USO DE POTENCIAIS DA ÁGUA NA PLANTA NO MANEJO DA IRRIGAÇÃO: UMA REVISÃO

Oswaldo Palma Lopes Sobrinho¹, Stephanie Soares Arriero², Laís Monique Gomes do Ó², Aline Bezerra de Sousa², Mardja Luma da Silva Sales², Evellyn Freire da Silva², Andrezza Grasielly Costa², Gerlange Soares da Silva², Jorgeana Francis Alvim³; Álvaro Itaúna Schalcher Pereira³

¹Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias – Agronomia, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano, Campus Rio Verde, GO, Brasil. E-mail: oswaldo-palma@hotmail.com

²Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Cruz das Almas, Bahia, Brasil.

³Departamento de Ensino, Professor Doutor do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Maranhão, Codó, MA, Brasil. E-mail: alvaro.pereira@ifma.edu.br

RESUMO: Sabe-se que o déficit hídrico é o estresse ambiental de maior interferência no desenvolvimento das culturas agrícolas. Dessa forma, a disponibilidade hídrica para as plantas torna-se muitas vezes um fator limitante; podendo ocasionar perturbações fisiológicas, morfológicas e acabar influenciando no rendimento e desenvolvimento das culturas agrícolas. Esta revisão teve por objetivo um estudo a partir de dados secundários disponíveis na literatura sobre o uso de potenciais da água da planta para fins do manejo da irrigação, apresentando-se métodos e exemplos práticos.

Palavras-chave: fotossíntese, fisiologia da planta e potencial hídrico.

INTRODUÇÃO

O estado energético de uma planta é descrito pelo potencial de água da folha, cujos gradientes explicam os fluxos da água no sistema solo-planta-atmosfera (SSPA). Muito embora, ao longo do dia, haja uma variação, mesmo em plantas irrigadas esse parâmetro descreve o estado hídrico planta, e tem sido bastante utilizado em estudos no que se diz respeito às relações hídricas das espécies vegetais (HSIAO, 1973; SIONIT; KRAMER, 1976; WESTGATE, 1994). Nesse contexto, o valor do potencial da água na planta está relacionado com a diferença entre o estado energético no sistema considerado e num estado de referência. Sendo que no estado de referência, considera-se o potencial da água como zero.

O potencial hídrico pode ser utilizado como um parâmetro na avaliação da atividade fisiológica de um tecido ou célula. Dessa forma, o comportamento estomático e a fotossíntese, entre outros processos, podem ser afetados pelo decréscimo do potencial hídrico foliar, resultante de estresse hídrico ocorrido em qualquer estágio de desenvolvimento das plantas.

Para Yatapanage; So (2001) mesmo havendo variações ao longo do dia (déficit de curto prazo) em culturas irrigadas, o potencial da água na folha tem sido bastante utilizado em estudos que envolvam as relações hídricas dos vegetais, representando um bom indicador do estado hídrico da planta, podendo ser utilizado também como critério para irrigação em sistemas de monitoramento.

As medições do potencial da água na folha solicitam alguns cuidados, a fim de que os dados obtidos reflitam sobre o verdadeiro estado hídrico da planta. Assim sendo, o potencial hídrico foliar (Ψ) é utilizado principalmente no entendimento dos mecanismos envolvidos e os processos afetados no controle do déficit hídrico pela própria planta. Segundo Bianchi (2004), quando o conteúdo de água no solo decresce, o potencial da água no solo e na folha também decresce, tendo como consequência, o desenvolvimento do déficit hídrico nas folhas e as perdas de turgor das células guardas, ocasionando o fechamento estomático.

Guimarães et al. (2006) mostram que, pequenas diferenças no potencial de água na folha podem ser verificadas quando as plantas já passaram por déficits hídricos e acionaram mecanismos de tolerância.

Se a planta perde água a uma taxa superior à sua capacidade de absorção e transporte o potencial hídrico da folha diminui, levando ao fechamento dos estômatos e redução da fotossíntese. Presume-se que nos horários mais quentes do dia a condutância estomática diminua a ponto de evitar que o potencial hídrico da folha desça abaixo de níveis considerados críticos para a estabilidade do sistema de transporte de água (OREN; VENTOSA, 1999).

Se há perda da água a uma taxa superior à sua capacidade de absorção e transporte, haverá diminuição do potencial hídrico da folha, e conseqüentemente, fechamento dos estômatos e redução da fotossíntese. Partindo desse pressuposto, Oren et al. 1995), abordam que nos horários mais quentes do dia a condutância estomática diminuía a ponto de evitar que o potencial hídrico da folha descesse abaixo de níveis considerados críticos para a estabilidade do sistema de transporte de água.

Conforme Larcher (2000), a capacidade fotossintética é uma característica intrínseca de cada espécie vegetal, sendo que ocorrem mudanças nas trocas gasosas durante o ciclo do desenvolvimento do indivíduo e dependem do curso anual e até mesmo do curso diário das flutuações ambientais (luz, temperatura, etc) em torno do vegetal.

A quantificação do consumo de água de maneira mais precisa significa melhorar metodologias existentes, buscando-se novas técnicas que permitam avaliações mais rápidas, simples e precisas, razão pela qual se tem sido desenvolvido e testado numerosos métodos capazes de determinar diretamente a quantidade de água consumida pelas plantas.

Existem diferentes técnicas convencionais de detecção do estresse hídrico: sintomas visuais, balanço da água no solo, fluxo de seiva e a condutância estomática (Trentin, 2010), dentre outros, como a termometria infravermelha, que é um método que possibilita a medição da temperatura de uma porção do dossel vegetativo, sem a necessidade de contato físico com as folhas. E a temperatura do dossel pode ser utilizada para quantificar o estresse hídrico na planta.

Água e deficiência hídrica

A água é um recurso natural muito abundante dos tecidos vegetais, constitui aproximadamente 90% da massa da planta, atuando em, praticamente, todos os processos fisiológicos e bioquímicos. Para Taiz; Zeiger (2004) desempenha a função de solvente, através do qual, gases, íons inorgânicos e orgânicos são transportados. Tendo ainda um papel de grande importância na manutenção e na distribuição do calor, pelo processo da transpiração.

Define-se deficiência hídrica como todo o conteúdo de água de um tecido ou célula que está abaixo do conteúdo de água mais alto exibido no estado maior de hidratação.

Deste modo, ela determina um desvio significativo das condições ótimas para a planta, induzindo a mudanças e respostas em todos os níveis funcionais do organismo, as quais podem ser reversíveis, em princípio, mas podem se tornar permanentes em situações drásticas. Mesmo se uma condição de deficiência hídrica apresentar caráter temporário, o crescimento da planta pode se tornar cada vez menor conforme a duração do estado de deficiência (TAIZ; ZEIGER, 2004).

A deficiência hídrica pode ser causada pela escassez de água disponível para as plantas devido ao reduzido volume de chuvas, solos pouco profundos com baixa capacidade de retenção de água ou com impedimentos para a penetração da raiz. Além disso, a deficiência hídrica pode ocorrer por causa da alta demanda evaporativa da atmosfera, relacionada com altas temperaturas e radiação, baixa umidade relativa do ar e ventos. Em alguns casos, segundo Andrade; Sandras (2009), a deficiência hídrica é resultado da combinação da disponibilidade de água reduzida e demanda evaporativa elevada.

A deficiência hídrica é o mais importante estresse abiótico limitante para o crescimento das plantas e para a produtividade das culturas agrícolas. O desenvolvimento de genótipos tolerantes a restrição hídrica está se intensificando, devido ao menor suprimento de água para a irrigação, em adição com o estresse imposto pela mudança climática global, como o aumento de temperaturas, mudanças nos padrões de distribuição de chuvas e o aumento das áreas áridas e semiáridas (WHITE et al., 2004).

Conforme a base para a tolerância à restrição hídrica é complexa e envolve diversos mecanismos adaptativos os quais são geralmente controlados por vários genes. Dessa forma, as respostas da planta à restrição hídrica são influenciadas pela duração, intensidade, período e frequência à restrição, como também pelas diversas interações entre solo – planta – atmosfera (PIERRE et al., 2012).

Em resposta à restrição hídrica, as plantas podem desenvolver mecanismos fisiológicos e morfológicos tanto para retardar (manutenção da hidratação do tecido) como para tolerar a desidratação (manter o metabolismo ativo enquanto desidratada) (TAIZ; ZEIGER, 2004). Mecanismos para retardar a desidratação pode ser resultado da diminuição da perda de água causado pelo fechamento estomático, desenvolvimento de tricomas, redução da área foliar e senescência de folhas velhas para diminuir a transpiração, além de mudanças no tamanho, orientação e enrolamento das folhas para minimizar a superfície exposta à luz (Sandras; Milroy, 1996; Lizana et al., 2006; Nagasuga et al., 2013), ou maximização da absorção de água através do aumento do crescimento radicular (JONGRUNGKLANG et al., 2013).

No que se diz respeito aos mecanismos de tolerâncias envolve o ajustamento osmótico e eficiência na remoção de espécies reativas de oxigênio (KAMELI; LÖSEL, 1995; IANNUCCI et al., 2002; AROCA et al., 2012).

Sobre as características das plantas em resposta à restrição hídrica têm-se algumas considerações de grande relevância: parece não haver nenhuma característica única nas plantas que confira tolerância à seca, mas uma resposta conjunta de diversas características; algumas mudanças morfológicas e fisiológicas que ajudam a melhorar o desempenho das plantas ao estresse são constitutivas (sempre presentes), enquanto outras são adaptativas, ou seja, será expressa apenas sob um dado conjunto de estímulos ambientais.

Para Walker; Acevedo (1987), o desempenho da planta é uma resposta conjunta das características constitutivas e adaptativas; a planta pode dependendo da duração, intensidade e momento do estresse sofrer aclimação.

A disponibilidade de água de acordo com Flexas; Medrano (2002) é responsável por afetar o crescimento das plantas, pelo controle da abertura dos estômatos e, conseqüentemente, pela produção de biomassa. O decréscimo de água no solo diminui o potencial de água na folha e sua condutância estomática, promovendo o fechamento dos estômatos. Esse fechamento bloqueia o fluxo de CO₂ para as folhas, afetando o acúmulo de fotoassimilados, o que poderá acarretar na redução do crescimento. A limitação de assimilação de CO₂ imposta pelo fechamento estomático reduz a concentração intracelular de CO₂ nas folhas e com isso, causa um desequilíbrio na atividade do fotossistema II (PSII) e, conseqüente aumento da suscetibilidade há danos fotoquímicos.

Corroborando com essa ideia, Jamieson et al. (1995) demonstraram que a causa primária na redução da produção de biomassa é a menor quantidade de radiação interceptada pela planta, em decorrência da aplicação de déficit hídrico. Os efeitos causados pelo déficit hídrico nos tecidos mais jovens da planta são maiores que nos tecidos adultos; porém, quando se interrompe o déficit se interrompe o déficit o desenvolvimento é recuperado somente nas folhas mais jovens (BEG; TURNER, 1976).

Para Santos; Carlesso (1998), a sensibilidade do desenvolvimento das folhas ao déficit hídrico pode mudar no transcorrer do dia ou nas diferentes estações do ano, porém a limitação de expansão na área foliar pode ser considerada como a primeira reação das plantas a esse déficit.

As plantas têm desenvolvido ampla diversidade de mecanismos de tolerância à restrição hídrica. Dessa forma, um dos mecanismos que envolvem a adaptação da planta pode ser explicado pela relação entre a massa de raiz e parte aérea. Segundo Liu; Stützel (2004), a restrição hídrica reduz tanto a massa de raiz e de parte aérea, porém o crescimento da parte aérea mostra-se mais suscetível. A resposta diferenciada entre o crescimento de raiz e parte aérea em condições de baixo potencial hídrico, é considerada uma adaptação das plantas para manter a absorção de água do solo.

Numerosas possibilidades têm sido relatadas no sentido de justificar a elevada sensibilidade da elongação celular para baixos potenciais hídricos, incluindo o colapso do gradiente de potencial hídrico e redução da pressão de turgor que promove a força necessária para a expansão celular. A base da tolerância do crescimento radicular em comparação com o crescimento da parte aérea em baixo potencial hídrico pode ser explicada pelo ajustamento osmótico que mantém a pressão de turgor (WU; COSGROVE, 2000).

É um passo de sua importância compreender os processos de assimilação e alocação de carbono em condições de baixa disponibilidade hídrica na identificação de cultivares tolerantes à seca. Partição de assimilados entre os vários drenos determina a taxa e o padrão de crescimento das plantas.

Em face ao exposto, Geiger et al. (1996), o aumento da partição do carbono para o crescimento de raiz pode provocar um aumento da capacidade das plantas para tolerar a ocorrência regular de baixa disponibilidade hídrica.

Conforme Oya et al. (2004), os efeitos da restrição hídrica nos componentes do rendimento chegam a variar de acordo com o estágio de crescimento e o tempo de exposição ao período de baixa disponibilidade hídrica. A restrição hídrica chega a reduzir o número de vagens e o tamanho dos grãos quando for imposta na floração, número de grãos por vagem quando aplicado do final da floração até o início da formação de vagens e o tamanho dos grãos quando aplicado no final do período de enchimento de grãos.

A produtividade das culturas em condições de baixa disponibilidade hídrica também pode estar correlacionada a taxa de crescimento da planta e com o crescimento das raízes no solo. A taxa de crescimento é função da taxa de assimilação líquida, a qual é um índice da capacidade fotossintética da planta por unidade de área foliar e da taxa de área foliar. Assim sendo, a absorção de água e a transpiração podem ser fatores limitantes pela quantidade de raízes nas camadas de solo e, portanto, afetar a taxa de crescimento (KUSAKA et al., 2005).

A fotossíntese é o processo em que as plantas transformam a energia solar em energia química. As plantas são transformadoras primárias de energia solar e a sua eficiência é fator determinante na produtividade agrícola. Um entendimento melhor dos fatores que afetam a fotossíntese durante o déficit hídrico pode ajudar no entendimento dos mecanismos de resistência utilizados pela planta em situações de déficit hídrico (LOPES et al., 1988).

A distribuição do sistema radicular tem sido reportada como fator determinante para disponibilidade hídrica, essencialmente porque a posição das raízes estabelece a extensão da exploração do solo e define um limite superior para o volume de água potencialmente acessível.

Dessa forma, o nível de detalhes necessários para relacionar o volume de água no solo e a distribuição radicular depende da espécie vegetal, padrão de semeadura e propriedades hidráulicas do solo. O perfil vertical da densidade de raiz é normalmente suficiente para culturas semeadas em altas densidades e, em solos com elevada condutividade.

A absorção de água pelas raízes é influenciada também pela distribuição e quantidade de água disponível no solo. No tocante, como o potencial matricial e a condutividade hidráulica do solo diminuem com o conteúdo de água do solo, solos com baixa disponibilidade hídrica colaboram para a absorção de água (LOBET et al., 2014). Dessa forma, plantas com maior densidade de comprimento de raiz em subsuperfície são mais resistentes à seca, devido a sua apresentação na habilidade de explorar água retida nos perfis mais profundos do solo (ASCH et al., 2005).

Importância da água para os vegetais

Para Tuner (1986), a distribuição dos vegetais na superfície terrestre depende mais da disponibilidade de água que de qualquer outro fator ambiental. Dessa forma, o conteúdo celular de água é superior a 90% na maioria dos tecidos vegetais de plantas herbáceas, chegando a mais de 95% em folhas de alface, em meristemas e em frutos; contudo, ela pode constituir apenas 5% da massa de certos líquens, esporos e sementes secas, o que lhes permite sobreviver longos períodos em condições de desidratação (anidrobiose), mas para se tornarem metabolicamente ativos, um aumento do conteúdo de água é essencial para o seu desenvolvimento.

A diminuição no conteúdo de água na célula, abaixo de um valor crítico, em geral em torno de 75%, provoca mudanças estruturais e, em última instância, pode ocasionar a morte da célula (GASCHO; SHIH, 1983). A água, além de ser o principal constituinte do protoplasma, participa diretamente de inúmeras reações químicas, responsáveis pela turgescência celular. A redução da absorção de água e a conseqüente desidratação das células comprometem os processos fisiológicos afetando, assim, todos os componentes de crescimento (PÁEZ et al., 1995).

Diante do exposto, a perda acentuada de água reduz a multiplicação e o alongamento das células, resultando em plantas menores e, em conseqüência, na redução da

área foliar. De acordo com Fernández et al. (1996) a área foliar é um importante fator da produção e determina o uso da água pela planta e seu potencial de produtividade é severamente inibido quando exposta ao déficit hídrico.

Influência da condição hídrica nos processos fisiológicos da planta

Segundo Castro et al. (2009), os fatores ambientais influenciam diretamente a anatomia foliar, sendo que a condição hídrica é um dos fatores mais importantes para o desenvolvimento foliar.

A anatomia foliar se destaca nas relações com a produção vegetal (SILVA et al., 2005). A anatomia foliar de algumas culturas demonstra plasticidade para fatores como as condições de radiação, alterando as espessuras do parênquima paliçádico e esponjoso, dimensões estomáticas entre outras (NASCIMENTO et al., 2006; PINHEIRO et al., 2005; RAMIRO et al., 2004).

Sob condições de déficit hídrico, tem sido demonstrada a relação direta entre a redução da concentração intercelular de CO₂, em razão do fechamento estomático, gerando decréscimos na assimilação do CO₂ e no rendimento quântico do fotossistema II (BAKER, 1993). Todavia, tem sido relatado que sob estresse hídrico severo, além das restrições estomáticas no suprimento de CO₂, podem ocorrer limitações em componentes não estomáticos, com danos nos centros de reação do fotossistema II, os quais podem apresentar reversão parcial após reidratação (ANGELOPOULOS et al., 1996).

Os efeitos do estresse hídrico sobre o fotossistema II podem ser mediados tanto pela produção quanto pela acumulação de espécies reativas de oxigênio (Smirnoff, 1993; Lawlor, 1995), levando a extensivos danos às membranas, desencadeando processos peroxidativos de lipídios, com perda de eletrólitos pela célula (Alonso et al., 1997; Queiroz et al., 1998) e queda na atividade fotossintética (SMIRNOFF, 1993).

Dessa forma, uma forma eficiente de monitorar danos fotooxidativos causados pelo estresse hídrico tem sido o uso de medidas da fluorescência da clorofila a associada ao fotossistema II (PS II) (BAKER, 1993; NEWTON; MCBEATH, 1996).

Basicamente, existem três mecanismos adaptativos de resistência à seca: fuga ou escape à seca (fuga ou escape do fator de estresse), adiamento da desidratação dos tecidos (essas plantas evitam ou retardam a desidratação dos tecidos) e tolerância à desidratação (tolerância protoplasmática a baixos níveis de potencial hídrico nos tecidos) (PRISCO; GOMES FILHO, 1990).

Existe uma variabilidade muito grande no grau de tolerância à falta d'água entre espécies (que pode ser visto pelo valor do Ψ_a letal para as plantas), e mesmo dentro de uma espécie, entre variedades. Desse modo, o estágio de desenvolvimento da planta em que ocorre o estresse hídrico também é crítico para a produtividade agrícola (KRAMER; BOYER, 1995).

Variáveis utilizadas para avaliar o estado hídrico da cultura

Temperatura foliar

Para Taiz; Zeiger (2004), a temperatura foliar é utilizada como indicador do grau de déficit hídrico da planta. Assim sendo, quando o déficit de água no solo provoca o fechamento dos estômatos, a radiação interceptada pela folha pode promover um aquecimento foliar, de modo que chegue a níveis prejudiciais ao metabolismo da planta.

As taxas de transpiração de diferentes folhas de uma mesma planta dependem, em grande parte, das diferenças apreciáveis entre seus incrementos de temperatura, dos diferentes ângulos de exposição à radiação solar e posição de inserção na planta (periférica ou central).

A transpiração das plantas é um componente do balanço de energia que determina a temperatura foliar, de acordo com fatores anatômicos das folhas (dimensões, pigmentação e massa), fatores do ambiente (radiação solar, velocidade do ar, temperatura e umidade relativa do ar) e fatores biológicos que determinam o número e a distribuição dos estômatos (MONTEITH; UNSWORTH, 1990; LEUZINGER et al., 2010).

À medida que a água se torna fator limitante, a transpiração é reduzida, ocorrendo o aumento da temperatura foliar pela absorção da radiação solar incidente (EMEKLI et al., 2007; GONTIA; TIWARI, 2008; WANG; GARTUNG, 2010).

Diversos índices de estresse hídrico foram desenvolvidos e continuam sendo aprimorados a partir do conhecimento da resposta das plantas ao potencial de água no sistema radicular, a partir de medições e/ou estimativas de transpiração e temperatura foliar.

Conforme Testi et al. (2008); Lebourgeois et al. (2010), diversos índices fazem uso da diferença entre a temperatura da cultura (t_c) e temperatura do ar (t_a) como base para a estimativa da severidade do estresse hídrico.

Grau de turgescência das plantas

À medida que a água se torna fator limitante, a transpiração é reduzida, ocorrendo o aumento De acordo Kramer (1988), o status da água na planta pode ser melhor estudado tanto em termos de conteúdo de água ou turgor celular quanto em termos da energia livre ou potencial da água, sendo algumas características desejáveis de um método para mensuração do status da água.

Um estresse moderado de falta de água através de ajustamento osmótico, que possibilita a manutenção da turgescência celular e conseqüentemente o crescimento em potenciais de água foliares mais baixos.

A manutenção da turgescência é obtida pela diminuição do potencial osmótico resultante do acúmulo de diferentes solutos no citoplasma.

O ajustamento osmótico, é responsável por permitir a manutenção da turgescência, crescimento e fotossíntese, sob baixos valores de potencial hídrico de folha (MORGAN, 1984). Não obstante, Munns (1988) afirma que o ajustamento osmótico por si só não promove o crescimento, pois a turgescência gerada com o ajuste osmótico, não é o único fator de controle do crescimento.

Resistência estomática

As células guardas funcionam como uma válvula hidráulica. Os fatores ambientais como: a intensidade e qualidade de luz, temperatura, velocidade do vento, umidade do solo, umidade relativa do ar e concentração interna de CO₂, são sentidos por estas células e, estes sinais, são integrados em uma resposta estomática bem definida.

A resistência estomática de folhas iluminadas depende da temperatura do ar, do déficit de pressão do vapor d'água (DPV), da concentração de CO₂ e do potencial da água no solo, e, por isso, exige uma seleção adequada dos dados de campo que devem ser analisados (JARVIS, 1976).

A força determinante da perda de água por transpiração é a diferença na concentração de vapor (C_{wv}) entre a folha e o ar. Em muitos casos, utiliza-se a pressão de

vapor medida em quilopascal (kPa), a qual é proporcional à concentração de vapor d'água. Nestes casos, a diferença de pressão de vapor é chamada de déficit de pressão de vapor de água.

A concentração de vapor de água (C_{wv}), a pressão de vapor de água (e), a umidade relativa (RH) e o potencial hídrico estão intimamente relacionados.

A resistência associada à difusão através dos estômatos, a resistência estomática (r_s). A segunda resistência está associada a uma camada de ar saturado e não sujeito a turbulências que surge na interface da folha. Esta camada é conhecida como camada limítrofe e, por conseguinte, diz-se a resistência da camada de ar limítrofe (r_b).

Potencial de água nas folhas

De acordo com Taiz; Zeiger (2004), medidas do potencial da água na folha têm-se apresentado como importantes instrumentos para quantificação do estresse hídrico a que os vegetais são submetidos, e ainda permite observar e determinar a resistência ao transporte de água no sistema solo-planta.

Parte do sistema solo-planta está localizada a principal resistência ao fluxo na fase líquida. Partindo desse pressuposto, essa medida de potencial de água na folha é importante para a determinação do estado hídrico da planta, podendo variar valores próximos de zero, quando as plantas se apresentam sem déficit, a valores bem negativos (-3 MPa a -4,5 MPa), quando estas se apresentam em déficit severo (KRAMER; BOYER, 1995).

Kramer (1995), o estado energético da água na planta resulta da interação da demanda evaporativa atmosférica com o potencial de água no solo, densidade e distribuição do sistema radicular e processos fisiológicos.

Dessa forma, Nogueira et al. (1998) encontraram variações nos valores do potencial hídrico foliar em três espécies ocorrentes em áreas de caatinga, sugerindo que as diferenças quantitativas são influenciadas pelas adaptações morfológicas peculiares a cada espécie.

O status hídrico das plantas usualmente é descrito em termos de potencial da água, porque ele é fisicamente definido e permite que experimentos sejam facilmente repetidos. Também, a água move-se através do sistema solo-planta, por causa do potencial da água ou por forças incluídas no potencial da água.

Conforme Sinclair; Ludlow (1985) relatam que o conteúdo relativo da água deveria ser usado ao invés do potencial, pois ele é melhor correlacionado com processos fisiológicos. As diminuições do conteúdo da água na célula podem concentrar constituintes celulares e provavelmente causa mudanças na atividade enzimática.

Contudo, o conteúdo de água frequentemente falha como um indicador do status da água na planta. Itier et al. (1996) encontraram boa relação entre a evapotranspiração relativa (razão da evapotranspiração real e a evapotranspiração máxima) de culturas e o potencial da água foliar no pré-amanhecer, que parece ser dependente das características do solo e estágio fenológico, portanto, o tratamento termodinâmico é interessante para o manejo da irrigação, tendo como exemplo de averiguação do status da água na planta para fins de manejo da agricultura irrigada.

Oliveira; Oliveira; Borges; Castro (2009) avaliaram o comportamento fisiológico de diferentes cultivares de café, submetidos às diferentes disponibilidades de água no solo, para as condições edafoclimáticas da região de Goiânia-GO e verificaram que houve uma

dependência entre o potencial hídrico das folhas dos cultivares de cafeeiros avaliados, com o potencial matricial do solo nos diferentes manejos de irrigação.

Ronchi et al. (2015) avaliaram o potencial hídrico foliar no pré amanhecer nas cultivares Catuaí Vermelho IAC 144 e Bourbon Amarelo J9 submetidas a tratamentos não irrigado, irrigado continuamente e com diferentes períodos de suspensão da irrigação e observaram que o tratamento não irrigado proporcionou o déficit hídrico mais intenso, com valores mínimos de potencial de água na folha de - 0,59 e -0,82 MPa, para as cultivares Catuaí Vermelho IAC 144 e Bourbon Amarelo J9, respectivamente.

Câmara de Schollander

A pressurização deve ser lenta evitando-se a perda de água após a coleta da folha, colocando-a em saco de plástico. Assim sendo, o tempo entre a retirada da folha e a medição deve ser o menor possível. A determinação do ponto de equilíbrio, isto é, quando a seiva inicia a saída do xilema é, por vezes, difícil de ser feita, e depende do tipo de planta, o que pode induzir a erros (BENNETT, 1990). A utilização de lupa e iluminação eficiente auxilia esta determinação, diminuindo a incidência de erros de leitura.

Métodos e exemplos práticos

Método de Determinação do Fluxo de Seiva

Este método só permite conhecer um dos componentes da ET, a transpiração, mas permitem acompanhar, a uma escala temporal fina, o funcionamento hídrico das plantas no seu meio ambiente natural e em condições não perturbadas, durante períodos prolongados, de dias a meses. Quando comparados aos métodos micrometeorológicos, apresentam como vantagem a possibilidade de serem aplicados desde o ramo até a planta inteira e de não requererem parcelas uniformes.

As técnicas que envolvem a medida de fluxo de seiva têm sido aplicadas em estudos de relações hídricas em espécies arbóreas. O fluxo que passa por um determinado segmento do caule pode ser medido diretamente utilizando-se de métodos térmicos relativamente simples, cuja determinação se baseia no aquecimento da corrente de seiva e no acompanhamento da transferência de calor pela mesma.

Tendo em vista a dificuldade de se quantificar o consumo de água individual de plantas perenes, têm surgido métodos para estimativa do fluxo de seiva baseados em fornecimento de calor ao caule, o qual é relacionado diretamente com a transpiração. Dentre os métodos tem-se: o método de dissipação do calor, vulgarmente referido como método de Granier (1985), o método de balanço de calor do tronco (Valancogne; Nasr, 1989) e o método de velocidade de impulsos de calor (COHEN et al., 1981; COHEN, 1994).

Teixeira; Vellame; Sobrinho (2017) com objetivo de avaliar o método da sonda de dissipação térmica (SDT) ou método de Granier na estimativa do fluxo de seiva em mulungu (*Erithryna vetulna* Willd.), relatam que os resultados demonstram que o fluxo de seiva estimado pela equação de Granier subestima quando comparados aos valores de transpiração sendo necessária calibração.

De acordo com Sérvulo (2016), o Mogno Africano transpirou entre 0,20 e 2,91 L m⁻² de folha dia⁻¹, com média de 1,15 L m⁻² de folha dia⁻¹.

Foi observado por Figueiredo et al. (2014) menor transpiração em plantas jovens de eucalipto submetidas à deformações radiculares aliada à menor condutância estomática. Trabalhos realizados para cafeeiro (Marin, 2003), limoeiro “Tahiti” (Delgado-Rojas et al.

2007), Nim Indiano (Seixas, 2009), mangueira (Vellame et al., 2009), pereira japonesa (Sugiura et al. 2009), e laranjeira “Valência” (Coelho et al. 2012) apontam a viabilidade da medida de fluxo de seiva como estimativa da transpiração.

IRGA (Infra Red Gás Analyser)

São os equipamentos mais utilizados atualmente para a medição das trocas gasosas de plantas. Eles permitem a medição das taxas de fotossíntese, transpiração, condutância estomática, temperatura foliar, concentrações interna e externa de CO₂, etc. São equipamentos transportáveis, que podem ser utilizados tanto no campo como no laboratório. Os modelos mais recentes apresentam tecnologia, sendo que informações sobre diversos modelos podem ser vistos nos sites dos principais fabricantes (Li-COR, ADC, Campbell Scientific).

Termometria por infravermelho

Conforme Campbell; Norman (1998) é uma técnica na qual se utiliza radiômetros que medem a energia na faixa do infravermelho para estimar a temperatura nesta faixa de radiação.

Através da termometria por infravermelho pode-se obter a temperatura do dossel vegetativo sem que haja contato com a folha da planta. O desenvolvimento de termômetros a infravermelho portáteis e de baixo custo, no início dos anos 70, permitiu o aumento das pesquisas sobre o uso de sensores remotos para a medição da temperatura do dossel vegetativo e sobre a detecção de ocorrência de estresse hídrico (GARCIA et al., 2000).

Dentre as vantagens da termometria por infravermelho estão a relativa facilidade de uso, a rapidez nas medições e o fato de ser um método não destrutivo.

De acordo com Kirkhan (2014) para a determinação da temperatura do dossel das plantas com termômetros a infravermelho alguns procedimentos devem ser analisados, como a limpeza da lente do sensor a infravermelho, a calibração regular, a escolha correta da emissividade do objeto e o posicionamento do sensor em relação à superfície a ser medida.

Dentre os equipamentos que podem ser utilizados na medição da temperatura da folha, estão o canhão portátil infravermelho e as câmeras térmicas, que possuem sensores de captação de energia em forma de raios infravermelhos, a qual é emitida pela superfície de um objeto e pode variar em função da temperatura do mesmo.

Assim sendo, as câmeras térmicas foram desenvolvidas a partir de tecnologias utilizadas em equipamentos militares, e com o barateamento da tecnologia, essa passou a ser utilizada em diversos campos de pesquisa, destacando-se o setor agrícola, por apresentar rápida resposta, aliada a facilidade de operação.

Todos os corpos com temperatura acima de zero absoluto emitem radiação térmica, e a intensidade da emissão de energia depende somente da temperatura e da natureza da superfície emitente (GADE; MOESLUND, 2014).

Dentre as técnicas utilizadas para monitorar o estresse de água das plantas, a temperatura foliar é um método indireto fundamentado na hipótese de que a transpiração resfria as folhas em relação ao ar adjacente. À medida que a água torna-se limitante, a transpiração é reduzida e, em consequência, ocorre aumento da temperatura foliar pela absorção da radiação solar incidente (JACKSON; KUSTAS; CHOUDHURY, 1988).

Nas mesmas condições ambientais, uma planta sob condições de estresse hídrico apresenta temperatura foliar superior quando comparada à cultivada sob condições plenas de disponibilidade hídrica (TESTI et al., 2008).

Iaffe et al. (2003) avaliaram a aplicação da termometria a infravermelho como indicativo da recuperação do potencial hídrico (medido com a câmara de pressão de Scholander) da folhagem de cafeeiros irrigados e não irrigados durante a floração na cidade de Garça-SP e obtiveram resultados que mostraram que a diferença de temperatura da folhagem e do ar diferenciou as parcelas segundo seu déficit hídrico.

Fernandes (2010) utilizando um termômetro infravermelho portátil realizou leituras diárias de temperatura da cobertura vegetal da cultura do feijoeiro submetida a quatro regimes de dotação hídrica, a fim de se calcular o índice de estresse hídrico diário. Concluiu que a cultura estressada apresentou sempre maiores diferenças entre a temperatura da folha e a temperatura do ar quando comparadas as não estressadas.

Costa (2012) avaliou a utilização da termometria por infravermelho como indicador do estresse hídrico na cultura do feijão-caupi, a partir da diferença entre a temperatura do dossel vegetativo da cultura e a temperatura do ar, realizando ensaio em casa de vegetação e observou que a termometria por infravermelho pode ser utilizada na cultura do feijão-caupi para estimar indiretamente a disponibilidade hídrica no solo.

CONCLUSÕES

Com base nos resultados analisados da literatura sobre o tema deste trabalho, é possível inferir que, a tolerância das plantas ao déficit hídrico torna-se um grande mecanismo de resistência com o intuito de manter o processo produtivo em condições de baixa disponibilidade de água às plantas. Dessa forma, ressalta-se a importância de estudos sobre os métodos e exemplos práticos utilizados no uso de potenciais da água na planta para fins do correto manejo da irrigação.

AGRADECIMENTOS

Ao Grupo de Pesquisa cadastrado no Conselho Nacional de Pesquisa e Desenvolvimento Tecnológico (CNPq) em Alimentos, Química, Agronomia e Recursos Hídricos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALONSO A, QUEIROZ CS, MAGALHÃES AC (1997). Chilling stress leads to increased cell membrane rigidity in roots of coffee (*Coffea arabica* L.) seedlings. **Biochim. Biophys. Acta** 1323:75-84.

ANDRADE, F. H.; SANDRAS, V. O. **Bases para el Manejo del Maíz, el Girasol y la Soja**. 3 ed. Balcarce: INTA, 2009.

ANGELOPOULOS K, DICHIO B, XILOYANNIS C (1996). Inhibition of photosynthesis in olive trees (*Olea europaea* L.) during water stress and rewatering. **J. Exp. Bot.** 47:1093-1100.

AROCA, R.; PORCEL, R.; RUIZ-LOZANO, J. M. Regulation of root water uptake under abiotic stress conditions. **Journal of Experimental Botany**, v. 63, n. 1, p. 43-57, 2012.

ASCH, F. et al. Drought-induced changes in rooting patterns and assimilate partitioning between root and shoot in upland rice. **Field Crops Research, Amsterdam**, v. 93, n. 2-3, p. 223-236, 2005.

BEGG, J. E.; TURNER, N.C. (1976). **Crop water deficits**. Advances in Agronomy, 28, 161-217.

BENNETT, J.M. Problems associated with measuring plant water status. **HortScience, Alexandria**, v.25, n.12, p.1551-1554, 1990.

BIANCHI A, et al. (2004) Delivery of yeast telomerase to a DNA break depends on the recruitment functions of Cdc13 and Est1. **Mol Cell** 16(1):139-46.

CAMPBELL, G. S.; NORMAN, J. M. **An Introduction to Environmental Physics**. Springer, N. York, 286 p., 1998.

CASTRO, E. M.; PEREIRA, F. J.; PAIVA, R. **Histologia Vegetal: Estrutura e Função de Órgãos Vegetativos**. Lavras: UFLA, 2009. 234 p.

COELHO, R. D.; VELLAME, L. M.; FRAGA JUNIOR, E. F. Estimation of transpiration of the “Valencia” orange young plant using thermal dissipation probe method. **Engenharia Agrícola, Jaboticabal**, v. 32, n. 3, p. 573- 581, 2012.

COHEN, S.; KAPLAN, J.R.; MANUCK, S.B.; (1994). **Social support and coronary heart disease: Underlying psychologic and biologic mechanisms**. In S.A. Shumaker e SM. Social support and cardiovascular disease. (pp. 195-221). New York.

COSTA, J. de O. **Padrões de resposta termal ao déficit hídrico na cultura do café irrigada por gotejamento**. Dissertação de Mestrado – ESAL. 98 p

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

EMEKLI, Y.; BASTUG, R.; BUYUKTAS, D.; EMEKLI, N.Y. Evaluation of a crop water stress index for irrigation scheduling of bermudagrass. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v.90, p.205-212, 2007.

FERNANDES, J.E. Determinação do índice de estresse hídrico em cultura do feijoeiro com termômetro de infravermelho. **Irriga, Botucatu**, v. 15, n.3, p. 248-257, julho-setembro, 2010.

FIGUEIREDO, J.R.M.; ALMEIDA, E.F.A.; FREITAS, G. de F.; REIS, S.N.; LESSA, M.A.; CARVALHO, L.M. de. Desenvolvimento de copo de leite em função da adubação com biofertilizantes. **Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável**, v.4, p.1-5, 2014.

FLEXAS, J.; MEDRANO, H. Drought-inhibition of photosynthesis in C3 plants: stomatal and non-stomatal limitations revisited. **Annals of Botany**, v. 89, n. 2, p. 183-189, 2002.

GADE, R., MOESLUND, T.B., 2014. Thermal cameras and applications: a survey. **Machine Vision and Applications**, 245–262doi:10.1007/s00138- 013-0570-5.

GARCIA, A. **Utilização da temperatura do dossel vegetativo na estimativa de índices de estresse, para a determinação da necessidade hídrica do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L).** Jaboticabal, 2000. 135p. Tese (Doutorado em Ciência do Solo). Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias Universidade Estadual Paulista.

GASCHO, G.J.; SHIH, S.F. **Sugarcane**. In: TEARE, I.D.; PEET, M.M. (Ed.) Crop water relations. New York: John Wiley, 1983. p.445-479.

GEIGER JH, et al. (1996). Crystal structure of the yeast TFIIA/TBP/DNA complex. **Science** 272(5263):830-6.

GONTIA, N.K.; TIWARI, K.N. Development of crop water stress index of wheat crop for scheduling irrigation using infrared thermometry. **Agricultural Water Management, Amsterdam**, v.95, p.1.144-1.152, 2008.

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

GUIMARÃES, C. M.; Stone, L. F.; Brunini, O. Adaptação do feijoeiro comum (*Phaseolus vulgaris* L.) à seca. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.10, p.7075, 2006.

HSIAO, T.C. Plant responses to water stress. **Annual Review of Plant Physiology**, Palo Alto, v.24, p.519- 570, 1973.

IAFFE, A.; PINTO, H.S.; ZULLO JR. J, ASSAD, E.D.; OLIVEIRA, A.; CORAL, G.; Aplicação da termometria a infravermelho como indicativo da recuperação do potencial hídrico de cafeeiros irrigados e não irrigados durante a floração em Garça-SP. **Anais... do III Simpósio e Pesquisa dos Cafés do Brasil**, 3, 2003, Porto SeguroL SBICafé, 2003. p.54.

IANNUCCI, A. et al. Water deficit effects on osmotic adjustment and solute accumulation in leaves of annual clovers. **European Journal of Agronomy**, v. 16, n. 2, p. 111-122, 2002.

ITIER, B. & BRUNET, Y. (1996). **Recent developments and present trends in evaporation research: a partial survey.** In: Camp, C.R., Sadler, E.J. & Yoder, R.E. (ed.) International Conference on evapotranspiration and irrigation scheduling, 3-6 Nov. 1996, San Antonio, Texas, p. 1-20.

JACKSON, R.D., KUSTAS, W.P. and CHOUDHURY, B.P. (1988) A Reexamination of the Crop Water Stress Index. **Irrigation Science**, 9, 309-317. <http://dx.doi.org/10.1007/BF00296705>.

JAMIESON D.G, BRENNAN R.L, CORNELISSE L.E. Evaluation of a speech enhancement strategy with normal-hearing and hearing-impaired listeners. **Ear Hear.** 1995;16:274–286.

JARVIS, P.G. The interpretation of the variations in leaf water potential and stomatal conductance found in canopies in the field. **Philosophical Transactions of the Royal Society of London, Série II**, v.273, p.593-610, 1976.

JONGRUNGKLANG, N. et al. Classification of root distribution patterns and their contributions to yield in peanut genotypes under mid-season drought stress. **Field Crops Research**, v. 127, n. 1, p. 181-190, 2012.

KAMELI, A.; LÖSEL, D. M. Contribution of carbohydrates and other solutes to osmotic adjustment in wheat leaves under water stress. **Journal of Plant Physiology**, v. 145, n. 3, p. 363- 366, 1995.

KIRKHAM, M. B. (2014). **Principles of soil and plant water relations.** Academic Press.

KRAMER, P. J. Measurement of plant water status: historical perspectives and current concerns. **Irrigation Science**, v.9, p.275-287, 1988.

KRAMER, P.K.; BOYER, J.R. (1995). **Water Relations of Plants and Soil.** Academic Press: San Diego.

KUSAKA, M.; LALUSIN, A. G.; FUJIMURA, T. The maintenance of growth and turgor in pearl millet (*Pennisetum glaucum* [L.] Leeke) cultivars with different root structures and osmo-regulation under drought stress. **Plant Science**, v. 168, n. 1, p. 1-14, 2005.

LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal.** São Carlos: Rima, 2000. 531 p.

LEBOURGEOIS, V.; CHOPART, J.L.; BÉGUÉ, A.; Le MÉZO, L. Towards using a thermal infrared index combined with water balance modelling to monitor sugarcane irrigation in a tropical environment. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v.97, p.75-82, 2010.

LEUZINGER, S.; VOGT, R.; KÖRNER, C. Tree surface temperature in an urban environment. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v.150, p.56-62, 2010.

LIU, F.; STÜTZEL, H. Biomass partitioning, specific leaf area, and water use efficiency of vegetable amaranth (*Amaranthus* spp.) in response to drought stress. **Scientia Horticulturae**, v. 102, n. 1, p. 15-27, 2004.

LIZANA, C. et al. Differential adaptation of two varieties of common bean to abiotic stress: I. Effects of drought on yield and photosynthesis. **Journal of Experimental Botany**, v. 57, n. 3, p. 685-697, 2006.

LOPES, B.F.; SETER, T.L.; McDAVID, C.R. Photosynthesis and water vapor exchange of pigeonpea leaves in response to water deficit and recovery. **Crop Science**, Madison, v.28, p.141-145, 1988.

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

MONTEITH, J.; UNSWORTH, M. **Principles of environmental physics**. Londres: Edward Arnold, 1990. 291 p.

MORGAN, J.M. 1984. Osmoregulation and water stress in higher plants. **Annual Review of Plant Physiology**, 35:299-319.

MUNNS, R. 1988. Why measure osmotic adjustment? **Australian Journal of Plant Physiology**, 15:717-726.

NAGASUGA, K. et al. Water condition controls inclination angles of leaflets and petioles of soybean (*Glycine max* L.). **Environmental Control in Biology**, v. 51, n. 2, p. 79-84, 2013.

NASCIMENTO, E. A. et al. Alterações morfofisiológicas em folhas de cafeeiro (*Coffea arabica* L.) consorciado com seringueira (*Hevea brasiliensis* Muell. Arg.). **Ciência Rural**, v. 36, n. 03, p. 852-857, 2006.

NEWTON, A.C.; MCBEATH, C.; (1996) The impact of desiccation on chlorophyll fluorescence in detached leaves of six tropical tree species. **Photosynthetica**, 32:491-501.

NOGUEIRA, R. J. M. C.; SANTOS, R. C.; BEZERRA NETO, E. & SANTOS, V. F. 1998d. Comportamento fisiológico de duas cultivares de amendoim submetidas a diferentes regimes hídricos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira** 33(12):1963-1969.

OLIVEIRA, R. Z.; OLIVEIRA, L. F. C. ; BORGES, L. B.; CASTRO, T. de A. P.; Comportamento fisiológico de cafeeiros submetidos a diferentes disponibilidades de água no solo. **Biosci. J.**, Uberlândia, v. 25, n. 3, p. 83-91, May/June. 2009.

OREN, A. & A. **Ventosa**, 1999. In memoriam – Benjamin Elazari Volcani. *Int. J. Salt Lake Res.* 8: 3–6.

OREN, A., P. GUREVICH, R. T. GEMMELL & A. TESKE, 1995. *Halobaculum gomorense* gen. nov., sp. nov., a novel extremely halophilic Archaeon from the Dead Sea. *Int. J. Syst. Bacteriol.* 45: 747–754.

OYA, T.; NEPOMUCENO, A.L.; NEUMAIER, N.; FARIAS, J.R.B.; TOBITA, S.; ITO, O. Drought tolerance characteristics of Brazilian soybean cultivars – evaluation and characterization of drought tolerance of various Brazilian soybean cultivars in the field. *Plant Production Science*, v.7, p.129-137, 2004.

PÁEZ, A.; GONZÁLES, M.E.; YRAUSQUÍN, O.X. Water stress and clipping management effects on guinea grass: I. Growth and biomass allocation. *Agronomy Journal, Madison*, v.87, p.698-706, 1995.

PINHEIRO, H. A. et al. Drought tolerance is associated with rooting depth and stomatal control of water use in clones of *Coffea canephora*. *Annals of Botany*, v. 96, n. 01, p. 101108, 2005.

PRISCO, J. T. & GOMES FILHO, E. **Fisiologia e bioquímica do estresse salino em plantas**. In: GHEYI, H. R.; DIAS, N. S.; LACERDA, C. F. Manejo da salinidade na agricultura. Fortaleza, INCT Sal, 2010. p. 472.

RAMIRO, D. A. et al. Anatomical characterization of leaves from coffee plants resistant and susceptible to leaf miner. *Bragantia*, v. 63, n. 03, p. 363-367, 2004.

RONCHI, C.P.; ARAUJO, F. C. ; ALMEIDA, W. L. ; SILVA, M. A. A. ; MAGALHAES, C. E. O. ; OLIVEIRA, L. B. ; DRUMOND, L. C. D. Respostas ecofisiológicas de cafeeiros submetidos ao deficit hídrico para concentração da florada no Cerrado de Minas Gerais. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* (Online), v. 50, p. 24-32, 2015.

SADRAS, V. O.; MILROY, S. P. Soil-water thresholds for the responses of leaf expansion and gas exchange: A review. *Field Crops Research*, v. 47, n. 2–3, p. 253-266, 1996.

SAINT PIERRE, C. et al. Phenotyping transgenic wheat for drought resistance. *Journal of Experimental Botany*, v. 63, n. 5, p. 1799-1808, 2012.

SANTOS, R.F.; CARLESSO, R. Déficit hídrico e os processos morfológico e fisiológico das plantas. *R. Bras. Eng. Agric. Amb.*, 2:287-294, 1998.

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

SÉRVULO, A. C. O. **Método de Granier e Transpiração do Mogno Africano.** Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Goiás, Escola de Agronomia (EA), Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Goiânia, 2016. 89p.

SILVA, L. M.; ALQUINI, Y.; CAVALLET, V. J. Interrelações entre a anatomia vegetal e a produção vegetal. **Acta Botânica Brasilica**, v. 19, n. 01, p. 183-194, 2005.

SILVA, T. T.; VELLAME, L. M.; LOPES SOBRINHO, O. P.; 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**, 2017.

SINCLAIR, T.R. & LUDLOW, M.M. Influence of soil water supply on the plant water balance of four tropical grain legumes. **Aust. J. Plant Physiol.**, 13:319-340, 1986.

SOUZA, T.T., BIANCHINI, V. J.M. B., VIANNA, M .S., MARIN, F.R. Atmosphere plant-coupling scheme in corn harvest in two times. **Revista Brasileira de Geografia Física** v.10, n.04 (2017) 1134-1142.

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**, Leuven, v. 46, n. 1, p. 121-126, 2009.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 3. Ed. Porto Alegre: Artmed, p. 719, 2004.

TESTI, L.; GOLDHAMER, D.A.; INIESTA, F. Crop water stress index is a sensitive water stress indicator in pistachio trees. **Irrigation Science**, New York, v.26, p.395-405, 2008.

TRENTIN, R. 2010. **Estimativa de um índice de estresse hídrico para a cultura da cana-de-açúcar com base na temperatura foliar.** Dissertação de Mestrado em Meteorologia. UFV-Viçosa.

TURNER, N.C. 1986. Adaptation to water deficits: A changing perspective. **Australian Journal of Plant. Physiology** 13:175-190.

VALANCOGNE, C.; AMEGLIO, T.; ANGELOCCI, L.R. et al. **Evaluation of transpiration of apple trees and measurements of daily course of water flow within the main branches of walnut trees.** In: BORGETTI, M. et al. Water transport in plants under climatic stresses. Cambridge: Univ. Cambridge Press, 1993. p.218-227.

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

WALKER, D. A. and W. ACEVEDO. 1987. **Vegetation and a Landsat-derived land cover map of the Beechey Point Quadrangle, Arctic Coastal Plain, Alaska**. CRREL Report 875.

WANG, D.; GARTUNG, J. Infrared canopy temperature of early-ripening peach trees under postharvest deficit irrigation. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v.97, p.1.787-1.794, 2010.

WHITE, J. W.; MCMASTER, G. S.; EDMEADES, G. O. Physiology, genomics and crop response to global change. **Field Crops Research**, v. 90, n. 1, p. 1-3, 2004.

WU, Y.; COSGROVE, D. J. Adaptation of roots to low water potentials by changes in cell wall extensibility and cell wall proteins. **Journal of Experimental Botany**, v. 51, n. 350, p. 1543-1553, 2000.

YATAPANAGE, K.G. and So, H.B. (2001). The relationship between leaf water potential and stem diameter in Sorghum. **Agronomy Journal**, 93: 1341 – 1343.