

TRANSPIRAÇÃO EM MELOEIRO COM USO DE SENSORES DE FLUXO POR DISSIPACÃO TÉRMICA

Nicolly Kalliliny Cavalcanti Silva¹, Vladimir Batista Figueirêdo², Alberto Colombo³,
Ana Luiza Veras de Souza⁴, Ugo Leonardo Rodrigues Machado⁵

RESUMO: Objetivou-se com este trabalho estimar a transpiração do meloeiro utilizando sensores de fluxo de seiva por dissipação térmica (SDT) construídos e calibrados, baseados na metodologia desenvolvida por Granier (1985). O trabalho foi realizado com a cultura do melão em casa de vegetação da Universidade Federal Rural do Semi-Árido/UFERSA, Mossoró-RN. O delineamento experimental utilizado foi de blocos inteiramente casualizados, constituído por quatro tratamentos e três repetições. Os tratamentos (T) constituíram-se de sensores SDT construídos com quatro diferentes tamanhos de fios dissipadores (12, 15, 18 e 21 cm), que resultaram em quatro diferentes resistências (T1) 13,2; (T2) 16,5; (T3) 19,8 e (T4) 23,0 Ohm (Ω), respectivamente, instalados nas plantas de meloeiro cultivadas em vaso. A transpiração das plantas foi estimada também pelo cálculo da evapotranspiração da cultura (ETc) usando o método da FAO-Penman-Monteith (ALLEN *et al.*, 2006). Os sensores SDT construídos e calibrados para o meloeiro podem ser utilizados na determinação do fluxo de seiva. Os fluxos de seiva estimados pelos sensores construídos apresentaram valores próximos da transpiração da cultura, indicando que os SFDT são adequados para essa medição.

PALAVRAS-CHAVE: *Cucumis melo* L. Manejo da irrigação. Sensor de Granier.

TRANSPIRATION IN MELON WITH THERMAL DISSIPATION FLOW SENSORS

ABSTRACT: The objective of this work was to estimate the transpiration of the melon using thermal dissipation sap flow sensors (SDT) constructed and calibrated, based on the

¹ Engenheira Agrônoma, Mestre, Depto de Ciências Agronômicas e Florestais, Universidade Federal Rural do Semi-Árido, UFERSA, Mossoró, RN.

² Engenheiro Agrônomo, Prof. Doutor, Depto de Ciências Agronômicas e Florestais, Universidade Federal Rural do Semi-Árido, UFERSA, Mossoró, RN.

³ Engenheiro Agrônomo, Depto de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Lavras, UFLA, Lavras, MG.

⁴ Graduando em Engenharia Agrícola e Ambiental, Depto de Engenharia e Ciências Ambientais, UFERSA, Mossoró, RN.

⁵ Graduando em Engenharia Agrícola e Ambiental, UFERSA, Caixa Postal 137, CEP 59.625-900, Mossoró, RN. Fone (84) 988148311. e-mail: hugoxpc@gmail.com.

methodology developed by Granier (1985). The work was carried out with the melon crop in a greenhouse at the Universidade Federal Rural do Semi-Árido/UFERSA, Mossoró-RN. The experimental design was completely randomized blocks, consisting of four treatments and three replicates. The treatments (T) consisted of SFDT sensors constructed with four different sizes of dissipative wires (12, 15, 18 and 21 cm), which resulted in four different resistances (T1) 13.2; (T2) 16.5; (T3) 19.8 and (T4) 23.0 Ohm (Ω), respectively, installed in vases-grown melon plants. Plant transpiration was also estimated by calculating crop evapotranspiration (ETc) using the FAO-Penman–Monteith (ALLEN *et al.*, 2006) method. The SDT sensors constructed and calibrated for melon can be used to determine sap flow. The sap flows estimated by the constructed sensors presented values close to the culture transpiration, indicating that the SFDT are suitable for this measurement.

KEYWORDS: *Cucumis melo* L. Irrigation management. Sensor of Granier.

INTRODUÇÃO

O meloeiro é umas das principais culturas da região Nordeste, sendo os estados do Rio Grande do Norte, Ceará, Bahia, Pernambuco e Piauí os maiores produtores dessa fruta, responsáveis por 89,5% da produção nacional. Os estados do RN e CE foram responsáveis, em 2012, por 66,6% da produção nacional, com destaque para a microrregião do polo Açu-Mossoró/RN, com participação individual de 41,16% (IBGE, 2018).

Embora encontre condições favoráveis a seu cultivo, a produção de melão no semiárido nordestino somente é viável com o uso da irrigação, uma vez que as precipitações pluviométricas nessa região não são suficientes para atender a demanda hídrica da cultura.

Portanto, o conhecimento da necessidade hídrica de uma cultura permite não apenas a produção de frutos de alta qualidade, mas contribui também para a otimização dos recursos hídricos, da energia elétrica e dos equipamentos de irrigação. Embora existam diversos métodos para estimar o consumo de água pelas culturas, a avaliação dos seus desempenhos em cada espécie ainda continua sendo objeto de estudo.

Devido a isto, nas últimas décadas, pesquisas vêm sendo realizadas utilizando técnicas conhecidas como “métodos térmicos” que vêm demonstrando bons resultados para estimativas da transpiração de culturas. Dentre esses métodos, a sonda de dissipação térmica desenvolvida por Granier (1985) destaca-se por apresentar princípios físicos simples e

possibilidade de ser aplicado diretamente no campo sem alterar as condições fisiológicas e micrometeorológicas da planta (PIMENTEL et al., 2010).

Entretanto, o método de dissipação térmica tem sido estudado principalmente em frutíferas lenhosas (DELGADO-ROJAS et al., 2007; REIS et al., 2009; VELLAME et al., 2009; PIMENTEL et al., 2010; PINTO JÚNIOR et al., 2013).

A estimativa do fluxo de seiva combinado às medidas de evaporação do solo podem ser ferramentas importantes no manejo da irrigação, todavia a utilização de equipamentos novos ou com aplicabilidade em situações diferentes das recomendadas por seus desenvolvedores faz-se necessário a validação desses em campo. Dessa forma, objetivou-se por meio desse trabalho estimar o fluxo de seiva na cultura do meloeiro, com a utilização de sensores de fluxo por dissipação térmica.

MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi conduzido no Departamento de Ciências Agronômicas e Florestais - DCAF da Universidade Federal Rural do Semi-Árido - UFERSA, no município de Mossoró-RN, situada em 5°02'37"S e 37°33'50". De acordo com a classificação climática de Köppen, o clima de Mossoró é do grupo BSw^h, isto é, tropical semiárido muito quente e com estação chuvosa no verão atrasando-se para o outono, apresentando temperatura média de 27,4°C, precipitação pluviométrica anual muito irregular, com média de 673,9 mm e umidade relativa do ar de 68,9% (CARMO FILHO; OLIVEIRA, 1989).

Os sensores de fluxo de seiva por dissipação térmica (SDT) utilizados no experimento foram construídos conforme a metodologia desenvolvida por Granier (1985) com adaptações para serem utilizados em plantas de pequeno diâmetro de caule, como o meloeiro, uma vez que todo o conjunto (termopar + resistência) foi inserido no interior da agulha, tornando-o compacto, mais resistente ao manuseio e a inserção e/ou remoção na planta, sem causar danos aos elementos do circuito devido à exposição às variações climáticas e à resistência dos tecidos vasculares da planta.

Na construção do SDT foram utilizadas 2 agulhas hipodérmicas com 8 mm de comprimento e 1,2 mm de diâmetro e no interior de cada agulha foi inserida a junção de dois fios do termopar, um de cobre e um de constantan, formando duas sondas de temperatura, sendo que, em uma das sondas foi enrolado um fio de constantan em volta do termopar, formando uma sonda dissipadora de calor. No interior de cada sonda foi inserida pasta térmica

para uniformizar o calor em volta da sonda que se encontra dentro da agulha. As duas sondas de temperatura foram conectadas em série para compor o SDT.

Foram construídos no total 12 sensores de dissipação térmica, resultado de 4 tamanhos de fios dissipadores (12, 15, 18 e 21 cm que proporcionam resistências de 13,2; 16,5; 19,8 e 23,0 Ω , respectivamente), com três repetições.

Para a estimativa do fluxo de seiva da cultura do meloeiro pelo método da SDT, considerou-se toda a seção transversal do caule como a área efetiva do xilema (AS), uma vez que os caules das plantas avaliadas apresentavam diâmetros médios de 1 cm. A área foliar (AF) das plantas foi determinada no final do experimento com o intuito de contabilizar a lâmina transpirada (mm dia^{-1}), através da relação do volume de água transpirada (L dia^{-1}) pela área foliar (m^2). Para obtenção da AF utilizou-se o método dos discos foliares e calculou-se a área foliar (AF) total de acordo com a metodologia descrita em Rodrigues (2010).

Então o fluxo de seiva foi calculado a partir das equações obtidas pela calibração que, da mesma forma como em Granier (1985), foram obtidos em função das diferenças de temperatura máximas e atuais, de acordo com a equação abaixo:

$$K = \frac{\Delta T_m - \Delta T}{\Delta T} = \alpha \cdot u^\beta \quad (1)$$

em que:

K - coeficiente adimensional;

ΔT_m - diferença máxima de temperatura ($^{\circ}\text{C}$);

ΔT - diferença de temperatura real ($^{\circ}\text{C}$);

u - densidade de fluxo (em 10^{-6} m s^{-1});

α e β - coeficientes de ajuste do modelo.

Com o objetivo de determinar a equação que relaciona o fluxo de seiva da planta e as diferenças de temperatura determinadas pelo SDT, foi realizada em laboratório a calibração, que consistiu na obtenção do fluxo numa seção de caule de 10 cm de comprimento e diâmetro de 0,8 cm, ao qual uma de suas extremidades foi conectada a uma mangueira de $\frac{1}{2}$ ", onde a outra extremidade da mangueira foi conectada na saída de uma bomba de calibração.

A bomba utilizada é uma específica para calibração de manômetro do tipo Bourdon (Tecnovip Equipamentos de Medição Ltda.), sendo esse mecanismo composto de um manômetro analógico padronizado, sistema de vasos comunicantes, reservatório para fluido e

timão. Desta forma, a água era pressurizada através da mangueira conectada ao caule e, coletada na outra extremidade do caule por uma proveta calibrada em 0,2 mL, contabilizando-se o tempo de coleta.

Ao mesmo tempo foram realizadas as leituras da diferença de temperatura na sonda SDT registradas por um datalogger modelo CR1000 da Campbell Scientific Inc. Foram aplicadas as pressões de 10, 20, 30, 40 e 50 kPa, para a determinação dos fluxos coletados em todos os sensores construídos para cada tratamento, sendo que, pressões acima de 50 kPa causaram vazamento no sistema. O teste de calibração foi repetido 3 vezes.

Após a construção e calibração dos SDT, foi então instalado o experimento em casa de vegetação, com plantas de meloeiro cv. Ouro, cultivadas em vasos com capacidade para 20 litros. O espaçamento adotado foi de 1,0 m entre linhas e 0,5 m entre plantas. Foram coletadas amostras de solo a fim de caracterizá-lo quimicamente e promover a adubação e fertirrigação conforme recomendação para a cultura. O cultivo foi realizado utilizando espaldeiras verticais de 1,5 m de altura, com fios do tipo fitilho, presos e esticados por mourões espaçados em 1,0 m na linha de plantio. As plantas foram tutoradas na vertical, presas por fitilhos instalados transversalmente durante todo o seu ciclo. As plantas foram conduzidas com haste única e realizada a polinização artificial (manual) no período da manhã. Durante o ciclo da cultura foram adotadas medidas preventivas para controle de pragas e doenças e as capinas manuais sendo realizadas quando necessário.

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos inteiramente casualizados, constituído por quatro tratamentos e três repetições, totalizando 12 parcelas avaliadas. Os tratamentos constituíram-se por quatro diferentes tamanhos de fios dissipadores (12, 15, 18 e 21 cm), sendo os tratamentos T1, T2, T3 e T4 com os SDT de resistências de 13,2; 16,5; 19,8 e 23,0 Ω , respectivamente.

As irrigações foram realizadas por meio de um sistema alternativo de irrigação com uso de garrafas pet's de 2 litros com a parte inferior cortada e fixada em mourões a uma altura de 60 cm e ligadas até o vaso por meio de microtubos (espaguetes) conectados a furos no centro da tampa da garrafa. A lâmina de irrigação foi determinada mediante o cálculo da evapotranspiração da cultura (ETc) pelo método da FAO-Penman-Monteith (ALLEN et al., 2006), contabilizado apenas pela determinação do coeficiente de cultura basal (Kcb) devido ao vaso ter sido coberto com plástico. Então nesse caso, o cálculo da ETc foi ajustado para se ter apenas a transpiração da planta, isto é, retirou-se do procedimento de cálculo o fator "Ke" (coeficiente de evaporação).

Os elementos meteorológicos como temperatura do ar, umidade relativa, velocidade do vento e radiação incidente (radiação global), necessários para a estimativa da evapotranspiração de referencia (ET_o) e ET_c, foram registrados em uma estação meteorológica automática instalada no interior da casa de vegetação, registrados automaticamente através de um sistema de aquisição e armazenamento de dados, “datalogger” da Campbell Scientific, modelo CR1000.

A inserção dos sensores de fluxo de seiva por dissipação térmica (SDT) nas plantas de meloeiro selecionadas foi realizada quando as plantas de melão se encontravam na fase fenológica III (fase de desenvolvimento). Para inserir o sensor, o caule da planta foi perfurado até o centro no sentido transversal, a 5 cm do solo, e o segundo furo a 5 cm acima, de forma sequencial no caule. A localização da inserção do sensor foi determinada de forma que, a temperatura de aquecimento do solo não interferisse nas leituras de temperatura do sensor e que abaixo e/ou entre as sondas não houvesse ramificações.

Os dados foram submetidos à análise de variância onde as médias entre os tratamentos foram comparadas pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. Para a obtenção dos coeficientes de ajustes dos modelos das equações de calibração, os dados foram submetidos à análise de regressão, utilizando-se o software “R”.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As Equações descritas abaixo foram obtidas pela calibração relacionando o coeficiente “K” com a densidade de fluxo “u” (Equação 1) utilizando os sensores construídos para os tratamentos T1, T2, T3 e T4, respectivamente.

$$K = 0,001166 \cdot u^{0,4942} \quad (R^2 = 0,9948^*) \quad (2)$$

$$K = 0,001234 \cdot u^{0,4715} \quad (R^2 = 0,9920^*) \quad (3)$$

$$K = 0,001292 \cdot u^{0,4541} \quad (R^2 = 0,9959^*) \quad (4)$$

$$K = 0,001325 \cdot u^{0,4316} \quad (R^2 = 0,9937^*) \quad (5)$$

Fazendo-se as devidas deduções a partir das equações anteriores, obtiveram-se as equações descritas abaixo, de fluxo de seiva (FS) por dissipação térmica em função de K e a

área de seção de fluxo AS (m²) para os mesmos tratamentos, T1, T2, T3 e T4 respectivamente.

$$FS = 0,86204 \cdot K^{2,0235} \cdot AS \quad (6)$$

$$FS = 1,48017 \cdot K^{2,1213} \cdot AS \quad (7)$$

$$FS = 2,29493 \cdot K^{2,2019} \cdot AS \quad (8)$$

$$FS = 4,65839 \cdot K^{2,3171} \cdot AS \quad (9)$$

Nas equações que relaciona o coeficiente K (um coeficiente adimensional que relaciona as diferenças de temperatura) com a densidade de fluxo u (10⁻⁶ m s⁻¹), observa-se que os parâmetros α e β encontrados atingiram ótimos ajustes com R² sempre acima de 99% e significativos (p<0,05). Os parâmetros α e β para as equações de FS, também foram significativos, já que se trata de uma dedução a partir das equações de diferenças de temperaturas (K). Com os dados dos coeficientes “ α ” e “ β ” obtidos abaixo, foi possível estimar os dados de fluxo de seiva com boa precisão.

Verificou-se com as equações obtidas para cada sensor que, existe relação direta entre o fluxo de seiva e as diferenças de temperatura do SDT. As diferenças máximas de temperatura foram observadas com o sensor construído com menor resistência elétrica, pois a potência dissipada por este sensor foi maior. Os tratamentos diferiram entre si com relação aos valores de K e foram iguais com relação aos valores u, o que demonstra que ocorre influência do tamanho do fio dissipador na estimativa de K.

Velhame et al. (2009) salientam que os parâmetros utilizados na calibração da equação de Granier não dependem das características das árvores ou da anatomia da madeira, mas se fundamenta nos princípios físicos que regem a transferência de calor e recomendam assim a calibração do método para espécies em que nunca foram validadas.

Na Figura 1 observa-se a variação dos valores de fluxo de seiva (L dia⁻¹) medidos pelo método de dissipação térmica, a variação da evapotranspiração da cultura (ETc) e a evapotranspiração de referência (ETo) obtida pelo método de Penman-Monteith dos 46 aos 57 DAE, quando a cultura estava fase fenológica III. Segundo Silva (2008) cada planta tem um comportamento próprio de fluxo de seiva, que pode ser considerado como fonte de erro para qualquer outro método de estimativa de fluxo.

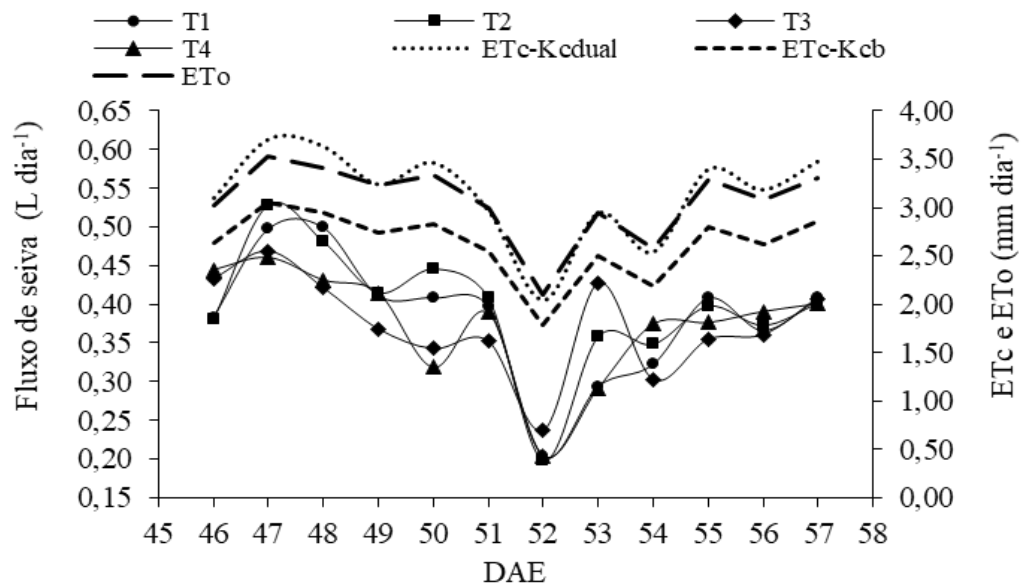


Figura 1. Variação dos valores diários de fluxo de seiva, evapotranspiração da cultura estimada utilizando Kc dual (ETc-Kcdual) e Kc simples (ETc-Kc) e evapotranspiração de referência (ETo) observados durante a fase fenológica III

Percebe-se que o comportamento das curvas de fluxo de seiva medido por todos os sensores foi semelhante às curvas de ETc e ETo estimada pelo método padrão, ou seja, os sensores com fios de constantan como dissipadores de calor de comprimentos de 12, 15, 18 e 24 cm, que causaram resistências elétricas de 13,2; 16,5; 19,8 e 23,0 Ω , respectivamente, apresentaram bons desempenhos para a estimativa do fluxo de seiva. O fluxo de seiva medido por todos os sensores apresentou valores muito próximos entre si, com médias de 0,383, 0,394, 0,373 e 0,375 L dia⁻¹ para os tratamentos T1, T2, T3 e T4, respectivamente. A baixa variabilidade destes resultados pode ser atribuída às diferenças nos tamanhos dos fios dissipadores utilizados na construção dos mesmos.

Ainda na Figura 1 nota-se que a curva que representa os valores de fluxo de seiva medidos por todos os sensores foi semelhante às curvas da ETc estimada pelo método padrão quando utilizou-se tanto o Kcdual como quando utilizou-se o Kcb. Ao transformar o fluxo em transpiração (mm dia⁻¹), esses valores subestimaram os valores da ETc, especialmente quando foi considerado o coeficiente de evaporação do solo (Ke) no cálculo de ETc (ETc-Kcdual).

Silva (2008), avaliando a transpiração em ramos de cafeeiro no município de Viçosa, MG, também observou que a transpiração seguia o mesmo padrão da evapotranspiração de referência, entretanto, um sensor apresentou valores superiores a ETo e outro inferior. Segundo o mesmo autor, como cada sensor era instalado em plantas diferentes, embora apresentassem as mesmas tendências, cada planta tem um comportamento próprio de fluxo de

seiva, que pode ser considerado como fonte de erro para qualquer outro método de estimativa de fluxo.

Esse comportamento citado acima também foi observado durante esse estudo, quando comparadas as repetições de um mesmo modelo de sensor, na Figura abaixo. A variabilidade de resposta de um mesmo modelo de sensor pode ser justificada também pela confecção manual de cada um, pelo manuseio destes equipamentos na casa de vegetação e ao isolamento térmico do caule.

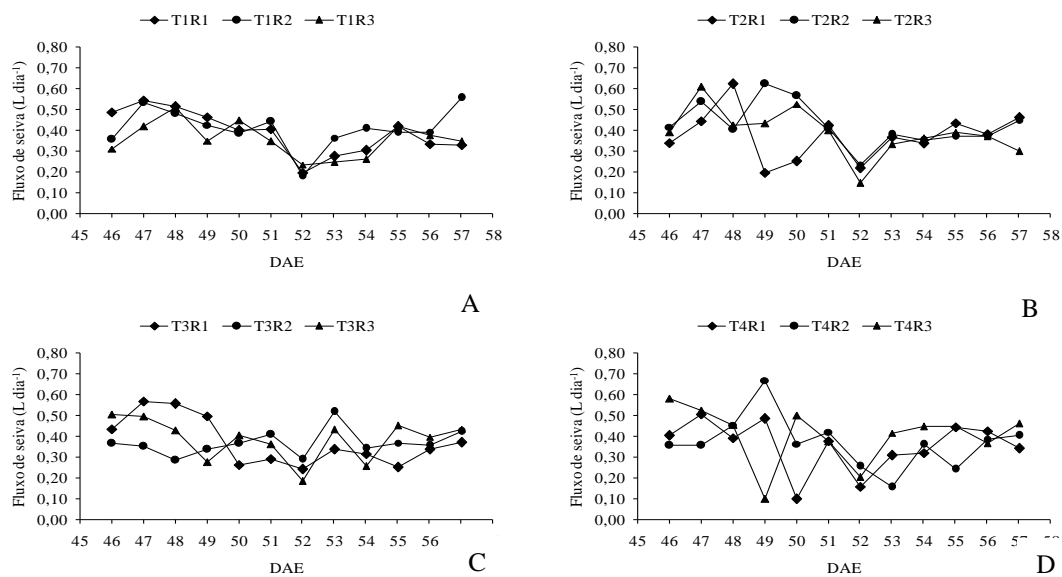


Figura 2. Variabilidade do fluxo de seiva estimado pelos sensores de fluxo de seiva de 12 cm (A), 15 cm (B), 18 cm (C) e 21 cm (D) em suas repetições

A Figura abaixo apresenta a comparação das médias dos valores horários de fluxo de seiva com a média dos valores horários de radiação global (Rg) para o período dos 46 a 57 DAE, é possível observar que o fluxo de seiva estimado pelas equações de calibração para todos os tratamentos também apresentaram comportamento semelhante à radiação solar, fato este detectado por alguns autores (SEIXAS, 2009; VELLAME et al., 2009).

É possível observar que o fluxo de seiva estimado pelas equações de calibração para todos os tratamentos também apresentaram comportamento semelhante à radiação solar, fato este detectado por alguns autores (SEIXAS, 2009; VELLAME et al., 2009).

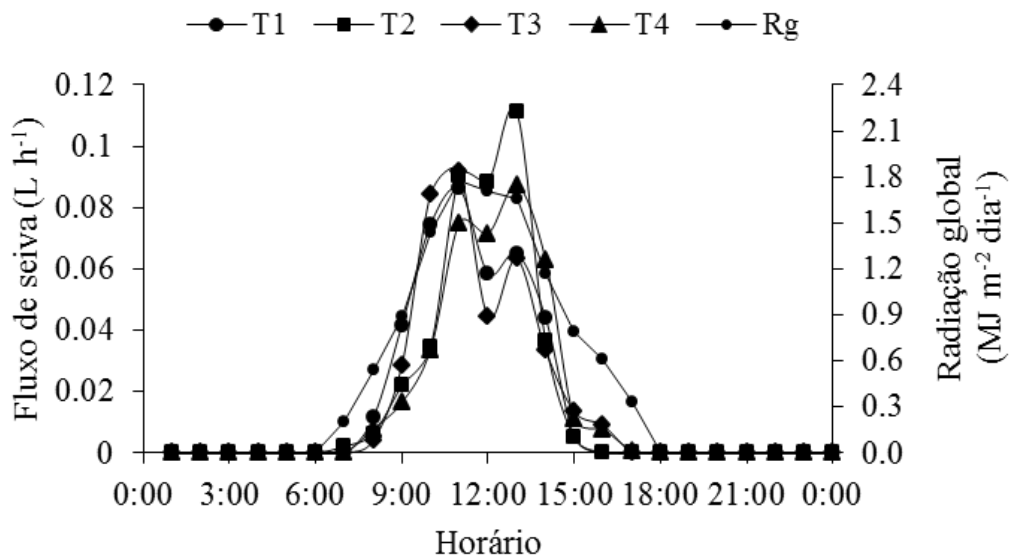


Figura 3. Média das variações dos valores horários de fluxo de seiva ($L h^{-1}$) e Radiação global ($MJ m^{-2} dia^{-1}$) dos 46 aos 58 DAE

CONCLUSÕES

O uso dos sensores SDT construídos e calibrados para o meloeiro podem ser utilizados na determinação do fluxo de seiva.

O fluxo de seiva estimado por todos os sensores construídos, apresentaram valores próximos da transpiração da cultura estimado por método padrão.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; Smith M. **Evapotranspiración del cultivo: guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos**. Roma: FAO, 2006. 298 p. FAO Riego y Drenaje. Paper 56.

CARMO FILHO, F. do; OLIVEIRA, O. F. de. **Mossoró: um município do semi-árido nordestino, caracterização climática e aspecto florístico** (Coleção Mossoroense, série B). Mossoró: ESAM, 1995. 62p

DELGADO-ROJAS, J.; 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**, v.27, p.404-413, 2007.

GRANIER, A. Une nouvelle méthode pour la mesure du flux de sève brute dans le tronc des arbres. **Annales des Sciences Forestières**, v. 42, n. 2, p. 193-200, 1985.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2018. Produção Agrícola Municipal. Disponível em <www.sidra.ibge.gov.br>. Acesso em: 06 set. 2019.

PIMENTEL, J. S.; SILVA, T. J. A.; BORGES JÚNIOR, J. C. F.; FOLEGATTI, M. V.; MONTENEGRO, A. A. A. Estimativa da transpiração em cafeeiro utilizando-se sensores de dissipação térmica. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.14, p.187-195, 2010.

PINTO JÚNIOR, O. B.; VOURLITIS, G. L.; SANCHES, L.; DALMAGRO, H. J.; LOBO, F. A.; NOGUEIRA, J. S. Transpiração pelo método da sonda de dissipação térmica em floresta de transição Amazônica-Cerrado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.17, p. 268-274, 2013.

REIS, F. O.; CAMPOSTRINI, E.; SOUSA, E. F. Fluxo de seiva xilemática em mamoeiro ‘golden’ cultivado por microaspersão sobre copa: relações com as variáveis ambientais. **Bragantia**, v.68, p.285-294, 2009.

RODRIGUES, G. S. O. **Crescimento de tomate “marian” em função dos diferentes tipos de cobertura do solo**. 2010. 53 p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró, 2010.

SEIXAS, G. B. **Determinação da transpiração em plantas de nim indiano (*Azadirachta indica* A. Juss) utilizando métodos de estimativa de fluxo de seiva**. 2009. 71 p. Dissertação (mestrado em Física Ambiental) - Universidade Federal de Mato Grosso, Instituto de Física, Cuiabá, 2009.

SILVA, M. G. **Desenvolvimento de sensor de fluxo de seiva e de coeficiente indicador de estresse hídrico para plantas de cafeeiro arábica**. 2008. 114 p. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) - Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes, 2008.

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