmente quando em casos de baixos valores onde os erros na medição de massa são mais pronunciados.

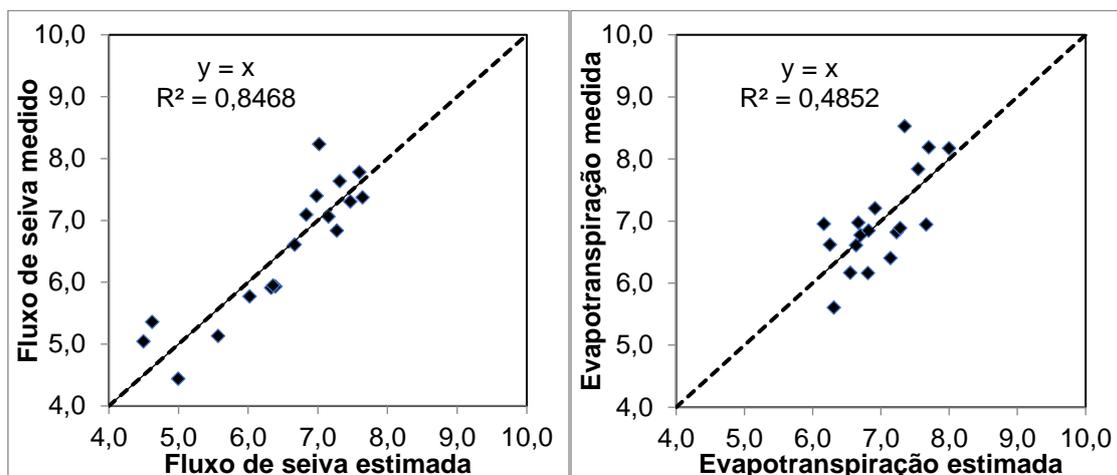


Figura 2. Valores medidos e estimados de fluxo de seiva e evapotranspiração através de análise de regressão múltipla

Um das metodologias tradicionais para estimativa da evapotranspiração das culturas utiliza a evapotranspiração de referência (ET_0) e um coeficiente de cultivo (K_c) que pode ser decomposto, segundo a equação:

Em que os coeficientes K_{cb} e K_e se referiram a transpiração e evaporação do solo respectivamente. (ALLEN, 2000)

Para aplicação dessa metodologia, foi necessário transformar a $ET_{\text{lisimétrica}}$ e o fluxo de seiva de volume (litros) para lâmina (milímetros) considerando a área de um plantio convencional com espaçamento de 2,5 x 2,5m. A partir dos dados de umidade do solo foi possível determinar o coeficiente de redução da evapotranspiração pela disponibilidade de água do solo, K_s , equação 4.

$$K_s = \frac{\ln(DDA + 1)}{\ln(DMA + 1)} \quad (4)$$

De posse dos dados de ET , K_s e ET_0 foi determinado o coeficiente de cultivo, K_e e o K_{cb} através das equações 5 e 6.

$$K_e = \frac{ET}{ET_o * K_s} \quad (5)$$

$$K_{cb} = \frac{T_r}{ET_o * K_s} \quad (6)$$

Considerando o Kc e Kcb médio do período (Figura 3), foi possível estimar a evapotranspiração da cultura e a transpiração.

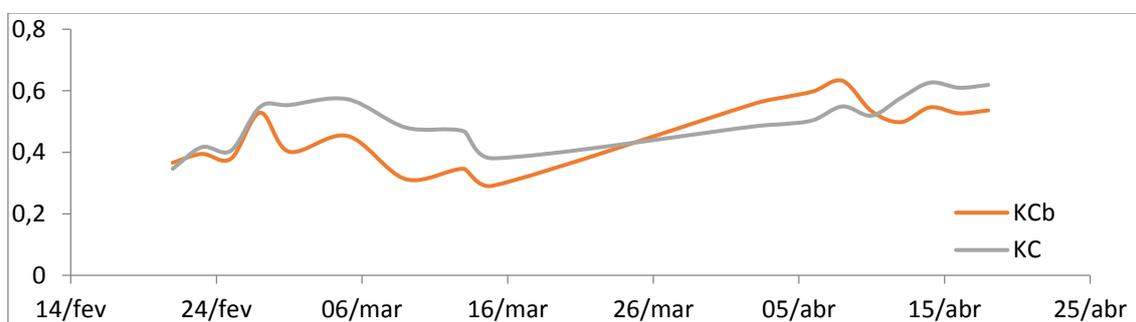


Figura 3. Curso do Kc e Kcb

A Tabela 4 apresenta os coeficientes da análise estatística que permite avaliar o poder preditivo do modelo. Diferente do modelo de regressão múltipla, Os coeficientes de regressão entre os valores observados e estimados de ET e do FS com base em valores de Kc apresentam diferir significativamente ($p < 0.065$) de 1 para o coeficiente angular e 0 para o coeficiente linear. Essas estimativas também apresentam maior dispersão o que pode ser verificado pelos baixos valores R^2 .

Tabela 4. Análise da regressão ($Y=ax+b$) entre os valores observados e estimados do modelo de fluxo de seiva e $ET_{\text{lisímetro}}$ com base em valores de K_c

Análise da regressão com base no K_s			
Transpiração		Evapotranspiração	
Intervalo de estimativa para a	<i>0.95271 ± 0.38138</i>	Intervalo de estimativa para a	<i>1.20997 ± 0.26927</i>
Intervalo de estimativa para b	<i>0.08232 ± 0.36091</i>	Intervalo de estimativa para b	<i>-0.08144 ± 0.23640</i>
R² ajustado	<i>-0.05906</i>	R² ajustado	<i>-0.05468</i>
RMSE	<i>0.17849</i>	RMSE	<i>0.12603</i>
p value for H0: a = 0 and b = 1	<i>0.06458</i>	p value for H0: a = 0 and b = 1	<i>0.00118</i>

De acordo com a tabela 5, é possível notar que, apesar de significativos, os coeficientes relacionados a variável ET_o não representam bem o fenômeno uma vez que apresentam valores baixos e negativos. Essa baixa dependência do fluxo de seiva com a demanda evaporativa pode ser explicada devido a pequena variação da ET_o ao longo do período estudado (2,26 a 3,35mm dia⁻¹) e a arquitetura da planta que por ser em espaldeiras interceptam menos radiação solar, o que resulta na baixa influência da radiação na transpiração. Por outro lado, o cálculo da ET_o nas condições de estudo (estufa agrícola) o componente aerodinâmico da equação tem menor peso (baixa velocidade do vento e pequeno DPV) que o radiativo. Por outro lado, o fluxo de seiva se mostrou muito dependente da umidade do solo apresentando coeficientes positivos e significativos.

O modelo de regressão linear múltipla se mostrou eficiente na estimativa do fluxo de seiva para as quatro condições (S1, S2, E1 e E2) uma vez que pela análise de regressão para valores observados e estimados do fluxo de seiva as variáveis apresentaram baixa dispersão (R^2 ajustado de 0,8468; 0,7514; 0,6279 e 0,7268). Conforme a tabela 5, os coeficientes de regressão entre os valores observados e estimados não diferiram significativamente ($p > 0.9999$) de 1 para o coeficiente angular e 0 para o coeficiente linear.

Tabela 5. Coeficientes da regressão múltipla e análise da regressão ($Y=ax+b$) entre os valores observados e estimados de fluxo de seiva para S1, S2, E1 e E2.

Fluxo de seiva – S1			Fluxo de seiva – S2		
Regressão	Pr>Fc		Regressão	Pr>Fc	
$Y = \beta_0 + (\beta_1 * ETo) + (\beta_2 * \theta) + (\beta_3 * AF)$	0,0000		$Y = \beta_0 + (\beta_1 * ETo) + (\beta_2 * \theta) + (\beta_3 * AF)$	0.0001	
	Coeficientes	Valor - P		Coeficientes	Valor - P
β_0 (Intercepto)	-4,1194	0,0470	β_0 (Intercepto)	11.6639	0.0565
β_1(ETo)	1,1586	0,0126	β_1(ETo)	-3.8288	0.0062
β_2(θ)	41,4745	0,0000	β_2(θ)	31.9454	0.1477
β_3(AF)	0,2359	0,1415	β_3(AF)	0.7167	0.4856

Fluxo de seiva – E1			Fluxo de seiva – E2		
Regressão	Pr>Fc		Regressão	Pr>Fc	
$Y = \beta_0 + (\beta_1 * ETo) + (\beta_2 * \theta) + (\beta_3 * AF)$	0,0010		$Y = \beta_0 + (\beta_1 * ETo) + (\beta_2 * \theta) + (\beta_3 * AF)$	0.0001	
	Coeficientes	Valor - P		Coeficientes	Valor - P
β_0 (Intercepto)	13.2109	0.0009	β_0 (Intercepto)	10.2338	0.0142
β_1(ETo)	-3.0319	0,0012	β_1(ETo)	-3.1649	0.0009
β_2(θ)	4.5242	0.6408	β_2(θ)	14.3249	0.3108
β_3(AF)	0.7254	0,0424	β_3(AF)	0.8337	0.1089

Análise da Regressão Múltipla

Fluxo de seiva – S1		Fluxo de seiva – S2	
Intervalo de estimativa para a	0,0023 ± 0,6644	Intervalo de estimativa para a	-0,0028 ± 0,8726
Intervalo de estimativa para b	0,9998 ± 0,1037	Intervalo de estimativa para b	1,0000 ± 0,1396
R ² ajustado	0,8468	R ² ajustado	0,7514
RMSE	0,49467	RMSE	1,2174
Valor - P para H0: a = 0 e b = 1	>0,9999	Valor - P para H0: a = 0 e b = 1	>0,9999

Fluxo de seiva – E1		Fluxo de seiva – E2	
Intervalo de estimativa para a	0,0015 ± 1,2400	Intervalo de estimativa para a	0,0023 ± 0,6383
Intervalo de estimativa para b	0,9998 ± 0,1785	Intervalo de estimativa para b	0,9993 ± 0,1429
R ² ajustado	0,6279	R ² ajustado	0,7268
RMSE	0,8965	RMSE	0,8044
Valor - P para H0: a = 0 e b = 1	>0,9999	Valor - P para H0: a = 0 e b = 1	>0,9999

CONCLUSÕES

1. As plantas propagadas por sementes são mais sensíveis a umidade do solo que as propagadas por estacas;
2. De maneira geral, a ETo não influenciou significativamente a evapotranspiração das plantas
3. O fluxo de seiva apresentou forte dependência da umidade do solo.

REFERÊNCIAS

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. Crop evapotranspiration guidelines for computing crop water requirements. Roma: **FAO Irrigation and Drainage Paper**, n. 56. Rome, p.297, 1998.

ALLEN RG. 2000. Using the FAO-56 dual crop coefficient method over an irrigated region as part of an evapotranspiration intercomparison study. **Journal of Hydrology**: 229: 27-41.

ANGELOCCI, L.R. Água na planta e trocas gasosas/energéticas com a atmosfera: introdução ao tratamento biofísico. Balanço hídrico da planta. Piracicaba: O autor, 2002. 272 p.

CABRAL, A. G. **Calibração de sonda de dissipação térmica e estimativa da transpiração do cacaueteiro cultivado a pleno sol**. Dissertação de mestrado - Universidade federal do recôncavo da Bahia. Cruz das almas. 2013.

COELHO FILHO, M. A.; COELHO, E F.; CRUZ, L. L. Uso da Transpiração Máxima de Mamoeiro para o Manejo de Irrigação por Gotejamento em Regiões Úmidas e Sub-úmidas. Cruz das Almas: **Embrapa Mandioca e Fruticultura Tropical**, 2007.

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.

FRAGA JUNIOR, L. S.; **Relações hídricas do cacaueteiro: 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. 2017.61f

FREITAS, F.T.O. **Crítérios para o manejo da irrigação via solo no cultivo de maracujazeiro**. Dissertação de mestrado – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia. Cruz das Almas, 2019.

GRANIER, A. (1985) Une nouvelle méthode pour la mesure du flux de sève brutedans le tronc des arbres. **Annales des Sciences Forestieres**, 42 (2): 193-200.

GUIMARÃES, M. J.; M., LOPES, I.; OLDONI, H.; COELHO FILHO, M. A. Balanço hídrico para diferentes regimes pluviométricos na região de Cruz das Almas-BA. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 59, n. 3, p. 252-258, 2017.

HUBER, B. Beobachtung und messing pflanzlicher saftstromen. Berichte Deutsche Botanische Gesellschaft, n. 50, p. 89-109, 1932.

INSTITUTO BRASILEIRO GEOGRAFIA ESTATISTICA (IBGE). Base de dados dos produtos. Embrapa: Mandioca e Fruticultura. 2017. Disponível em <http://www.cnpmf.embrapa.br/Base de Dados/index_xls/brasil/maracuja/maracuj_brasil_producao.htm>. Acesso em: 10 jan. 2019.

MAYER, D. G.; STUART, M. A.; SWAIN, A. J. Regression of real-world data on model output: an appropriate overall test of validity. **Agricultural Systems**, v. 45, n. 1, p. 93-104, 1994

MARSHALL, D.C. 1958. Measurement of sap flow in conifers by heat transport. **Plant Physiol.** 33:385–396.

MORGADO, M. A. D.; BRUCKNER, C. H.; ROSADO, L. D. S.; ASSUNÇÃO, W.; SANTOS, C. E. M. Estimacão da área foliar por método não destrutivo, utilizando medidas lineares das folhas de espécies de *Passiflora*. **Revista Ceres**, v. 60, n. 5, p. 662-667, 2013.

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

TRENTIN, R.; ZOLNIER, S.; RIBEIRO, A.; STEIDLE NETO, A. J. Transpiracão e temperatura foliar da cana-de-açúcar sob diferentes valores do potencial matricial. **Revista Engenharia Agrícola.**, v. 31, n. 6, p. 1085-1095, 2011.

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

VELLAME, L. M.; SILVA, A. J. . Sistema Solo-Água-Planta-Atmosfera e Manejo da Irrigacão em Plantas Perenes. In: José Antonio Frizzzone; Francisco de Souza, Sílvia Carlos; Ribeiro Vieira Lima; Hans Raj Gheyi; Claudivan Feitosa de Lacerda. (Org.). INOVAGRI Book 2014 - **Irrigation and Salinity: Researches and Technological Innovations**.1ed.Fortaleza: INOVAGRI, 2014, v. , p. 149-160.