

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

**CRITÉRIOS PARA O MANEJO DA IRRIGAÇÃO VIA SOLO  
NO CULTIVO DE MARACUJAZEIRO**

**Fabio Tayrone Oliveira de Freitas**

**CRUZ DAS ALMAS – BAHIA  
2019**

# **CRITÉRIOS PARA O MANEJO DA IRRIGAÇÃO VIA SOLO NO CULTIVO DE MARACUJAZEIRO**

**Fabio Tayrone Oliveira de Freitas**  
Engenheiro Agrônomo  
Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, 2017

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

**Orientador:** Prof. Dr. Alisson Jadavi Pereira da Silva

**CRUZ DAS ALMAS – BAHIA  
2019**

## FICHA CATALOGRÁFICA

F866c

Freitas, Fabio Tayrone Oliveira de.

Crítérios para o manejo da irrigação via solo no cultivo de Maracujazeiro / Fabio Tayrone Oliveira de Freitas . - Cruz das Almas, BA, 2019.

72. ; il.

Orientador: Prof. Dr. Alisson Jadavi Pereira da Silva

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Centro de Ciências Agrária, Ambientais e Biológicas, Mestre em Engenharia Agrícola.

1. Cultura do Maracujá. 2. Irrigação - Critérios 3. Maracujá - Solo . I. Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Centro de Ciências Agrária, Ambientais e Biológicas. II. Título.

CDD: 634.425

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

**CRITÉRIOS PARA O MANEJO DA IRRIGAÇÃO VIA SOLO NO  
CULTIVO DE MARACUJAZEIRO**

Comissão Examinadora da Defesa de Dissertação de  
Fabio Tayrone Oliveira de Freitas

Aprovada em: 25 de Fevereiro de 2019

---

Prof. Dr. Alisson Jadavi Pereira da Silva  
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Baiano  
(Orientador)

---

Prof. Dr. Maurício Antônio Coelho Filho  
Embrapa  
(Examinador interno)

---

Dra. Alide Mitsue Watanabe Cova  
PNPD/UFRB  
(Examinador externo)

## **DEDICATÓRIA**

Dedico esse trabalho aos meus pais Amilton Lopes de Freitas e Jaidê Oliveira de Freitas, e aos meus irmãos Jandson Fahel Oliveira de Freitas e João Felipe Oliveira de Freitas.

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus, por ter me dado saúde, paz, oportunidades de aprendizagem e entre outras coisas. Também agradeço aos meus pais, Jaide Oliveira de Freitas e Amilton Lopes de Freitas, pelos sacrifícios e esforços para me manterem financeiramente durante a graduação, e também pelos incentivos desde cedo, tendo consequência direta nas minhas conquistas.

Agradeço a equipe técnica e funcionários do Núcleo de Engenharia de água e solo (NEAS), preferencialmente, Edilson (popularmente conhecido como Boi). Agradeço aos meus colegas e amigos que colaboraram com o meu crescimento acadêmico e pessoal, que me ajudaram na realização de pesquisas e obtenção de dados, sendo eles: Francisco Aidersson, Ubirani, Evellyn Freire, Diego Magalhães, Beatriz Simas, Mairton, Ancelmo, Benedito, Lúcio, Alisson Amaral.

Agradeço também aos Professores Tales Miler Soares, Lucas Velame, Áureo, Eugênio Ferreira Coelho e Mauricio.

Agradeço muito também ao professor Alisson Jadavi, pelo bom exemplo como orientador e pessoa, contribuindo bastante para minha formação pessoal e acadêmica.

Agradeço ao Núcleo de Engenharia de Água e solo (NEAS/UFRB) e ao Programa de Pós-Graduação de Engenharia Agrícola (UFRB); A CAPES pela concessão da bolsa de estudo; E a FAPESB pelo apoio financeiro em equipamentos e infraestrutura para a elaboração da pesquisa científica.

Cordialmente,

Fabio Tayrone Oliveira de Freitas

## CRITÉRIOS PARA O MANEJO DA IRRIGAÇÃO VIA SOLO NO CULTIVO DE MARACUJAZEIRO

**RESUMO:** Na adoção do manejo de irrigação via solo, definir onde e quantos sensores instalar, bem como qual limite crítico de potencial de água no solo adotar, são dúvidas que persistem. O presente trabalho teve como objetivo: i) aplicar o conceito *Time Stable Representative Position* (TSRP) no maracujazeiro amarelo cultivado em lisímetro de pesagem para definição do posicionamento e da quantidade ideal de sensores a ser utilizado no manejo de irrigação, considerando diferentes condições de contorno (zona radicular e do bulbo molhado) e escalas temporais de obtenção de dados de conteúdo de água no solo; ii) avaliar o crescimento, o rendimento e a eficiência do uso da água, na cultura do maracujazeiro *Passifloraceae edulis* S., irrigada por gotejamento com base em diferentes limites críticos de potencial de água no solo. Cultivou-se maracujazeiro amarelo irrigado por gotejamento em casa de vegetação e submetido a duas faixas de potencial de água no solo adotadas no manejo de irrigação, quais sejam: (i) faixa 1, potencial de água no solo variando entre - 0,1 e - 0,4 atm; (ii) faixa 2, potencial de água no solo variando entre - 0,2 e - 0,6 atm. As propriedades hidráulicas do solo foram obtidas por modelagem inversa. O potencial de água no solo foi monitorado durante 22 dias em intervalos de 20 minutos nas profundidades de 0,1, 0,2, 0,3 e 0,4 m, distanciadas das plantas em 0,1, 0,25, 0,4 e 0,55 m, totalizando 16 pontos de monitoramento em um perfil bidimensional. Verificou-se que o conceito TSRP, quando aplicado ao bulbo molhado apresenta resultados distinto da aplicação realizada na zona radicular da cultura. Além disso, varia dentro de um estágio fenológico da cultura. Com base nos valores de  $ET_c$  obtidos em lisímetro de pesagem, verificou-se que a TSRP quando definida em cada intervalo de irrigação, proporciona menores erros na determinação da evapotranspiração da cultura, quando comparado com um único TSRP adotado para o estágio fenológico da cultura. Na investigação dos efeitos das duas estratégias de manejo de irrigação sobre as variáveis de crescimento do maracujazeiro, verificou-se que a área foliar e o número de folhas por planta não são afetadas pelas diferentes faixas de potencial de água no solo. A faixa de potencial de água no solo em que as plantas de maracujazeiro foram cultivadas, afetou significativamente a produtividade média por planta e por hectare. A irrigação do maracujazeiro baseado em uma faixa de potencial de -0,1 a - 0,4 atm permite a obtenção de maiores produtividades com a mesma eficiência de uso da água da irrigação realizada com base em uma faixa de potencial de -0,2 a - 0,6 atm.

**Palavras chave:** potencial de água no solo; posicionamento de sensores; eficiência do uso da água.

## SOIL IRRIGATION MANAGEMENT CRITERIA IN PASSION FRUIT CULTIVATION

**ABSTRACT:** When adopting soil irrigation management, to define where and how many sensors to install, as well as what soil water potential critical limit to adopt, are persistent doubts. This paper had as objective: i) to apply the Time Stable Representative Position (TSRP) concept in yellow passion fruit cultivated in a weighing lysimeter to define the positioning and the ideal sensors number to be used in the irrigation management, considering different contour conditions (root zone and wet bulb) and time scales for obtaining soil water content data; ii) to evaluate the growth yield and water use efficiency in the *Passiflora edulis* S. passion fruit culture, irrigated by drip irrigation based on different critical limits of soil water potential. Drip-irrigated yellow passion fruit was cultivated in a greenhouse and submitted to two soil water potential lanes adopted for irrigation management, namely: (i) lane 1, soil water potential ranging from - 0.1 to - 0.4 atm; (ii) lane 2, soil water potential ranging from - 0.2 to - 0.6 atm. The soil hydraulic properties were obtained by inverse modeling. Soil water potential was monitored for 22 days at 20-minute intervals at depths of 0.1, 0.2, 0.3 and 0.4 m, spaced from the plants at 0.1, 0.25, 0.4, and 0.55 m, totaling 16 monitoring points in a two-dimensional profile. It was verified that the TSRP concept, when applied to the wet bulb presents results different from the application performed in the root zone of the culture. In addition, it varies within a culture phenological stage. Based on the  $ET_c$  values obtained in the weighing lysimeter, it was verified that the TSRP when defined in each irrigation interval, provides smaller errors in the crop evapotranspiration determination when compared to a single TSRP adopted for the crop phenological stage. Investigating the effects of the two irrigation management strategies on the passion fruit growth variables, it was verified that the leaf area and the leaves number per plant are not affected by the different ranges of soil water potential. The soil water potential range in which the passion fruit plants were cultivated, significantly affected the average yield per plant and per hectare. The passion fruit irrigation based on a potential range of -0.1 to -0.4 atm allows to obtain higher yields with the same irrigation water use efficiency based on a potential range of -0.2 to -0.6 atm.

**KEYWORDS:** soil water potential; sensors positioning; Water Use Efficiency.

## SUMÁRIO

INTRODUÇÃO GERAL .....	10
REVISÃO DE LITERATURA .....	3
Valor socioeconômico da cultura do maracujazeiro .....	3
Irrigação na cultura do maracujazeiro .....	4
Balanço hídrico .....	4
Manejo da irrigação via solo.....	6
Posicionamento dos sensores de leitura de umidade do solo .....	7
Estabilidade temporal e espacial da distribuição de água no solo .....	9
Método da diferença relativa proposta por Vachaud et al. (1985) .....	11
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	12
<b>CAPÍTULO I.....</b>	<b>19</b>
APLICAÇÃO DO CONCEITO TSRP EM MARACUJAZEIRO CULTIVADO EM LISÍMETRO DE PESAGEM .....	19
RESUMO:.....	20
INTRODUÇÃO.....	22
METODOLOGIA.....	23
RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	33
CONCLUSÕES.....	41
REFERÊNCIAS .....	41
<b>CAPÍTULO II.....</b>	<b>44</b>
LIMITES CRÍTICOS DE POTENCIAL DE ÁGUA NO SOLO PARA O MANEJO DA IRRIGAÇÃO LOCALIZADA DO MARACUJAZEIRO.....	44
RESUMO.....	45
INTRODUÇÃO.....	47
METODOLOGIA.....	48
RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	56
CONCLUSÕES.....	59
REFERÊNCIAS .....	59
CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	64

## INTRODUÇÃO GERAL

O maracujazeiro é uma cultura de clima tropical com ampla distribuição geográfica, estando a mesma em franca expansão (Almeida, 2012). O Brasil é o maior produtor mundial de maracujá amarelo (FAO, 2011), com 61 % aproximadamente, concentrado na Região Nordeste (IBGE, 2017). No entanto, a produtividade média no Brasil é de apenas 13,5 ton ha<sup>-1</sup> (IBGE, 2017), possivelmente devido ao manejo inadequado da cultura, a ausência de agentes polinizadores, ao déficit hídrico e nutricional, pois a cultura possui uma produtividade potencial de até 50 ton ha<sup>-1</sup> ano (Silva e Oliveira, 2000).

Para o potencial desenvolvimento da cultura do maracujazeiro, recomenda-se que as plantas sejam submetidas a potenciais matriciais de -0,06 atm em solos arenosos e superiores a -0,2 atm em solos de textura média a argilosa, considerados como o limite crítico de água no solo, para que não proporcione déficit hídrico a cultura (Staveland e Wolstenholme, 1990). O déficit hídrico pode limitar o desenvolvimento, o crescimento, a produtividade e a qualidade do produto final produzido pela cultura de interesse econômico (Bezerra et al., 1998). No entanto, o déficit hídrico pode proporcionar o aumento da eficiência do uso da água de algumas culturas, como por exemplo, a bananeira (Costa et al., 2012), o trigo (Huang et al., 2005), o milho (Kang et al., 1998) e uva (Du et al., 2008).

Para contornar o efeito do déficit hídrico, pode-se realizar a aplicação de água através de sistemas de irrigação localizada, sendo o de gotejamento o mais recomendado, pois proporciona aplicação mais eficiente de água e nutrientes (Sousa et al., 2001). Para a utilização eficaz desses sistemas de irrigação, faz-se necessário o manejo da irrigação. O manejo da irrigação consiste na aplicação de água no cultivo em quantidade previamente determinada e no momento correto.

Um dos métodos utilizados para realizar o manejo da irrigação é o do balanço de água no solo, que consiste no monitoramento das entradas e saídas de água no sistema solo planta atmosfera, utilizado com maior frequência em pesquisas experimentais. Em campo, o manejo da irrigação normalmente é realizado a partir de turno de rega fixo, por meio de estimativas de evapotranspiração utilizando o tanque classe A ou estações meteorológicas, e via solo, utilizando instrumentos que possibilitam a determinação do conteúdo de água no solo (Albuquerque, 2008). Geralmente, no manejo de irrigação via solo, a determinação do momento de irrigar é

baseada no potencial ou umidade crítica do solo para a cultura e/ou no fator de depleção de água no solo “f” (Albuquerque, 2008).

O monitoramento da variação do conteúdo de água no solo, pode ser realizado através de instrumentos como: tensiômetro, sondas de nêutrons, Reflectometria no Domínio do Tempo (TDR), Reflectometria no Domínio da Frequência (FDR), tomografia computadorizada, sonda enviroscan e entre outras (Ledieu et al., 1986; Soares et al., 2010).

Na utilização desses instrumentos, algumas dúvidas são recorrentes: (i) quantos sensores instalar? (ii) onde instalar os sensores? (iii) qual limite crítico ou fator de depleção de água no solo adotar? Para a cultura do maracujazeiro, por exemplo, estas dúvidas precisam ser respondidas. Pois, trata-se de uma cultura de destaque socioeconômico no Brasil, sobretudo o Nordeste do país, região onde a irrigação é imperativa.

Estudos recentes têm determinado o número e posicionamento ótimo de sensores com base no conhecimento da estabilidade temporal e espacial do conteúdo de água no solo (Silva et al., 2018; Soulis e Elmaloglou, 2018; Soulis et al., 2015).

Esses locais específicos no solo, que apresentam estabilidade temporal e representam o teor médio de água na zona radicular foram definidos como posições representativas estáveis no tempo (TSRP = Time Stable Representative Positions) por Soulis e Elmaloglou (2016). O conceito de TSRP foi aperfeiçoado por Silva et al. (2019) e pode ser uma das alternativas viáveis para reduzir o número de sensores necessários para o monitoramento da umidade do solo (Soulis e Elmaloglou, 2018).

Para a determinação da estabilidade temporal de umidade do solo, alguns autores têm usado em seus estudos, parâmetros estatísticos, como por exemplo, a diferença relativa proposta por Vachaud et al. (1985), utilizada por Silva et al. (2018); Li e Shao (2014); e Hu et al. (2010).

Diante do exposto, o presente trabalho teve os objetivos de: i) aplicar o conceito TSRP para a definição do posicionamento e da quantidade ideal de sensores na zona radicular do maracujazeiro irrigado por gotejamento, considerando diferentes condições de contorno e escalas temporais de obtenção de dados de conteúdo de água no solo; ii) avaliar o crescimento, o rendimento e a eficiência do uso da água, na cultura do maracujazeiro *Passifloraceae edulis* S., irrigado com base em diferentes limites críticos de potencial de água no solo.

## REVISÃO DE LITERATURA

### Valor socioeconômico da cultura do maracujazeiro

O maracujazeiro é uma planta de clima tropical com ampla distribuição geográfica. A cultura do maracujazeiro está em franca expansão tanto para a produção de frutas para consumo "in natura" como para a produção de suco (Almeida, 2012).

Dentre as frutíferas cultivadas no território brasileiro, a cultura do maracujazeiro é uma boa opção agrícola, pois a mesma oferece rápido retorno econômico, quando comparado à maioria das frutíferas tropicais que levam alguns anos para iniciar a fase produtiva ou de colheita de frutos (Collard et al., 2008). Ainda conforme os autores, quando a cultura é bem manejada (escolha da época de plantio, adubação, e entre outros), pode iniciar a produção a partir do sexto mês de plantio.

O maracujá amarelo ou azedo, como é conhecido popularmente pelas pessoas que o consomem, é uma das frutas mais consumidas em forma de suco, e teve seu valor comercial descoberto por volta de 1960, quando teve os primeiros pomares implantados no estado de São Paulo (Meletti, 2011). O autor ainda relata que o País possui um alto potencial produtivo, visto que é o maior produtor mundial de maracujá amarelo há mais de duas décadas.

Pimentel et al. (2009) relataram que as áreas cultivadas têm aumentado nos últimos anos e que a produção interna de maracujá ainda é inferior a demanda da fruta. Esses autores explicaram que dentre os fatores que atraem os investimentos dos agricultores na cultura do maracujazeiro, são o aumento do consumo interno da fruta "in natura" e a produção de suco pelas agroindústrias.

Dentre as variedades disponíveis para o cultivo comercial, a maioria apresenta alto potencial de produção, em torno de 50 toneladas por hectare ano<sup>-1</sup> (Silva e Oliveira, 2000), porém a produtividade média no Brasil é de aproximadamente 13,5 toneladas por hectare ano<sup>-1</sup> (IBGE, 2017), podendo ser em consequência do manejo inadequado da cultura, a ausência de agentes polinizadores, ao déficit hídrico e a adubação incorreta (Silva e Oliveira, 2000).

No Brasil, o estado do Distrito Federal detém a maior produtividade nacional, com aproximadamente 34,6 ton ha<sup>-1</sup>, no entanto existem estados, como por exemplo, Maranhão e Tocantins, que produzem apenas 6,1 e 7,97 ton ha<sup>-1</sup>, respectivamente.

Porém, o estado da Bahia é o maior produtor, com produtividade média de 10,5 ton ha<sup>-1</sup>, em uma área aproximada de 16284 hectares (IBGE, 2017).

### **Irrigação na cultura do maracujazeiro**

Na cultura do maracujazeiro, a irrigação tem sido realizada pelos métodos de irrigação localizada, superfície e aspersão. No entanto, quando realizada por aspersão, deve-se atentar ao horário de abertura e polinização das flores, pois os estigmas devem permanecer secos por pelo menos duas horas após a sua polinização (Sousa et al., 2004).

Os sistemas de irrigação mais utilizado na cultura do maracujazeiro tem sido por gotejamento e microaspersão (Sousa et al., 2004). No entanto, visando o melhor aproveitamento de água pela cultura, os autores recomendam o sistema de irrigação por gotejamento, pois o mesmo proporciona a aplicação de água e nutrientes junto ao sistema radicular da cultura, diferentemente do sistema por microaspersão, que pode irrigar áreas não ocupada pelo sistema radicular da cultura de interesse econômico.

A irrigação do maracujazeiro é fundamental em regiões subúmidas e semiáridas, pois é uma das alternativas de fornecimento de água em períodos de estiagem prolongadas, e conseqüentemente, tornando-se possível o prolongamento do período de produção, aumento da produtividade e a produção no período de entressafra (Sousa et al., 2004). Carvalho et al. (2000), ao avaliar diferentes lâminas de irrigação e dosagens de nitrogênio na cultura do maracujazeiro, verificaram que as lâminas de irrigação afetaram significativamente o rendimento e o peso médio dos frutos, obtendo-se uma produtividade máxima de 35,5 t ha<sup>-1</sup>, quando aplicado aproximadamente 72 % da evapotranspiração de referência. Comportamento semelhante foi reportado por Sousa et al. (2003), que ao submeterem plantas de maracujazeiro a diferentes lâminas de irrigação e dosagens de potássio, observaram efeito significativo das lâminas de irrigação sobre o rendimento da cultura.

### **Balanço hídrico**

Para a obtenção do máximo potencial produtivo de determinada cultura, é necessário oferecer condições edafoclimáticas favoráveis para o seu desenvolvimento. Em relação as condições climáticas, mais precisamente em relação à disponibilidade hídrica, a mesma pode limitar o desenvolvimento, o crescimento, a

produtividade e a qualidade do produto final produzido pela cultura de interesse econômico (Bezerra et al., 1998).

Logo, com o passar dos anos e com o aumento populacional, e o consequente aumento pela demanda de alimentos, novas estratégias de manejo do uso da água são necessárias. Segundo Consoli et al. (2015), estimativas mais precisas da taxa de evapotranspiração das plantas e a dinâmica e/ou o movimento de água no solo podem ser estratégias para melhorar o gerenciamento do uso da água. Os autores ainda relatam que além da preocupação em praticar ou de melhorar a eficiência do uso da água, existe também a incerteza do método e/ou da determinação correta dos componentes do balanço hídrico do solo, em particular a evapotranspiração.

O balanço hídrico no solo é utilizado para quantificar as entradas e saídas de água no sistema solo-planta (Cintra et al., 2000). Ainda conforme os autores, as formas de entrada de água no sistema é a partir de precipitação pluvial e irrigação; já a saída de água do sistema solo/planta pode ocorrer pela drenagem interna (percolação profunda), evapotranspiração da cultura (perda de água por evaporação e transpiração) e deflúvio superficial. Essa quantificação de água é feita em determinado volume de solo preenchido ou com presença de raízes da cultura avaliada (explorada), em determinado período de tempo.

O balanço hídrico de água no solo é obtido a partir dos dados de variação de armazenamento de água no perfil do solo, precipitação pluviométrica, volume de água aplicado via sistema de irrigação, drenagem e ascensão capilar e evapotranspiração (Silva et al., 2015; Silva et al., 2001).

A determinação dos componentes que compõem o balanço hídrico do solo é importante para avaliar o comportamento e a resposta da cultura analisada aos diferentes níveis de água no perfil de solo (Cintra et al., 2000). O conhecimento dos componentes do balanço hídrico para determinado solo e cultura também é importante para a melhor determinação do espaçamento do emissor e para o melhor gerenciamento da aplicação de água via irrigação (Andreu et al., 1997). Os autores relatam também que a aplicação de água via irrigação não deve ocorrer em locais com ausência de raízes e nem tampouco em excesso e/ou a uma taxa superior ao que o solo consiga armazenar e a planta absorver.

## **Manejo da irrigação via solo**

O manejo da irrigação consiste na aplicação de água no sistema solo-planta, em quantidade suficiente e no correto momento (Dry et al., 2001). O adequado manejo da irrigação pode proporcionar economia de água, energia, elevar a produtividade da cultura, a qualidade da colheita e a redução da lixiviação de nutrientes para as camadas inferiores do solo com ausência do sistema radicular da cultura (Pavani et al., 2009).

Na agricultura irrigada, o conhecimento da quantidade e a determinação do momento correto de aplicação de água demandada pela cultura, constituem-se um importante aspecto para o correto manejo da irrigação (Lopes et al., 2004). Os autores ainda relatam que os métodos a serem aplicados ou usados pelos agricultores, devem ser simples, porém com boa precisão ou representação do conteúdo de água atual no solo. De acordo com Pavani et al. (2009), existem estudos e/ou pesquisas voltadas para aplicação de água no momento e na quantidade correta, porém essas técnicas são pouco utilizadas pelos irrigantes, devido à falta de critérios para o seu uso.

Às vezes, a não adoção de métodos de manejo da irrigação deve-se a ausência de laboratórios, custos de análise físicos hídricas da área e o não interesse ou conhecimento técnico da prática, tendo como consequência, o insucesso na escolha do sistema de irrigação, determinação do turno de rega, lâmina de irrigação e entre outros (Coelho Filho et al., 2001). O manejo da irrigação pode ser realizado via planta, clima e solo. O manejo via planta é realizado por métodos que avaliam a temperatura foliar, fluxo de seiva, resistência estomática e potencial de água na folha (Martins et al., 2007).

Os métodos de manejo de irrigação mais empregados são baseado em: turno de rega fixo (utilizando o valor de evapotranspiração calculado na fase de dimensionamento do projeto do sistema de irrigação); via clima, através de estimativas de evapotranspiração, utilizando tanque classe A, métodos empíricos de Penman Montey e Hargreaves; via solo, através de instrumentos que medem diretamente e indiretamente o conteúdo de água no solo; e uso combinado de variáveis do solo e do clima (Albuquerque, 2008).

O manejo da irrigação via solo é baseado no monitoramento da variação do conteúdo de água no solo, a partir de instrumentos que medem diretamente e indiretamente a umidade do solo. Para isso, faz-se necessário o conhecimento da umidade do solo na capacidade de campo, no ponto de murcha permanente e no

ponto de umidade crítica para a cultura, que podem ser obtidos à partir da curva de retenção de água no solo (Frizzone et al., 2012). A umidade na capacidade de campo, representa a condição de 100 % de disponibilidade de água às plantas, quando o solo se encontra com potenciais matriciais em torno de -0,03 a -0,06 atm em solos de textura arenosa, -0,1 atm em solos de textura média e -0,33 atm em solos de textura argilosa (Sousa et al., 2004). Já a condição de 0 % de disponibilidade de água as plantas, corresponde a umidade no ponto de murcha permanente, referente ao potencial matricial de -15 atm. A diferença entre a umidade na capacidade de campo e no ponto de murcha permanente, corresponde à disponibilidade total de água (DTA) no solo (Sousa et al., 2004).

No entanto, para a realização de uma nova irrigação, não se deve esperar que a planta absorva toda a DTA, pois a medida que vai ocorrendo a perda de água por evaporação e transpiração das plantas, a dificuldade das plantas em absorver água aumenta, existindo assim um valor de umidade abaixo do qual, que proporciona déficit de água as plantas, denominado de umidade crítica, que varia de acordo com o solo e cultura. A variação de umidade que ocorre entre a umidade na capacidade de campo e crítica, pode ser representada por um fator de reposição, denominado  $f$ , em relação a DTA do solo. Esse fator  $f$  (%), indica quanto de água pode ser retirado da DTA do solo, para que então seja realizado uma nova irrigação (Sousa et al., 2004), sem proporcionar déficit hídrico a cultura.

Para a cultura do maracujazeiro, recomenda-se que durante a fase de diferenciação das flores e pegamento dos frutos, o potencial matricial de água no solo seja de aproximadamente -0,06 atm em solos de textura arenosa e superior a -0,20 atm em solos de textura média a argilosa (Stavelly e Wolstenholmd, 1990).

O monitoramento da variação do conteúdo de água no solo, pode ser realizado utilizando sensores, por exemplo, tensiômetros, sondas de nêutrons, Reflectometria no Dominio do Tempo (TDR), Reflectometria no Dominio da Frequência (FDR), tomografia computadorizada, sonda enviroscan e entre outras (Ledieu et al., 1986; Soares et al., 2010).

### **Posicionamento dos sensores de leitura de umidade do solo**

Para a correta utilização dos sensores de monitoramento do conteúdo de água no solo, no manejo da irrigação, faz-se necessário definir a quantidade e o local de instalação, sendo uma das principais dificuldades dos usuários (Coelho et al., 2010).

A determinação da quantidade e do local de instalação normalmente é realizado empiricamente, ficando limitado a locais e culturas específicas (Coelho et al., 1995). Em alguns casos, é realizada com base na projeção da copa e na profundidade efetiva do sistema radicular, instalando vários sensores em diferentes profundidades (Costa et al., 2000).

E se tratando de irrigação localizada por gotejamento, o posicionamento do sensor não é definido apenas em função da distribuição radicular da cultura, mas também do bulbo molhado formado pela distribuição de água do emissor (Coelho et al., 2007). Em um estudo realizado por Soulis et al. (2015), avaliando vários cenários de posicionamento de sensores de umidade, em irrigação localizada por gotejamento, observaram que houve redução de até 16 % sobre a eficiência de irrigação, reforçando dessa forma, a importância do posicionamento de sensores para a realização do manejo da irrigação.

Isso é importante porque em algumas regiões a técnica da irrigação é vista como uma grande consumidora de água, competindo diretamente com as indústrias e o consumo urbano (Queiroz et al., 2008). No entanto, segundo os autores, a aplicação de água na maioria das regiões é necessária para suprir as necessidades hídricas dos cultivos. Haja vista, que o regime pluviométrico local pode ser insuficiente ou irregular, a exemplo das regiões áridas e semiáridas ou que possuem histórico de veranicos.

Estudos relacionados a estabilidade temporal e espacial do conteúdo de água no solo, têm sido realizados em cultivos agrícolas irrigados, com a finalidade de identificar pontos específicos no solo (área de estudo e/ou com presença do sistema radicular da cultura de interesse econômico) que apresentem estabilidade temporal, e conseqüentemente, definir o melhor posicionamento de instalação do sensor de umidade do solo (Silva et al., 2018; Soulis e Elmaloglou, 2018; Soulis et al., 2015), tornando-se possível reduzir o número de sensores necessários para o monitoramento de umidade do solo. Recentemente Soulis e Elmaloglou (2016) atribuíram o conceito de posições representativas estáveis no tempo (TSRPs), para verificar o efeito e definir o posicionamento de sensores.

Para a cultura do maracujazeiro, por exemplo, informações e critérios sobre o posicionamento de sensores de leitura de umidade do solo de acordo com o estágio fenológico da cultura, ainda são escassas, necessitando de estudos e/ou pesquisas

científicas que possam suprir essa demanda, e em consequência, melhorar a eficiência do manejo da irrigação e a renda líquida do produtor.

### **Estabilidade temporal e espacial da distribuição de água no solo**

O armazenamento de água no solo pode variar em função do tempo e da região observada (Hu et al., 2010; Rocha et al., 2005), sendo de fundamental importância o seu conhecimento para a produção agrícola (Vieira et al., 2010). A variabilidade espacial, quando comparada com a variabilidade temporal, apresenta maior estabilidade ao longo do tempo (Li e Shao, 2014).

A estabilidade temporal refere-se ao ponto de monitoramento de umidade do solo, que apresenta menor variabilidade entre os valores medidos de umidade do solo em determinado ponto específico e a média dos valores avaliados, ao longo do tempo, em determinado espaço observado (Vachaud et al., 1985), ou seja, é um local da área de estudo que representa a média geral do conteúdo de água no solo.

Esses locais que apresentam estabilidade temporal do conteúdo de água no solo em relação a umidade média do perfil do solo, tem sido conceituado por Soulis e Elmaloglou (2016) como posições representativas estáveis no tempo (TSRPs = Time Stable Representative Positions) e utilizada por Soulis e Elmaloglou (2018). Essa denominação surgiu com base em um estudo realizado por Soulis et al. (2015), ao verificarem que o efeito do posicionamento dos sensores de umidade do solo, em seu respectivo estudo, utilizando um sistema de irrigação localizada, afetou em até 16 % a eficiência de irrigação; e que também seria possível estimar a umidade média do perfil de solo com base em apenas um sensor de umidade do solo, instalado em determinado posicionamento.

O conhecimento dos locais que apresentam estabilidade temporal do conteúdo de água no solo, pode ser uma das alternativas viáveis para reduzir o número de sensores necessários para o monitoramento da umidade em determinado volume de solo, pois esses locais representam a umidade média de toda a área de estudo (Li e Shao, 2014; Hu et al., 2012). Soulis e Elmaloglou (2018) relatam que o conhecimento da variação temporal do armazenamento de água no solo, pode possibilitar o gerenciamento mais eficiente do uso da água no cultivo agrícola e reduzir a perda de produtos químicos por lixiviação.

A estabilidade temporal tem sido utilizada para a observação dos fatores dependentes que influenciam na dinâmica de água no solo ao longo do tempo (Guber

et al., 2008). Os autores relatam que esses fatores podem ser o conteúdo de água em determinada camada de solo e/ou em determinada faixa de profundidade do solo, e os fluxos de água que ocorrem ao longo das camadas de solo.

O conhecimento da estabilidade temporal do conteúdo de água no solo é importante para a determinação da umidade média do solo, em determinado espaço físico (Hu et al., 2010). Para isso, faz-se necessário o acompanhamento do conteúdo de água no solo, por um período de tempo, podendo assim identificar posições espaciais no solo que representem o conteúdo médio de água no solo (Guber et al., 2008).

Usando o método estatístico da diferença relativa, entre a umidade do solo em determinado ponto específico e a umidade média do solo referente a área de estudo, para avaliar a estabilidade temporal do armazenamento de água no solo, em uma área cultivada com milho, Guber et al. (2008) observaram que os valores podem permanecer constantes e/ou variar pouco, mesmo com oscilações do conteúdo médio de água no solo ao longo do tempo.

Análise semelhante é reportada por Shen et al. (2016) que explicaram que variabilidade temporal do conteúdo de água no solo em determinado ponto monitorado, pode permanecer a mesma ao longo do tempo, pois se o ponto monitorado em determinado instante for o mais seco, provavelmente ele continuará sendo o local mais seco em leituras de umidade do solo subsequentes.

O tempo e a frequência de monitoramento dos dados de umidade do solo, para a determinação do ponto médio de umidade do solo ainda é arbitrário na literatura. Shen et al. (2016) relatam que ainda não existem trabalhos que comprovem se frequência de monitoramento de umidade do solo pode ou não afetar os cálculos estatísticos de estabilidade temporal, assim como na determinação do local que representa o conteúdo médio de água no solo.

A estabilidade temporal de água no solo pode ser influenciada pelo tamanho das partículas de solo, pelo teor de matéria orgânica (Hu et al., 2009) e textura do solo (Shen et al., 2016). A textura e a estrutura da camada mais superficial do solo, tem grande influência na distribuição espacial de água para as camadas mais profundas do solo (Vieira et al., 2010; Hu et al., 2009).

O uso atual do solo (floresta ou cultivo agrícola), também pode influenciar na estabilidade temporal do conteúdo de água no solo, pois existem diferenças nos padrões de absorção de água pelo sistema radicular das plantas (Li e Shao, 2014).

Já a estabilidade espacial do conteúdo de água no solo pode ser influenciada pela distribuição do sistema radicular da cultura e pela aplicação localizada de água, por exemplo, de sistema de irrigação localizada (Soulis e Elmaloglou, 2018; Elmaloglou e Soulis 2013). No estudo de estabilidade espacial e temporal do armazenamento de água no solo, em duas áreas de uso distinto (vegetação nativa e solo cultivado com culturas anuais), Vieira et al. (2010) verificaram que o cultivo agrícola e a cobertura do solo influenciaram na estabilidade espacial. Os autores ainda relataram que a dependência espacial diminuiu a medida que o conteúdo médio de água no solo aumentava.

Os estudos de estabilidade temporal têm sido desenvolvidos em áreas de bacias hidrográficas, tendo como principal finalidade o conhecimento da variação de armazenamento de água no solo, para posteriormente facilitar o planejamento e o manejo de restauração da vegetação (Li e Shao, 2014; Hu et al., 2012; Hu et al., 2010; Jacobs et al., 2004). No entanto, existem estudos de estabilidade temporal de água no solo para áreas de cultivos agrícolas irrigados (Shen et al., 2016; Li e Shao, 2014; Souza et al., 2011; Hu et al., 2009; Guber et al., 2008).

Em áreas de cultivos agrícolas irrigados também existem estudos com simulação dos dados de extração de água, armazenamento de água no solo, parâmetros físicos hídrico do solo e entre outros fatores que podem influenciar na estabilidade temporal e espacial do conteúdo de água do solo (Soulis e Elmaloglou, 2018; Soulis et al., 2015).

Vários autores têm usado em seus estudos, parâmetros estatísticos para a determinação da estabilidade temporal da umidade do solo, como por exemplo, a diferença relativa proposta por Vachaud et al. (1985), utilizada por Silva et al. (2018); Li e Shao (2014) e Hu et al. (2010).

### **Método da diferença relativa proposta por Vachaud et al. (1985)**

Uma das metodologias disponíveis para a determinação da estabilidade temporal de umidade no solo, é baseada na proposta de Vachaud et al. (1985), pelo método estatístico da diferença relativa, qual surgiu em substituição as metodologias disponíveis na época, pois as mesmas demandavam de um grande número de observações, para que houvesse maior precisão dos dados analisados.

O método estatístico pela diferença relativa, baseia-se na diferença entre a umidade do solo em determinado ponto de monitoramento e a umidade média de

todos os pontos de umidade do solo monitorados, em determinado intervalo de tempo (Vachaud et al., 1985). Posteriormente, os autores classificaram os valores de diferença relativa em ordem crescente, e observaram que os valores abaixo e acima de zero, respectivamente, subestimam e superestimam os valores de umidade do solo, em relação ao valor médio de todas as observações.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBUQUERQUE, P. E. P. Estratégias de manejo de irrigação. In: ALBUQUERQUE, P. E. P.; DURÃES, F. O. M. **Uso e manejo de irrigação**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2008. p. 449-486.

ALMEIDA, R. F. Nutrição de maracujazeiro. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, Uberlândia, v. 7, n. 3, p. 12-17, 2012.

ANDREU, L.; HOPMANS, J. W.; SCHWANKL, L. J. Spatial and temporal distribution of soil water balance for a drip-irrigated almond tree. **Agricultural Water Management**, v. 35, n. 1, p. 123-146, 1997.

BEZERRA, F. M. L.; ANGELOCCI, L. R.; MINAMI, K. Deficiência hídrica em vários estádios de desenvolvimento da batata. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 2, n. 2, p. 119-123, 1998.

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

CINTRA, F. L. D.; LIBARDI, P. L.; SAAD, A. M. Balanço hídrico no solo para porta-enxertos de citros em ecossistema de Tabuleiro Costeiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 4, n. 1, p. 23-28, 2000.

COELHO, E. F.; SILVA, A. J.; MIRANDA, J. H. D. Definição do posicionamento de sensores para monitoramento da água no solo em bananeira irrigada por diferentes

sistemas de irrigação localizada. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 30, n. 4, p. 608-618, 2010.

COELHO, E. F.; SANTOS, D. B. D.; AZEVEDO, C. A. Sensor placement for soil water monitoring in lemon irrigated by micro sprinkler. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 11, n. 1, p. 46-52, 2007.

COELHO FILHO, M. A.; COELHO, R. D.; GONÇALVES, A. C. A. Variabilidade espacial de variáveis físico-hídricas do solo em um pomar de lima ácida Tahiti, irrigado por microaspersão. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 5, n. 2, p. 239-246, 2001.

COELHO, E. F.; OR, D.; ANDRADE, C. L. T. Avaliação de regime permanente em irrigação por gotejamento e posicionamento de sensores de umidade e de potencial matricial no bulbo molhado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 30, n. 11, p. 1327-1333, 1995.

COLLARD, F. H.; ALMEIDA, A.; RIVOLI COSTA, M. C.; ROCHA, M. C. Efeito do uso de biofertilizanteagrobio na cultura do maracujazeiro amarelo (*Passiflora edulis* f. flavicarpaDeg). **Revista Biociências**, Taubaté, v. 7, n. 1, 2008.

CONSOLI, S.; LICCIARDELLO, F.; VANELLA, D.; PASOTTI, L.; VILLANI, G.; TOMEI, F. Testing the water balance model criteria using TDR measurements, micrometeorological data and satellite-based information. **Agricultural Water Management**, v. 170, p. 68-80, 2015.

COSTA, F. S.; SUASSUNA, J. F.; MELO, A. S.; BRITO, M. E. B.; MESQUITA, E. F. Crescimento, produtividade e eficiência no uso da água em bananeira irrigada no semiárido paraibano. **Revista Caatinga**, v. 25, n. 4, p. 26-33, 2012.

COSTA, E. L.; SOUSA, V. F.; NOGUEIRA, L. C.; Saturnino, H. M. Irrigação da cultura do maracujazeiro. **Informe Agropecuário**, v. 21, n. 206, p. 59-66, 2000.

DRY, P. R.; LOVEYS, B. R.; MCCARTHY, M. G.; STOLL, M. Strategic irrigation management on Australian vineyards. **Progrès Agricole et Viticole (France)**, v. 118, n. 21, p. 457-470, 2001.

DU, T.; KANG, S.; ZHANG, J.; LI, F.; YAN, B. Water use efficiency and fruit quality of table grape under alternate partial root-zone drip irrigation. **Agricultural water management**, v. 95, n. 6, p. 659-668, 2008.

ELMALOGLU, S.; SOULIS, K. X. The effect of hysteresis on soil water dynamics during surface trickle irrigation in layered soils. **Global Nest Journal**, v. 15, n. 3, p. 351-365, 2013.

FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nations. **Tropical Fruits Compendium**. Fifth session by Committee on Commodity Problems Intergovernmental Group on Bananas and Tropical Fruits. 2011. Disponível em: <<http://www.fao.org/docrep/meeting/022/am481t.pdf>>. Acesso em: 10 de Janeiro de 2019.

FRIZZONE, J. A.; FREITAS, P. S. L.; REZENDE, R.; FARIA, M. A. **Microirrigação: gotejamento e microaspersão**. 1 ed. Maringá: *Editora Eduem*, 2012. 356 p.

GUBER, A. K.; GISH, T. J.; PACHEPSKY, Y. A.; VAN GENUCHTEN, M. T.; DAUGHTRY, C. S. T.; NICHOLSON, T. J.; CADY, R. E. Temporal stability in soil water content patterns across agricultural fields. **Catena**, v. 73, n. 1, p. 125-133, 2008.

HU, W.; TALLON, L. K.; SI, B. C. Evaluation of time stability indices for soil water storage upscaling. **Journal of Hydrology**, v. 475, p. 229-241, 2012.

HU, W.; SHAO, M.; HAN, F.; REICHARDT, K.; TAN, J. Watershed scale temporal stability of soil water content. **Geoderma**, v. 158, n. 3-4, p. 181-198, 2010.

HU, W.; SHAO, M.; WANG, Q.; REICHARDT, K. Time stability of soil water storage measured by neutron probe and the effects of calibration procedures in a small watershed. **Catena**, v. 79, n. 1, p. 72-82, 2009.

HUANG, Y.; CHEN, L.; FU, B.; HUANG, Z.; GONG, J. The wheat yields and water-use efficiency in the Loess Plateau: straw mulch and irrigation effects. **Agricultural water management**, v. 72, n. 3, p. 209-222, 2005.

INSTITUTO BRASILEIRO GEOGRAFIA ESTATISTICA (IBGE). Base de dados dos produtos. Embrapa: Mandioca e Fruticultura. 2017. Disponível em <[http://www.cnpmf.embrapa.br/Base\\_de\\_Dados/index\\_xls/brasil/maracuja/maracuja\\_brasil\\_producao.htm](http://www.cnpmf.embrapa.br/Base_de_Dados/index_xls/brasil/maracuja/maracuja_brasil_producao.htm)>. Acesso em: 08 jan. 2018.

JACOBS, J. M.; MOHANTY, B. P.; HSU, E. C.; MILLER, D. SMEX02: Field scale variability, time stability and similarity of soil moisture. **Remote sensing of Environment**, v. 92, p. 436-446, 2004.

KANG, S.; LIANG, Z.; HU, W.; ZHANG, J. Water use efficiency of controlled alternate irrigation on root-divided maize plants. **Agricultural Water Management**, v. 38, n.1, p. 69-76, 1998.

LEDIEU, J.; DE RIDDER, P.; DE CLERCK, P.; DAUTREBANDE, S. A method of measuring soil moisture by time-domain reflectometry. **Journal of Hydrology**, v. 88, n. 3-4, p. 319-328, 1986.

LI, D.; SHAO, M. Temporal stability of soil water storage in three landscapes in the middle reaches of the Heihe River, northwestern China. **Environmental Earth Sciences**, v. 73, n. 7, p. 3095-3107, 2014.

LOPES, A. S.; PAVANI, L. C.; CORÁ, J. E.; ZANINI, J. R.; MIRANDA, H. A. Manejo da irrigação (tensiometria e balanço hídrico climatológico) para a cultura do feijoeiro em sistemas de cultivo direto e convencional. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 24, n. 1, p. 89-100, 2004.

MUALEM, Y. A new model for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated porous media. **Water resources research**, v. 12, n. 3, p. 513-522, 1976.

MARTINS, C. C.; SOARES, A. A.; BUSATO, C.; REIS, E. F. Manejo da irrigação por gotejamento no cafeeiro (*Coffea arabica* L.). **Bioscience Journal**, v. 23, n. 2, p. 61-69, 2007.

MELETTI, L. M. M. Avanços na cultura do maracujá no Brasil. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 33, p. 83-91, 2011.

PAVANI, L. C.; LOPES, A. S.; GALBEIRO, R. B. Manejo da irrigação na cultura do feijoeiro em sistemas plantio direto e convencional. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 28, n. 1, p. 12-21, 2009.

PIMENTEL, L. D. SANTOS, C. E. M.; FERREIRA, A. C. C.; MARTINS, A. A.; JUNIOR, A. W.; BRUCKNER, C. H. Custo de produção e rentabilidade do maracujazeiro no mercado agroindustrial da Zona da Mata Mineira. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 31, n. 2, p. 397-407, 2009.

QUEIROZ, Tadeu M.; BOTREL, T. A.; FRIZZONE, J. A. Desenvolvimento de software e hardware para irrigação de precisão usando pivô central. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 28, n. 1, p. 44-54, 2008.

RICHARDS, L. A. Capillary conduction of liquids through porous mediums. **Physics**, v. 1, n. 5, p. 318-333, 1931.

ROCHA, G. C.; LIBARDI, P. L.; ALVES DE CARVALHO, L.; RODRIGUES CRUZ, A. C. Estabilidade temporal da distribuição espacial da armazenagem de água em um solo cultivado com citros. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, v. 29, n. 1, 2005.

SHEN, Q.; GAO, G.; HU, W.; FU, B. Spatial-temporal variability of soil water content in a cropland-shelterbelt-desert site in an arid inland river basin of Northwest China. **Journal of Hydrology**, v. 540, p. 873-885, 2016.

SILVA, A. J. P.; DE JONG VAN LIER, Q.; COELHO, E. F. Time Stable Representative Position determination as affected by the considered part of an irrigation cycle. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 157, p. 281 – 287, 2019.

SILVA, A. J.P.; COELHO, E. F.; COELHO FILHO, M. A.; SOUZA, J. L. Water extraction and implications on soil moisture sensor placement in the root zone of banana. **Scientia Agricola**, v. 75, n. 2, p. 95-101, 2018.

SILVA, A. J. P.; COELHO, E. F.; COELHO FILHO, M. A. Water extraction variability in the banana root zone affects the reliability of water balance. **Scientia Agricola**, v. 72, n. 1, p. 1-10, 2015.

SILVA, V. D. P.; AZEVEDO, P. V.; SILVA, B. B.; BASSOI, L. H.; TEIXEIRA, A. H. D. C.; SOARES, J. M.; JOSE, A. M.; SILVA, J. Estimativa da evapotranspiração da mangueira com base no balanço hídrico do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 5, n. 3, p. 456-462, 2001.

SILVA, J. R.; OLIVEIRA, H. J. Nutrição e adubação do maracujazeiro. In: AMARAL, M. **A cultura do maracujazeiro**. Informe agropecuário, v. 21, n. 206, Belo Horizonte: EPAMIG, 2000.

SOARES, F. C.; PEITER, M. X.; ROBAINA, A. D.; PARIZI, A. R. C.; RAMÃO, C. J.; VIVAN, G. A. Resposta da produtividade de híbridos de milho cultivado em diferentes estratégias de irrigação. **Irriga**, Botucatu, v. 15, n. 1, p. 36-50, 2010.

SOULIS, K. X.; ELMALOGLOU, S. Optimum soil water content sensors placement for surface drip irrigation scheduling in layered soils. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 152, p. 1-8, 2018.

SOULIS, K.X.; ELMALOGLOU, S. Optimum soil water content sensors placement in drip irrigation scheduling systems: concept of time stable representative positions. **Journal Irrigation and Drainage Engineering**, v. 142, n. 11, p. 04016054-1-04016054-9, 2016.

SOULIS, K. X.; ELMALOGLOU, S.; DERCAS, N. Investigating the effects of soil moisture sensors positioning and accuracy on soil moisture based drip irrigation scheduling systems. **Agricultural Water Management**, v. 148, p. 258-268, 2015.

SOUSA, V. F.; OLIVEIRA, A. S.; COELHO, E. F.; BORGES, A. L. Irrigação. In: LIMA, A. A.; CUNHA, M. A. P. **Maracujá: Produção e qualidade na passicultura**. Cruz das Almas, BA: Embrapa Mandioca e Fruticultura, 2004. p. 151-167.

SOUSA, V. F.; FOLEGATTI, M. V.; FRIZZONE, J. A.; LIMA CORRÊA, R. A.; ELOI, W. M. Produtividade do maracujazeiro amarelo sob diferentes níveis de irrigação e doses de potássio via fertirrigação. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 38, n. 4, p. 497-504, 2003.

SOUSA, V. F.; COELHO, E. F.; ANDRADE JUNIOR, A. S.; FOLEGATTI, M. V.; FRIZZONE, J. A. Eficiência do uso da água pelo meloeiro sob diferentes frequências de irrigação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 4, n. 2, p. 183-188, 2001.

SOUZA, E. R.; DE ASSUNÇÃO MONTENEGRO, A. A.; MONTENEGRO, S. M. G.; DE MATOS, J. D. Temporal stability of soil moisture in irrigated carrot crops in Northeast Brazil. **Agricultural water management**, v. 99, n. 1, p. 26-32, 2011.

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

VACHAUD, G.; SILANS, A.P.; BALABANIS, P.; VAUCLIN, M. Temporal stability of spatially measured soil water probability density function. **Soil Science Society of America Journal**, v. 49, n. 4, p. 822-828, 1985.

VIEIRA, S. R.; GONZÁLEZ GARCIA, M. A.; GONZÁLEZ, A. P.; MACHADO SIQUEIRA, G. M. Variabilidade espacial e temporal do teor de água do solo sob duas formas de uso. **Bragantia**, v. 69, n. 1, p.181-190, 2010.

## **CAPÍTULO I**

### **APLICAÇÃO DO CONCEITO TSRP EM MARACUJAZEIRO CULTIVADO EM LISÍMETRO DE PESAGEM**

## **APLICAÇÃO DO CONCEITO TSRP EM MARACUJAZEIRO CULTIVADO EM LISÍMETRO DE PESAGEM**

**RESUMO:** A decisão arbitrária sobre o posicionamento de sensores de umidade no solo pode subestimar ou superestimar a lâmina de irrigação. Dessa forma, estudos recentes têm aplicado o conceito TSRPs (*Time Stable Representative Position*) para definir a quantidade e a localização de instalação de sensores de umidade do solo. No entanto, a definição da TSRP pode sofrer alteração conforme a condição de contorno e escala temporal de obtenção de dados de conteúdo de água no solo. Diante disso, objetivou-se neste trabalho aplicar o conceito TSRP para a definição do posicionamento e da quantidade ideal de sensores na zona radicular do maracujazeiro cultivado em lisímetro de pesagem e irrigado por gotejamento, considerando diferentes condições de contorno e escalas temporais na obtenção de dados de conteúdo de água no solo. O cultivo irrigado do maracujazeiro, via sistema de irrigação localizada por gotejamento, foi realizado em lisímetro de pesagem, instalado em uma casa de vegetação. No interior do lisímetro de pesagem, na zona radicular da cultura, foram instaladas sondas de TDR nas profundidades de 0,1, 0,2, 0,3 e 0,4 m e distanciadas das plantas em 0,1, 0,25, 0,4 e 0,55 m, totalizando 16 sondas em um perfil bidimensional. A determinação da TSRP foi baseada na diferença relativa proposta por Vachaud et al. (1985), em duas condições de contorno: (i) zona radicular da cultura e (ii) bulbo molhado; além de duas escalas temporais de obtenção de dados de conteúdo de água no solo: (i) dados obtidos continuamente em 10 irrigações consecutivas e (ii) dados obtidos separadamente por intervalo de irrigação. A TSRP definida na condição de contorno bulbo molhado difere da TSRP definida na condição de contorno na zona radicular. Com base nos valores de ET<sub>c</sub> observados em lisímetro de pesagem, verificou-se que a definição de TSRPs para cada intervalo de irrigação aplicado a zona radicular do maracujazeiro proporcionou menores erros absolutos acumulados na estimativa da evapotranspiração da cultura, quando comparado com um único TSRP adotado para todo estágio de desenvolvimento da cultura.

**PALAVRAS CHAVES:** irrigação localizada; posicionamento de sensores; estabilidade temporal.

## **TSRP CONCEPT APPLICATION IN PASSION FRUIT CULTIVATED IN WEIGHT LYSIMETER**

**ABSTRACT:** The arbitrary decision on the placement of soil moisture sensors may underestimate or overestimate the irrigation depth. Thus, recent studies have applied the TSRPs (Time Stable Representative Position) concept to define the quantity and location of soil moisture sensors installation. However, the TSRP definition may change according to the boundary condition and time scale of soil water content data obtainment. This paper objective was to apply the TSRP concept for the positioning definition and ideal sensors number in the root zone of passion fruit cultivated in a weighing and drip irrigation lysimeter, considering different boundary conditions and time scales in obtaining data for soil water content. The irrigated passion fruit cultivation, via a drip irrigation system, was carried out in a weighing lysimeter, installed in a greenhouse. Within the weighing lysimeter, in the culture root zone, TDR probes were installed at depths of 0.1, 0.2, 0.3 and 0.4 m and spaced from the plants at 0.1, 0.25, 0.4, and 0.55 m, totaling 16 probes in a two-dimensional profile. The TSRP determination was based on the relative difference proposed by Vachaud et al. (1985), under two boundary conditions: (i) crop root zone and (ii) wet bulb; in addition to two temporal scales of soil water content data: (i) data obtained continuously in 10 consecutive irrigations and (ii) data obtained separately by irrigation interval. The TSRP defined in the wet bulb contour condition differs from the TSRP defined in the root zone contour condition. Based on the  $ET_c$  values observed in the weighing lysimeter, it was verified that the TSRP definition for each irrigation interval applied to the passion fruit root zone provided less accumulated absolute errors in the crop evapotranspiration estimation when compared to a single adopted TSRP for every development stage of this culture.

**KEYWORDS:** localized irrigation; sensors positioning; temporal stability.

## INTRODUÇÃO

O correto manejo da irrigação pode ser uma das alternativas para aumentar a eficiência do uso da água pelas culturas. O manejo da irrigação consiste na aplicação de água no sistema solo-planta, em quantidade suficiente e no momento correto, podendo proporcionar economia de água, energia, e elevar a produtividade da cultura e a qualidade da colheita.

Um dos métodos utilizados para realizar o manejo da irrigação, comumente utilizado em pesquisas experimentais, é o balanço de água no solo, que consiste no monitoramento das entradas e saídas de água em uma determinada região de monitoramento, como por exemplo, a zona radicular ou bulbo molhado, definidas como condição de contorno.

O manejo da irrigação via solo é baseado no monitoramento da variação do conteúdo de água no solo, sendo que o momento e o volume de irrigação são definidos com base nos conceitos de capacidade de campo, ponto crítico e ponto de murcha permanente. O monitoramento da variação de umidade do solo, pode ser realizado através de instrumentos (sensores), como tensiômetros, sondas de nêutrons, Reflectometria no Domínio do Tempo (TDR), Reflectometria no Domínio da Frequência (FDR), tomografia computadorizada, sonda enviroscan e entre outras (Ledieu et al., 1986; Soares et al., 2010). Uma dúvida recorrente no uso desses sensores é a definição da quantidade e local de instalação.

O posicionamento e a quantidade de sensores correta para cada cultura são dúvidas frequentes entre os irrigantes (Coelho et al., 2010). A falta de critério na instalação dos sensores reduz a eficiência do monitoramento da variação da umidade do solo e tem reflexos negativos sobre o manejo de irrigação (Souza e Matsura, 2004). Soulis et al. (2015), verificaram que a variação no posicionamento dos sensores de umidade do solo, afeta em até 16 % a eficiência da irrigação localizada.

Para a cultura do maracujazeiro, informações sobre o posicionamento de sensores de umidade do solo de acordo com o estágio fenológico da cultura, ainda são escassas, necessitando de estudos e/ou pesquisas que possam suprir essa demanda, e em consequência, melhorar a eficiência do manejo da irrigação e rentabilidade do produtor.

Nesse sentido, estudos relacionados a estabilidade temporal e espacial do conteúdo de água no solo, têm sido realizados em cultivos agrícolas irrigados, com a finalidade de identificar locais específicos no solo que apresentem estabilidade temporal, e conseqüentemente, definir o melhor posicionamento de instalação do sensor de umidade do solo (Silva et al., 2018; Soulis e Elmaloglou, 2018; Soulis et al., 2015). Esses locais têm sido determinados como posições representativas estáveis no tempo (TSRPs), conceito definido por Soulis e Elmaloglou (2016) e aperfeiçoado por Silva et al. (2019).

Dessa forma, objetivou-se neste trabalho aplicar o conceito TSRP para definição do posicionamento e da quantidade ideal de sensores na zona radicular do maracujazeiro cultivado em lisímetro de pesagem e irrigado por gotejamento, considerando diferentes condições de contorno e escalas temporais na obtenção de dados de conteúdo de água no solo.

## **METODOLOGIA**

### **Caracterização experimental**

O experimento foi realizado em casa de vegetação, na Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, campus de Cruz das Almas, Bahia, Brasil (12°40'19" de latitude Sul, 39°06'23" de longitude Oeste, altitude média de 220 m). O clima local é classificado como tropical quente e úmido, com médias pluviométricas anuais, temperatura e umidade relativa do ar de 1.131,17 mm, 24,5 °C e 80%, respectivamente (Guimarães et al., 2017).

A casa de vegetação foi construída com arco simples, com 30 m de comprimento, 6 m de largura e pé-direito de 3 m. A estrutura foi instalada na orientação leste/oeste. O ambiente foi protegido por tela tipo clarete nas laterais, por um filme plástico do tipo anti UV 150 nm instalado no teto. Dentro da casa de vegetação foram instalados lisímetros de drenagem e de pesagem. Cada unidade lisimétrica tinha dimensões de 1,1 x 1,1 x 0,9 m (Figura 1).



**Figura 1.** Visão interna da casa de vegetação com lisímetros.

Os lisímetros foram preenchidos com solo classificado quanto a sua textura como franco arenoso, o qual apresentava 68,25 % de areia e 11,53 % de argila. O solo local é classificado como Latossolo Amarelo Distrocoeso.

A cultura implantada nas unidades lisimétricas foi a do maracujazeiro (*Passiflora edulis* Sims), variedade Gigante amarelo. As mudas de maracujazeiro foram obtidas via propagação sexuada.

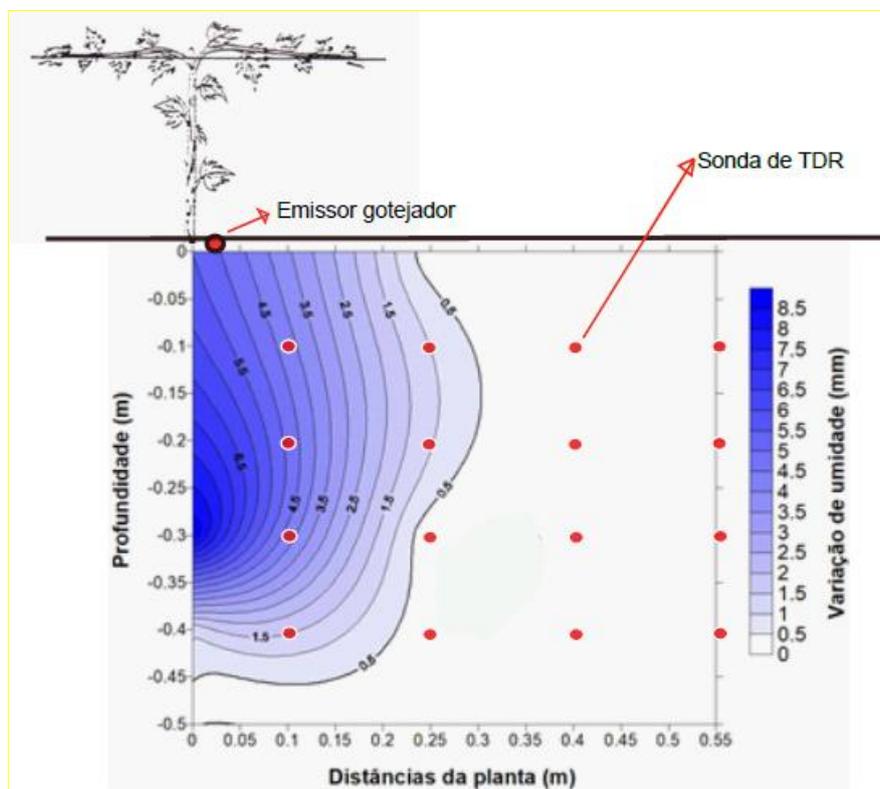
As mudas propagadas sexuadamente foram obtidas a partir da semeadura em tubetes preenchidos com terra vegetal. Após atingirem 0,1 m de altura, foram transferidas para sacos plásticos com volume de 0,002 m<sup>3</sup>, preenchidos com terra vegetal, onde ficaram até atingirem 0,3 m de altura.

Em seguida, quando as mudas apresentavam 0,3 m de altura (idade aproximada de 60 dias), realizou-se a adubação de plantio na cova de plantio e o transplante das mudas, para as unidades experimentais (lisímetros). A adubação de plantio foi realizada com macro e micronutrientes, seguindo as recomendações de Borges (2004) e Costa et al. (2008), respectivamente.

O espaçamento de transplante foi 2,0 x 1,5 m e o sistema de tutoramento adotado foi o do tipo espaldeira vertical, com um fio de arame liso a 1,8 m de altura da base da planta.

As plantas de maracujazeiro foram irrigadas por um sistema de irrigação localizada por gotejamento. A uniformidade de distribuição de água do sistema de irrigação foi de 96 %, determinada a partir do coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC).

As linhas laterais foram posicionadas sobre os lisímetros. Emissores autocompensantes de vazão  $2 \text{ L h}^{-1}$  foram posicionados próximos ao caule da planta, (Figura 2).



**Figura 2:** Linha lateral com um emissor gotejador por planta, formação do bulbo molhado e distribuição das sondas de TDR (sensores de umidade do solo) em um plano bidimensional.

O emissor gotejador proporcionou um diâmetro de bulbo molhado de 0,8 m (Figura 2). Esse bulbo foi determinado a partir da variação de armazenamento de água que ocorria nos diferentes pontos de monitoramento de umidade do perfil do solo. Dessa forma, adotou-se uma área aproximada de  $0,50 \text{ m}^2$  (equivalente a 42 % da área total do lisímetro), qual foi utilizada como o coeficiente de localização (KL), para realização do manejo da irrigação.

Para o monitoramento da umidade do solo, foram utilizadas sondas de TDR (construídas artesanalmente) instaladas nas profundidades 0,10, 0,20, 0,30 e 0,4 m distanciadas das plantas em 0,10, 0,25, 0,40 e 0,55 m, totalizando 16 sondas em um perfil bidimensional, conforme a Figura 2.

Já para a realização do manejo da irrigação, utilizou-se duas baterias de sondas de TDR, distanciadas em 0,10 e 0,25 m da planta, localizadas dentro do bulbo molhado. Cada bateria era composta por quatro sondas, nas profundidades de 0,10, 0,20, 0,30 e 0,40. Foi calculada a lâmina de irrigação em cada ponto de monitoramento de umidade, conforme a equação 1.

$$IRN = (\theta_{cc} - \theta_{atual}) \times Z \times \frac{\pi D^2}{4} \times \frac{1}{Ef} \quad (1)$$

Onde,

IRN = irrigação real necessária (L);

$\theta_{cc}$  = umidade volumétrica na capacidade de campo ( $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ );

$\theta_{atual}$  = umidade volumétrica atual do solo ( $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ );

Z = profundidade monitorada pela sonda de umidade do solo (mm);

D = diâmetro do bulbo molhado ( $\text{m}^2$ );

Ef = eficiência de aplicação de água do sistema (decimal).

A lâmina de irrigação real necessária adotada para o manejo da irrigação, foi determinada pela média do somatório das lâminas obtidas nas duas baterias, conforme a equação 2.

$$IRN_{adotada} = \left( \frac{IRN_{R=0.10} + IRN_{R=0.25}}{n=2} \right) \quad (2)$$

Onde,

$IRN_{adotada}$  = lâmina de irrigação real necessária adotada para o manejo da irrigação (mm);

$IRN_{R=0.10}$  = lâmina de irrigação real necessária baseada nas sondas de monitoramento da bateria 1;

$IRN_{R=0.25}$  = lâmina de irrigação real necessária baseada nas sondas de monitoramento da bateria 2.

O intervalo entre irrigações foi de dois dias, retornando à umidade do solo ( $\theta$ ) ao valor de  $0,20 \text{ cm}^3 \text{cm}^{-3}$ , equivalente ao potencial matricial ( $\psi$ ) de 0,1 atm, com base na curva de retenção de água do solo, determinada por modelagem inversa.

## Determinação das Propriedades Hidráulicas do Solo

Os valores de ( $\Theta$ ) obtidos via TDR foram convertidos em valores de potencial de água no solo. Para tanto, parâmetros hidráulicos do solo, i.e, curva de retenção e condutividade hidráulica saturada, foram obtidos via modelagem inversa. Na aplicação da modelagem inversa, procedeu-se, antes do transplântio das mudas de maracujá, a saturação do solo do lisímetro de pesagem sem planta. Após a saturação e com o dreno fechado, o solo passou a secar sob efeito apenas de evaporação, durante 26 dias. As variações do conteúdo de água no solo ( $\Theta$ ) foram medidas utilizando 4 sondas de Time-Domain-Reflectometry (TDR) instaladas a 0,10, 0,20, 0,30 e 0,40m de profundidade no solo do lisímetro de pesagem. As variações de evaporação foram obtidas por meio das variações de massa registradas no lisímetro de pesagem. Os dados de  $\Theta$  e evaporação foram medidos em intervalo de 1 hora.

Os dados horários de  $\Theta$  e evaporação foram inseridos no software HYDRUS – 1D, version 4.16.0110 (Simunek et al.,2013). Por meio do uso do HYDRUS – 1D resolveu-se a eq. 5 de Richards (Richards, 1931) para estimativa do fluxo de água no solo:

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left[ K(\theta) \left( \frac{\partial h(\theta)}{\partial z} - 1 \right) \right] \quad (5)$$

em que  $h$  é a pressão de água no solo ( $m \text{ H}_2\text{O}$ ),  $\Theta$  é o conteúdo de água no solo ( $m^3.m^{-3}$ ),  $t$  é o tempo (h),  $z$  é a coordenada vertical (m) e  $K(\Theta)$  representa a função condutividade hidráulica do solo ( $m \text{ h}^{-1}$ ).

O modelo de Mualem-van Genuchten (Mualem, 1976; Van Genuchten, 1991) foi utilizado para descrever a curva de retenção de água no solo (SWRC) e a curva de condutividade de água no solo (SWCC).

A SWRC é descrita pela eq. 6:

$$\begin{cases} \theta(h) = \theta_s & h \geq 0 \\ \theta(h) = \theta_r + (\theta_s - \theta_r) \left[ \frac{1}{1 + |\alpha h|^n} \right]^{(1 - \frac{1}{n})} & h < 0 \end{cases} \quad (6)$$

e SWCC descrita pela eq. 7:

$$K(\theta) = K_s S_e^\lambda \left[ 1 - \left( 1 - S_e \frac{n}{n-1} \right)^{1-\frac{1}{n}} \right]^2 \quad (7)$$

em que  $S_e$  é a saturação efetiva, definida como  $S_e = (\Theta - \Theta_r) / (\Theta_s - \Theta_r)$ ;  $\Theta_r$  e  $\Theta_s$  o conteúdo de água residual e saturado ( $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ ), respectivamente;  $h$  é pressão ( $\text{m H}_2\text{O}$ ),  $K(\Theta)$  e  $K_s$  a condutividade hidráulica do solo e condutividade hidráulica saturada do solo ( $\text{m h}^{-1}$ ),  $\alpha$  ( $\text{m}^{-1}$ ),  $n$  e  $\lambda$  são parâmetros empíricos.

No HYDRUS-1D os parâmetros hidráulicos do solo, i.e.,  $\alpha$ ,  $n$ ,  $\lambda$  e  $K_s$ , são determinados pela minimização das diferenças entre as variáveis  $\Theta$  ou  $h$  observados e simulados no espaço-tempo. No caso do presente estudo, a variável utilizada foi  $\Theta$  (obtida por TDR). Assim, o total das diferenças obtidas entre valores de  $\Theta$  observados e simulados foi expresso por uma função objetiva,  $\Phi$ , definida como:

$$\Phi(\theta, \beta) = \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^{n_j} [\theta_{TDR,j}(z_i, t_i) - \theta_{PRED,j}(z_i, t_i, \beta)]^2 \quad (8)$$

em que, o lado direito da eq. 8 representa o resíduo entre o conteúdo de água no solo observado na TDR ( $\Theta_{TDR}$ ) no tempo  $t_i$  para  $j^{\text{th}}$  medidas em  $z_i$ , e os correspondentes valores de conteúdo de água no solo estimados ( $\Theta_{EST}$ ) utilizando os parâmetros hidráulicos do solo otimizados em  $\beta$  (i.e.,  $\Theta_r$ ,  $\Theta_s$ ,  $\alpha$ ,  $n$ ,  $K_s$  e  $\lambda$ );  $m$  é o número de diferentes locais de medidas de  $\Theta$ ; e  $n$  o número de medidas realizadas em um  $m$ . A minimização da função objetiva  $\Phi$  é realizada utilizando o método de minimização não-linear de Levenberg-Marquardt. Os indicadores estatísticos resultantes da minimização da eq. 8 para obtenção de  $\Theta_r$ ,  $\Theta_s$ ,  $\alpha$ ,  $n$ ,  $K_s$  e  $\lambda$  (eqs. 6 e 7) encontram-se dispostos na Tabela 1.

**Tabela 1.** Parâmetros hidráulicos do solo do lisímetro.

$\Theta_s$	$\Theta_r$	$\alpha$	$n$	$\lambda$	$K_s$	$R^2$	RMSE
$\text{m}^3 \text{m}^{-3}$	$\text{m}^3 \text{m}^{-3}$	$\text{m}^{-1}$			$\text{m h}^{-1}$		
0.472	0.022	5.5	1.52	0.008	$3 \times 10^{-3}$	0.93	0.006

Com os parâmetros da Tabela 1, estimou-se a pressão da água no solo com base nos valores de  $\Theta$  obtidos com uso da TDR.

### **Calibração das sondas de TDR**

Utilizou-se uma TDR (Reflectometria no Domínio do Tempo) modelo TDR-100 Campbell Scientific, acoplada a um conjunto multiplexador-datalogger para a obtenção de valores de conteúdo de água no solo de modo automático e em curtos intervalos de tempo (intervalos de 15 min). A construção das sondas de TDR e a calibração das mesmas para o presente solo, foi baseada na metodologia utilizada por Silva et al. (2015).

Após a obtenção do conteúdo volumétrico de água no solo ( $\theta$ ) e da constante dielétrica ( $k_a$ ), encontrou-se uma equação polinomial cúbica (Equação 3) capaz de estimar valores de umidade do solo a partir da constante dielétrica medida em campo. A equação 3 foi obtida em um intervalo de conteúdo de água no solo variando de 0,09 a 0,50  $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ .

$$\theta = 0,0000052ka^3 + 0,0002ka^2 + 0,0064ka + 0,0405 \quad (3)$$

### **Calibração lisímetro de pesagem**

O experimento foi composto por 36 lisímetros, sendo 35 de drenagem e um de pesagem. Os lisímetros de drenagem foram utilizados apenas para o cultivo das plantas. E o lisímetro de pesagem foi utilizado para a determinação da evapotranspiração da planta de maracujazeiro submetida ao potencial matricial de -0,10 atm e para a definição dos TSRPs. Um lisímetro de drenagem foi posicionado sobre uma plataforma de pesagem de 1.6  $\text{m}^2$  com capacidade de 2000 kg x 200g, formando um lisímetro de pesagem (Figura 3).



**Figura 3:** lisímetro de pesagem.

A plataforma de pesagem foi calibrada pela aplicação e retirada de massas conhecidas, obtendo-se uma relação entre a massa aplicada/retirada (kg) e sinal elétrico (mV/V) emitido pelas células de carga.

A massa inicial era composta pelo somatório das massas referente ao solo seco ao ar, brita presente no dreno, as sondas de TDR e ao tanque seco. Em seguida, fez-se a adição de 10 em 10L de água com massa específica de  $1000 \text{ kg m}^{-3}$ , até a obtenção da massa de 2000 kg. Para cada massa obtida após a adição dos 10 L de água, fez-se a leitura do sinal das células de carga. O mesmo procedimento citado anteriormente, foi realizado quando se fez a retirada a cada 10 L de água. Posteriormente, a partir da relação entre a massa ( $m$ ) do lisímetro e do valor do sinal elétrico ( $Se$ ) das células de carga, determinou-se a equação 4.

$$m = 874,3 Se - 59,33 \quad (4)$$

Conhecendo a equação linear para a determinação da massa do lisímetro, determinou-se a lâmina de água evapotranspirada pela cultura do maracujazeiro, a partir da equação 5, conforme segue abaixo.

$$ETc = Massa_t - Massa_{t+1} \quad (5)$$

Onde,

ET<sub>c</sub> = lâmina de água perdida por evapotranspiração em determinado tempo específico (L);

Massa<sub>t</sub> = massa do lisímetro após a irrigação (kg);

Massa<sub>t+1</sub> = massa do lisímetro antes da nova irrigação (kg).

A evapotranspiração, foi utilizada como parâmetro para a validação da TSRP, indicada pelo indicador estatístico da diferença relativa. Para a determinação do TSRP, utilizou-se os dados de umidade do solo obtidos pela TDR 100, os quais foram transformados em constante dielétrica aparente, a partir da equação 6, modelo proposto por Ledieu et al. (1986).

$$\theta = 0,1138\sqrt{\varepsilon} - 0,1758 \quad (6)$$

Onde,

$\theta$  = umidade volumétrica do solo (cm<sup>3</sup> cm<sup>-3</sup>);

$\varepsilon$  = constante dielétrica aparente.

Após calcular o valor da constante dielétrica aparente do solo, utilizou-se a equação de ajuste das sondas de TDR (equação 3), para a determinação da umidade real do solo. Os valores reais de umidade do solo, foram utilizados para calcular a variação de armazenamento de água no solo e para a determinação de critérios adequado para a definição do TSRP, visando o aperfeiçoamento do manejo da irrigação.

### Determinação do TSRP

Determinou-se o TSRP utilizando o indicador estatístico proposto por Vachaud et al. (1985), conforme utilizado por Silva et al. (2018). A diferença relativa baseada na metodologia proposta por Vachaud et al. (1985), foi calculada a partir da razão entre a diferença absoluta ( $\Delta_{RiZi}$ ) da umidade do solo em determinado ponto específico ( $\theta_{RiZi}$ ) em relação a umidade média ( $\theta_{média}$ ) do perfil do solo e a umidade média do perfil do solo, em determinado tempo (intervalo de uma hora), conforme a equação 7.

$$\delta_{(RiZi)} = \frac{\Delta_{RiZi}}{\theta_{média}} \quad (7)$$

Onde,

$\delta_{(R_i Z_i)j}$  = diferença relativa do ponto monitorado ( $R_i Z_i$ ), em determinado horário;

$$\Delta_{R_i Z_i} = \theta_{R_i Z_i} - \theta_{média} \quad (8);$$

$$\theta_{média} = \frac{\sum_{i=1}^N \theta_{R_i Z_i}}{N} \quad (9);$$

N = é o número de sensores de umidade do solo instalados no perfil do solo.

Os valores da diferença relativa foram classificados em ordem crescente, sendo que quando  $\delta_{(R_i Z_i)} > 0$ , superestima e se  $\delta_{(R_i Z_i)} < 0$ , subestima a variação de umidade do solo, ou seja, o TSRP será aquele em que o valor da diferença relativa for igual ou próximo a zero. A definição do TSRP também foi baseada no menor valor de desvio médio, ou seja, o posicionamento do sensor teria que apresentar valor de diferença relativa próximo a zero e baixo valor de desvio médio, conforme utilizado por Silva et al. (2018).

### Diferentes cenários de estudos para a definição do TSRP

O conceito TSRP foi aplicado em duas condições de contorno (área de obtenção de dados do conteúdo de água no solo): (i) zona radicular da cultura; e (ii) bulbo molhado, além de duas escalas temporais de obtenção de dados de conteúdo de água no solo: (i) dados obtidos continuamente em 10 irrigações consecutivas; e, (ii) dados obtidos separadamente por intervalo de irrigação. Os dados foram obtidos quando as plantas se encontravam no estágio fenológico de floração-produção (6° - 7° mês após o transplântio das mudas).

Para cada TSRP definido pelos indicadores estatísticos, nos quatro diferentes cenários estudados (duas condições de contorno x duas escalas temporais), determinou-se valores diários de evapotranspiração da cultura, os quais foram comparados aos valores de evapotranspiração diária observados no lisímetro de pesagem, obtendo-se o erro absoluto. O erro absoluto foi calculado utilizando-se a raiz quadrada do quadrado do erro médio (RMSE = root mean square error), conforme segue a equação 10 abaixo.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\theta_{R_i Z_i} - \theta_{média})^2}{n}} \quad 10$$

Onde,

$\theta_{R_i Z_i}$  = umidade volumétrica para cada ponto monitorado ( $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ );

$\theta_{\text{média}}$  = valor médio de umidade de água no solo em todo o perfil de solo;

n = número de observações.

### Determinação da zona radicular da cultura

A zona radicular da cultura foi determinada a partir da coleta de raízes, em um plano bidimensional, em uma planta submetida as mesmas condições de cultivo e semelhante a que estava no lisímetro de pesagem, no momento em que estava no estágio fenológico de floração-produção (6<sup>o</sup> – 7<sup>o</sup> meses após o transplante). Para isso, fez-se a abertura de uma trincheira para retirada de 16 amostras de solo em quatro distâncias da planta (0-0,1; 0,15-0,25; 0,30; 0,40; e 0,45-0,55 m). Para cada distância, retirou-se uma amostra de solo de 0,1 x 0,1 x 0,1 m, nas camadas de solo de 0-0,1; 0,1-0,2; 0,2-0,3; e 0,3-0,4 m.

Após a obtenção das amostras, separou as raízes do solo através do processo de lavagem, em seguida as raízes foram escaneadas e digitalizadas para obtenção de comprimento e volume total das mesmas, utilizando o software SAFIRA. Na Figura 4 é possível verificar a presença de raízes em todo o perfil de solo estudado, através da distribuição em percentual do comprimento e volume total de raízes.



A					B				
	R <sub>0,10</sub>	R <sub>0,25</sub>	R <sub>0,40</sub>	R <sub>0,55</sub>		R <sub>0,10</sub>	R <sub>0,25</sub>	R <sub>0,40</sub>	R <sub>0,55</sub>
Z <sub>0,10</sub>	5,20±3,49	11,96±3,49	3,46±3,49	4,14±3,49	Z <sub>0,10</sub>	4,84±4,02	14,68±4,02	4,24±4,02	7,60±4,02
Z <sub>0,20</sub>	5,83±3,49	2,96±3,49	5,98±3,49	13,91±3,49	Z <sub>0,20</sub>	2,83±4,02	2,45±4,02	4,75±4,02	12,39±4,02
Z <sub>0,30</sub>	11,23±3,49	6,65±3,49	5,53±3,49	4,75±3,49	Z <sub>0,30</sub>	10,99±4,02	4,98±4,02	7,04±4,02	3,88±4,02
Z <sub>0,40</sub>	5,52±3,49	1,97±3,49	2,35±3,49	8,57±3,49	Z <sub>0,40</sub>	4,43±4,02	1,53±4,02	2,19±4,02	11,20±4,02

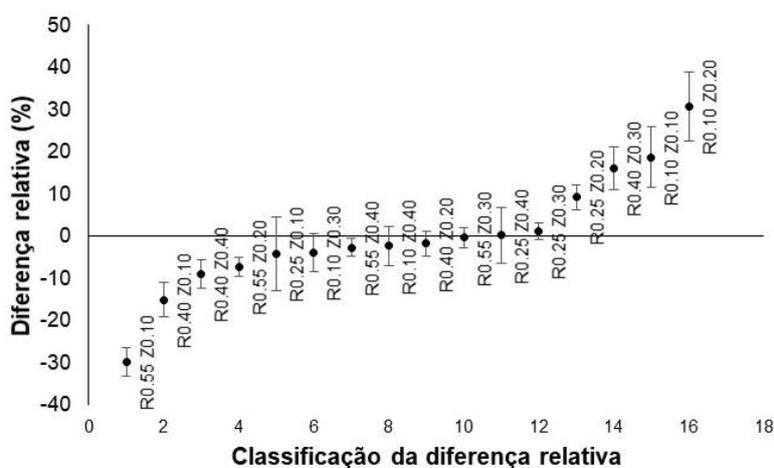
**Figura 4.** Percentagem do comprimento (A) e volume (B) total de raízes em um plano bidimensional do perfil de solo estudado, representando os diferentes posicionamentos dos sensores de umidade do solo.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Aplicação do conceito TSRP em diferentes condições de contorno

A determinação de TSRP ocorreu inicialmente com os dados de umidade obtidos na zona radicular do maracujazeiro, durante 10 intervalos de irrigações, equivalente a 581 horas de avaliação. Notou-se que três sensores apresentaram valores de diferença relativa próximo de zero. Dentre estes, aquele localizado em

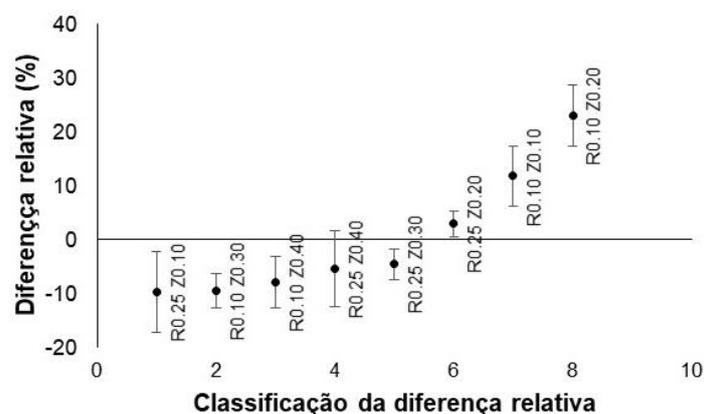
$R_{0.25}Z_{0.3}$  foi o que apresentou menor desvio temporal, sendo, portanto, o indicado como TSRP (Figura 5). Verificou-se que diversos sensores superestimam ou subestimam a média do conteúdo de água no solo na zona radicular do maracujazeiro. E os valores mais distantes de zero, foram encontrados para os sensores instalados a  $R_{0.55}Z_{0.1}$  e  $R_{0.1}Z_{0.2}$ , sendo o último o menos indicado.



**Figura 5.** Valores da diferença relativa média em ordem classificatória, obtidos a partir dos sensores de umidade do solo posicionados na zona radicular da cultura, no período de 581 horas.

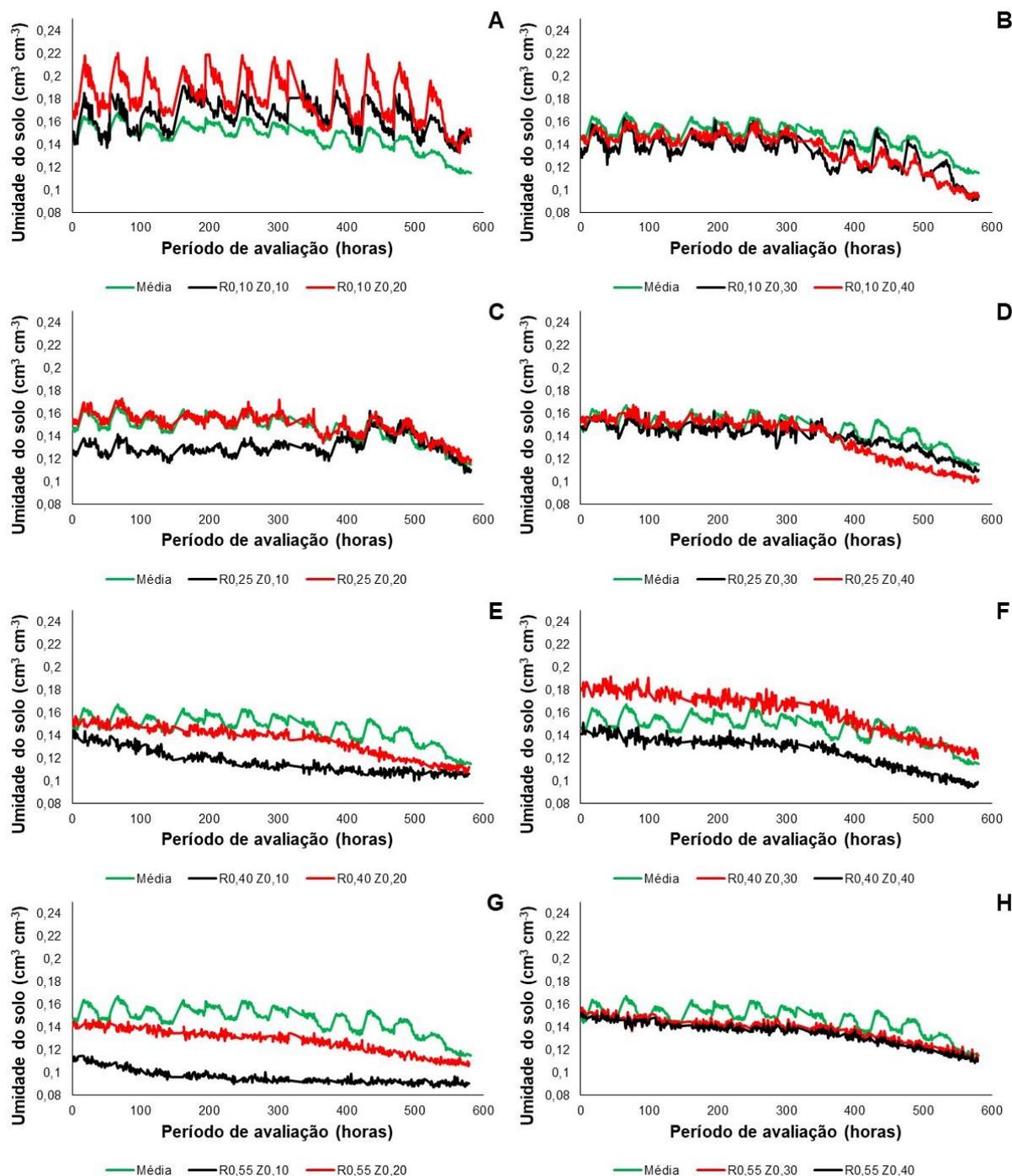
Observa-se que o sensor menos indicado para o manejo da irrigação está posicionado a  $R_{0.1}Z_{0.2}$ , superestimando o volume de água aplicado, possivelmente devido ao seu posicionamento próximo ao caule da planta e a alta intensidade de extração de água neste local. Comportamento semelhante foi reportado por Silva et al. (2015), trabalhando com a cultura da bananeira, durante o estágio de desenvolvimento da floração.

Quando analisadas apenas os sensores posicionados dentro do bulbo molhado, no período de 10 intervalos de irrigação, observou-se que houve uma mudança do posicionamento do sensor indicado para a realização do manejo da irrigação (Figura 6). A TSRP foi identificada no posicionamento  $R_{0.25}Z_{0.2}$  (Figura 8). Já o sensor menos indicado para o manejo da irrigação, continuou sendo o posicionado a  $R_{0.1}Z_{0.2}$ .



**Figura 6.** Valores da diferença relativa média em ordem classificatória, obtidas a partir de oito diferentes posicionamentos de monitoramento de umidade do solo na zona do bulbo molhado, no intervalo de 581 horas, referente a 10 diferentes ciclos (intervalos) de irrigações.

Conforme pode ser visto na Figura 7C, o sensor de umidade do solo posicionado na localização R0.25Z0.2, segue a variação temporal da umidade de água no solo semelhante à média de todos os sensores instalados na zona do bulbo molhado, ao longo do período de 10 intervalos de irrigação.



**Figura 7.** Variação de umidade do solo nos sensores instalados na zona radicular e do bulbo molhado e a média de umidade de todos os sensores posicionados na zona do bulbo molhado (Média), ao longo de 10 intervalos de irrigação.

O sensor de umidade do solo posicionado na localização  $R_{0.25}Z_{0.2}$ , proporcionou um erro absoluto médio entre a evapotranspiração estimada pelo sensor de umidade do solo e a evapotranspiração observada no lisímetro de pesagem de  $0,38 \text{ L planta}^{-1}$  dia, o que corresponde a aproximadamente 6,47 % da lâmina de irrigação média

aplicada no período avaliado. Já o sensor indicado para o manejo da irrigação baseado nos sensores instalados na zona radicular da cultura ( $R_{0.25}Z_{0.3}$ ) (Figura 7D), proporcionou um erro absoluto médio de  $0,525 \text{ L planta}^{-1} \text{ dia}$ , correspondente a aproximadamente 8,95 % da lâmina de irrigação média aplicada. Já o TSRP ( $R_{0.10}Z_{0.20}$ ) menos indicado para a realização do manejo da irrigação, proporcionou um erro absoluto médio de  $0,709 \text{ L planta}^{-1} \text{ dia}$ , correspondente a aproximadamente 12,10 %.

Com isso, no uso do conceito TSRP haverá variações no local definido como ótimo para instalação de sensores em função da condição de contorno adotada. Os resultados deste estudo indicam que menores erros serão obtidos caso o conceito seja aplicado apenas ao bulbo molhado.

### **Efeito da escala temporal de obtenção de dados de conteúdo de água no solo na determinação de TSRP**

Quando analisada a estabilidade temporal e espacial do conteúdo de água no solo na zona radicular da cultura e no bulbo molhado, para cada intervalo de irrigação separadamente, observou-se que a TSRP indicada pelo método da diferença relativa varia dentro de um estágio de desenvolvimento da cultura. Assim, a utilização de apenas um ciclo (intervalo) de irrigação, pode não ser suficiente para definir um único TSRP que contemple todo um estágio de desenvolvimento da cultura.

As diferentes TSRPs indicadas no tempo, para a zona radicular, no período de 10 intervalos (ciclos) de irrigações, proporcionaram um erro absoluto médio entre a evapotranspiração estimada pelo sensor de umidade do solo e evapotranspiração observada no lisímetro de pesagem de  $0,445 \text{ L planta}^{-1} \text{ dia}$  (Tabela 1), inferior ao valor de erro acumulado médio de todos os sensores posicionados na zona radicular, que foi de  $0,648 \text{ L planta}^{-1} \text{ dia}$ .

**Tabela 1.** TSRPs na zona radicular, valores encontrados pelo indicador e o erro absoluto entre os valores de  $ET_{C_{est}}$  pelo sensor de umidade e  $ET_{C_{obs}}$  pelo lisímetro de pesagem, encontrados para cada intervalo de irrigação.

Ciclos	Posicionamento do sensor	Valor do indicador	Erro absoluto (L planta <sup>-1</sup> dia)
Ciclo 1	R0,55 Z0,40	0,0059	1,543
Ciclo 2	R0,55 Z0,40	-0,0007	0,311
Ciclo 3	R0,25 Z0,30	-0,0001	0,165
Ciclo 4	R0,25 Z0,30	0,0089	0,746
Ciclo 5	R0,10 Z0,30	-0,0041	0,062
Ciclo 6	R0,40 Z0,20	0,0021	0,842
Ciclo 7	R0,55 Z0,30	0,0053	0,181
Ciclo 8	R0,55 Z0,30	-0,0107	0,197
Ciclo 9	R0,25 Z0,30	0,0077	0,241
Ciclo 10	R0,25 Z0,30	-0,0051	0,163
Média			0,445

A adequação da TSRP para cada intervalo de irrigação, na zona do bulbo molhado, proporcionou um erro absoluto médio entre a evapotranspiração estimada pelo sensor de umidade do solo e evapotranspiração observada no lisímetro de pesagem de 0,604 L planta<sup>-1</sup> dia, pela métrica estatística da diferença relativa, no período de 10 intervalos de irrigação, sendo superior ao erro absoluto médio encontrado para os TSRPs encontrados na zona radicular (Tabela 2) e semelhante ao valor de erro acumulado médio de todos os sensores instalados na zona do bulbo molhado, que foi de 0,604 L planta<sup>-1</sup> dia.

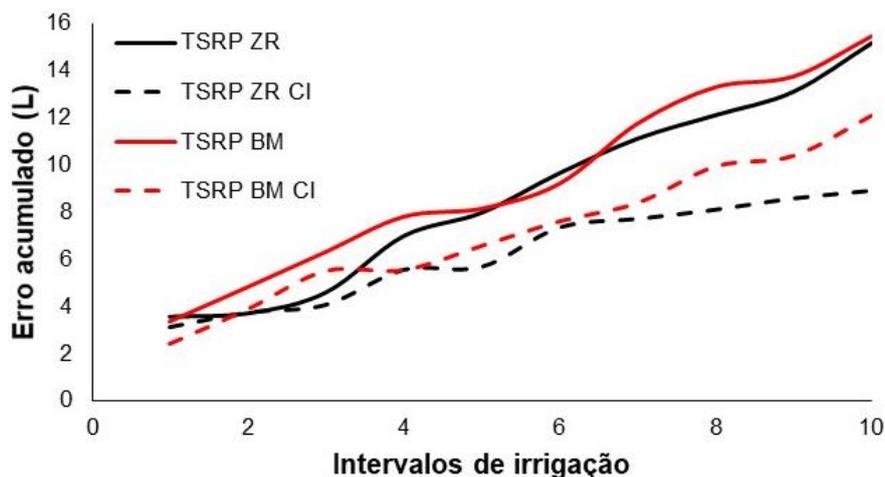
**Tabela 2.** TSRPs na zona do bulbo molhado, valores encontrados pelo indicador e o erro absoluto entre os valores de  $ET_{Cest}$  pelo sensor de umidade e  $ET_{Cobs}$  pelo lisímetro de pesagem, encontrados para cada intervalo de irrigação.

Ciclos	Posicionamento do sensor	Valor do indicador	Erro absoluto (L planta <sup>-1</sup> dia)
Ciclo 1	R0,25 Z0,30	0,001	1,213
Ciclo 2	R0,25 Z0,30	-0,004	0,733
Ciclo 3	R0,10 Z0,40	-0,020	0,808
Ciclo 4	R0,25 Z0,20	0,007	0,017
Ciclo 5	R0,25 Z0,40	-0,017	0,512
Ciclo 6	R0,25 Z0,40	-0,012	0,520
Ciclo 7	R0,25 Z0,20	0,011	0,390
Ciclo 8	R0,25 Z0,10	0,015	0,770
Ciclo 9	R0,25 Z0,10	0,029	0,226
Ciclo 10	R0,25 Z0,10	0,004	0,850
Média			0,604

Já a adoção das TSRPs menos indicadas para a realização do manejo da irrigação, ao longo de 10 intervalos de irrigação, proporcionaram um erro acumulado médio de 0,806 e 0,709 L planta<sup>-1</sup> dia, para os sensores de umidade do solo instalados na zona radicular e do bulbo molhado, respectivamente. Esses valores representam aproximadamente 13,73 e 12,08 % da lâmina de irrigação calculada, para a região da zona radicular e do bulbo molhado. Ou seja, a depender da TSRP adotada para o manejo da irrigação, poderá haver uma limitação de até 13,73 % da área potencial a ser irrigada.

### **Balanço Hídrico com uso do TSRP vs lisímetro de Pesagem**

Os valores de erro absoluto acumulado proporcionado entre a  $ET_c$  estimada pelas TSRPs indicadas para as quatro condições de estudos (condição de contorno x escala temporal) citadas nos parágrafos anteriores, durante o período de 10 intervalos de irrigações, são apresentadas na figura 8, abaixo.



**Figura 8.** Valores de erro absoluto acumulado entre a  $ET_c$  estimada pela TSRP: na zona radicular (TSRP ZR) e do bulbo molhado (TSRP BM) ao longo de 10 intervalos de irrigação; na zona radicular (TSRP ZR CI) e do bulbo molhado (TSRP BM CI) para cada ciclo de irrigação e  $ET_c$  observada no lisímetro de pesagem.

Nota-se na Figura 10, que o monitoramento de umidade realizado apenas com base em um único TSRP para todo o período avaliado na zona radicular e do bulbo molhado, proporcionou maiores erros acumulados, quando comparado com o monitoramento de umidade realizado com base na TSRP indicada para cada ciclo de irrigação, na zona radicular e do bulbo molhado, respectivamente.

É importante salientar que os posicionamentos de sensores indicados no presente trabalho, nas diferentes condições de contorno e escalas temporais, ficam restritos as condições de solo no qual a planta de maracujazeiro foi submetida, assim como, ao estágio de desenvolvimento em que a mesma se encontrava. Silva et al. (2018), em um estudo de posicionamento de sensores de umidade do solo na cultura da bananeira, observaram que o posicionamento ideal do sensor variou entre os diferentes estádios de desenvolvimento da cultura.

Além disso, em condições em que a zona do bulbo molhado é inferior a zona radicular da cultura, como no presente trabalho, é recomendável que adote o posicionamento do sensor na TSRP dentro da zona radicular. Já a obtenção de dados em escala temporal com maior frequência para a definição da TSRP, proporcionou menores erros na estimativa da evapotranspiração, quando comparado com a condição de contorno.

Diante das diferentes condições de definições de posicionamentos de sensores de umidade do solo, citadas anteriormente e, supondo uma situação em que o

proprietário esteja disposto (interessado), possua poder aquisitivo econômico e para fins de automatização do sistema de irrigação, torna-se mais conveniente a instalação de sensores de umidade em todo o perfil bidimensional de solo, e conseqüentemente, para fins de cálculo de irrigação, utilizar apenas o sensor de umidade do solo na TSRP do dia. Já nos casos em que o perfil de solo com presença do sistema radicular da cultura, possuir diferentes camadas de solo (perfil de solo com camadas de solos heterogêneas), é recomendado utilizar um sensor (TSRP) por camada de solo ou um único TSRP representando a zona radicular, conforme reportado por Soulis e Elmaloglou (2018).

## CONCLUSÕES

A definição do TSRP varia conforme a condição de contorno adotada, sendo que a TSRP aplicada na zona do bulbo molhado produz ET<sub>c</sub> mais próxima daquela observada no lisímetro de pesagem;

A determinação do TSRP com base em apenas um único intervalo de irrigação, não é suficiente para a definição do TSRP que represente um ciclo da cultura;

A definição de TSRPs para cada intervalo de irrigação, proporcionou menores erros absolutos acumulados na estimativa da evapotranspiração da cultura, quando comparado com um único TSRP adotado para todo o período avaliado.

## REFERÊNCIAS

BORGES, A. L. Nutrição mineral, calagem e adubação. In: LIMA, A. A.; CUNHA, M. A. P. **Maracujá: Produção e qualidade na passicultura**. Cruz das Almas, BA: Embrapa Mandioca e Fruticultura, 2004. p. 117-149.

COELHO, E. F.; SILVA, A. J.; MIRANDA, J. H. D. Definição do posicionamento de sensores para monitoramento da água no solo em bananeira irrigada por diferentes sistemas de irrigação localizada. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 30, n. 4, p. 608-618, 2010.

COSTA, A. F. S.; COSTA, A. N.; VENTURA, J. A.; LIMA, I. M.; CAETANO, L. C. S.; SANTANA, E. N. **Recomendações técnicas para o cultivo do maracujazeiro**. Vitória – ES, Incaper, 2008.

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

LEDIEU, J.; DE RIDDER, P.; DE CLERCK, P.; DAUTREBANDE, S. A method of measuring soil moisture by time-domain reflectometry. **Journal of Hydrology**, v. 88, n. 3-4, p. 319-328, 1986.

SIMUMEK, J.; SEJNA, M.; SAITO, H.; SAKAI, M.; VAN GENUCHTEN, M. 2013. The HYDRUS-1D Software Package for Simulating the One-Dimensional Movementseries 3, Department of Environmental Sciences, University of California, Riverside, California, USA, p. 343, 2013.

SILVA, A. J. P.; DE JONG VAN LIER, Q.; COELHO, E. F. Time Stable Representative Position determination as affected by the considered part of an irrigation cycle. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 157, p. 281 – 287, 2019.

SILVA, A. J.P.; COELHO, E. F.; COELHO FILHO, M. A.; SOUZA, J. L. Water extraction and implications on soil moisture sensor placement in the root zone of banana. **Scientia Agricola**, v. 75, n. 2, p. 95-101, 2018.

SILVA, A. J. P.; COELHO, E. F.; COELHO FILHO, M. A. Water extraction variability in the banana root zone affects the reliability of water balance. **Scientia Agricola**, v. 72, n. 1, p. 1-10, 2015.

SOARES, F. C.; PEITER, M. X.; ROBAINA, A. D.; PARIZI, A. R. C.; RAMÃO, C. J.; VIVAN, G. A. Resposta da produtividade de híbridos de milho cultivado em diferentes estratégias de irrigação. **Irriga**, Botucatu, v. 15, n. 1, p. 36-50, 2010.

SOULIS, K. X.; ELMALOGLOU, S. Optimum soil water content sensors placement for surface drip irrigation scheduling in layered soils. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 152, p. 1-8, 2018.

SOULIS, K.X.; ELMALOGLOU, S. Optimum soil water content sensors placement in drip irrigation scheduling systems: concept of time stable representative positions. **Journal Irrigation and Drainage Engineering**, v. 142, n. 11, p. 04016054-1-04016054-9, 2016.

SOULIS, K. X.; ELMALOGLOU, S.; DERKAS, N. Investigating the effects of soil moisture sensors positioning and accuracy on soil moisture based drip irrigation scheduling systems. **Agricultural Water Management**, v. 148, p. 258-268, 2015.

SOUZA, C. F.; MATSURA, E. E. Distribuição da água no solo para o dimensionamento da irrigação por gotejamento. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 8, n. 1, p. 7-15, 2004.

VACHAUD, G.; SILANS, A.P.; BALABANIS, P.; VAUCLIN, M. Temporal stability of spatially measured soil water probability density function. **Soil Science Society of America Journal**, v. 49, n. 4, p. 822-828, 1985.

VAN GENUCHTEN, M. T.; LEIJ, F. J.; YATES, S. R. The RETC code for quantifying the hydraulic functions of unsaturated soils. **University of California Riverside**. Riverside. 1991.

## **CAPÍTULO II**

### **LIMITES CRÍTICOS DE POTENCIAL DE ÁGUA NO SOLO PARA O MANEJO DA IRRIGAÇÃO LOCALIZADA DO MARACUJAZEIRO**

## LIMITES CRÍTICOS DE POTENCIAL DE ÁGUA NO SOLO PARA O MANEJO DA IRRIGAÇÃO LOCALIZADA DO MARACUJAZEIRO

**RESUMO:** Definir qual limite crítico de potencial ou fator de depleção de água no solo utilizar é uma dúvida recorrente no manejo de irrigação. O objetivo deste trabalho foi definir limites críticos de potencial e fator de depleção de água no solo para o manejo da irrigação por gotejamento no maracujazeiro. Avaliou-se o crescimento, rendimento e eficiência do uso da água de maracujazeiro amarelo em lisímetros de 1,1 x 1,1 x 0,9 m, submetendo-o a duas faixas de potencial de água no solo, quais sejam: (i) faixa 1, potencial de água no solo variando entre - 0,1 e - 0,4 atm; (ii) faixa 2, potencial de água no solo variando entre - 0,2 e - 0,6 atm. A área foliar e o número de folhas do maracujazeiro não diferiram estatisticamente ( $p > 0,05$ ) entre si, nas diferentes condições de manejo de irrigação. Não houve distinção da eficiência do uso da água nas duas condições de cultivo ( $p > 0,05$ ), sendo em média igual a 5,1 kg m<sup>-3</sup>. Embora, as plantas submetidas a faixa de potencial de - 0,1 a - 0,4 atm, produziram em média 55 % a mais que as plantas submetidas a faixa de potencial de - 0,2 a - 0,6 atm. Para o manejo de irrigação do maracujazeiro baseado em fatores de depleção de água no solo, recomenda-se um “fator-f” igual a 0,3.

**PALAVRAS CHAVES:** *Passiflora edulis* S., eficiência do uso da água, potencial de água no solo.

## **CRITICAL LIMITS OF SOIL-WATER-POTENTIAL FOR DRIP IRRIGATION MANAGEMENT OF PASSION FRUIT**

**ABSTRACT:** Defining which critical limit of soil-water-potential or soil-water depletion factor to use in irrigation management is a recurring doubt. The objective of this work was to define critical limits of soil-water-potential and soil-water depletion factor for drip irrigation management of *Passiflora edulis* S. It was evaluated the growth, yield and water use efficiency of yellow passion fruit in lysimeters of 1.1 x 1.1 x 0.9 m, subjecting the culture to two ranges of soil-water-potential, namely: (i) range 1, soil-water-potential ranging from – 0.1 and - 0.4 atm; (ii) range 2, soil-water-potential ranging from - 0.2 to - 0.6 atm. The leaf area and leaf number of passion fruit did not differ statistically ( $p > 0.05$ ) among the different irrigation management conditions. There was no distinction of water use efficiency in the two cultivation conditions ( $p > 0.05$ ), averaging 5.1 kg m<sup>-3</sup>. Although, plants submitted to a soil-water- potential range of - 0.1 to - 0.4 atm produced on average 55% more than plants submitted to a soil-water-potential range of - 0.2 to - 0.6 atm. A "factor-f" equal to 0.3 is recommended for irrigation management of passion fruit based on soil water depletion factors.

**KEYWORDS:** *Passiflora edulis* S.; water use efficiency; potential of soil water.

## INTRODUÇÃO

Dentre as frutíferas cultivadas no território brasileiro, o maracujazeiro (*Passiflora edulis* Sims) oferece rápido retorno econômico, quando comparado à maioria das frutíferas tropicais que levam alguns anos para iniciar a fase produtiva. Além disso, o Brasil é o maior produtor da fruta de maracujá (Aguiar et al., 2015), com uma produção aproximada de 694 mil ton (IBGE, 2017).

A maioria das variedades utilizadas comercialmente apresentam alto potencial de produtividade, em torno de 50 toneladas por hectare ano<sup>-1</sup> (Lopes et al., 2016). No entanto, a produtividade média no Brasil é de aproximadamente 13,5 toneladas por hectare ano<sup>-1</sup> (IBGE, 2017), possivelmente, devido ao manejo inadequado da cultura, a ausência de agentes polinizadores (Arias - Suárez et al., 2014), ao déficit hídrico e nutricional (Lopes et al., 2016).

Dentre os estados produtores no Brasil, o Distrito Federal detém a maior produtividade nacional, com aproximadamente 34,6 ton ha<sup>-1</sup>, no entanto, existem estados, como por exemplo, Maranhão e Tocantins, que produzem apenas 6,1 e 7,9 ton ha<sup>-1</sup>, respectivamente; já o estado da Bahia, responsável por 31 % da produção é o maior produtor nacional, apresenta produtividade média de 10,5 ton ha<sup>-1</sup>, em uma área aproximada de 16.284 ha; na cidade de Livramento de Nossa Senhora, no estado da Bahia, o cultivo de maracujazeiro irrigado é responsável por aproximadamente 18 % da produção do estado (IBGE, 2017).

Apesar da importância da cultura, especialmente para pequenos produtores, ainda há pouco conhecimento em relação a resposta fisiológica da planta em condições de déficit hídrico controlado que possam ser transferidos para a prática de manejo de irrigação. Souza et al. (2018) realizaram um estudo com diferentes espécies de maracujazeiro, submetidas a ciclos de déficits hídrico (fazendo a irrigação após 66 % das plantas apresentarem aparentemente murchamento e fechamento estomático), no entanto, não avaliaram a produtividade da cultura. Os autores verificaram que para a espécie *P. edulis* o déficit hídrico reduziu o crescimento em 50 % e que o seu fechamento estomático foi mais rápido, quando comparado as outras espécies avaliadas.

Para a fase de diferenciação das flores e pegamento dos frutos do maracujazeiro, tem sido utilizado o valor crítico inferior de - 0,2 atm como critério do momento de irrigar o maracujazeiro, conforme proposto por Staveley e Wolstenholmd (1990). Entretanto, na definição de limites críticos de potencial ou disponibilidade de água no solo, há de ser considerado, ainda, a demanda atmosférica local (se alta ou baixa), e o tipo de solo (alta ou baixa permeabilidade), além do posicionamento ideal para monitoramento dos potenciais da água no solo (Silva et al., 2018). Além disso, atualmente, com uso expansivo da irrigação automatizada e por pulsos, os critérios para o manejo de irrigação são completos quando acompanhados da recomendação de limites críticos superiores e inferiores, pois, definir corretamente o momento de desligar o sistema é tão importante quanto definir quando ligar. As recomendações de tais limites devem se basear não apenas nas respostas de produção da planta, mas também na sua eficiência de uso da água. Pois, estudos têm demonstrado que o déficit hídrico controlado de irrigação pode proporcionar aumento da eficiência do uso da água pela cultura, como é o caso do meloeiro (Sharma et al., 2014), tomateiro (Biswas et al., 2015), mangueira (Dos Santos et al., 2015), mamoeiro (Lima et al., 2015) e abobrinha (Kuslu et al., 2014).

Dessa forma, o presente trabalho tem como objetivo definir limites críticos de potencial e disponibilidade de água no solo para o manejo da irrigação do maracujazeiro. Tais recomendações foram definidas com base em respostas de crescimento, rendimento e eficiência de uso da água da cultura.

## **METODOLOGIA**

### **Caracterização da área experimental**

O estudo experimental foi conduzido em casa de vegetação, no Núcleo de Engenharia de Água e Solo (NEAS), na Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, no campus de Cruz das Almas, Bahia, Brasil. A área experimental está localizada a uma altitude média de 220 m, nas coordenadas geográficas 12°40'19" de latitude Sul, 39°06'23" de longitude Oeste.

O clima local é classificado como tropical quente e úmido, com médias pluviométricas anuais, temperatura e umidade relativa do ar de 1.131,17 mm, 24,5 °C e 80%, respectivamente (Guimarães et al, 2017).

A casa de vegetação foi construída com arco simples, com 30 m de comprimento, 6 m de largura e pé-direito de 3 m. A estrutura está instalada na orientação leste/oeste. O ambiente estava protegido por tela tipo clarete nas laterais, por um filme plástico do tipo anti UV 150 nm instalado no teto.

No interior da casa de vegetação, foram instalados lisímetros de drenagem, com dimensões de 1,1 x 1,1 x 0,9 m (Figura 1). Os lisímetros foram preenchidos com solo classificado quanto a sua textura como franco arenoso, qual apresentava 68,25, 20,22 e 11,53 % de areia, silte e argila, respectivamente. O solo utilizado é classificado como latossolo amarelo distrocoeso. O solo apresentava densidade global de 1,31 g cm<sup>-3</sup>, densidade de partículas de 2,69 g cm<sup>-3</sup> e 51,3 % de porosidade total. Posteriormente, realizou-se a calagem do solo a partir da aplicação de calcário dolomítico, seguindo as recomendações de Sousa et al. (2004).



**Figura 1.** Visão interna da casa de vegetação com lisímetros de drenagem.

Cada lisímetro representava uma parcela (unidade) experimental, sendo utilizados para o cultivo do maracujazeiro (*Passiflora edulis* Sims), variedade Gigante amarelo. As mudas de maracujazeiro foram obtidas via propagação sexuada.

As mudas propagadas sexuadamente foram obtidas a partir da sementeira em tubetes preenchidos com terra vegetal. Após atingirem 0,1 m de altura, foram transferidas para sacos plásticos com volume de 0,002 m<sup>3</sup>, preenchidos com terra vegetal, onde ficaram até atingirem 0,3 m de altura.

Em seguida, quando as mudas de maracujazeiro apresentavam 0,3 m de altura (idade aproximada de 60 dias), realizou-se a adubação de plantio na cova de plantio

e o transplântio das mudas, para as unidades experimentais (lisímetros). A adubação de plantio foi realizada com macro e micronutrientes, seguindo as recomendações de Borges (2004) e Costa et al. (2008), respectivamente.

O espaçamento de transplântio foi o de 2,0 x 1,5 m e o sistema de tutoramento adotado foi o do tipo espaldeira vertical, com um fio de arame liso a 1,8 m de altura da base da planta (Figura 2).

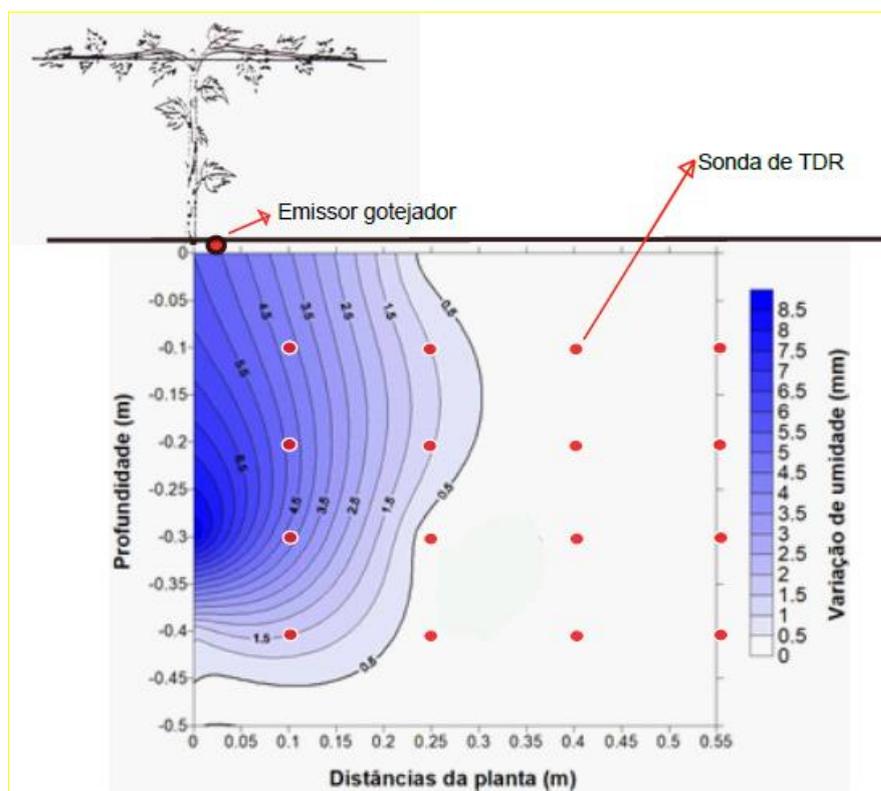


**Figura 2.** Plantas de maracujazeiro conduzidas em sistema do tipo espaldeira vertical, aos 50 DAT (A) e 100 DAT (B).

Posteriormente, com o desenvolvimento das plantas, fez-se o corte da ponta do ramo principal (gema apical), para o surgimento dos ramos secundários (quebra da dominância apical). Os ramos secundários (laterais) tiveram as suas extremidades cortadas após atingirem um metro de comprimento. A partir do corte foram formados os ramos terciários (ramos produtivos).

A polinização foi realizada manualmente, no horário entre as 13 e 15 horas, quatro vezes na semana. As plantas de maracujazeiro foram irrigadas por um sistema de irrigação localizada por gotejamento. Os emissores gotejadores utilizados foram do tipo autocompensantes com vazão de 2 L h<sup>-1</sup>, operando a uma pressão de 12 mca. O emissor gotejador proporcionou um diâmetro de bulbo molhado de 0,8 m, e conseqüentemente, uma área molhada aproximada de 0,50 m<sup>2</sup> (equivalente a 42 % da área total do lisímetro).

Para o monitoramento da umidade do solo, foram utilizadas sondas de TDR instaladas nas profundidades 0,10, 0,20, 0,30 e 0,4 m e distanciadas das plantas em 0,10, 0,25, 0,40 e 0,55 m, totalizando 16 sondas em um perfil bidimensional, conforme a Figura 3 abaixo.



**Figura 3:** Linha lateral com um emissor gotejador por planta, formação do bulbo molhado e distribuição das sondas de TDR (sensores de umidade do solo) em um plano bidimensional.

Já para a realização do manejo da irrigação, utilizou-se duas baterias de sondas de TDR, distanciadas em 0,10 e 0,25 m da planta, localizadas na região do bulbo molhado. Cada bateria era composta por quatro sondas, nas profundidades de 0,10, 0,20, 0,30 e 0,40 m. Foi calculado o volume de água necessário na irrigação (V.I) para retomar a umidade média do solo ao potencial matricial de -0,1 atm ( $0,20 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ ) e -0,22 atm ( $0,16 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ ), conforme as equações 1 e 2.

$$V.I = \left[ (0,20 - \bar{\theta}_{atual}) \times Z \times \frac{\pi D^2}{4} \times \frac{1}{E_f} \right] \times 1000 \quad (1)$$

$$V.I = \left[ (0,16 - \bar{\theta}_{atual}) \times Z \times \frac{\pi D^2}{4} \times \frac{1}{E_f} \right] \times 1000 \quad (2)$$

Onde,

V.I = Volume de irrigação necessário (Litros);

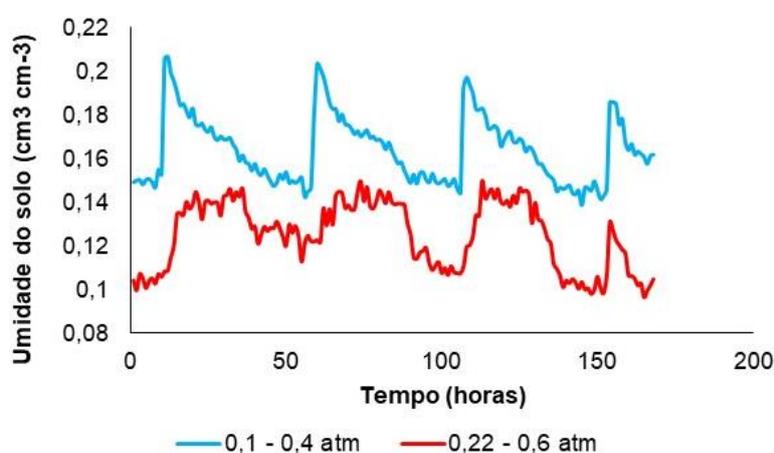
$\bar{\theta}_{atual}$  = Umidade volumétrica média atual ( $\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ );

Z = Profundidade (0,5 m);

D = Diâmetro médio molhado (0,6 m);

Ef = eficiência do sistema (0,96).

O intervalo entre irrigações (turno de rega) adotado foi de dois dias. Os valores médios de  $\bar{\theta}_{atual}$  obtidos durante o período experimental foram convertidos em potencial de água no solo e representaram os limites críticos inferiores. Assim, para o caso em que o limite crítico superior foi de  $-0,1$  atm, verificou-se, com base em  $\bar{\theta}_{atual}$  que o limite crítico inferior foi  $-0,4$  atm. No outro caso, o limite inferior determinado foi  $-0,6$  atm. Os valores de umidade do solo para as plantas submetidas a faixa de potencial de  $-0,1$  a  $-0,4$  atm, variaram em média entre  $0,20$  e  $0,146$   $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$  (Figura 4), ao longo de 11 intervalos de irrigações, no período em que a planta encontrava-se no estágio de floração-frutificação (6<sup>o</sup> a 7<sup>o</sup> mês). Já para as plantas submetidas a faixa de potencial de  $-0,2$  a  $-0,6$  atm, a umidade do solo variou entre  $0,16$  e  $0,09$   $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ .



**Figura 4.** Variação de umidade do solo, nas plantas submetidas a faixa de potencial de água no solo de  $-0,1$  a  $-0,4$  atm e de  $-0,22$  a  $-0,6$  atm, ao longo de três intervalos de irrigações.

Dessa forma, considerando os limites superior de água de  $0,20$  e  $0,16$   $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ , para as plantas submetidas a faixa de potencial de  $-0,1$  a  $-0,4$  atm e de  $-0,2$  a  $-0,6$  atm, respectivamente, calculou-se a água disponível. A água disponível foi de  $0,17$  e  $0,13$   $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ , para as plantas submetidas a faixa de potencial de  $-0,1$  a  $-0,4$  atm e de  $-0,2$  a  $-0,6$  atm, respectivamente. A partir dos valores de água disponível, calculou-se o fator de reposição “f” médio utilizado durante 11 intervalos de irrigações.

### Calibração das sondas de TDR

As sondas de TDR (Reflectometria no Domínio do Tempo) foram construídas de forma artesanal, as quais foram acopladas a um conjunto multiplexador-TDR-datalogger para obtenção de valores de conteúdo de água no solo de modo automático e em curtos intervalos de tempo (intervalos de 15 min). As sondas de TDR foram construídas e calibradas seguindo a metodologia utilizada por Silva et al. (2015).

Após a obtenção do conteúdo volumétrico de água no solo e da constante dielétrica ( $k_a$ ), encontrou-se uma equação polinomial cúbica (Equação 4), qual foi utilizada para estimar os valores de umidade do solo a partir da constante dielétrica medida em campo. A equação 6, foi obtida em um intervalo de conteúdo de água no solo variando entre 0,09 e 0,50  $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ .

$$\theta = 0.0000052ka^3 + 0.0002ka^2 + 0.0064ka + 0.0405 \quad (4)$$

Onde,

$\theta$  = umidade volumétrica do solo ( $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ );

$k_a$  = constante dielétrica (adimensional).

### Determinação das Propriedades Hidráulicas do Solo

Os valores de ( $\Theta$ ) obtidos via TDR foram convertidos em valores de potencial de água no solo. Para tanto, parâmetros hidráulicos do solo, i.e, curva de retenção e condutividade hidráulica saturada, foram obtidos via modelagem inversa. Na aplicação da modelagem inversa, procedeu-se – antes do transplântio das mudas de maracujá - a saturação do solo do lisímetro de pesagem sem planta. Após a saturação e com o dreno fechado, o solo passou a secar sob efeito apenas de evaporação, durante 26 dias. As variações do conteúdo de água no solo ( $\Theta$ ) foram medidas utilizando 4 sondas de Time-Domain-Reflectometry (TDR) instaladas a 0,10, 0,20, 0,30 e 0,40m de profundidade no solo do lisímetro de pesagem. As variações de evaporação foram obtidas por meio das variações de massa registradas no lisímetro de pesagem. Os dados de  $\Theta$  e evaporação foram medidos em intervalo de 1 hora.

Os dados horários de  $\Theta$  e evaporação foram inseridos no software HYDRUS – 1D, version 4.16.0110 (Simunek et al.,2013). Por meio do uso do HYDRUS – 1D

resolveu-se a eq. 5 de Richards (Richards, 1931) para estimativa do fluxo de água no solo:

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left[ K(\theta) \left( \frac{\partial h(\theta)}{\partial z} - 1 \right) \right] \quad (5)$$

em que  $h$  é a pressão de água no solo (m H<sub>2</sub>O),  $\Theta$  é o conteúdo de água no solo (m<sup>3</sup>.m<sup>-3</sup>),  $t$  é o tempo (h),  $z$  é a coordenada vertical (m) e  $K(\Theta)$  representa a função condutividade hidráulica do solo (m h<sup>-1</sup>).

O modelo de Mualem-van Genuchten (Mualem, 1976; Van Genuchten, 1991) foi utilizado para descrever a curva de retenção de água no solo (SWRC) e a curva de condutividade de água no solo (SWCC).

A SWRC é descrita pela eq. 6:

$$\begin{cases} \theta(h) = \theta_s & h \geq 0 \\ \theta(h) = \theta_r + (\theta_s - \theta_r) \left[ \frac{1}{1 + |\alpha h|^n} \right]^{1 - \frac{1}{n}} & h < 0 \end{cases} \quad (6)$$

e SWCC descrita pela eq. 7:

$$K(\theta) = K_s S_e^\lambda \left[ 1 - \left( 1 - S_e^{\frac{n}{n-1}} \right)^{1 - \frac{1}{n}} \right]^2 \quad (7)$$

em que  $S_e$  é a saturação efetiva, definida como  $S_e = (\Theta - \Theta_r) / (\Theta_s - \Theta_r)$ ;  $\Theta_r$  e  $\Theta_s$  o conteúdo de água residual e saturado (m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>), respectivamente;  $h$  é pressão (m H<sub>2</sub>O),  $K(\Theta)$  e  $K_s$  a condutividade hidráulica do solo e condutividade hidráulica saturada do solo (m h<sup>-1</sup>),  $\alpha$  (m<sup>-1</sup>),  $n$  e  $\lambda$  são parâmetros empíricos.

No HYDRUS-1D os parâmetros hidráulicos do solo, i.e.,  $\alpha$ ,  $n$ ,  $\lambda$  e  $K_s$ , são determinados pela minimização das diferenças entre as variáveis  $\Theta$  ou  $h$  observados e simulados no espaço-tempo. No caso do presente estudo, a variável utilizada foi  $\Theta$  (obtida por TDR). Assim, o total das diferenças obtidas entre valores de  $\Theta$  observados e simulados foi expresso por uma função objetiva,  $\Phi$ , definida como:

$$\Phi(\theta, \beta) = \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^{n_j} [\theta_{TDR,j}(z_i, t_i) - \theta_{PRED,j}(z_i, t_i, \beta)]^2 \quad (8)$$

em que, o lado direito da eq. 8 representa o resíduo entre o conteúdo de água no solo observado na TDR ( $\Theta_{TDR}$ ) no tempo  $t_i$  para  $j^{\text{th}}$  medidas em  $z_i$ , e os correspondentes valores de conteúdo de água no solo estimados ( $\Theta_{EST}$ ) utilizando os parâmetros hidráulicos do solo otimizados em  $\beta$  (i.e.,  $\Theta_r$ ,  $\Theta_s$ ,  $\alpha$ ,  $n$ ,  $K_s$  e  $\lambda$ );  $m$  é o número de diferentes locais de medidas de  $\Theta$ ; e  $n$  o número de medidas realizadas em um  $m$ . A minimização da função objetiva  $\Phi$  é realizada utilizando o método de minimização não-linear de Levenberg-Marquardt. Os indicadores estatísticos resultantes da minimização da eq. 8 para obtenção de  $\Theta_r$ ,  $\Theta_s$ ,  $\alpha$ ,  $n$ ,  $K_s$  e  $\lambda$  (eqs. 6 e 7) encontram-se dispostos na Tabela 1.

**Tabela 1.** Parâmetros hidráulicos do solo do lisímetro.

$\Theta_s$	$\Theta_r$	$\alpha$	$n$	$\lambda$	$K_s$	$R^2$	RMSE
$m^3 m^{-3}$	$m^3 m^{-3}$	$m^{-1}$			$m h^{-1}$		
0.472	0.022	5.5	1.52	0.008	$3 \times 10^{-3}$	0.93	0.006

Com os parâmetros da Tabela 1, estimou-se a pressão da água no solo com base nos valores de  $\Theta$  obtidos com uso da TDR.

### Delineamento experimental

O experimento foi instalado seguindo o delineamento em blocos casualizados, utilizando duas faixas de potencial de água no solo adotadas no manejo de irrigação, quais sejam: (i) faixa 1, potencial de água no solo variando entre - 0,1 e - 0,4 atm; (ii) faixa 2, potencial de água no solo variando entre - 0,2 e - 0,6 atm. Em cada tratamento haviam 12 parcelas experimentais, totalizando-se 24 parcelas experimentais. Cada parcela experimental foi formada por uma planta cultivada em lisímetro.

### Variáveis analisadas

Para avaliar o crescimento do maracujazeiro quantificou-se a área foliar e o número de folhas, 150 dias após o transplântio (DAT). A área foliar foi determinada conforme a equação encontrada e utilizada por Morgado et al. (2013) para o

maracujazeiro *Passiflora coccínea*, pois é a que possui formato de folhas mais semelhantes ao maracujazeiro *Passiflora edulis* Sims.

Em seguida, seis meses após o transplântio, iniciou-se a colheita dos frutos, entre os meses de outubro e dezembro de 2018. Foram avaliadas as seguintes variáveis: comprimento, diâmetro, massa fresca e número dos frutos. Com base nos dados de número e massa fresca média dos frutos, por planta, estimou-se a produtividade para a área de um hectare, com base no espaçamento (1,5 x 2,0 m).

A eficiência do uso da água (EUA), foi avaliada com base no volume de água aplicado e na produtividade das plantas até o 8º mês, após o transplântio das mudas. A EUA foi obtida a partir da relação entre a produtividade (kg) e volume de água (m<sup>3</sup>) consumido pela planta no período.

As variáveis avaliadas foram submetidas a análise de variância e teste F a 5 % de probabilidade. Em seguida, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade. Para facilitar a avaliação dos desdobramentos das possíveis interações, foi utilizado a técnica de apresentação dos resultados em quadros de dupla entrada.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

O florescimento do maracujazeiro, independente dos limites de potenciais de água no solo adotado no manejo de irrigação, iniciou-se próximo aos 120 dias após o transplântio das mudas. Mesmo período foi reportado por Hafle et al. (2009), avaliando a produtividade do maracujazeiro amarelo submetido a diferentes podas dos ramos produtivos e Costa et al. (2009), avaliando a produtividade do maracujazeiro amarelo em condições de cultivo irrigado e em sequeiro. Já a colheita dos frutos iniciou-se aos 180 dias após o transplântio das mudas, nas duas condições de cultivo.

O potencial de água no solo afetou o peso médio dos frutos por planta (P.médPI), produtividade média por planta (ProdPI) e produtividade média por hectare (ProdHa) ( $p < 0,01$ ) e o número de frutos por planta (NFr) ( $p < 0,05$ ) (Tabela 2). O diâmetro médio do fruto (DiamFr), o comprimento médio do fruto (CompFr) e a eficiência do uso da água (EUA), não foram afetadas pelo manejo de irrigação com base nos potenciais de água no solo ( $p > 0,05$ ).

**Tabela 2.** Análise de variância para as variáveis respostas número de frutos (NFr), diâmetro (DiamFr), comprimento (CompFr) e peso (P.médFr) médio dos frutos, produtividade média por planta (ProdPI) e por hectare (ProdHa), e eficiência do uso da água (EUA) do maracujazeiro submetido a diferentes potenciais de água no solo.

Fonte de Variação	GL	Quadrado médio						
		NFr	DiamFr	CompFr	P. médFr	ProdPI	ProdHa	EUA
Bloco	2	124,94*	2,03 <sup>ns</sup>	9,13 <sup>ns</sup>	1088,46 <sup>ns</sup>	3,04*	33781605,81*	6,52 <sup>ns</sup>
Manejo irrigação	1	224,00*	26,84 <sup>ns</sup>	33,83 <sup>ns</sup>	8189,44**	14,85**	164959085,16**	0,003 <sup>ns</sup>
Resíduo	10	29,75	29,98	27,29	654,25	0,73	8105801,02	2,17
Total	13							
CV (%)		33,20	6,92	5,83	15,71	31,37	31,37	28,81

<sup>ns</sup>, \*\* e \*, não significativo, significativo a 1 e 5 % de probabilidade, respectivamente.

As plantas irrigadas com base em uma faixa de potencial de - 0,1 a - 0,4 atm, tiveram uma produtividade média por planta e produtividade média por hectare superior em aproximadamente 55 % a mais que aquelas irrigadas com base na faixa de potencial de - 0,2 a - 0,6 atm (Tabela 3). Já o peso médio dos frutos e o número de frutos das plantas irrigadas com base na faixa de potencial de - 0,1 a - 0,4 atm, foi superior em aproximadamente 26 e 39 %, quando comparado com as plantas submetidas a faixa de potencial de - 0,2 a - 0,6 atm.

**Tabela 3.** Médias das variáveis respostas: peso médio dos frutos (P. médFr), produtividade média por planta (ProdPI) e hectare (ProdHa), e número de frutos (NFr) de plantas de maracujazeiro irrigadas com base em faixas de potenciais de - 0,1 a - 0,4 atm e de - 0,2 a - 0,6 atm.

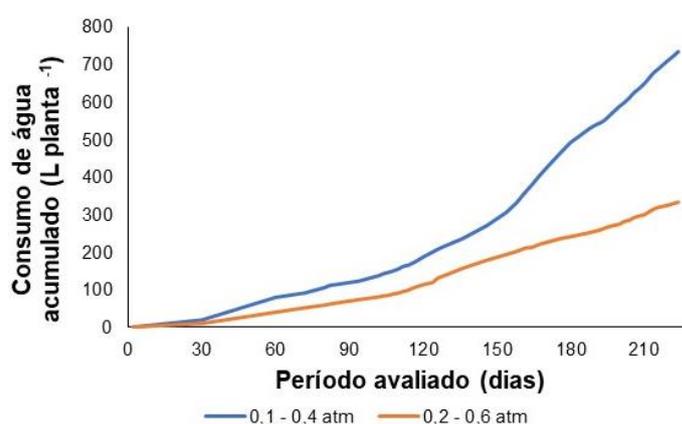
Faixa de potencial	P. médFr (kg)	ProdPI (kg)	ProdHa (kg)	NFr
- 0,1 a - 0,4 atm	0,187 a	3,75 a	12506,99 a	20,43 a
- 0,22 a - 0,6 atm	0,139 b	1,69 b	5641,79 b	12,43 b

Letras minúsculas iguais, na mesma coluna, não diferem significativamente entre si.

O efeito do potencial de água no solo sobre a produtividade média por planta e produtividade média por hectare, demonstra haver sensibilidade do maracujazeiro *Passiflora edulis* S. ao déficit hídrico, tal como reportado por Souza et al. (2018). A diferença nas duas faixas de potencial de água no solo adotado no manejo de irrigação equivale a depleções de água no solo de 32 % e 54 %. Esta é uma informação

particularmente útil para o manejo de irrigação do maracujazeiro baseado na disponibilidade total de água no solo. Pois, revela-se que a adoção de um fator de depleção “f” igual a 0,3 no manejo de irrigação do maracujazeiro propiciará maiores produtividades com mesma eficiência de uso da água de plantas irrigadas com base em um fator “f” igual a 0,5. Sousa et al. (2004) recomendam que a irrigação na cultura do maracujazeiro seja realizada após a extração de 35 % da água disponível, demonstrando que, de fato, as plantas submetidas a faixa de potencial de - 0,2 a - 0,6 atm (ou fator f igual a 0,5) sofreram estresse hídrico, limitando o desenvolvimento potencial da cultura.

O volume de água requerido na irrigação das plantas submetidas a faixa de potencial de - 0,1 a - 0,4 atm foi de 732 L planta<sup>-1</sup> (Figura 5), enquanto as plantas submetidas a faixa de potencial de - 0,2 a - 0,6 atm foi de 332 L planta<sup>-1</sup>. Apesar do consumo hídrico ter sido superior nas plantas cultivadas na faixa de potencial de - 0,1 a - 0,4 atm, a eficiência do uso água não diferiu estatisticamente ( $p > 0,05$ ) entre os diferentes manejos de irrigação adotado. A EUA foi de 5,12 e 5,09 kg m<sup>-3</sup>, para as plantas submetidas a faixa de potencial de - 0,1 a - 0,4 atm e de - 0,2 a - 0,6 atm, respectivamente.



**Figura 5.** Volume acumulado de água aplicado nas plantas submetidas a faixa de potencial de - 0,1 a - 0,4 atm (0,1 – 0,4 atm) e de - 0,2 a - 0,6 atm (0,2 – 0,6 atm).

O peso dos frutos obtidos para as plantas submetidas a faixa de potencial de - 0,1 a - 0,4 atm e de - 0,2 a - 0,6 atm, foi de 187 e 139 g, respectivamente, podendo ser considerados comerciais, seguindo a classificação adotada por Hafle et al. (2009), que utilizou como critério, frutos acima de 50 g e não danificados. Além disso, foram classificados também quanto ao diâmetro equatorial, em uma escala variando de 1 a

5, conforme as normas estabelecidas pelo “Programa Brasileiro para a Melhoria dos Padrões Comerciais e Embalagens de Hortigranjeiros” (Lima e Rossi, 2009). Os frutos do presente trabalho, obtidos nas plantas cultivadas na faixa de potencial de - 0,1 a - 0,4 atm e de - 0,2 a - 0,6 atm, tiveram diâmetro equatorial médio de 79,15 mm, se enquadrando na classe 4 (75 a 85 mm), considerada de boa a ótima.

A área foliar e o número de folhas das plantas submetidas a faixa de potencial de - 0,1 a - 0,4 atm e de - 0,2 a - 0,6 atm, não diferiram estatisticamente ( $p > 0,05$ ) entre si, aos 150 DAT (planta em fase de floração e frutificação). Os valores médios da área foliar e número de folhas, foi de 7,41 m<sup>2</sup> e 180 folhas, respectivamente.

A manutenção de potenciais da água no solo em níveis mais baixos de armazenamento de água do solo (- 0,2 a - 0,6 atm), correspondendo depleção máxima de água no solo de 52 %, resultou em grande queda de produção (55% em relação ao potencial de - 0,1 a - 0,4 atm), comprovando que há grande sensibilidade da planta ao manejo de irrigação com déficit adotado, e cuidados na estratégia devem ser priorizados, mesmo se trabalhando com uma frequência de irrigação elevada. Sugerindo que o manejo da irrigação localizada no maracujazeiro seja realizado com base em limites críticos superiores/inferiores de potencial de água no solo de - 0,1 a - 0,4 atm, pois, haverá ganhos em produtividade sem afetar a eficiência de uso da água.

## CONCLUSÕES

A faixa de potencial de água no solo em que as plantas de maracujazeiro foram cultivadas não implicou em diferenças no crescimento, mas, afetou significativamente a produtividade do maracujazeiro. A irrigação do maracujazeiro baseado em uma faixa de potencial de -0,1 a - 0,4 atm permite a obtenção de maiores produtividades com a mesma eficiência de uso da água da irrigação realizada com base em uma faixa de potencial de -0,2 a - 0,6 atm. Nas duas condições de cultivo, obtém-se frutos considerados como comerciais.

## REFERÊNCIAS

AGUIAR, R. S.; ZACCHEO, P. V. C.; STENZEL, N. M. C.; SERA, T.; NEVES, C. S. V. J. Produção e qualidade de frutos híbridos de maracujazeiro-amarelo no norte do Paraná. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 37, n. 1, p. 130-137, 2015.

ARIAS - SUÁREZ, J. C.; OCAMPO - PÉREZ, J. A.; URREA-GÓMEZ, R. La polinización natural en el maracujá (*Passiflora edulis* f. *flavicarpa* Degener) como un servicio reproductivo y ecosistémico. **Agronomía Mesoamericana**, v. 25, n. 1, p. 73-83, 2014.

BISWAS, S. K.; AKANDA, A. R.; RAHMAN, M. S.; HOSSAIN, M. A. Effect of drip irrigation and mulching on yield, water-use efficiency and economics of tomato. **Plant Soil Environ**, v. 6, n. 3, p. 97-102, 2015.

BORGES, A. L. Nutrição mineral, calagem e adubação. In: LIMA, A. A.; CUNHA, M. A. P. **Maracujá: Produção e qualidade na passicultura**. Cruz das Almas, BA: Embrapa Mandioca e Fruticultura, 2004. p. 117-149.

COSTA, M. M.; BONOMO, R.; SENA JÚNIOR, D. G.; GOMES FILHO, R. R.; RAGAGNIN, V. A. Produção do maracujazeiro amarelo em condições de sequeiro e irrigado em Jataí–GO. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 3, n. 1, p. 13-21, 2009.

COSTA, A. F. S.; COSTA, A. N.; VENTURA, J. A.; LIMA, I. M.; CAETANO, L. C. S.; SANTANA, E. N. **Recomendações técnicas para o cultivo do maracujazeiro**. Vitória – ES, Incaper, 2008.

DOS SANTOS, M. R.; NEVES, B. R.; DA SILVA, B. L.; DONATO, S. L. R. Yield, water use efficiency and physiological characteristic of “Tommy Atkins” mango under partial rootzone drying irrigation system. **Journal of Water Resource and Protection**, v. 7, n. 13, p. 1029 - 1037, 2015.

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

HAFLE, O. M.; RAMOS, J. D.; LIMA, L. C. O.; FERREIRA, E. A.; MELO, P. M. Produtividade e qualidade de frutos do maracujazeiro-amarelo submetido à poda de ramos produtivos. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 31, n. 3, p. 763-770, 2009.

INSTITUTO BRASILEIRO GEOGRAFIA ESTATISTICA (IBGE). Base de dados dos produtos. Embrapa: Mandioca e Fruticultura. 2017. Disponível em <[http://www.cnpmf.embrapa.br/Base\\_de\\_Dados/index\\_xls/brasil/maracuja/maracuja\\_brasil\\_producao.htm](http://www.cnpmf.embrapa.br/Base_de_Dados/index_xls/brasil/maracuja/maracuja_brasil_producao.htm)>. Acesso em: 08 jan. 2018.

KUSLU, Y.; SAHIN, U.; KIZILOGLU, F. M.; MEMIS, S. Fruit yield and quality, and irrigation water use efficiency of summer squash drip-irrigated with different irrigation quantities in a semi-arid agricultural area. **Journal of Integrative Agriculture**, v. 13, n. 11, p. 2518 - 2526, 2014.

LIMA, R. S. N.; ASSIS, F. A. M. M.; MARTINS, A. O.; DEUS, B. C. D. S.; FERRAZ, T. M.; ASSIS GOMES, M. D. M.; CAMPOSTRINI, E. Partial rootzone drying (PRD) and regulated deficit irrigation (RDI) effects on stomatal conductance, growth, photosynthetic capacity, and water-use efficiency of papaya. **Scientia Horticulturae**, v. 183, p. 13-22, 2015.

LIMA, A. A.; ROSSI, A. D. **Maracujá**. 2009. Disponível em: <<http://www.hortibrasil.org.br/images/stories/folders/maracuja.pdf>>. Acesso em: 10 de Janeiro de 2019.

LOPES, P. A. P.; PEGORARO, R.; SILVA, D. F. D.; MAIA, V.; MEDEIROS, A. C. Micronutrient concentration and content in passion fruit leaves under sampling methods and n - k fertilization rates. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 39, n. 4, 2016.

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

MUALEM, Y. A new model for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated porous media. **Water resources research**, v. 12, n. 3, p. 513-522, 1976.

RICHARDS, L. A. Capillary conduction of liquids through porous mediums. **Physics**, v. 1, n. 5, p. 318-333, 1931.

SHARMA, S. P.; LESKOVAR, D. I.; CROSBY, K. M.; VOLDER, A.; IBRAHIM, A. M. H. Root growth, yield, and fruit quality responses of reticulatus and inodorus melons (*Cucumis melo* L.) to deficit subsurface drip irrigation. **Agricultural water management**, v. 136, p. 75-85, 2014.

SILVA, A. J. P. D.; COELHO, E. F.; COELHO FILHO, M. A.; SOUZA, J. L. D. Water extraction and implications on soil moisture sensor placement in the root zone of banana. **Scientia Agricola**, v. 75, n. 2, p. 95-101, 2018.

SILVA, A. J. P.; COELHO, E. F.; COELHO FILHO, M. A. Water extraction variability in the banana root zone affects the reliability of water balance. **Scientia Agricola**, v. 72, n. 1, p. 1-10, 2015.

SIMUNEK, J.; SEJNA, M.; SAITO, H.; SAKAI, M.; VAN GENUCHTEN, M. 2013. The HYDRUS-1D Software Package for Simulating the One-Dimensional Movement of Water and Solutes. 3, Department of Environmental Sciences, University of California, Riverside, California, USA, p. 343, 2013.

SOUZA, V. F.; OLIVEIRA, A. S.; COELHO, E. F.; BORGES, A. L. Irrigação. In: LIMA, A. A.; CUNHA, M. A. P. **Maracujá: Produção e qualidade na passicultura**. Cruz das Almas, BA: Embrapa Mandioca e Fruticultura, 2004. v. 1, p. 151-167.

SOUZA, P. U.; LIMA, L. K. S.; SOARES, T. L.; DE JESUS, O. N.; COELHO FILHO, M. A.; GIRARDI, E. A. Biometric, physiological and anatomical responses of *Passiflora* spp. to controlled water deficit. **Scientia Horticulturae**, v. 229, p. 77-90, 2018.

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

VAN GENUCHTEN, M. T.; LEIJ, F. J.; YATES, S. R. The RETC code for quantifying the hydraulic functions of unsaturated soils. **University of California Riverside**. Riverside. 1991.

## **CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Em condições em que o proprietário esteja disposto e possua poder aquisitivo econômico, recomenda-se a instalação de sensores em um plano bidimensional do bulbo molhado ou até mesmo da zona radicular, definindo assim, o melhor posicionamento do sensor de umidade do solo, para a realização dos cálculos de lâmina de irrigação do dia.

Nas próximas pesquisas experimentais, recomenda-se que se avalie outros limites superiores de potenciais de água no solo, para os cálculos de lâmina de irrigação real necessária e, conseqüentemente, avaliar o rendimento e a eficiência do uso da água da cultura do maracujazeiro.