

Técnicas de dendrometria no manejo da irrigação: uma revisão integrativa
Dendrometry techniques in irrigation management: an integrative review
Técnicas de dendrometría en el manejo del riego: una revisión integradora

Recebido: 23/06/2020 | Revisado: 25/06/2020 | Aceito: 25/06/2020 | Publicado: 07/07/2020

Oswaldo Palma Lopes Sobrinho

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4632-695X6>

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano, Brasil

E-mail: oswaldo-palma@hotmail.com

Gerlange Soares da Silva

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0254-2159>

Universidade Federa do Recôncavo da Bahia, Brasil

E-mail: gerlangesoares@hotmail.com

Leonardo Nazário Silva dos Santos

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3951-3888>

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano, Brasil

E-mail: leonardo.santos@ifgoiano.edu.br

Wady Lima Castro Júnior

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9544-631X>

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Maranhão, Brasil

E-mail: leonardo.santos@ifgoiano.edu.br

Álvaro Itaúna Schalcher Pereira

ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-5415-9701>

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Maranhão, Brasil

E-mail: alvaro.pereira@ifma.edu.br

Marconi Batista Teixeira

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0152-256X>

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano, Brasil

E-mail: marconi.teixeira@ifgoiano.edu.br

Luiz Fernando Gomes

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8279-7409>

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano, Brasil

E-mail: luizfernandoz4@hotmail.com

Mateus Neri Oliveira Reis

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1775-2543>

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano, Brasil

E-mail: mateusnerioliveira@hotmail.com

Jaqueline Aparecida Batista Soares

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6772-3885>

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano, Brasil

Brasil E-mail: jaquelineab.soares@gmail.com

Resumo

A dendrometria como indicador para o manejo racional da irrigação ainda vem sendo pauta de discussões nos últimos tempos devido à busca pelo menor consumo hídrico e aumento da eficiência no uso da água pelas culturas agrícolas. Tendo em vista a carência de informações, a presente revisão integrativa teve por objetivo apresentar um estudo sobre as técnicas de dendrometria utilizadas no manejo da irrigação que visam à determinação do consumo hídrico das culturas. Realizou-se um estudo com a coleta de dados a partir de fontes, por meio da pesquisa bibliográfica e revisão integrativa, tendo como pergunta norteadora: as técnicas de dendrometria no manejo da irrigação garantem maior eficiência do uso da água e produção agrícola com menor consumo hídrico? Essas técnicas são baseadas na própria planta com necessidade de precisão na estimativa dos dados gerados e saber interpretá-los tornando um grande desafio no uso da dendrometria. A partir da análise de dados secundários disponíveis na literatura, as técnicas de dendrometria refletem sobre as interações entre a quantidade de água disponível no solo para a planta e a demanda hídrica da atmosfera. Por conseguinte, essas técnicas e outras estão sendo analisadas visando alcançar melhor eficiência do uso da água e a maior produção agrícola com menor consumo hídrico.

Palavras-chave: Déficit hídrico; eficiência no uso da água; maximização vegetal.

Abstract

Dendrometry as an indicator for the rational management of irrigation has been a topic of discussion in recent times due to the search for lower water consumption and increased efficiency in the use of water by agricultural crops. In view of the lack of information, this integrative review aimed to present a study on the dendrometry techniques used in the management of irrigation aimed at determining the water consumption of crops. A study was carried out with data collection from sources, through bibliographic research and integrative

review, with the guiding question: dendrometry techniques in irrigation management guarantee greater efficiency in the use of water and agricultural production with less consumption water? These techniques are based on the plant itself with a need for precision in estimating the data generated and knowing how to interpret them making it a great challenge in the use of dendrometry. From the analysis of secondary data available in the literature, dendrometry techniques reflect on the interactions between the amount of water available in the soil for the plant and the water demand in the atmosphere. Therefore, these techniques and others are being analyzed in order to achieve better water use efficiency and greater agricultural production with less water consumption.

Keywords: Water deficit; efficiency in the use of water; plant maximization.

Resumen

La dendrometría como indicador para el manejo racional del riego ha sido un tema de discusión en los últimos tiempos debido a la búsqueda de un menor consumo de agua y una mayor eficiencia en el uso del agua por parte de los cultivos agrícolas. En vista de la falta de información, esta revisión integradora tuvo como objetivo presentar un estudio sobre las técnicas de dendrometría utilizadas en el manejo del riego para determinar el consumo de agua de los cultivos. Se realizó un estudio con la recolección de datos de fuentes, a través de investigación bibliográfica y revisión integradora, con la pregunta orientadora: las técnicas de dendrometría en el manejo del riego garantizan una mayor eficiencia en el uso del agua y la producción agrícola con menor consumo ¿agua? Estas técnicas se basan en la propia planta con una necesidad de precisión en la estimación de los datos generados y saber cómo interpretarlos, lo que lo convierte en un gran desafío en el uso de la dendrometría. A partir del análisis de los datos secundarios disponibles en la literatura, las técnicas de dendrometría reflejan las interacciones entre la cantidad de agua disponible en el suelo para la planta y la demanda de agua en la atmósfera. Por lo tanto, estas técnicas y otras están siendo analizadas para lograr una mejor eficiencia en el uso del agua y una mayor producción agrícola con un menor consumo de agua.

Palabras clave: Déficit hídrico; eficiencia del uso del agua; maximización de la planta.

1. Introdução

O manejo da irrigação é realizado principalmente baseado no balanço de água no solo seguindo a proposta pela Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura

(FAO-56) (Allen et al., 1998), que apesar de vastamente difundida apresenta alguma incerteza, especificamente quando está relacionada com o cultivo de plantas isoladas. Uma planta quando é cultivada isoladamente, a exemplo de um pomar, o maior problema é a determinação do volume de água a ser aplicado no momento de irrigar (Angelocci, 2002; Girardi et al., 2011). Dessa forma, o consumo de água é representado pela interação entre os fatores inerentes a cultura e as condições edafoclimáticas favoráveis do local. Logo, a quantidade necessária de água e nutrientes são fatores preponderantes, pois a sua falta e/ou excesso poderá comprometer a produção e/ou produtividade.

O gerenciamento e manejo racional da irrigação são importantes para a agricultura irrigada, por consistir na aplicação de técnicas que visam à determinação da demanda hídrica das culturas, as quais surgem para detectar o déficit hídrico (Lopes Sobrinho et al., 2019; El-hendawy et al., 2019). Por conseguinte, as metodologias mais indicadas conforme descritas pela literatura são aquelas que se baseiam na própria planta, por serem de maior eficiência quando comparadas as técnicas que fazem uso de fatores ambientais para indicação do déficit hídrico (Remorini e Massai, 2003; Nascimento; Nascimento; Gonçalves, 2019).

Os indicadores de plantas utilizados para o controle e/ou programação da irrigação são potencial de água nas folhas, a condutância estomática, a temperatura do dossel foliar, o fluxo de seiva (FS) e o monitoramento do diâmetro do caule (MDC) (Remorini & Massai, 2003; Naor, 2006; Ortuño et al., 2006). Contudo, essas técnicas possuem limitações para a programação de irrigação, sendo possível destacar o uso de medidas que não podem ser automatizadas, pois resultam de processos intensivos em mão-de-obra e isso pode ser justificado pelo estudo de melhorias de indicadores que tem como base medidas automáticas e contínuas para permitir o monitoramento em tempo real de dados. Entre esses novos indicadores que surgem destacam-se: as medidas baseadas no FS, a variação do diâmetro do tronco e o potencial de turgor da folha.

A dendrometria baseia-se no monitoramento de mudanças nas dimensões dos órgãos das plantas em resposta ao seu balanço hídrico e uso de variações do diâmetro e/ou dos ramos. Assim, diversos trabalhos relatam a técnica de dendrometria como promissora no gerenciamento e manejo racional da irrigação (Ortuño et al., 2006; Ortuño et al., 2010; Puerto et al., 2013). Partindo desse pressuposto, o uso de dendrômetros é necessário por ser um aparelho sensível, uma vez que, a variação no diâmetro do tronco é pequena (Souza, 2009; Nicoletti et al., 2015).

Com o uso de dendrômetros, o FS e o MDC estão sendo considerados propícios como ferramentas no manejo racional da irrigação, por serem medições realizadas no campo em

tempo reais baseados nas próprias plantas e que tem como característica a facilidade nos procedimentos de medição envolvendo poucos trabalhos em laboratórios permitindo uma resposta automática e confiável da condição hídrica do solo (Ortuño et al., 2006; Coelho et al., 2006; Silva et al., 2006). Diante do exposto, a presente revisão integrativa teve por objetivo apresentar um estudo sobre as técnicas de dendrometria utilizadas no manejo da irrigação que visam à determinação do consumo hídrico das culturas.

2. Metodologia

Realizou-se um estudo com a coleta de dados a partir de fontes, por meio da pesquisa bibliográfica, o que segundo Lakatos e Marconi (2010) é imprescindível na delimitação do problema do projeto e obtenção da ideia precisa sobre o estado dos conhecimentos sobre um determinado tema e a contribuição investigativa para o desenvolvimento. Com isso, o tipo de estudo garante uma gama de dados e informações que contribuem para o saber na área dos conhecimentos na qual for utilizada (Pereira et al., 2018).

Trata-se de uma revisão integrativa com base no Manual de Revisão Bibliográfica Sistemática Integrativa (2014), tendo como pergunta norteadora: as técnicas de dendrometria no manejo da irrigação garantem maior eficiência do uso da água e produção agrícola com menor consumo hídrico? A revisão integrativa é constituída de cinco etapas distintas, tais como, o estabelecimento do problema; a seleção da amostra; a caracterização dos estudos; as análises e discussão dos resultados; e a apresentação (Ganong, 1987; Beyea & Nicoll, 1998).

O levantamento de artigos em periódicos especializados, trabalhos de conclusão de curso, dissertações e teses foram realizados nas bases de dados *SciELO*, *Scopus* e *Web of Science*, *Google* acadêmico e também no portal de periódicos da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), que abordassem na íntegra a temática referente à revisão integrativa nos últimos 39 anos. As palavras-chave utilizadas para a busca foram “dendrometria”, “manejo racional da irrigação” e “indicador de déficit hídrico” em português e “*dendrometry*”, “*rational management of irrigation*” “*and water deficit indicator*” em inglês.

Visando analisar a concordância em relação à questão norteadora, os artigos foram escolhidos a partir da leitura do título e do resumo e quando adequados realizaram-se as leituras e análises de forma descritiva, oportunizando reunir os conhecimentos adquiridos sobre a temática abordada na revisão integrativa.

3. Revisão de Literatura

3.1 Dendrometria e medição do *status* hídrico das plantas

A dendrometria é o ramo da ciência florestal, que visa estimativas no volume de árvores isoladas ou povoamentos e suas respectivas partes para prever com precisão o recurso florestal. A palavra dendrometria é de origem grega, em que dentro possui significado “árvore” e metria “medida” e essa ciência é importante no conhecimento e avaliação de florestas (Silva Paula & Neto, 1979; Gonçalves et al., 2010). A grande maioria dos trabalhos sobre transpiração de plantas baseiam-se em técnicas de fornecimento de calor ao caule, o que pressupõe em escala diária a equivalência entre os fluxos xilemáticos e os de transpiração das folhas (Burguess & Dawson, 2008; Čermárk et al., 2004).

As medições de *status* hídrico da planta torna-se uma prática importante para o manejo racional da irrigação, tendo em vista a sua dinâmica natural está diretamente relacionada com as condições climáticas e do solo e a produtividade das culturas (Martins et al., 2016). Uma das técnicas de irrigação seria com o déficit controlado – RDI (*Regulated Deficit Irrigation*), onde reduz a lâmina a ser aplicada a um determinado estágio de desenvolvimento da cultura com a menor sensibilidade ao déficit hídrico, pois a redução na quantidade de água aumentará a eficiência no uso da água e não causará perda de produtividade (Cotrim et al., 2017).

Os indicadores das plantas como métodos na estimativa do estresse hídrico têm sido utilizados em pesquisas e aplicações práticas no manejo racional da irrigação (Remorini & Massai, 2003; Naor, 2006; Ortuño et al., 2006; Steppe, 2018). Diversos indicadores das plantas responsáveis pela medição do seu *status* hídrico têm sido pesquisados, como por exemplo: a temperatura da folha, que segundo Zia-khan et al. (2015) representa o balanço energético das plantas e depende do fluxo de vapor de água na interface atmosfera-dossel; o potencial hídrico foliar, o qual com ajuste contribui para minimizar o estresse hídrico e mantém o turgor das células vegetais (Wu et al., 2014); a condutância estomática em que sua redução é influenciada pelo fechamento dos estômatos para evitar a perda de água diminuindo a concentração interna de CO₂ e a transpiração (Angelocci, 2002; Júnior et al., 2019).

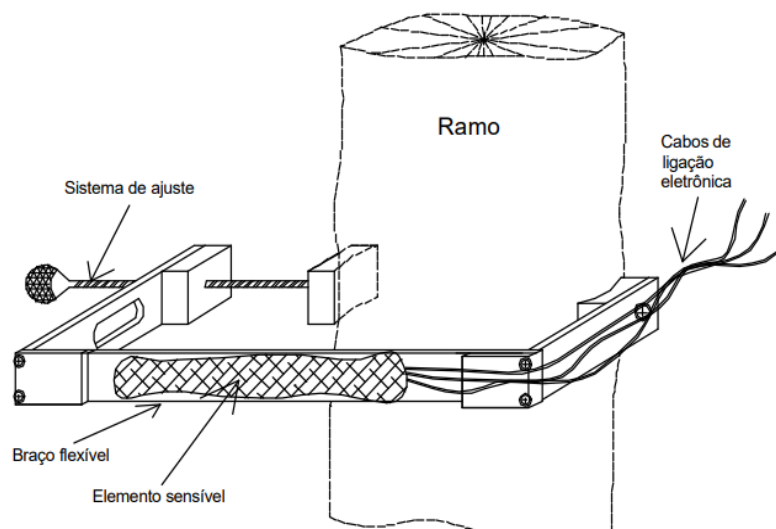
Tendo em vista que os indicadores supracitados são de origem da própria planta, a aplicação prática desses apresentam dificuldades como, por exemplo, a determinação dos dados, por não permitirem a automação das medidas, a grande dificuldade na obtenção de

relações entre os indicadores e o grau de déficit hídrico, o que devido a sua dificuldade de medição, o uso de outros indicadores da planta tem aumentado (Shackel et al., 1997; Venturin, 2016). Os indicadores permitem contínuos e automáticos registros do *status* hídrico das plantas, além de uma confiável resposta do déficit hídrico, o que reduz as medições em laboratórios (Ortuño et al., 2004; Souza, 2009). Portanto, a falta de *softwares* que possibilitem os produtores rurais a usarem dendrômetros alinhado a sua difícil interpretação dificulta a utilização dessas técnicas que favorecem o manejo racional da irrigação.

3.2 Descrição e características de técnicas do dendrômetro

Os dendrômetros de precisão também chamados de LVDT pertencem à marca Dynamax®, modelos DEX70 e DEX100 e tem como característica a sensibilidade, o aparelho apresenta um potenciômetro do tipo "*straingage*" conhecido como extensômetro de resistência indutiva do tipo Carlson e fixado sobre um braço metálico flexível (Figura 1).

Figura 1. Esquema detalhado de um dendrômetro da marca Dynamax® instalado em um ramo.



Fonte: Rojas (2003).

O princípio de medição desse equipamento se baseia na transferência magnética traduzido na resolução infinita em que a menor fração de movimento do braço é detectada por um condicionador de sinais adequado. Dessa forma, a combinação desses dois fatores em conjunto com outros (como a precisão e repetitividade) afirmam o sucesso deste tipo de transdutor (Rojas, 2003).

Dentre as características do dendrômetro destacam-se a grande necessidade de um sistema de fornecimento de tensão elétrica, que seja fornecida pelo *datalogger*, igual ou menor que 7,5 volts com uso da indução mínima de 0,5 volt para registrar valores de resolução de 0,007 mm, ou seja, 7 micrômetros (Dynamax, 1996). Por isso, o uso de equipamentos como os dendrômetros facilitaria a coleta, o manuseio, a análise e a interpretação de dados auxiliando no planejamento e no gerenciamento da irrigação.

3.3 Fluxo de seiva

O FS perpassa por um determinado segmento do caule e pode ser estimado por diferentes métodos que utilizam como base, a dissipação térmica fazendo uso de princípios físicos de transferência de calor. Dessa forma, um desses métodos é descrito por Granier (1985), que tem como princípio o fornecimento contínuo e constante de calor a uma sonda inserida em um segmento de caule ou em ramos. A sonda é constituída de uma agulha aquecida e outra não aquecida, sendo dispostas no sentido longitudinal do FS e com a agulha aquecida inserida a jusante do fluxo. Por meio da diferença de temperatura entre duas agulhas no segmento de caule determina-se a velocidade de transporte convectivo da seiva. O método de dissipação de calor foi desenvolvido originalmente para a medida de FS em espécies florestais (Granier & Berger, 1986).

Rojas (2003) relata que a diferença de temperatura entre as duas agulhas pode ser explicada pela relação com o transporte convectivo de calor em relação à seiva. Com isso, a máxima diferença entre a temperatura e os dois pontos de medida, que normalmente ocorre ao amanhecer constitui que o FS é mínimo ou nulo. Geralmente, a máxima diferença de temperatura ocorre no amanhecer e a mínima ao entardecer (Pinto-Júnior et al., 2013).

Para Silva (2008) existem várias técnicas para a obtenção do FS podendo ainda ser separadas em três grupos, que são os métodos de pulso de calor responsável por rastrear o movimento de um pequeno pulso de calor no FS; o método do balanço de calor, que mede o movimento da seiva, o transporte de calor, fora de uma fonte de calor controlada; e o método de dissipação térmica, que relata a dissipação de calor pelo FS por meio de uma relação

empírica (Silva, 2008; Esteves et al., 2010). Diante do exposto, o método de FS na avaliação do *status* hídrico pode ser usado para estimar a transpiração relativa por meio da relação entre plantas submetidas a déficit hídrico e as plantas bem irrigadas usadas como um indicador do estresse hídrico (Fernández et al., 2008; Lurbe, 2013).

3.4 Monitoramento do diâmetro de caule

O MDC tem sido recomendado como indicador do *status* hídrico da planta—cuja amplitude está relacionada com a condição hídrica da planta, sendo dependente tanto da espécie quanto da demanda evaporativa do ar (Drew e Downes, 2009).

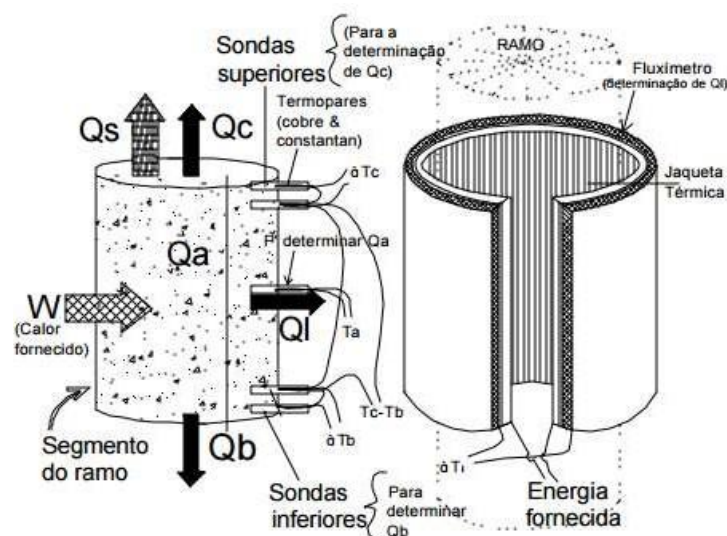
Diversas pesquisas ecológicas e silviculturais monitoram o crescimento de árvores (Chojnacky et al., 2014; Just & Frank, 2019). Dentre os métodos utilizados, destaca-se o uso do monitoramento do diâmetro do caule visando obter o *status* hídrico das plantas. Os autores ainda concluem que o MDC tem relação direta e significativa com o potencial da água foliar na antemanhã, além de ser um confiável critério na indicação do início do déficit hídrico das plantas submetidas às distintas condições ambientais. Assim, o desenvolvimento de dendrômetros mais modernos com o aumento da qualidade e disponibilidade dos coletores de dados eletrônicos, a utilização do MDC obteve renovada atenção no que se diz respeito às pesquisas utilizadas como indicador do *status* hídrico da planta (Esteves et al., 2015; Puerto et al., 2013)

Segundo Goldhamer & Fereres (2001), o diâmetro do caule é responsável pela oscilação em um ciclo de 24 horas, alcançando um valor máximo (Mxdt) um pouco antes do nascer do sol e um valor mínimo (Mndt) no período da tarde. A vantagem da medição da variação do diâmetro do caule reside na sensibilidade deste método em detectar o balanço hídrico da planta. Por outro lado, a limitação seria a representatividade da medida como indicador do déficit hídrico que não é universal com necessidade de ser determinada para uma determinada espécie (Rojas, 2003). Como essas metodologias são baseadas na própria planta é necessário saber os fatores responsáveis por alterações nessas medidas, ter precisão na estimativa dos dados gerados e saber interpretá-los, isso torna um grande desafio no uso da dendrometria.

3.5 Método de balanço de calor

O MBC envolve o princípio físico que consiste na aplicação de uma potência dissipada na forma de calor em regime constante em determinado segmento de caule ou tronco (Rojas, 2003) (Figura 2).

Figura 2. Esquemática do princípio do método de balanço de calor e do sensor para determinação de fluxo de seiva.



Fonte: Rojas (2003).

Em condição tanto radial quanto axial, o calor perdido em cada intervalo de tempo, é subtraído pela potência fornecida. Dessa forma, o resultado da subtração representa o calor transportado convectivamente pela seiva, caso o armazenamento de calor no intervalo de tempo seja nulo e/ou conhecido. Para Sørensen (2008), o fluxo volumétrico de seiva encontra-se associado ao calor transportado convectivamente.

Os primeiros pesquisadores do MBC fizeram aplicação da taxa de calor variável com objetivo de manter estabilizada o gradiente da temperatura nas extremidades do segmento de caule sendo adotado para medidas (Kučera e Urban, 2011). Em seguida, esse método foi utilizado também por Sakuratani (1981), que utilizou plantas herbáceas no Japão sob sistema

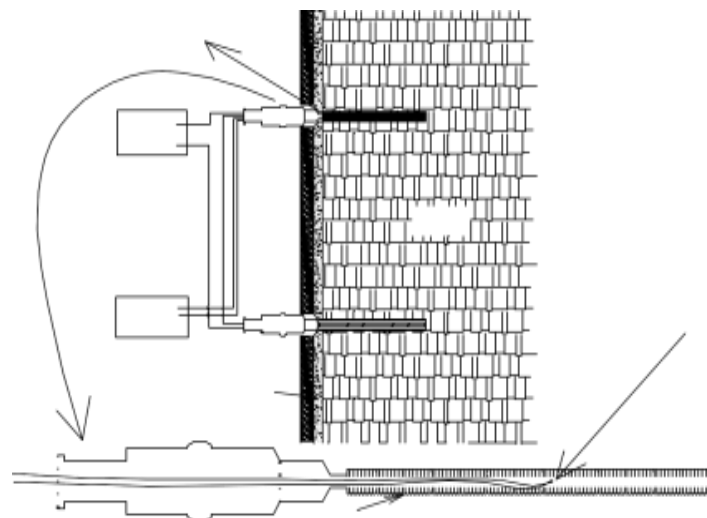
de fornecimento de calor constante com finalidade de evitar a utilização de um sistema completo para manter a estabilidade térmica no segmento aquecido.

Conforme Mangueira e Silans (1995), a colocação inadequada de termopares medidores de variações de temperatura no caule pode ser umas das fontes de erro deste método. Dessa forma, em se tratando de uma planta de porte grande, os termopares utilizados para medir o gradiente axial de temperatura são alocados no tronco no interior de um pequeno tubo (sondas) com dificuldades na fixação dos termopares de forma adequada. Outra indicação como uma possível fonte de erro foi apontando por Weibel e Vos (1994); Ham e Heilman (1990) como o insuficiente contato entre o sensor e a superfície do caule mencionando as dificuldades para manter a potência de entrada no sistema em forma constante. Outra precaução é o bom isolamento térmico com o intuito de se evitar flutuação de temperatura do ambiente e incidência direta de radiação no tronco próximo ao volume amostrado (Angelocci, 2002).

3.6 Método de sonda de dissipação de calor

O MSDC incide na relação entre a densidade de transporte convectivo de massa (seiva), por meio da seção transversal do tronco ou ramo e a velocidade de dissipação de calor ocasionado pelo transporte (Rojas, 2003) (Figura 3).

Figura 3. Esquemática do sensor de Granier.



Fonte: Rojas (2003).

Em condição hídrica normal da planta, esta variação é acompanhada da demanda atmosférica do meio ambiente em função da radiação solar, temperatura, vento, umidade do ar e etc (Angelocci, 2002).

4. Exemplos Práticos Utilizando a Dendrometria no Manejo da Irrigação

Segundo as pesquisas de Ortuño et al. (2006); Winer & Zachs (2007); Schaffer et al. (2013), a determinação da contração máxima do tronco é uma ferramenta útil e um bom indicador no manejo da irrigação e afirmaram ainda que a possibilidade de desenvolver relações de referência ou basais entre o tronco máximo, a contração e evapotranspiração de referência permitindo a comparação entre medições de indicadores baseados em plantas em um determinado momento e o esperado valor em condições de limitação de água que podem ser calculadas a partir das referências.

Ao analisarem o uso de dendrômetros com o intuito de estabelecer o gerenciamento de irrigação em tangerina, Págan et al. (2012) descobriram que é necessário enfatizar a adequação das medidas máximas de contração do tronco visando estabelecer uma linha de base de referência para o calendário de irrigação devido a sua resposta linear e boa correlação com a temperatura.

Souza (2009) utilizando medições dendrométricas como indicadores do manejo da irrigação na cultura do café, ao analisar dois tratamentos, sendo um irrigado e o outro não irrigado até certo limite de potencial de água foliar, descobriu que a amplitude máxima diária do caule estava correlacionada com as condições climáticas e a transpiração da planta, refletindo de forma satisfatória a variação do potencial de água foliar. Além disso, a amplitude máxima diária do tronco indicou inicialmente estresse hídrico em plantas de café jovens, quando comparadas com medidas de potencial de água foliar.

Zimmermann et al. (2013) mencionaram que a nova sonda tornou-se uma ferramenta importante na fisiologia vegetal, biologia molecular e ecologia, sendo também importante para a evolução da gestão da irrigação. Isso pode ser explicado por ser um método robusto e fácil de utilizar em que os produtores recebem informações sobre as necessidades hídricas das plantas por meio de telemetria sem fio, rede móvel e *Internet* com ajuste no momento da irrigação e na quantidade de água a ser aplicada. O potencial da sonda para medir mudanças na pressão do turgor da folha por longos períodos é demonstrado segundo Westhoff et al.

(2009) por medidas em várias culturas sob diferentes condições de clima e irrigação. Os autores afirmam que a sonda pode ser utilizada como um sistema de alerta precoce do início do estresse hídrico e que a mesma dá lugar a uma forma mais apropriada de medir a demanda de água da cultura, tanto no campo quanto na estufa.

Buscando avaliar o método de Granier na estimativa do fluxo de seiva em mulungu, Teixeira; Vellame; Lopes Sobrinho (2017) mencionaram que o fluxo de seiva estimado pela equação de Granier subestima quando comparados aos valores de transpiração havendo a necessidade de calibração. Estudos realizados para cafeeiro (Marin, 2003), limoeiro (Delgado-Rojas et al., 2007), nim indiano (Seixas, 2009), mangueira (Vellame et al., 2009), pereira japonesa (Sugiura et al., 2009) e laranja (Coelho et al., 2012) sinalizam a viabilidade da medida de fluxo de seiva como estimativa da transpiração.

5. Considerações Finais

As técnicas de dendrometria são refletidas nas interações entre a determinação da quantidade de água disponível no solo para as plantas e a demanda atmosférica. Contudo, essas técnicas e outras vêm sendo analisadas visando alcançar melhor eficiência do uso da água e maior produção agrícola com menor consumo hídrico. Logo, a carência de informações sobre as técnicas de dendrometria faz com que sejam necessários mais estudos para fins do correto manejo da irrigação.

Agradecimentos

Ao grupo de pesquisa cadastrado no Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) em Alimentos, Química, Agronomia e Recursos Hídricos (AQARH) do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Maranhão – Campus Codó (IFMA), pelo apoio constante.

Referências

Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., & Smith, M. (1998). *Crop evapotranspiration - guidelines for computing crop water requirements*. Rome: FAO, 300p. Irrigation and Drainage Paper: 56.

Angelocci, L. R. (2002). *Água na planta e trocas gasosas/energéticas com a atmosfera: Introdução ao tratamento biofísico*. Piracicaba. 268p.

Beyea, S., & Nicoll, L. H. (1998). Writing an integrative review. *AORN Journal*, 67 (4): 877-80. Doi: 10.1016/s0001-2092(06)62653-7.

Burguess, S. S. O., & Dawson, T. E.. (2008). Using branch and basal trunk sapflow measurements to estimate whole-plant water capacitance: a caution. *Plant and Soil*, 305(1):5-13.

Čermárk, J., Kucera, J., & Nadezhdina, N. (2004). Sap flow measurements with some thermodynamic methods, flow integration within trees and scaling up from sample trees to entire forest stands. *Trees*, 18:529- 546.

Chojnacky, D. C., Heath, L. S., & Jenkins, J. C. (2014). Updated generalized biomass equations for North American tree species. *Forestry*, 87(1), 129-151.

Coelho, E. F., Coelho, M. A. C., Simões, W. L., & Coelho, Y. S. (2006). Irrigação em citros nas condições do nordeste do Brasil. *Laranja*, 27(2): 297-320.

Coelho, R. D., Vellame, L. M., & Fraga Jr, E. F. (2012). Estimation of transpiration of the “Valencia” orange young plant using thermal dissipation probe method. *Engenharia Agrícola*, 32(3), 573- 581.

Cotrim, C. E., Coelho, E. F., Silva, J. A., Filho-Coelho, M. A., Santos, M. R. (2017). Irrigação com déficit controlado e produtividade de mangueira ‘Tommy Atkins’ sob gotejamento. *Revista Brasileira de Agricultura Irrigada*, 11(8): 2229 – 2238.

Delgado-Rojas, J. S.; Angelocci, L. R.; Folegatti, M. V.; Coelho Filho, M. A. (2007). Desempenho da sonda de dissipação térmica na medida da transpiração em plantas jovens de lima ácida. *Engenharia Agrícola*, 27(2):404-413.

Drew, D. M., & Downes, G. M. (2009). The use of precision dendrometers in research on daily stem size and wood property variation: a review. *Dendrochronologia*, 27(2), 159-172.

Dynamax INC. (1996). DEX: dendrometer installation and users guide. Houston: Dynamax, 1996. s.p

El-Hendawy, S. E., Al-Suhaibani, N. A., Elsayed, S., Hassan, W. M., Dewir, Y. H., Refay, Y., & Abdella, K. A. (2019). Potential of the existing and novel spectral reflectance indices for estimating the leaf water status and grain yield of spring wheat exposed to different irrigation rates. *Agricultural Water Management*. 217(1): 356-373, Doi: 10.1016/j.agwat.2019.03.006

Esteves, B. D. S., Lousada, L. D. L., Sousa, E. F. D., & Campostrini, E. (2015). Advanced techniques using the plant as indicator of irrigation management. *Ciência Rural*, 45(5), 821-827.

Esteves, B. S., Mendonça, J. C., Sousa, E. F., Bernardo, S. (2010). Avaliação do Kt para estimativa da evapotranspiração de referência (ET_o) em Campos dos Goytacazes, RJ. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 14(3):274–278.

Fernández, J. E., Green, S. R., Caspari, H. W., Diaz-Espejo, A., & Cuevas, M. V. (2008). The use of sap flow measurements for scheduling irrigation in olive, apple and Asian pear trees and in grapevines. *Plant and Soil*, 305: 91-104.

Girardi, E. A., Mourão Filho, F. A. A., Delgado-Rojas, J. S., Araújo, J. P. C. (2011). Use of the heat dissipation method for sap flow measurement in citrus nursery trees. *Revista Brasileira de Fruticultura (Impresso)*, 32(1):976-983.

Goldhamer, D. A., & Fereres, E. (2001). Irrigation scheduling protocols using continuously recorded trunk diameter measurements. *Irrigation Science*, 20:115-125.

Gonçalves, F. G., Oliveira, J. T. S., Silva, G. F., Nappo, M. E., Filho-Tomazelo, M. (2010). Parâmetros dendrométricos e correlações com propriedades tecnológicas em um híbrido clonal de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*. *Revista Árvore*, 34(5): 947-959.

Granier, A. (1985). Une nouvelle methode pour la mesure du flux de seve brute dans le tronc des arbres. *Annales Sciences Forestieres*, 42(2):193-200.

Granier, E., & Berger, A. (1986). Effect of water stress on stem diameter changes of peach trees growing in the field. *Journal of Applied Ecology*, 23(1): 193-209.

Grupo Anima Educação. *Manual Revisão Bibliográfica Sistemática Integrativa: a pesquisa baseada em evidências*. Belo Horizonte, 2014, 63p.

Ham, J. M., & Heilman, J. L. (1990). Dynamics of a heat balance stem flow gauge during high flow. *Agronomy Journal*, 82:147-152.

Higgs, K. H., & Jones, H. G. (1984). A microcomputer-based system for continuous measurement and recording fruit diameter in relation to environmental factor. *Journal of Experimental Botany*, 35(160):1646-1655.

Junior, S. G. J., Moraes, J. G. L., Silva, F. D. B., Silva, B. N., Sousa, G. G., Oliveira, L. L. B., & Mesquita, R. O. (2019). Respostas fisiológicas de genótipos de fava (*Phaseolus lunatus* L.) submetidas ao estresse hídrico cultivadas no Estado do Ceará. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 34(3): 413-422.

Just, M. G., & Frank, S. D. (2019). Evaluation of an Easy-to-Install, Low-Cost Dendrometer Band for Citizen-Science Tree Research. *Journal of Forestry*, 117(4), 317-322.

Kučera, J., & Urban, J. (2011). History of the development of the trunk heat balance method in last forty years. In *VIII International Symposium on Sap Flow* 951 (pp. 87-94).

Lakatos, E. M., Marconi, M. A. 2010. *Fundamentos da metodologia científica*. 7. ed. São Paulo: Atlas.

Lopes Sobrinho, O. P., Silva, G. S., Pereira, A. I. S., Sousa, A. B., Castro Junior, W. L., Santos, L. N. S. (2019). A cultura da cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*) e o manejo da irrigação. *RAMA - Revista em Agronegócio e Meio Ambiente*, 12(4): 1605-1625. DOI: 10.17765/2176-9168.2019v12n4p1605-1625

Lurbe, B. C. (2013). Regulated deficit irrigation in citrus: agronomic response and water stress indicators (Doctoral dissertation).

Mangueira, D. S., & Silans, A. M. B. P. (1995). Transpirômetro - Princípios teóricos e viabilidade técnica. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 30(5):621-632.

Martins, A. P., Costa, S. E. V. G. A., Anghinoni, I., Kunrath, T. R., Cecagno, D., Reichert, J. M., Balerini, F., Dillenburg, L. R., Carvalho, P. C. F. (2016). Soil moisture and soybean physiology affected by drought in an integrated crop-livestock system. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 51(1):978-989. DOI: 10.1590/S0100-204X2016000800010

Marin, F. R. *Evapotranspiração e transpiração máxima em cafezal adensado*. (2003). Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura ‘Luiz de Queiroz’, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 118 fl.

Naor, A. (2006). Irrigation scheduling and evaluation of tree water status in deciduous orchards. *Horticultural Reviews*, 32(1):111-165.

Nascimento, N. F., Nascimento, L. B. B., Gonçalves, J. F. C. (2019). Respostas funcionais foliares de plantas jovens de *Hevea brasiliensis* submetidas à deficiência hídrica e à reidratação. *Ciência Florestal*, 29(3): 1019-1032. Doi: 10.5902/1980509832658

Nicoletti, M. F., Batista, J. L. F., Carvalho, S. P. C., Castro, T. N., Hess, A. F. (2015) Exatidão de dendrômetros ópticos para determinação do volume de árvores em pé. *Ciência Florestal*, 25 (2): 395-404.

Ortuño, M. F., Alarcón, J. J., Nicolás, E., & Torrecillas, A. (2004). Comparison of continuously recorded plant-based water stress indicators for young lemon trees. *Plant and Soil*, 267:263-270.

Ortuno, M. F., Garcia-Orellana, Y., & Conejero, W., Ruiz-Sanchez, M. C., Alarcón, J. J., & Torrecillas, A. (2006). Stem and leaf water potentials, gases exchange, sapflow, and trunk diameter fluctuations for detecting water stress in lemon trees. *Trees*, 20:1-8.

Ortuño, M. F. (2010). Could trunk diameter sensors be used in woody crops for irrigation scheduling? A review of current knowledge and future perspectives. *Agricultural Water Management*, 97(1):1-11.

Pagán, E., Pérez-Pastor, A., Domingo, R., Conesa, M. R., & Caro, M. (2012). Suitability of trunk diameter reference lines for irrigation scheduling with saline water in late mandarin trees with different crop load. *Agricultural Water Management*, 111:11-19.

Pereira, A. S., Shitsuka, D. M., Parreira, F. J., & Shitsuka, R. (2018). *Metodologia da pesquisa científica*. [e-book]. Santa Maria. Ed. UAB/NTE/UFSM.

Pinto-Jr, O. B., Sanches, L., Dalmagro, J. G., Lobo, F. A., Nogueira, J. S. Transpiração pelo método da sonda de dissipação térmica em floresta de transição Amazônica-Cerrado. (2013). *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 17(3):268–274.

Puerto, P., Domingo, R., Torres, R., Pérez-Pastor, A., & García-Riquelme, M. (2013). Remote management of deficit irrigation in almond trees based on maximum daily trunk shrinkage. Water relations and yield. *Agricultural Water Management*, 126, 33-45.

Puerto, P. (2013). Remote management of deficit irrigation in almond trees based on maximum daily trunk shrinkage. Water relations and yield. *Agricultural Water Management*, 126:33-45.

Remorini, D., & Massai, R. (2003). Comparison of water status indicators for young peach trees. *Irrigation Science*, 22:39-46.

Rojas, J. S. D. (2003). *Avaliação do uso do fluxo de seiva e da variação do diâmetro do caule e de ramos na determinação das condições hídricas de citros, como base para o manejo de irrigação*. Tese (Doutorado em Agronomia) – Piracicaba – SP, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, 110p.

Sakuratani, T. (1981). A heat balance method for measuring water flux in the stem of intact plants. *Journal of Agricultural Meteorology*, 37:9-17.

Seixas, G. B. (2009). *Determinação da transpiração em plantas de Nim Indiano (Azadirachta indica A. Juss) utilizando métodos de estimativa de fluxo de seiva*. 71 fl. Dissertação

(Mestrado em Física Ambiental) – Universidade Federal de Mato Grosso, Instituto de Física, Pós-Graduação em Física Ambiental, Cuiabá, 2009.

Schaffer, B. A., Wolstenholme, B. N., & Whiley, A. W. (Eds.). (2013). *The avocado: botany, production and uses*. CABI.

Shackel, K. A., Ahmadi, H., & Biasi, W. (1997). Plant water status as an index of irrigation need in deciduous fruit trees. *Hort Technology*, 7(1):23-29.

Silva, C. R., Rocha, F. J., Júnior, J. A., Silva, T. J. A., Folegatti, M. V., & Maschio, R. (2006). Respostas de limeira ácida tahiti à suspensão da irrigação em diferentes períodos fenológicos. *Laranja*, 27(2): 321-339.

Silva, T. T., Vellame, L. M., Lopes Sobrinho, O. P. (2017). Método de dissipação térmica para estimativa do fluxo de seiva em mulungu. In: XX Congresso Brasileiro de Agrometeorologia (CBAGRO) e V Simpósio de Mudanças Climáticas e Desertificação do Semiárido Brasileiro (SMUD), 2017, Petrolina-PE e Juazeiro-BA. *Anais da XX CBAGRO: A Agrometeorologia na Solução de Problemas Multiescala*, p. 1301-1305.

Silva, J. A. A., & Paula Neto, F. (1979). *Princípios básicos de dendrometria*. Recife: UFRPE, 185p.

Silva, M. G. (2008). *Desenvolvimento de sensor de fluxo de seiva e de coeficiente indicador de estresse hídrico para plantas de cafeeiro arábica*. 114f. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) - Universidade Estadual do Norte Fluminense, RJ.

Simonneau, T., Habib, R., Goutouly, J. P., & Huguet, J. G. (1993). Diurnal changes in stem diameter depend upon variations in water content: Direct evidence in peach trees. *Journal of Experimental Botany*, 44(260):615-621.

Sugiura, H., Sakamoto, D., Sugiura, T., Asakura, T., Moriguchi, T. Evaluation of the use of the Granier sap flow method in japanese pear by comparison with transpiration by the weighing method. *Acta Horticultural*, 46(1): 121-126, 2009.

Sørensen, M. L. (2008). *Agricultural water management research trends*. Nova Publishers.

Souza, L. F. (2009). *Utilização da variação dendrométrica como indicador para o manejo da irrigação de plantas de café*. 65f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, RJ.

Steppe, K. (2018). The potential of the tree water potential. *Tree Physiology*, 38(7):937–940.

Venturin, A. F. (2016). *Coefficiente de estresse hídrico para o cafeeiro conilon baseado na determinação do fluxo de seiva*. Tese apresentada ao Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. Campos dos Goytacazes, 111p.

Vellame, L. M., Coelho Filho, M. A., & Paz, V. P. S. (2009). Transpiração em mangueira pelo método Granier. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 13(5): 516-523.

Weibel FP & Vos JA. (1994). Transpiration measurements in apple trees: an improved stem balance heat method. *Plant and Soil*, 166:203-217.

Westhoff, M., Zimmermann, K., Reuss, R., & Netzer, Y. (2009). A non-invasive probe for online-monitoring of turgor pressure changes under field conditions. *Plant Biology*, 11:701-712.

Winer, L., & Zachs, I. (2007). Daily trunk contraction in relation to a base line as an improved criterion for irrigation in avocado. In *Proceedings of the 6th World Avocado Congress*, Vina Del Mar, Chile.

Wu, S., Hu, C., Tan, Q., Nie, Z., & Sun, X. (2014). Effects of molybdenum on water utilization, antioxidative defense system and osmotic-adjustment ability in winter wheat (*Triticum aestivum*) under drought stress. *Plant Physiol Biochem*, 83(1): 365-374.

Zia-Khan, S., Spreer, W., Pengnian, Y., Zhao, X., Othmanli, H., He, X., Müller, J. (2015). Effect of dust deposition on stomatal conductance and leaf temperature of cotton in Northwest China. *Water*, 7(1),116-131. DOI: 10.3390/w7010116

Zimmermann, U., Bitter, R., Marchiori, P. E. R., Ruger, S., Ehrenberger, W., Sukhorukov, V. L., Schüttler, A., & Ribeiro, R. V. (2013). A non-invasive plant-based probe for continuous monitoring of water stress in real time: a new tool for irrigation scheduling and deeper insight into drought and salinity stress physiology. *Theoretical and Experimental Plant Physiology*, 25(1),2-11.

Porcentagem de contribuição de cada autor no manuscrito

Oswaldo Palma Lopes Sobrinho – 28%

Gerlange Soares da Silva – 13%

Leonardo Nazário Silva dos Santos – 8%

Wady Lima Castro Júnior – 8%

Álvaro Itaúna Schalcher Pereira – 9%

Marconi Batista Teixeira – 8%

Luiz Fernando Gomes – 8%

Mateus Neri Oliveira Reis – 10%

Jaqueline Aparecida Batista Soares – 8%