

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA FARROUPILHA
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA
CURSO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA

**CALIBRAÇÃO DE SENSORES CAPACITIVOS E
TENSÍOMETROS EM DIFERENTES TIPOS DE
SUBSTRATOS E VIABILIDADE DO USO EM MANEJO DE
IRRIGAÇÃO DE PLANTAS ORNAMENTAIS**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Giordana Trindade de Abreu

Alegrete, 2019.

CALIBRAÇÃO DE SENSORES CAPACITIVOS E TENSIÔMETROS EM DIFERENTES TIPOS DE SUBSTRATOS E VIABILIDADE DO USO EM MANEJO DE IRRIGAÇÃO DE PLANTAS ORNAMENTAIS

GIORDANA TRINDADE DE ABREU

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia Agrícola, do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Farroupilha (IFFar) e da Universidade Federal do Pampa (UNIPAMPA), como requisito parcial para obtenção do grau de
Bacharel em Engenharia Agrícola.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Fátima Cibele Soares

Alegrete, RS, Brasil
2019.

**Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Farroupilha
Universidade Federal do Pampa
Curso de Engenharia Agrícola**

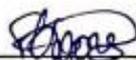
A Comissão Examinadora, abaixo assinada,
aprova o Trabalho de Conclusão de Curso

**CALIBRAÇÃO DE SENSORES CAPACITIVOS E TENSIÔMETROS
EM DIFERENTES TIPOS DE SUBSTRATOS E VIABILIDADE DO
USO EM MANEJO DE IRRIGAÇÃO DE PLANTAS ORNAMENTAIS**

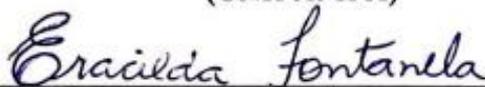
elaborado por
Giordana Trindade de Abreu

Como requisito parcial para a obtenção de grau de
Bacharel em Engenharia Agrícola

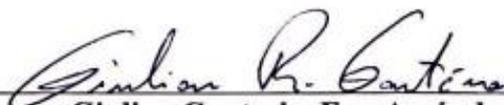
COMISSÃO EXAMINADORA:



**Fátima Cibele Soares, Dr.^a
(Presidente/Orientadora)
(UNIPAMPA)**



Eracilda Fontanela, Dr.^a. (UNIPAMPA)



Giulian Gauterio, Eng. Agrícola. (UNIPAMPA)



Ítala Tháisa Padilha Dubal, MSc (UNIPAMPA)

Alegrete, 26 de junho de 2019.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por tornar tudo isso possível e pela fé nos dias difíceis.

Agradeço à orientadora Fátima Cibele Soares pela confiança, apoio, aprendizado e incentivo durante esse processo. As meninas e menino do grupo de pesquisa de Engenharia de Irrigação da Unipampa, Andressa Fernandes, Carine Brum, Francieli Ribeiro, Paola Lira e Elton de Oliveira.

Agradeço à minha mãe, Alcidia Gedel Trindade, ao meu pai Jarbas Vieira de Abreu e minha irmã, Fernanda Trindade pelo apoio, por acreditarem em mim e me proporcionarem à estruturas necessárias. Aos meus familiares que aqui não foram citadas, porém, que também contribuíram para a execução do presente trabalho.

À assistência dos servidores Giulian Gautério e Cleber Milani que estão sempre prontos a nos auxiliarem.

Agradeço aos coordenadores que sempre estiveram presentes em questionamentos e necessidades dos projetos, Carlos Aurélio Dilli e Edénir Grimm.

Dedico este trabalho a todos citados no agradecimento e aos que vêm me ajudando de alguma forma ao longo do experimento. Aos meus colegas, amigos e ao meu noivo Manoel Augusto Antolini pela paciência, entre outros nomes que não citei, mas que sabem o quanto agradeço por terem me acompanhando e me dado forças ao longo desta jornada.

“Por vezes, sentimos que aquilo que fazemos não é senão uma gota de água no mar. Mas o mar seria menor se lhe faltasse uma gota.”

Madre Teresa de Calcutá

RESUMO

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Farroupilha

Universidade Federal do Pampa

Curso de Engenharia Agrícola

CALIBRAÇÃO DE SENSORES CAPACITIVOS E TENSÍOMETROS EM DIFERENTES TIPOS DE SUBSTRATOS E VIABILIDADE DO USO EM MANEJO DE IRRIGAÇÃO DE PLANTAS ORNAMENTAIS

AUTORA: GIORDANA TRINDADE DE ABREU

ORIENTADORA: FÁTIMA CIBELE SOARES

Data e local da defesa: Alegrete, 26 de junho de 2019.

O objetivo desse trabalho foi à calibração de sensores capacitivos (modelos EC-5 e 5TE), e tensiômetros em distintos substratos e análise da viabilidade do uso no manejo de irrigação da cultura Pimenta Iracema Biquinho, cultivada em casa de vegetação. A calibração dos sensores capacitivos modelos, EC-5 e 5TE e tensiômetros foram conduzidas no laboratório de hidráulica da Universidade Federal do Pampa-Campus de Alegrete/RS. Sendo utilizados para a realização da calibração, solo e substrato Carolina Soil[®]. Foram testadas diferentes misturas, sendo essas: T1 (100% substrato); T2 (100% Solo); T3 (90% solo+10% substrato); T4 (80% solo+20% substrato); T5 (70% solo+30% substrato); T6 (60% solo+40% substrato); T7 (50% solo+50% substrato), T8 (40% solo+50% substrato); T9 (30% solo+70% substrato) e T10 (20% solo+80% substrato) a fim de averiguar sua viabilidade de uso em materiais mais porosos. Os sensores e tensiômetros foram instalados em vasos plásticos com diâmetro de 0,3 m, altura de 0,2 m e capacidade de 2,6 L. Onde foi realizadas pesagens do conjunto (recipiente contendo solo, sensores e tensiômetros) e leituras diárias dos dados fornecidos pelos sensores e tensiômetros. Após a finalização da calibração determinou-se a massa de água presente no solo, umidade volumétrica do solo e o volume de solo em cada recipiente. Posteriormente a calibração, testou-se a viabilidade do uso de sensores capacitivos no manejo de irrigação. Para isso, conduziu-se um experimento em casa-de-vegetação, localizada na área experimental do curso de Engenharia Agrícola, da Universidade Federal do Pampa- Campus Alegrete/RS, com a cultura de Pimenta Iracema Biquinho. O delineamento experimental foi bifatorial 4x3, inteiramente casualizado, com doze tratamentos e quatro repetições em cada, totalizando 48 unidades experimentais. Sendo os fatores tipo substrato e doses de irrigação. As sementes de Pimenta Iracema Biquinho foram semeadas em bandejas de isopor com suas células preenchidas com substrato comercial. Após as mudas foram transplantadas para vasos plásticos com capacidade de 2,6 L, preenchidos com misturas de solo com substrato comercial. Ao longo do experimento foram avaliadas a viabilidade do uso de sensores no manejo da Pimenta, através da observação do crescimento e desenvolvimento da cultura. Os tensiômetros apresentaram-se eficientes para caracterizar a curva de retenção de água em todos os substratos testados. As curvas de calibração obtidas, para os sensores capacitivos, nos distintos substratos, apresentaram valores altos de coeficiente de determinação (r^2), indicando que, quando devidamente calibrados, os mesmos podem ser utilizados com bons resultados na determinação da umidade dos substratos.

Palavras-chave: Sensores capacitivos; Tensiômetros; Plantas ornamentais.

ABSTRACT

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Farroupilha

Universidade Federal do Pampa

Curso de Engenharia Agrícola

CALIBRATION OF CAPACITIVE SENSORS AND TENSION METERS IN DIFFERENT TYPES OF SUBSTRATES AND FEASIBILITY OF USE IN ORNAMENTAL PLANT IRRIGATION

AUTHOR: GIORDANA TRINDADE DE ABREU

ADVISOR: FÁTIMA CIBELE SOARES

Date and place of defense: Alegrete, June 26, 2019.

The objective of this work was the calibration of capacitive sensors (models, EC-5 and 5TE), and tensiometers in different substrates and analysis of the viability of the irrigation management of the cultivar Pimenta Iracema Biquinho, grown in a greenhouse. The calibration of capacitive sensor models, EC-5 and 5TE and tensiometers were conducted in the hydraulic laboratory of the Federal University of Pampa-Campus, Alegrete / RS. Carolina Soil® soil and substrate calibration are used for calibration. Different mixtures were tested, being these: T1 (100% substrate); T2 (100% Solo); T3 (90% soil + 10% substrate); T4 (80% soil + 20% substrate); T5 (70% only + 30% substrate); T6 (60% only + 40% substrate); T7 (50% soil + 50% substrate), T8 (40% soil + 50% substrate); T9 (30% soil + 70% substrate) and T10 (20% soil + 80% substrate) in order to verify its feasibility of use in more porous materials. The sensors and tensiometers were installed in plastic vessels with a diameter of 0.3 m, height of 0.2 m and capacity of 2.6 L. Where weighings of the set (container containing soil, sensors and tensiometers) and daily data readings were performed sensors and tensiometers. After the calibration was finalized, the soil water mass, soil volumetric moisture and soil volume were determined in each vessel. The experiment was conducted in greenhouse, located in the experimental area of the Agricultural Engineering course, Federal University of Pampa - Campus Alegrete / RS. The experimental design was a completely randomized 4x3 bifactorial, with twelve treatments and four replicates in each, totaling 48 experimental units. Being the substrate type factors and irrigation rates. The seeds of Pimenta Iracema Biquinho were seeded in styrofoam trays with their cells filled with commercial substrate. After the seedlings were transplanted to plastic containers with capacity of 2.6 L, filled with mixtures of soil with commercial substrate. Throughout the experiment were evaluated the viability of the use of sensors in the management of Pimenta, through observation of the growth and development of the crop. The tensiometers were efficient to characterize the water retention curve in all substrates tested. The calibration curves obtained for the capacitive sensors on the different substrates presented high values of determination coefficient (r^2), indicating that, when properly calibrated, they can be used with good results in the determination of the moisture of the substrates.

Keywords: Capacitive sensors; Tensiometers; Ornamental plants.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Pimenta Iracema Biquinho	14
Figura 2 – Mapa geofísico com os subdistritos do município de Alegrete, RS.....	17
Figura 3 – Mapa de classificação do solo do município de Alegrete, RS.....	18
Figura 4 – Calibração dos sensores e tensiômetro no laboratório de hidráulica. Unipampa, Alegrete, RS.....	20
Figura 5 – Casa-de-vegetação da área experimental do curso de Engenharia Agrícola, Unipampa, Alegrete, RS	21
Figura 6 – Desenvolvimento de mudas, por sementeira.....	24
Figura 7 – Representação da disposição dos vasos na bancada após a realização do transplante em de abril de 2019. Unipampa, Alegrete, RS, 2019.....	25
Figura 8 – Esquema do delineamento experimental, Unipampa, Alegrete, RS, 2019.....	25
Figura 9 – Curva de retenção de água para os substratos preparados com 100% solo (A), 80% solo+20% substrato comercial (B), 70% solo+30% substrato comercial (C), 30% solo+70% substrato comercial (D), 20% solo+80% substrato comercial (E) e 100% substrato comercial (F).....	29
Figura 10 – Umidade volumétrica do solo ($m^3.m^{-3}$) medida, por gravidade e o potencial elétrico dos sensores ECH2O EC-5 para misturas: 100% substrato (A); 100% Solo (B); 90% solo+10% substrato (C); 80% solo+20% substrato (D); 70% solo+30% substrato (E); 60% solo+40% substrato (F); 50% solo+50% substrato (G); 40% solo+50% substrato (H); 30% solo+70% substrato (I) e 20% solo+80% de substrato (J).....	34
Figura 11 – Umidade volumétrica do solo medida e valores estimados pelos sensores ECH2O EC-5 utilizando a equação de calibração para misturas: 100% substrato (A); 100% Solo (B); 90% solo+10% substrato (C); 80% solo+20% substrato (D); 70% solo+30% substrato (E); 60% solo+40% substrato (F); 50% solo+50% substrato (G); 40% solo+50% substrato (H); 30% solo+70% substrato (I) e 20% solo+80% de substrato (J).....	35
Figura 12 – Umidade volumétrica do solo ($m^3.m^{-3}$), por condutividade elétrica ($bulkk.ds.m^{-1}$) dos sensores ECH2O 5TE para misturas: 60% solo+40% substrato (A); 50% solo+50% substrato (B); 40% solo+50% substrato (C); 30% solo+70% substrato (D); 20% solo+80% de substrato (E)	37
Figura 13 – Umidade volumétrica do solo medida e valores de umidade estimados pelos sensores ECH2O 5TE utilizando a equação de calibração para misturas: 60% solo+40% substrato (A); 50% solo+50% substrato (B); 40% solo+50% substrato (C); 30% solo+70% substrato (D); 20% solo+80% de substrato (E).....	38

Figura 14 – Temperatura medida através do termômetro para os 44 dias após o transplante.....	39
Figura 15 – Consumo hídrico (mm.dia) ao longo do ciclo Pimenta Iracema Biquinho, para os tratamentos composto por: 100% substrato (A); 60% solo+40% substrato (B); 40% solo+50% substrato (C); 100% Solo (D) e para as distintas lâminas de irrigação.....	40
Figura 16 – Área Foliar (cm ²) ao longo do ciclo da Pimenta Iracema Biquinho, nos substratos com 100 % substrato (A), 60% solo 40% substrato (B); 40% solo+50% substrato (C) e 100% Solo (D) para distintas lâminas de irrigação. UNIPAMPA, Alegrete, 2019.....	41
Figura 17 – A altura de planta (cm) ao longo do ciclo da Pimenta Iracema Biquinho, nos substratos com 100 % substrato (A), 60% solo 40% substrato (B); 40% solo+50% substrato (C) e 100% Solo (D) para distintas lâminas de irrigação. UNIPAMPA, Alegrete, 2019.....	42
Figura 18 – Diâmetro de haste (mm) ao longo do ciclo da Pimenta Iracema Biquinho, nos substratos com 100 % substrato (A), 60% solo 40% substrato (B); 40% solo+50% substrato (C) e 100% Solo (D) para distintas lâminas de irrigação. UNIPAMPA, Alegrete, 2019.....	43
Figura 19 – Número de folhas ao longo do ciclo da Pimenta Iracema Biquinho, nos substratos com 100 % substrato (A), 60% solo 40% substrato (B); 40% solo+50% substrato (C) e 100% Solo (D) para distintas lâminas de irrigação. UNIPAMPA, Alegrete, 2019.....	44

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
1.1 Objetivo geral	12
1.1.1 Objetivos específicos	12
2 REVISÃO DE LITERATURA	13
2.1 Cultivos em Ambiente protegido	13
2.2 Aspectos gerais da Pimenta Iracema Biquinho	13
2.3 Manejo de irrigação na floricultura	14
2.4 Balanço Hídrico	16
3 MATERIAIS E MÉTODOS	17
3.1 Calibração dos sensores capacitivos (Decagon Devices, Inc.) e tensiômetros	17
3.2 Teste dos sensores a campo	21
3.3 Semeadura, emergência e transplante	21
3.4 Delineamento experimental e descrição dos tratamentos	22
3.5 Manejo das irrigações e consumo hídrico	25
3.6 Parâmetros vegetativos do desenvolvimento da cultura	25
3.7 Análise de dados	26
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	27
4.1 Tensiômetros	27
4.2 Sensores capacitivos, modelo EC-5	32
4.3 Sensor capacitivo, modelo 5TE	35
4.4 Porcentagem de emergência e índice de velocidade de emergência	37
4.5 Temperatura na casa de vegetação	37
4.6 Consumo Hídrico	38
4.7 Parâmetros de crescimento e desenvolvimento de planta	40
CONCLUSÕES	45
REFERÊNCIAS	46

1 INTRODUÇÃO

Um dos setores que tem expandido cada vez mais no Brasil é a horticultura. Essa, visa principalmente a produção de espécies ornamentais e, apresenta forte apelo no mercado consumidor interno e externo.

Dentre as espécies ornamentais produzidas, no Brasil, destaca-se o cultivo de pimentas ornamentais. Estas, além da diversidade de folhagem, forma e porte, produzem frutos vermelhos geralmente, mas que também podem adquirir diferentes tons de amarelo, verde, laranja, salmão ou roxo, com diversos tamanhos e grau de maturação, conferindo beleza e extensa vida de vaso, uma vez que o efeito ornamental dos frutos persiste por vários meses (SILVA et al., 2014).

A Pimenta Iracema Biquinho é destaque em pesquisas científicas, devido a sua versatilidade de uso, que pode ser empregada tanto na indústria alimentícia quanto no setor ornamental. No cultivo ornamental, a escolha do substrato e o manejo de irrigação estão entre os principais fatores que proporcionam a maximização da produtividade. A composição dos substratos é fator de grande importância, pois favorece a germinação de sementes, a iniciação radicular e o enraizamento das culturas. Todos esses benefícios estão diretamente ligados as características físicas, químicas e biológicas do substrato (CALDEIRA et al., 1998).

Juntamente com a escolha correta do substrato, deve-se atentar para o manejo correto da irrigação, uma vez que tanto o excesso como o déficit de água acarretam prejuízos. A quantidade de água que a planta necessita depende não só do método adequado de irrigação, mas também das características da espécie vegetal e do clima.

A utilização de sensores no manejo de irrigação tem sido um dos métodos mais eficaz para medições de teor de água existente no solo. Uma das técnicas empregadas por estes aparelhos é a obtenção da constante dielétrica relativa do solo, capaz de medir a quantidade de água infiltrada, uma vez que esta constante mantém uma proporcionalidade à quantidade de água no solo. Para obtermos exatidão dos dados dos sensores, o essencial é a calibração dos aparelhos, no solo ou no substrato a ser utilizado na cultura desejada.

1.1 Objetivo geral

Calibração de sensores capacitivos (modelos, EC-5 e 5TE), e tensiômetros em distintos substratos e análise da viabilidade do uso em manejo de irrigação em pimenta cultivada em casa de vegetação.

1.1.1 Objetivos específicos

- Calibração de sensores de capacitância, EC-5 e 5TE, desenvolvido pela Decagon Devices, por meio do método gravimétrico, em diferentes misturas de substrato;
- Análise da viabilidade do uso de tensiômetros no manejo de irrigação em cultura ornamental;
- Avaliar o comportamento dos sensores capacitivos instalados a campo;
- Análise temporal na fase vegetativa da Pimenta Iracema Biquinho quando irrigada através dos dados dos sensores capacitivos.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Cultivos em Ambiente protegido

As casas de vegetação, são locais de proteção ambiental para a produção de plantas, do tipo hortaliças e flores. São estruturas que podem ser compostas com diversos materiais, como madeira, concreto, ferro, alumínio e são cobertas com materiais transparentes que permitam a passagem da luz solar para o crescimento e o desenvolvimento das plantas (REIS, 2005).

O uso das estruturas em ambientes protegidos espalhou-se, primeiro em lugares frios como a Europa, pela Holanda e depois por outros países, principalmente depois do aparecimento do plástico. Atualmente, a produção de plantas em casas de vegetação, popularmente conhecidas como estufas, vem se firmando a cada ano e está bem difundida no Brasil e no mundo (BRITO, 2008). O uso destas estruturas pode ser de caráter parcial ou pleno, sendo ambas estruturas cobertas. Um exemplo característico do uso parcial é a utilização de cobertura da estrutura para obter-se o efeito ‘guarda-chuva’, por outro lado, é possível explorar todo o potencial deste tipo de estrutura, construindo-se uma casa de vegetação completa, com todos os controles para a cobertura e para a proteção das plantas, e com cortinas laterais.

A produção em ambientes protegidos é uma técnica por meio da qual se objetiva proteger flores e hortaliças contra a ação dos elementos meteorológicos que as afetam, além de permitir ambientes favoráveis de produção durante todo o ano, com vantagens produtivas e comerciais (ROMANINI et al., 2010).

Dentre as vantagens da produção de plantas ou hortaliças em casa de vegetação destacam-se: o controle fitossanitário, a redução de custo com a mão de obra e a irrigação. O englobamento desses fatores causa aumento expressivo na produção da cultura desejada.

2.2 Aspectos gerais da Pimenta Iracema Biquinho

Pimenta Iracema Biquinho é seu nome popular e está relacionado ao formato do seu fruto, que tem características arredondadas, se estreitando completamente na ponta, na forma do suposto biquinho. Pertence à família das Solanáceas, gênero *Capsicum Chinense*, apesar de cientificamente ser chamada de *Chinense*, a sua origem é brasileira, cultivada em grande percentual no Sudeste do país, pode também ser conhecida em algumas regiões como

pimenta-de-cheiro (DANTAS; ARAÚJO, 2015). As pimentas apresentam grande variabilidade genética, sendo utilizada para diversos fins. Em princípio, qualquer espécie de pimenta pode ser utilizada como planta ornamental, sendo indicadas as espécies de menor porte para o plantio em vasos (XAVIER et al., 2006).

As Pimentas Iracema Biquinho apresentam características como caule ramificado, ereto e folhas lanceoladas, verdes e brilhantes, com nervuras bem marcadas. Seus frutos avermelhados tem como formato a semelhança de um biquinho, sendo este o motivo do nome popular (Figura 1A). As suas flores são brancas a arroxeadas, seu fruto é tipo baga, de forma esférica a piriforme, com uma ponta afilada característica desta variedade (Figura 1B).

Segundo Lopes et al.(2007), as pimentas necessitam de calor, são sensíveis a baixa temperatura e intolerantes a geada, por isso são indicadas para cultivos em meses com temperaturas mais elevada. Assim, recomenda-se plantio a partir do mês de setembro, quando as temperaturas já estão mais amenas.



Figura 1 - Pimenta Iracema Biquinho.

Fonte: Empório das Sementes (2015).

2.3 Manejo de irrigação na floricultura

O manejo da irrigação na floricultura tem se caracterizado pelo seu empirismo, muitas vezes com aplicação excessiva ou deficitária de água. Segundo Furlan et al. (1998), em parte, a não ocorrência de um manejo hídrico adequado, pelos produtores, pode ser explicada pelo elevado custo dos equipamentos para medições e/ou estimativas das necessidades hídricas da cultura. Segundo Agrosmart (2018, p.18) o manejo de irrigação consiste na determinação do momento, da quantia e de como aplicar água, levando em consideração aspectos do sistema produtivo, controle fitossanitário, aspecto climatológicos e econômicos.

Para Simões et al. (2018) o manejo ou monitoramento da irrigação pode ser realizado via planta, solo, clima, ou pela associação destes. Pode também ser diferenciado nos estádios de desenvolvimento da cultura de acordo com sua sensibilidade ao estresse hídrico e seu efeito na produção. É de extrema importância a determinação do conteúdo de água ou umidade dos solos para os principais estudos de processos como os físicos, químicos e biológicos que neles ocorrem. As técnicas de medida da umidade do solo são normalmente classificadas como diretas ou indiretas (MANIERI et al., 2007).

Entre os métodos indiretos de determinação da umidade do solo, aqueles que relacionam a umidade às propriedades dielétricas do meio solo-água-ar, como as sondas de capacitância têm se destacado nos últimos anos por apresentarem boa precisão e baixo risco para o operador (YODER et al., 1998). Algumas características vantajosas dos sensores capacitivos são: o conhecimento exato de quanto e quando irrigar, até qual profundidade molhar, a observação do comportamento das raízes em função da demanda hídrica, a situação hídrica do solo em função do tempo (drenagem e infiltração), quantidade de água prontamente disponível para as plantas e transporte/armazenamento de nutrientes dissolvidos (COSTA et al., 2014).

O sensor (DECAGON DEVICES, 2018) é uma sonda de capacitância de baixo custo quando comparados com sensores semelhantes, de fácil adaptação a sistemas automáticos de aquisição de dados e, que fornece leituras de potencial elétrico (milivolts) proporcionais à constante dielétrica do solo, e, portanto, à umidade volumétrica do solo. Alguns estudos têm mostrado que quando devidamente calibrado, o sensor ECH₂O pode produzir resultados tão bons quanto o TDR na determinação de umidade do solo, com a vantagem de ter um custo muito mais acessível (CZARNOMSKI et al., 2005; TRINTINALHA et al., 2004).

O fabricante dos sensores recomenda a calibração, do mesmo, para cada tipo de solo, uma vez que em solos com elevados teores de sal ou areia, a calibração de fábrica não proporciona bons resultados.

Os sensores (Decagon Devices, Inc.), possuem vários modelos, como o modelo EC- 5, este determina o conteúdo volumétrico de água (CVA), mede a constante dielétrica do meio utilizando a tecnologia de domínio de capacitância/frequência. É utilizado na frequência 70 MHz, que tem o intuito de minimizar os efeitos de textura e salinidade, tornando este sensor mais preciso em quase todos os tipos de solo e meios hidropônicos.

Outro modelo existente é o modelo 5TE, sendo um sensor que mede a temperatura com um *termistor onboard*, a condutividade elétrica usa um conjunto de eletrodos de aço inoxidável. O conteúdo volumétrico de água em solos minerais é calculado através de uma equação. Outras calibrações como temperatura e condutividade elétrica são calibradas de

fábrica para todos os tipos de solo.

Da mesma forma são utilizados os tensiômetros para determinação de parâmetros da cultura instalada. Para Klein (2001), o tensiômetro é o equipamento mais utilizado para a determinação do potencial mátrico, quando se refere a condições de campo. Utilizado para determinar o momento exato do início da irrigação, apresenta como vantagens: menor desperdício de água e energia, alta tecnologia máxima, produção com menores custos e preservação dos recursos hídricos.

2.4 Balanço Hídrico

Denomina-se balanço hídrico no solo a diferença entre a quantidade de água que entra e a quantidade de água que sai num determinado volume de solo, durante um determinado intervalo de tempo. Quando deseja-se avaliar o balanço hídrico com uma cultura agrícola, o volume do solo considerado depende diretamente da cultura em que está sendo estudada, juntamente com o sistema radicular desta cultura (LIBARDI, 2005).

Um dos modelos mais conhecidos, para determinar o balanço hídrico, foi proposto por Thornthwaite, em 1948. Este avalia o solo como um reservatório fixo, no qual a água armazenada, até o máximo da capacidade de campo, somente será removida pela ação das plantas (SILVA et al 2011).

O balanço hídrico envolve processos fisiológicos de absorção, transporte, perda de água e capacidade dos tecidos de retê-la, portanto todos esses processos estão inter-relacionados (DIAS ; TAGLIACOZZO et al. 2005).

O planejamento hídrico é a base para se dimensionar e implantar qualquer forma de manejo integrado dos recursos hídricos, assim, o balanço hídrico permite uma primeira avaliação, na escala macro, da disponibilidade hídrica no solo ao longo do tempo. Possibilitando também classificar o clima de uma região, realizar o zoneamento agroclimático e ambiental, o período de disponibilidade e necessidade hídrica do solo, além de favorecer ao planejamento integrado dos recursos hídricos (LIMA ; SANTOS, 2009).

O balanço hídrico para controle de irrigação é uma adaptação do balanço climatológico visando facilitar com condições de campo, sem necessidade de recursos computacionais, medindo-se apenas temperatura do ar e a precipitação local. Antes de iniciar um projeto de irrigação é preciso definir e conhecer bem a fenologia (fase de desenvolvimento e crescimento) da cultura a ser irrigada (AMORIM et al., 2002).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Calibração dos sensores ECH₂O (Decagon Devices, Inc.) e tensiômetros

A calibração dos sensores e tensiômetros foram conduzidas no laboratório de hidráulica da Universidade Federal do Pampa (Unipampa) Campus de Alegrete/RS.

Foram utilizados solo coletado em uma propriedade rural, localizada no Rincão de São Miguel no município de Alegrete-RS e substrato comercial Carolina Soil[®]. Através de um mapa geofísico, onde está representado os subdistritos do município de alegrete foi classificado o solo (Figura 2). Sendo o solo utilizado nas calibrações classificado com argissolo, pois é o solo predominante na região onde foi coletado (Figura 3).

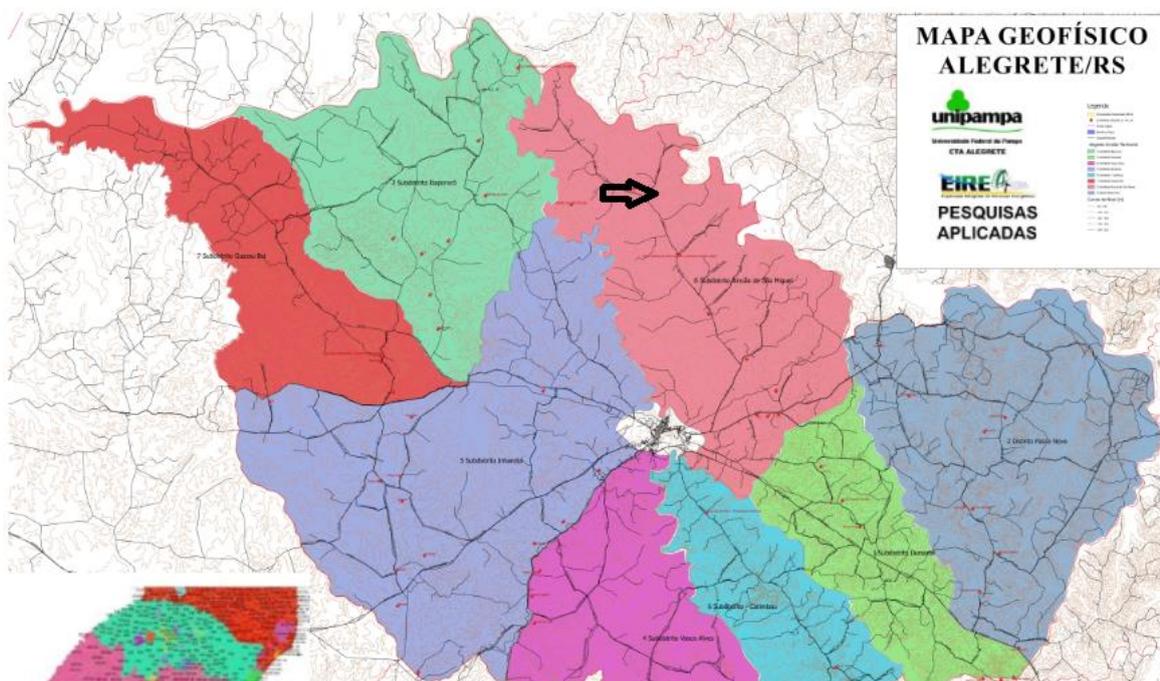


Figura 2: Mapa Geofísico com os subdistritos do município de Alegrete-RS.

Fonte: EIRE- Pesquisa Aplicadas.

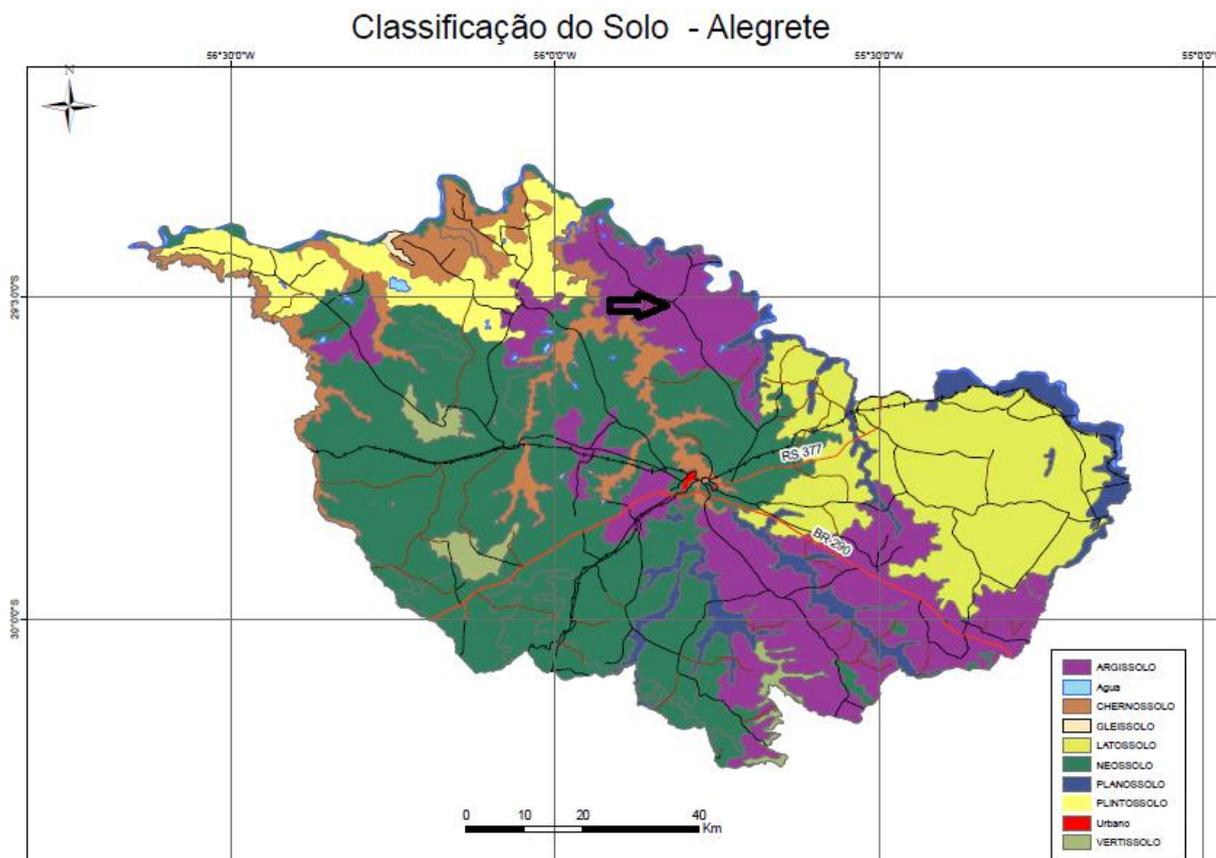


Figura 3: Mapa de classificação do solo do município de Alegrete-RS.

Fonte: EIRE, Pesquisa Aplicada.

Para calibração dos sensores foram testadas diferentes misturas de solo com substrato comercial, a fim de averiguar sua viabilidade de uso em materiais mais porosos. As misturas testadas foram: T1 (100% substrato); T2 (100% Solo); T3 (90% solo+10% substrato); T4 (80% solo+20% substrato); T5 (70% solo+30% substrato); T6 (60% solo+40% substrato); T7 (50% solo+50% substrato), T8 (40% solo+60% substrato); T9 (30% solo+70% substrato) e T10 (20% solo+80% substrato).

Foram utilizados sensores modelos 5TE, EC-5, da marca Decagon® e tensiômetros. O sensor modelo 5TE mede temperatura ($^{\circ}\text{C}$), condutividade elétrica (bulk ds.m^{-1}), umidade do solo ($\text{m}^3.\text{m}^{-3}$). Enquanto o sensor modelo EC-5, registra umidade do solo ($\text{m}^3.\text{m}^{-3}$) e potencial elétrico (mV). Os tensiômetros medem o potencial de água no solo (kPa).

Para a calibração dos sensores e dos tensiômetros foram utilizados vasos de plásticos na cor preta com diâmetro de 0,3 m, altura de 0,2 m e capacidade de 2,6 L. Cada recipiente foi preenchido com uma mistura, e colocados para saturar em água no período de 24 horas, logo após foram instalados os sensores 5TE, EC-5, numa profundidade de 5 cm, acomodados

verticalmente bem no centro do recipiente. Realizou-se uma leve compressão lateral do solo contra os sensores, a fim de melhorar o contato entre o solo e os sensores, seguindo as recomendações de instalação do fabricante.

Os tensiômetros, antes da utilização, foram preparados para instalação, segundo a metodologia descrita em Embrapa (1999). Os mesmos foram instalados nos vasos em uma profundidade de 15 cm, onde se encontra a maior concentração de raízes efetivas na absorção de água.

Nos tratamentos com as misturas T1; T2; T3; T4; T5 foram instalados os sensores modelo EC-5 e tensiômetros, enquanto para as misturas T6; T7; T8; T9 e T10 foram instalados os sensores modelo EC-5, 5TE e tensiômetros.

O conjunto (recipiente contendo solo, sensores e tensiômetro), foi colocado sobre uma bancada no laboratório e pesados diariamente (Figura 4), em horário fixo preferencialmente pela parte da manhã, até que a variação de massa dos mesmos fosse insignificante, para isso, utilizou-se uma balança eletrônica, com precisão de 0,01g.

Depois de encerradas as pesagens e realizadas as leituras de temperatura ($^{\circ}\text{C}$), condutividade elétrica (bulk ds.m^{-1}), umidade do solo ($\text{m}^3.\text{m}^{-3}$), potencial elétrico (mV) e potencial de água no solo (KPa). O solo foi retirado dos recipientes, levado para secagem em estufa a 105°C por 24 h e, pesado para determinação da massa de solo seco. A massa de água presente no solo em cada pesagem foi determinada pela diferença entre as leituras diárias da balança e a massa do vaso (recipiente contendo solo seco e sensores). A umidade volumétrica do solo foi obtida pela relação entre o volume de água em cada pesagem (considerando a densidade da água de 1000 kg.m^{-3}) e o volume de solo em cada recipiente.

A determinação do potencial mátrico da água no solo para os tensiômetros são valores negativos, com vacuômetro de Bourdon, foi realizada, pela equação 1, proposta por Brito *et al.*, (2009):

$$\phi_m = -(L \times 0,0136) - h + h_c + Z) \times 9,8066 \quad (1)$$

Em que:

ϕ_m = potencial mátrico da água no solo (kPa);

L = leitura no visor analógico (mmHg);

h = altura da coluna de água acima do ponto de inserção do manômetros (mca);

h_c = altura de inserção, em relação à superfície do solo, do manômetro de Bourdon no

tubo de PVC (mca);

Z = distância entre o centro da cápsula e a superfície do solo (mca).

Após a obtenção da umidade do solo com os respectivos valores de tensão, ajustou-se os dados por meio do modelo de van Genuchten (1980), a partir da equação 2.

$$\theta = \theta_r + \frac{\theta_s - \theta_r}{[1 + (\alpha |\phi_m|)^n]^m} \quad (2)$$

Em que:

Θ = a umidade volumétrica ($\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$);

θ_r = umidade residual ($\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$);

θ_s = umidade de saturação ($\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$);

ϕ_m = potencial mátrico (-KPa);

α = escalonador do ϕ_m ;

m e n são parâmetros do modelo.

O ajuste da curva de retenção de água no solo foi realizado por meio do software Soil Water Retention Curve – SWRC (Dourado Neto et al., 1990), optando-se pelo modelo de van Genuchten (1980).



Figura 4 – Calibração dos sensores e tensiômetro no laboratório de hidráulica da Universidade Federal do Pampa, Alegrete, RS, 2019.

Fonte: Elaborado pela autora.

A partir dos valores de umidade volumétrica, obtidos pelo modelo de Van Genuchten, obtiveram-se as variáveis água facilmente disponível (AFD), água tamponante (AT) e água residual (AR), onde o valor de AR será igual ao obtido pela umidade volumétrica a 10 KPa, AFD equivale a subtração de umidade volumétrica na tensão 1 KPa pela umidade volumétrica

na tensão 5KPa e o valor de AT obtém-se a partir da redução do valor da umidade volumétrica na tensão 5KPa pela umidade volumétrica em 10KPa, conforme De Boodt e Verdonck (1972) e Wilson (1983).

3.2 Teste dos sensores a campo

Depois de realizadas as calibrações dos sensores modelos EC-5 e 5TE, foram analisados os resultados, e escolhidas algumas misturas para teste a campo. A escolha foi feita através do desempenho dos sensores, durante a calibração, e no possível uso pelos produtores de plantas ornamentais.

O teste da viabilidade destes sensores foi realizado no manejo de irrigação na cultura da Pimenta Iracema Biquinho, nas seguintes misturas: 100% de substrato comercial; 40% substrato comercial + 60% solo; 40% solo + 60% substrato comercial e 100% de solo.

O experimento foi instalado em uma casa de vegetação na área experimental do curso de Engenharia Agrícola, da Universidade Federal do Pampa - Campus de Alegrete/RS, localizada nas coordenadas geográficas 29° 47' de latitude, 55° 46' de longitude e 91 m de altitude. A casa de vegetação localiza-se no sentido leste- oeste. A mesma possui cobertura convencional plástica (Figura 5), dimensões de 7 x 15 m, contendo bancadas, em seu interior, orientadas também no sentido leste - oeste.

O experimento teve início no mês de fevereiro do ano de 2019 e a metodologia foi empregada no decorrer de cinco meses, findando em junho de 2019.



Figura 5 – Casa-de-vegetação da área experimental do curso de Engenharia Agrícola, Unipampa, Alegrete, RS.
Fonte: Elaborado pela autora.

3.3 Semeadura, emergência e transplante

A cultura estudada foi a Pimenta Iracema Biquinho (*Capsicum chinense*). A semeadura foi realizada no dia 27 de fevereiro de 2019. As sementes foram dispostas manualmente em uma bandeja de isopor, alveolada, com perfurações na base para fins de aeração e drenagem da água, composta por 128 células. Essas foram preenchidas com substrato comercial (Carolina Soil®) e com quatro sementes em cada célula e feitas o raleio.

Durante o período de emergência as células foram irrigadas manualmente com um borrifador para que o substrato se mantivesse sempre úmido, e cobertas por uma tela de sombrite escura.

Durante a emergência foram contados o número de sementes emergidas diariamente por bandeja, com a finalidade de se obter a porcentagem de emergência e o índice de velocidade de emergência (IVE), sendo calculado de acordo com a equação 1, proposta por Meguire (1962).

$$IVE = \frac{E1}{N1} + \frac{E2}{N2} + \dots + \frac{En}{Nn} \quad (3)$$

Onde:

IVE = índice de velocidade de emergência.

E1, E2,... En = número de plântulas normais computadas na primeira contagem, na segunda contagem e na última contagem.

N1, N2,... Nn = número de dias da semeadura à primeira, segunda e última contagem.

No dia 8 de abril de 2019, quando as mudas apresentaram-se enraizadas e com uniformidade vegetativa (Figura 6), foram transplantadas para vasos de polietileno, preenchidas com as misturas de substratos comerciais e solo, definidas a partir dos resultados da calibração dos sensores. Logo após foram dispostas os vasos na bancada da casa de vegetação (Figura 7).



Figura 6 – Desenvolvimento de mudas de pimenta após 44 dias da sementeira.

Fonte: Elaborado pela autora.

3.4 Delineamento experimental e descrição dos tratamentos

O experimento foi bifatorial 4x3, no delineamento inteiramente casualizado, com doze tratamentos e quatro repetições em cada, totalizando 48 unidades experimentais. Sendo o primeiro fator tipo de substrato, composto por: S1- 100% de substrato comercial; S2- 40% substrato comercial + 60% solo; S3- 40% solo + 60% substrato comercial e S4- 100% de solo. O segundo fator doses de irrigação, correspondentes a capacidade de retenção do vaso (CV), sendo estas: L1- umidades mantidas entre 80 e 60% do CV; L2 umidade mantida entre 80 e 40% do CV e L3 – umidade mantida entre 80 e 20% do CV, essas foram monitoradas de acordo com a leitura dos sensores (figura 8).



Figura 7 - Representação da disposição dos vasos na bancada após a realização do transplante em de abril de 2019. Unipampa, Alegrete, RS, 2019.

Fonte: Elaborado pela autora.

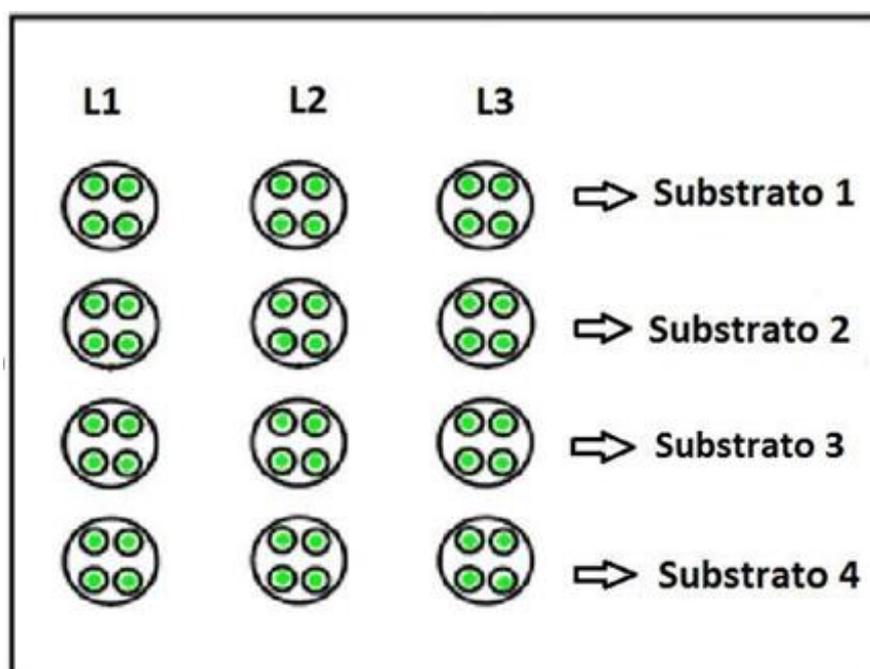


Figura 8 – Esquema do delineamento experimental, Unipampa, Alegrete, RS, 2019

Fonte: Elaborado pela autora.

3.5 Manejo das irrigações e consumo hídrico

A partir da calibração dos sensores, foi possível, conhecer a umidade volumétrica e o potencial elétrico dos distintos substratos, correspondente a 20%, 40%, 60% e 80% do CV.

A umidade dos vasos foi controlada diariamente pela leitura do potencial elétrico dos sensores, sempre no turno da manhã. A partir desta avaliação foi julgada a necessidade de irrigar os tratamentos, para complementação da lâmina de água a fim de atingir o limite máximo de 80% estipulado para cada vaso, dos tratamentos. O consumo de água pela planta foi determinado conforme equação 2, do balanço hídrico, proposta por Thornthwaite:

$$E_{tr} = \sum M_i - \sum M_{i+1} + I - D \quad (4)$$

Onde:

E_{tr} = evapotranspiração real da cultivar no início de um dado intervalo de tempo;

M_i = massa de substrato e água contida no vaso no início de um dado intervalo de tempo;

M_{i+1} = massa de substrato e água remanescente no final do intervalo de tempo considerado;

I = irrigação aplicado no intervalo Δt ;

D = drenagem que ocorre no período Δt .

O método do balanço hídrico consiste na pesagem do vaso antes de ser irrigado e após, com a retirada da água que percola no perfil (drenada), fazendo com que se obtenha a variação entre a massa de substrato e a massa de água contida no intervalo de tempo considerado, bem como a massa de substrato e a massa de água remanescente no final do intervalo de tempo considerado, sendo $M_i - M_{i+1}$, obtidos em balança de precisão de 0,01 g.

3.6 Parâmetros vegetativos do desenvolvimento da cultura

Para avaliar o desenvolvimento da cultivar, semanalmente, foram realizadas, em todas as repetições dos tratamentos, as seguintes características: área foliar; altura das plantas; diâmetro do caule; número de folhas, conforme métodos de determinação, descritos:

- Área foliar (AF): foi obtida através da medição com régua graduada da largura e do comprimento da folha. Foram utilizadas apenas quatro folhas de cada parte da planta, sendo essas, a parte superior, intermediária e inferior para determinação. Esta avaliação foi realizada semanalmente desde o transplante em todos os tratamentos e repetições.

- Altura de planta (AP): foi medida de forma manual, através de régua graduada.
- Diâmetro do caule (DCL): Medido com auxílio de paquímetro com leitura digital.
- Número de folhas e frutos (NFF e NFR): As folhas e frutos foram contados semanalmente de forma manual.

3.7 Análise de dados

Os dados dos sensores EC-5 foram analisados através das comparações de umidade medida ($m^3.m^{-3}$) em função do potencial elétrico (mV) e a umidade do solo estimada pela fórmula em função da umidade volumétrica medida pelo sensor. Por meio da análise de regressão. Os dados dos sensores 5TE foram analisados através das comparações de umidade medida ($m^3.m^{-3}$) em função da condutividade elétrica ($bulk\ ds.m^{-1}$) e a umidade do solo estimada pela fórmula em função da umidade volumétrica medida pelo sensor. Por meio da análise de regressão.

Os dados foram analisados através da evolução temporal da cultura e sua mudança quando submetidas a campo para os meses de abril e maio de 2019.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Tensiômetros

Os parâmetros de ajuste dos pares de dados de umidade e tensão ao modelo de Van Genuchten (1980), para os diferentes substratos, estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Parâmetros de ajuste ao modelo de Van Genuchten (1980) para curvas de retenção de água no solo, elaboradas para diferentes tipos de substratos.

Substrato	θ_s	θ_R	α	N	M	r^2
S1	0,243	0,000	0,009	0,693	0,009	0,947
S2	0,199	0,025	0,089	29,670	0,032	0,954
S3	0,223	0,000	0,230	2,726	0,184	0,963
S4	0,230	0,000	0,158	11,039	0,052	0,981
S5	1,019	0,023	0,238	4,603	0,261	0,966
S6	1,019	0,003	1,025	2,674	0,262	0,989
S7	1,056	0,023	0,507	3,587	0,260	0,971
S8	0,256	0,000	0,141	0,862	0,705	0,945
S9	0,265	0,042	0,161	10,920	0,081	0,943
S10	0,253	0,000	0,001	0,485	6,993	0,824

Legenda: Umidade saturação θ_s , umidade residual θ_r , escalonador do ϕ_m , α , coeficiente de determinação r^2 e m e n são parâmetros do modelo.

Fonte: Elaborado pela autora.

Observa-se, na Tabela 1, que o ajuste obtido (r^2) para a equação de Van Genuchten (1980) foi próximo a 1, em todos os substratos estudados. Para Garcia (1989), valores de coeficiente de determinação superiores a 0,70 indicam bons ajustes, ou seja, com estes resultados, pode-se usar o modelo de Van Genuchten (1980) para estimar a umidade volumétrica destas misturas, para potenciais matriciais entre 0 e 80 kPa. Sendo valores matriciais valores negativos.

Os maiores valores de umidade de saturação foram observados nas misturas que contém em sua composição de 40 a 60% de substrato comercial. Isso, segundo Silva (2005), do ponto de vista capilar, significa a presença de poros menores.

As curvas de retenção de água, para as diferentes misturas, obtidas com tensiômetros, no laboratório, e determinadas por secamento, estão apresentadas na Figura 7.

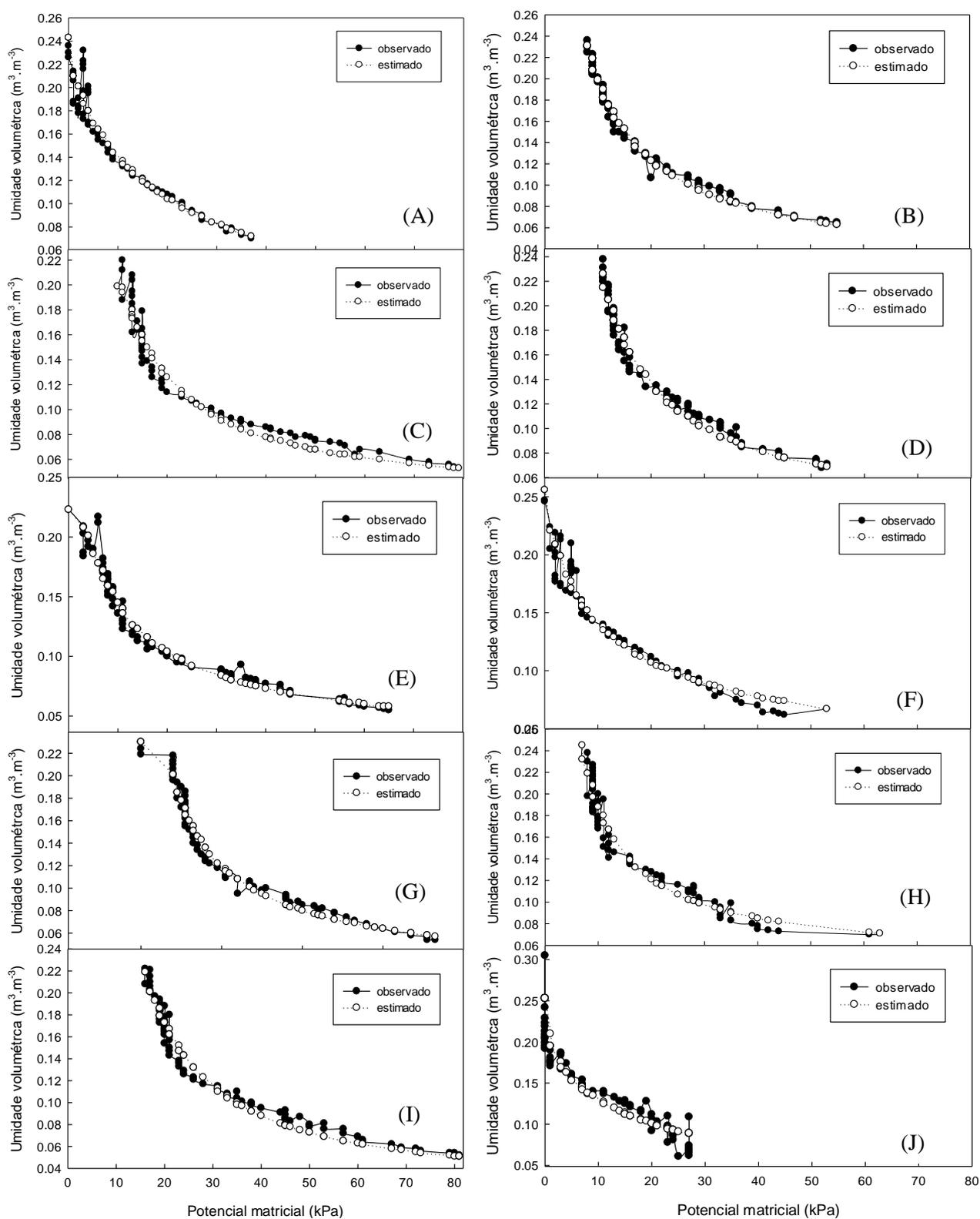


Figura 9 - Curva de retenção de água para os substratos preparados com 100% substrato (A); 100% Solo (B); 90% solo+10% substrato (C); 80% solo+20% substrato (D); 70% solo+30% substrato (E); 60% solo+40% substrato (F); 50% solo+50% substrato (G); 40% solo+50% substrato (H); 30% solo+70% substrato (I) e 20% solo+80% de substrato (J).

Fonte: Elaborado pela autora.

Nota-se através da Figura 9, que os tensiômetros foram eficientes para a obtenção da curva de retenção de água, para as diferentes misturas. Foi possível obter a umidade volumétrica para o potencial matricial de até aproximadamente 80 KPa. A faixa de tensão de trabalho, dos tensiômetros, para maioria das culturas fica entre 0 até 75 kPa (LIBARDI, 1999).

Nos maiores potenciais matriciais ocorreram as maiores variações de umidade volumétrica. Resultado semelhante foram observados por Farias, et al. (2004), estes para substrato constituído de 30% de solo, 30% de pó de xaxim e 40% de casca de pínus, registraram uma redução de aproximadamente 3% da umidade volumétrica nos potenciais superiores a 10 KPa, com posterior tendência a estabilização, da umidade, até o potencial matricial de 100 KPa.

Segundo Diaz (2010) a sucção no substrato não deve exceder uma tensão correspondente a 100 cm de coluna de água (9,8 KPa). De Boodt ; Verdonck (1972) estabeleceram como referência os pontos de sucção de 0, 10, 50, e 100 cm de coluna de água, na construção da curva de retenção de água, para substratos.

Fermino (2003) determinou a curva de retenção, através do uso de mesa de tensão, funil de tensão e cilindros de pressão, para diferentes substratos comerciais. Encontrou umidade volumétrica média de $0,6 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$, na tensão inicial de 1KPa, e de $0,34 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$, para a tensões a final de 10 KPa.

Segundo Andriesse (1988) a retenção de água das turfas pode chegar até 20 vezes a sua massa. Também as cascas, como as de Pinus, (HANDRECK; BLACK, 1999) e a vermiculita (BURÉS, 1997), têm alta capacidade de retenção de água.

Embora a retenção de água, nas tensões de 1e 5 KPa, seja uma característica positiva do ponto de vista do armazenamento, é necessário considerar que mais importante é a liberação de volumes de água suficientes às necessidades das plantas em cultivo. Sob este prisma, os volumes disponíveis a 10 KPa são baixos e inferiores àqueles retidos na mesma tensão. Desta forma, a utilização destes materiais/substratos exige um regime de irrigação mais frequente.

O volume de água retida pelos substratos em diferentes tensões é apresentado na Tabela 2. Observa-se que a AFD, em todos os tratamentos tiveram valores inferiores a 6% do seu volume total em água. Assim, todos os substratos apresentaram valor de AFD insatisfatório, pois segundo Fermino (2003) e Cadahia (1998), o percentual de água facilmente disponível em substratos deve ser de 20 a 30%, e conforme Klein et al. (2000), este índice é importante para o bom desenvolvimento das plantas é a água facilmente disponível.

Azevedo et al. (2014) caracterizando as propriedades físico-hídricas de diferentes substratos, observaram que os substratos de casca de pinus e misto artesanal, apresentaram valores e AFD abaixo do considerado satisfatório por Fermino et al. (2014) e Cadahia (1998), com valores de 12,21 e 15,50%, respectivamente.

Costa et al. (2017) em estudo, com distintos substratos, registraram, para a água facilmente disponível, um modelo quadrático, com o ponto de mínima de 0,6% com a utilização de 37,23% de casca de arroz carbonizada. Estes observaram apenas para o substrato formado pela mistura de 75% de casca de arroz carbonizada + 25% composto orgânico, valores compatíveis com os de referência, proposto por Fermino (2003) e Cadahia (1998).

De acordo com Costa et al. (2017) a AFD é liberada sob baixas tensões, indicando que é rapidamente perdida, não se constituindo um reservatório de água para as plantas. Desta forma, quando no substrato há grande percentual de AFD, faz-se necessário o prolongamento nas regas, não sendo viável para o viveirista, por promover aumento nos gastos de produção de mudas.

Para Zorzeto et al. (2014) valores críticos, ou seja, abaixo do considerado ideal, podem inibir o crescimento vegetal na falta de irrigações frequentes.

Substratos que apresentam valores abaixo do recomendado tanto para AFD como para a AT apresentam limitações quanto ao suprimento adequado de água de fácil absorção para as plantas, indicando que, as regas devem ter durações mais curtas com intervalos de tempo menores (SCHAFER, 2004).

Avaliando os valores de Água Remanescente (AR), que seria a água que não será disponibilizada às plantas, à maior e menor valor foi observado nos substratos S5 (37,27 %) e S10 (12,86 %), respectivamente (Tabela 2), ou seja, esses percentuais de água não estão disponíveis para absorção das raízes. Esses resultados corroboram com os observados por Feraz et al. (2005), em diferentes substratos comerciais, os mesmos encontraram valores de AR variando de 14 % para o substrato Germina (10%) e 26 % para o substrato de turfa.

Costa et al. (2017) observou para a variável água remanescente comportamento linear decrescente e as composições com 50% casca de arroz carbonizada + 50% composto orgânico e 75% casca de arroz carbonizada + 25% composto orgânico atingiram valores de 31,09% e 19,95%, respectivamente, que se aproximaram do valor de referência, entre 20 e 30%, de acordo com De Boodt ; Verdonck (1972).

Nota-se para água tamponante que os substratos apresentaram valores acima do valor ideal de 5% indicado por De Boodt ; Verdonck (1972). De acordo com os autores substratos com valores iguais ou próximos ao recomendado proporcionam suprimento hídrico adequado

para as plantas.

De Boot ; Verdonck (1972) e Haynes ; Gohg (1978) estimaram que entre 4 a 10% seria um valor de referência para água tamponante. Dessa forma, somente os tratamentos S3 e S4 apresentaram resultados dentro desta faixa, proporcionando suprimento hídrico adequado para as plantas. Enquanto, os demais substratos apresentam valores inferiores a referência, portanto estes não proporcionariam um possível suprimento hídrico as plantas nele estabelecidas caso seja submetidas ao stress hídrico. Para os mesmos autores o volume liberado acima desta tensão é considerado água dificilmente disponível, remanescente ou residual, portanto, desconsiderada.

Estes resultados são semelhantes aos observados por Costa et al. (2014), estes observaram valores de AT inferior a 5% para os substratos compostos por: 100% composto orgânico; 25% casca de arroz carbonizada + 75% composto orgânico; 50% casca de arroz carbonizada + 50% composto orgânico; 75% casca de arroz carbonizada + 25% composto orgânico e 100% casca de arroz carbonizada.

Manfron et al. (2005) observou para as amostras de substratos valores de água facilmente disponível, inferior a faixa ideal, em média de 10,46% e o volume de água tamponante em média de 1,30%.

As diferenças de resultados encontrados no trabalho e na literatura, certamente ocorrem devido a grande variabilidade existente entre os substratos, nas suas composições e estruturas, bem como, no arranjo de suas partículas no decorrer do tempo, resultando em efeitos diversos para as plantas (MANFRON et. al., 2005).

Tabela 2. Água disponível as plantas para os substratos avaliados nas diferentes tensões.

Substrato	AR (%)	AFD (%)	AT (%)
S1	14,09	4,43	3,07
S2	19,88	0,00	0,02
S3	14,43	3,33	4,47
S4	17,72	0,08	5,19
S5	37,27	26,16	38,43
S6	20,24	51,72	12,35
S7	25,07	58,01	20,30
S8	14,05	5,39	3,29
S9	18,80	0,16	7,53
S10	12,86	4,63	2,64

Legenda: Água remanescente (AR), Água facilmente disponível (AFD) e Água tamponante (AT).

Fonte: Elaborado pela autora.

4.2 Sensores capacitivos, modelo EC-5

Os dados de umidade volumétrica observados, pelo método gravimétrico, para as misturas de substratos e os respectivos valores de potencial elétrico, de resposta dos sensores ECH₂O, modelo EC-5, são apresentados na figura 7. Observou-se que para ambos os sensores apresentaram uma resposta linear à variação da umidade do solo.

As equações de calibração para as misturas, compostas por: 100% substrato; 100% de solo; 90% solo+10% substrato; 80% solo+20% substrato, 70% solo+30% substrato; 60% solo+40% substrato; 50% solo+50% substrato; 40% solo+50% substrato; 30% solo+70% substrato e 20% solo+80% substrato, foram respectivamente: $y = 0,0005x - 0,1545$, com $R^2 = 0,9792$; $y = 0,0005x - 0,2199$, com $R^2 = 0,9702$; $y = 0,0005x - 0,2222$, com $R^2 = 0,9549$; $y = 0,0004x - 0,1526$, com $R^2 = 0,9545$; $y = 0,0006x - 0,2384$, com $R^2 = 0,9909$; $y = 0,0005x - 0,2042$, com $R^2 = 0,955$; $y = 0,0005x - 0,2072$, com $R^2 = 0,9666$; $y = 0,0005x - 0,2058$, com $R^2 = 0,9794$; $y = 0,0005x - 0,235$, com $R^2 = 0,9775$ e $y = 0,0005x - 0,2008$, com $R^2 = 0,9631$.

Os resultados indicam que os valores de potencial elétrico, observado nos sensores EC-5, em ambos os materiais de calibração, possuem ótima relação quando comparado com a umidade volumétrica dos materiais. Os coeficientes de determinação (R^2) ficaram bem próximos de um, isso demonstra que a variação da umidade é sentida pelo potencial elétrico dos sensores, indicando uma boa precisão do uso destes na estimativa da umidade volumétrica.

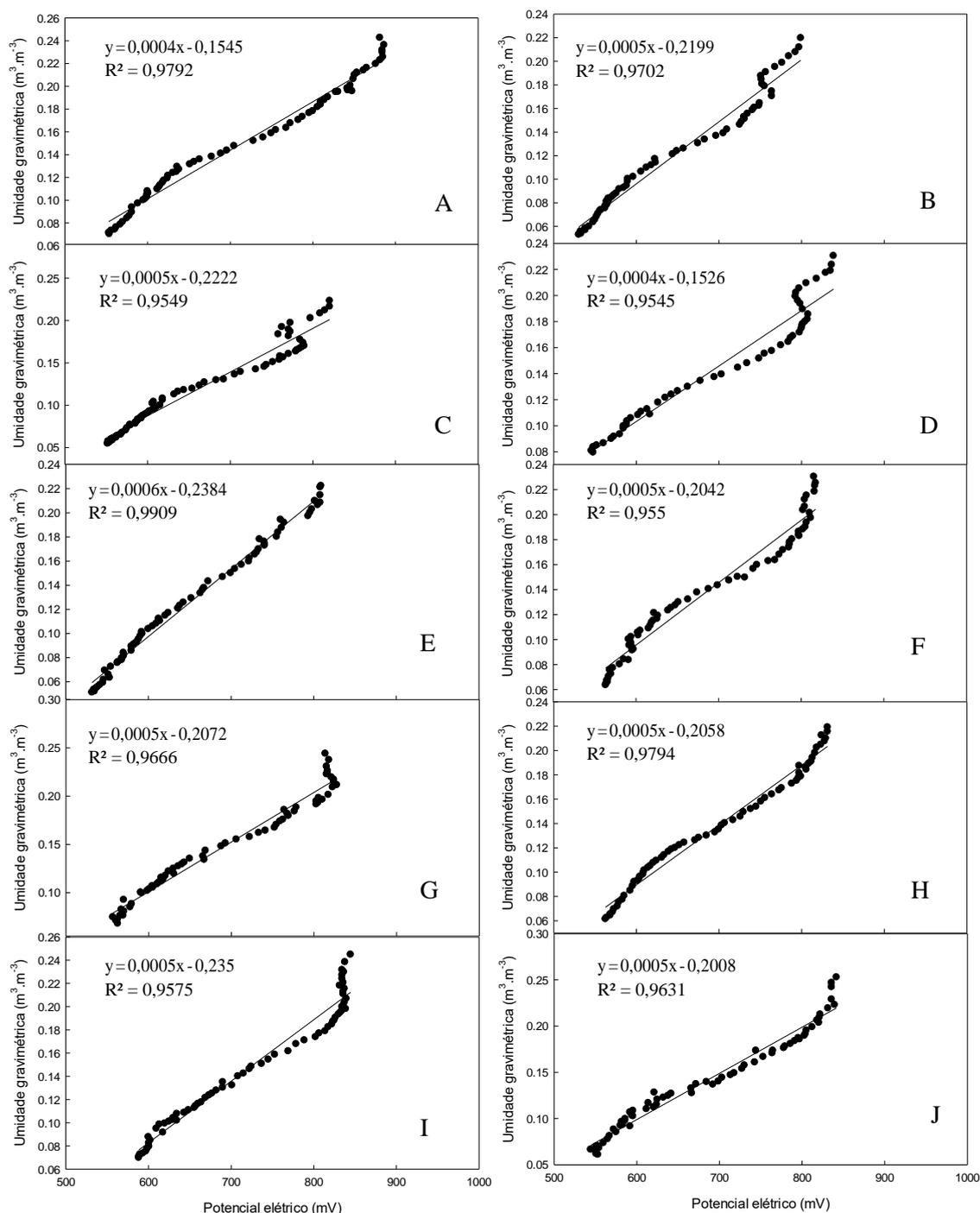


Figura 10 – Umidade volumétrica do solo ($\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$) medida, por gravidade e o potencial elétrico dos sensores ECH₂O EC-5 para misturas: 100% substrato (A); 100% Solo (B); 90% solo+10% substrato (C); 80% solo+20% substrato (D); 70% solo+30% substrato (E); 60% solo+40% substrato (F); 50% solo+50% substrato (G); 40% solo+50% substrato (H); 30% solo+70% substrato (I) e 20% solo+80% de substrato (J).

Fonte: Elaborado pela autora.

Na figura 11 é apresentada a comparação entre os valores de umidade do solo medidos, com os sensores capacitivos modelo EC-5, e os valores determinados utilizando-se as equações de calibração obtidas para as diferentes misturas.

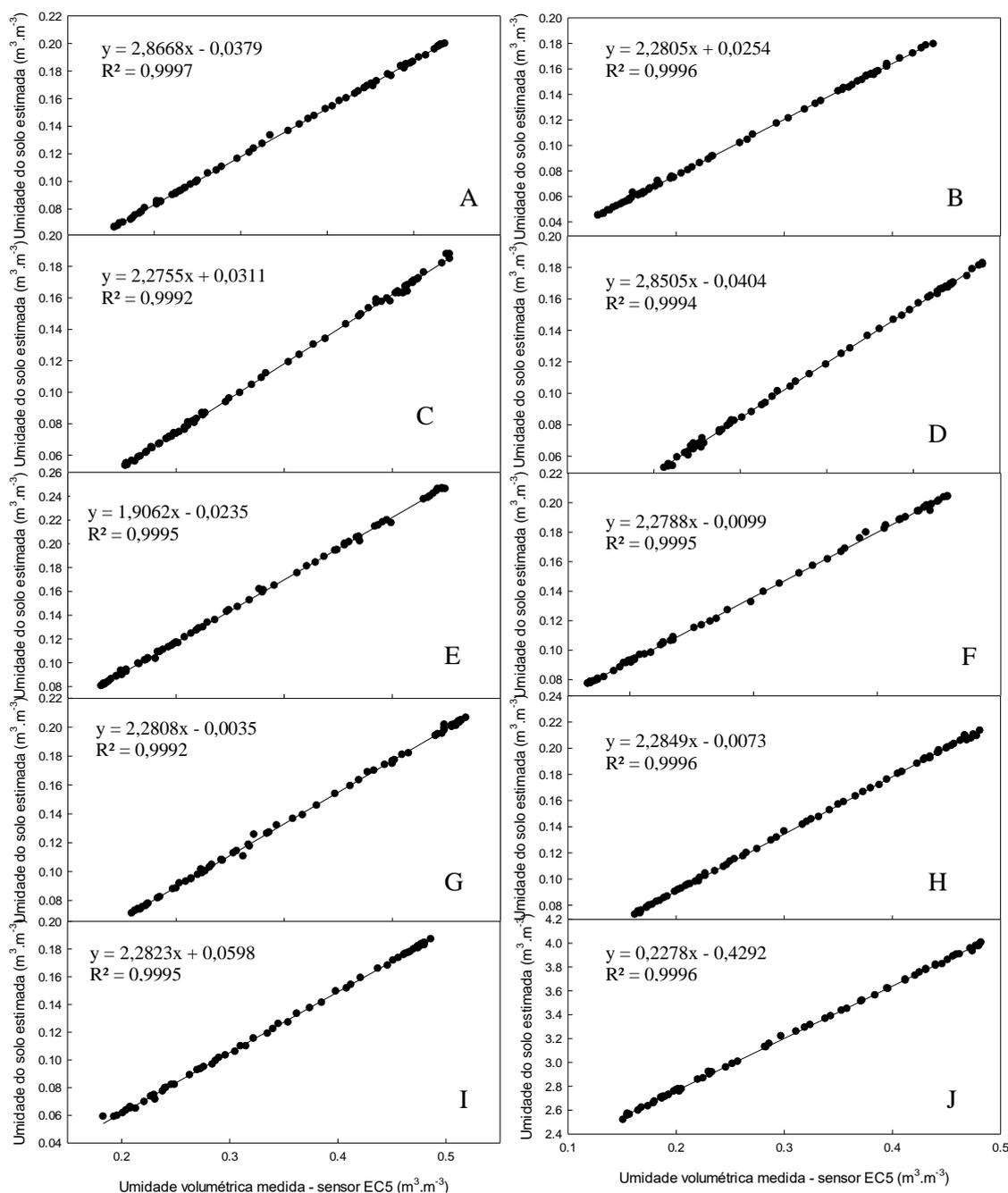


Figura 11 - Umidade volumétrica do solo medida e valores estimados pelos sensores ECH₂O EC-5 utilizando a equação de calibração para misturas: 100% substrato (A); 100% Solo (B); 90% solo+10% substrato (C); 80% solo+20% substrato (D); 70% solo+30% substrato (E); 60% solo+40% substrato (F); 50% solo+50% substrato (G); 40% solo+50% substrato (H); 30% solo+70% substrato (I) e 20% solo+80% de substrato (J).

Fonte: Elaborado pela autora.

Os sensores ECH₂O EC-5 apresentaram uma resposta bastante satisfatória à variação de umidade tanto para ambos os materiais, comprovando que o sensor EC-5 apresenta uma boa performance, mesmo em solos mais firmes quanto em substratos que possui uma estrutura de

solo mais solta.

Resultados semelhantes foram observados por Borhan ; Parsons (2004), estes concluíram que o sensor ECH₂O apresentou um bom potencial para o monitoramento contínuo da umidade em um solo arenoso da Flórida. Miranda et al. (2007) ao calibrar o sensor dielétrico ECH₂O, modelo EC-10, para dois tipos de solos com diferentes composições texturais (Neossolo Quartzarênico e Cambissolo), observaram que os mesmos, quando devidamente calibrado, podem ser utilizados satisfatoriamente na determinação da umidade do solo.

4.3 Sensor capacitivo, modelo 5TE

Os dados apresentados de umidade volumétrica, para as misturas de substratos em função dos valores de condutividade de resposta dos sensores ECH₂O, modelo 5TE, estão apresentados na figura 12.

As equações de calibração para as misturas, compostas por: foram respectivamente: 60% solo+40% substrato; 50% solo+50% substrato; 40% solo+50% substrato; 30% solo+70% substrato e 20% solo+80% de substrato, foram respectivamente: $y = 0,611x - 0,0176$, com $R^2 = 0,8088$; $y = 0,7153x - 0,0532$, com $R^2 = 0,8008$; $y = 0,5334x - 0,1174$, com $R^2 = 0,6756$; $y = 0,42x - 0,0206$, com $R^2 = 0,9547$; $y = 0,5528x - 0,0684$, com $R^2 = 0,9305$.

Os resultados observados mostram que os valores de condutividade elétrica, observado nos sensores 5TE, para as misturas: 30% solo+70% substrato e 20% solo+80% de substrato, apresentam ótima relação quando comparados com a umidade volumétrica dos materiais. Os coeficientes de determinação (R^2) para ambas as mistura tiveram um comportamento positivo, sendo as misturas citadas a cima valores encontrados de R^2 mais próximos de 1, demonstrando que a variação de umidade é sentida pela condutividade elétrica dos sensores.

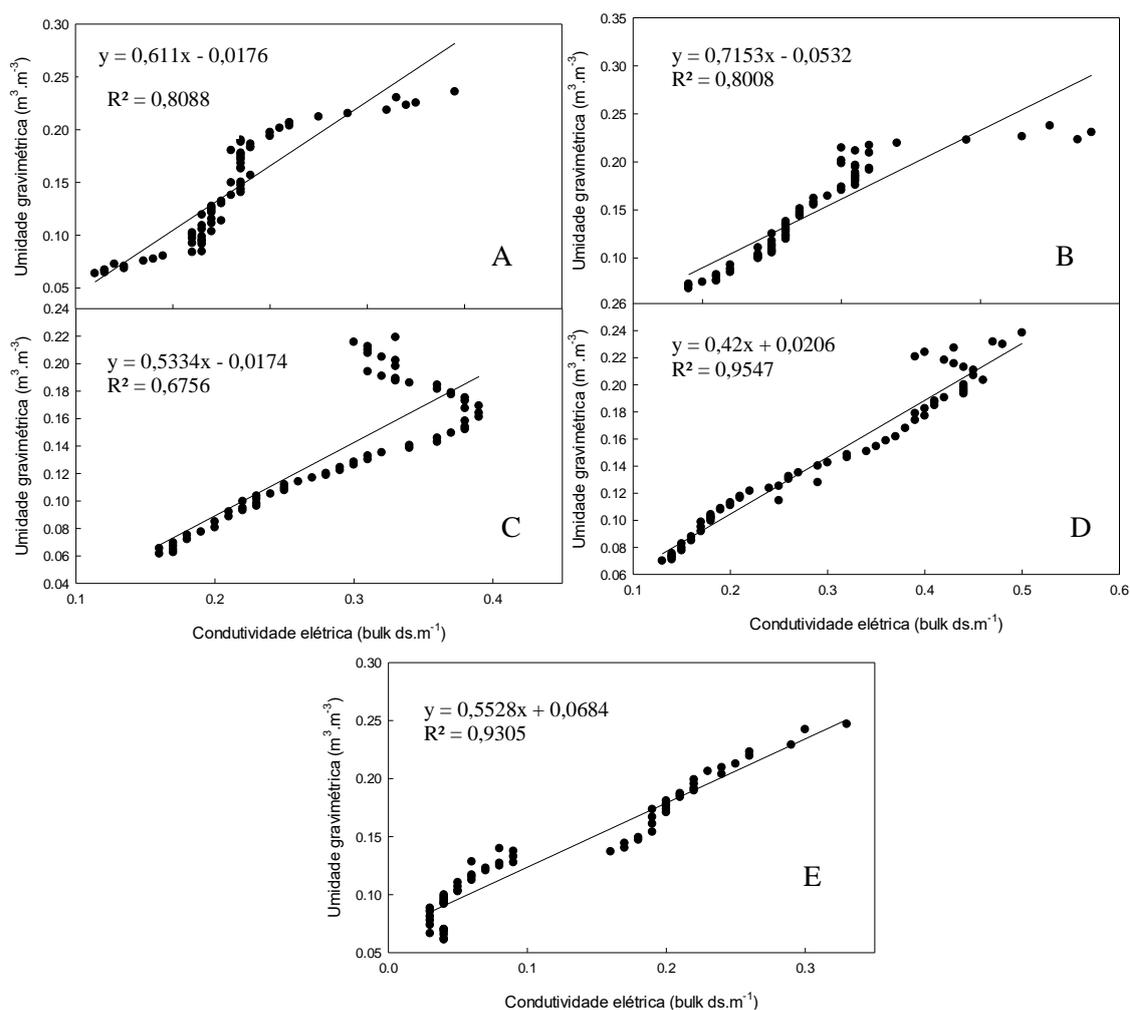


Figura 12 – Umidade volumétrica do solo (m³.m⁻³), por condutividade elétrica (bulk ds.m⁻¹) dos sensores ECH₂O 5TE para misturas: 60% solo+ 40% substrato (A); 50% solo+50% substrato (B); 40% solo+50% substrato (C); 30% solo+70% substrato (D); 20% solo+80% de substrato (E).

Fonte: Elaborado pela autora.

Na figura 13 são apresentados os valores de umidade volumétrica do solo obtidos em função dos valores de umidade estimadas pelos sensores ECH₂O 5TE.

Os sensores ECH₂O 5TE quando comparados com os resultados modelo EC-5, não mostraram resposta muito satisfatória à variação de umidade estimada, em função da umidade volumétrica obtida pelo sensor. Sendo que os resultados do sensores ECH₂O 5TE, não possuem comportamento linear como do sensor ECH₂O EC-5.

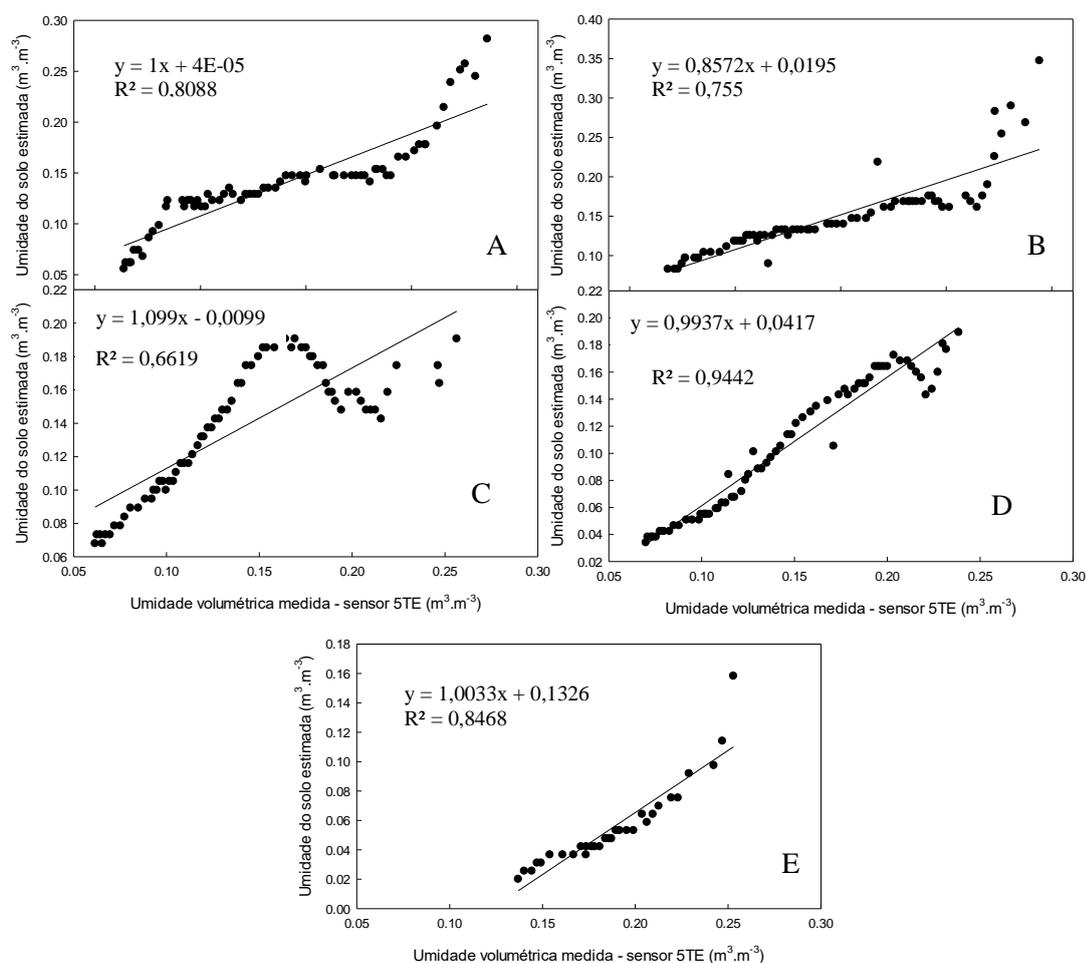


Figura 13 - Umidade volumétrica do solo ($m^3.m^{-3}$) medida e valores de umidade estimados pelos sensores ECH₂O 5TE utilizando a equação de calibração para misturas: 60% solo+40% substrato (A); 50% solo+50% substrato (B); 40% solo+50% substrato (C); 30% solo+70% substrato (D); 20% solo+80% de substrato (E).

Fonte: Elaborado pela autora.

4.4 Porcentagem de emergência e índice de velocidade de emergência

A porcentagem média de emergência alcançada pela espécie foi de 94,74%, valor este aproximado ao encontrado por Pinto (2011) com 98,4% de sementes de jucá emergidas. Para o índice de velocidade de emergência (IVE), obteve-se o valor de 10,76. Brum (2017), estudando a cultivar capuchinha, obteve a porcentagem de emergência de 70,86%. Esta comparação de resultado demonstra que os valores encontrado de porcentagem de emergência foram satisfatório quando comparados a outros trabalhos.

4.5 Temperatura na casa de vegetação

Na figura 14 é apresentada a temperatura obtida diariamente no período da manhã, através de leituras manual no termômetro de registro semanal, localizado na casa de vegetação.

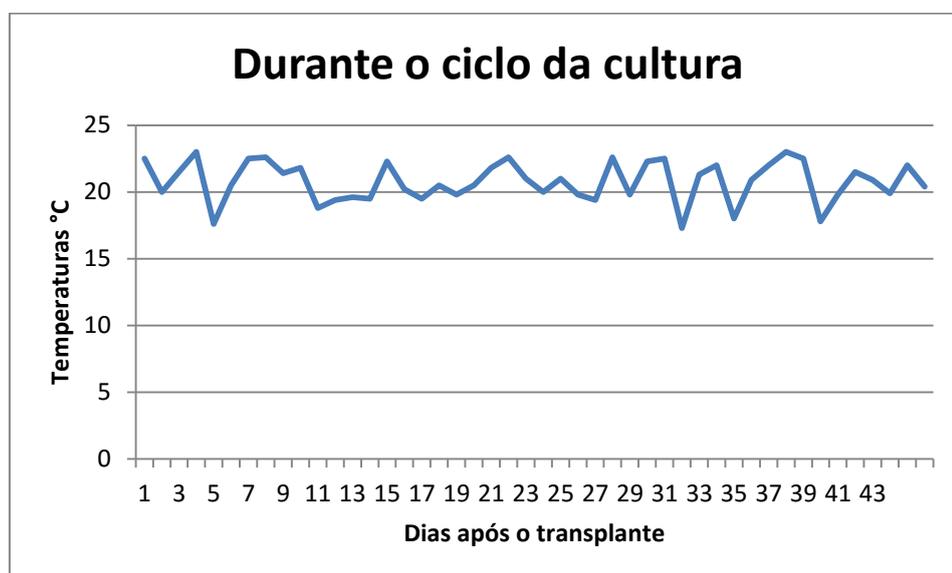


Figura 14 – Temperatura medida através do termômetro para os 44 dias após o transplante.

Fonte: Elaborado pela autora.

No período de condução do experimento a temperatura média foi de 20,8 °C, a temperatura mínima foi de 17,3 °C e a temperatura máxima esteve entre 21,8 e 23°C. Sendo que para a cultura das pimentas os valores médios mensais ideais são de 21° a 30°C, sendo a média mínima ideal de 18°C e a máxima em torno de 35°C (EMBRAPA, 2007). Portanto, a temperatura média e a mínima observada neste trabalho se aproximou dos valores ideais, diferentemente da temperatura máxima.

Na região Sul do Brasil é aconselhável realizar a semeadura nas épocas da primavera e verão, sendo estas as estações onde possui as temperaturas mais elevadas. Segundo Silva ; Souza (2019), nas regiões serranas de temperaturas amenas, o ideal é cultivar a pimenta nos meses de agosto e fevereiro. Logo, as épocas mais convenientes de realizar a semeadura ocorre entre os meses de setembro a novembro, em razão da sua maior necessidade de calor.

4.6 Consumo Hídrico

Na figura 15 é apresentado o consumo de água da cultura Pimenta Iracema Biquinho, em função dos dias irrigados ao longo de seu ciclo, para as diferentes misturas testadas.

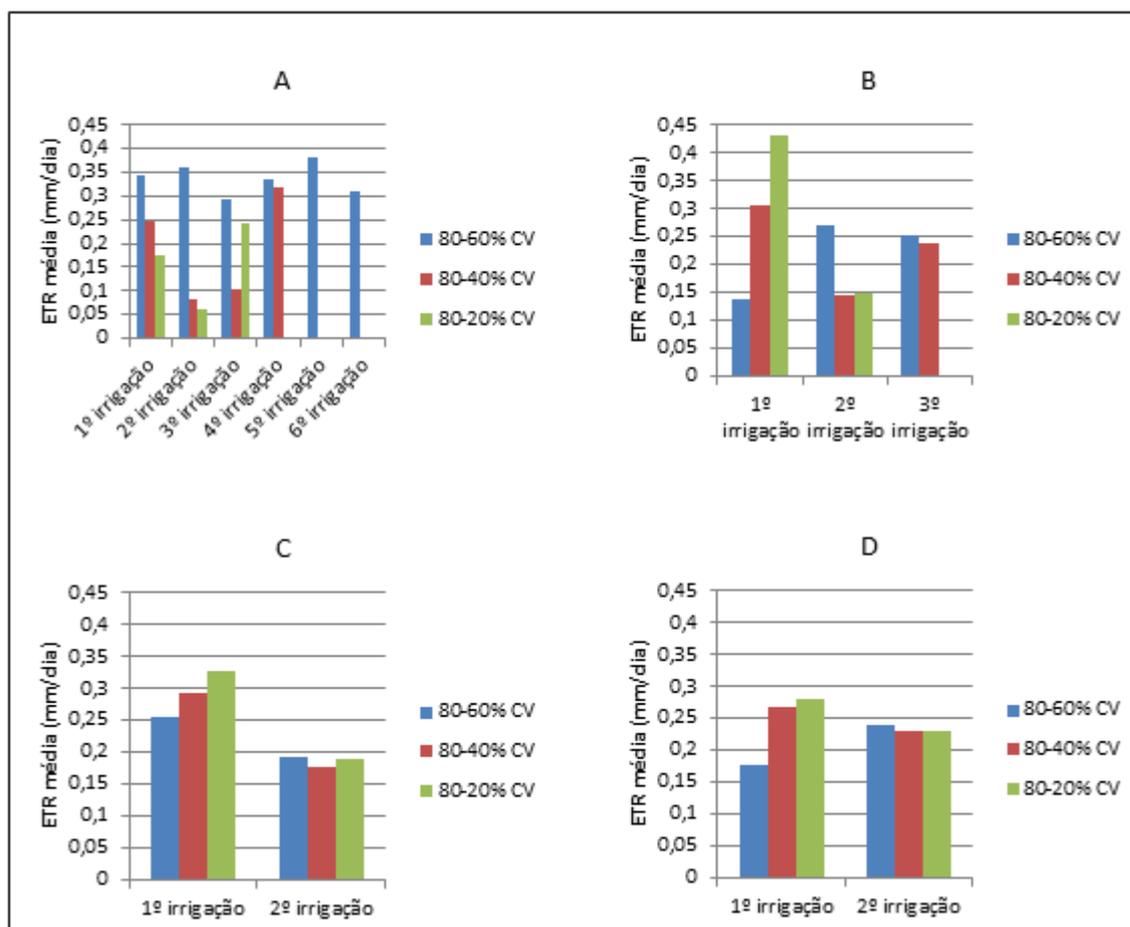


Figura 15 – Consumo hídrico (mm.dia), ao longo do ciclo da Pimenta Iracema Biquinho, nas misturas compostas por: 100% substrato (A); 60% solo+40% substrato (B); 40% solo+ 60% substrato (C); 100% Solo (D) para as distintas lâminas de irrigação.

Fonte: Elaborada pela autora.

Os maiores consumos foram obtidos para as misturas, com 100% de substrato e lâmina de irrigação de 80 a 60% do CV e 60% solo+40% substrato e lâmina de irrigação de 80 a 60% do CV, respectivamente. Estes foram os tratamentos com maior frequência de irrigação (6 e 3 vezes). Respectivamente este resultado corrobora com os de Dubal (2015), que ao analisar o consumo hídrico, concluiu que a maior demanda por água encontra-se nos períodos de 0 a 30 DAT, ou seja, no início do cultivo da pimenta ornamental para os substratos composto por: casca + cinza + húmus, cinza + húmus e cinza + solo.

Os demais tratamentos, durante o período de experimento a campo, necessita apenas de duas irrigações. Esse comportamento, deve-se à estação climática, período com temperaturas mais amenas o que proporciona menores perdas evaporimétricas.

Pode-se também, destacar que o primeiro tratamento composto pela mistura de 100% de substrato e distintas lâminas de irrigações, necessitou uma maior quantia de água durante o ciclo quando comparado com o tratamento composto por 100% de solo e distintas lâminas de

irrigações. Logo, este resultado pode ser justificado em função das diferentes características físicas dos tipos de misturas usadas nestes tratamentos. O substrato por ter como característica elevado índice de percolação, necessariamente aumenta a precisão de irrigação. Segundo Fachini (2006), alguns substratos com menor capacidade de retenção de água necessitam irrigar mais frequentemente do que nos de maior capacidade de retenção.

Pois o solo por ter presença argilosa, melhora a infiltração, consequentemente reduzindo a necessidade de exigência de irrigação durante o ciclo.

4.7 Parâmetros de crescimento e desenvolvimento de planta

Na figura 16 é apresentado o comportamento da área foliar observado ao longo do ciclo da cultura analisada. É possível observar que ambos os tratamentos tiveram comportamento crescente para este parâmetro de desenvolvimento.

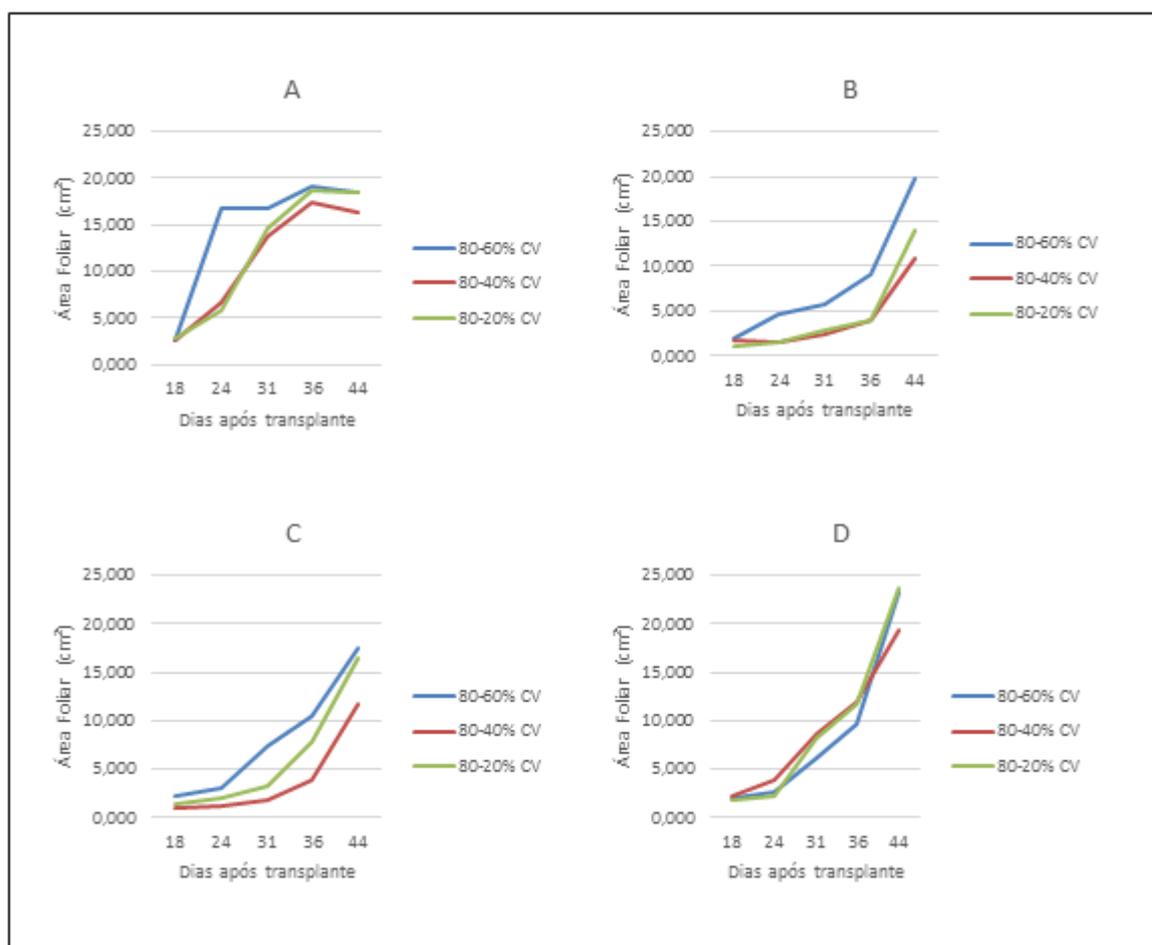


Figura 16 – Área Foliar (cm²) ao longo do ciclo da Pimenta Iracema Biquinho, nos substratos com 100 % substrato (A), 60% solo 40% substrato (B); 40% solo+50% substrato (C) e 100% Solo (D) para distintas lâminas de irrigação. UNIPAMPA, Alegrete, 2019.

Fonte: Elaborado pela autora.

Os valores médios de área foliar ficaram entre 3,87a 12,76 cm² sendo que todos os tratamento apresentaram resultado satisfatório e comportamento linear. Os valores máximos de área foliar ficaram entre 19,7 a 23,6 cm² para os tratamento composto por 40% solo+50% substrato e lâmina de irrigação de 80 a 60% do CV e para o tratamento composto por 100% solo e lâminas de irrigação de 80 a 60% do CV e 80 a 20% do CV.

Na figura 17 é apresentado o comportamento da altura de planta (cm) em função dos dias após o transplante. Ambos os tratamentos apresentaram comportamento crescente. Observa-se que os tratamentos compostos por: 100% substrato com lâmina de irrigação entre 80 a 20% do CV e 100% de solo com lâmina de irrigação de 80 a 60% do CV se destacaram pelo seu melhor desenvolvimento quando comparado com os demais.

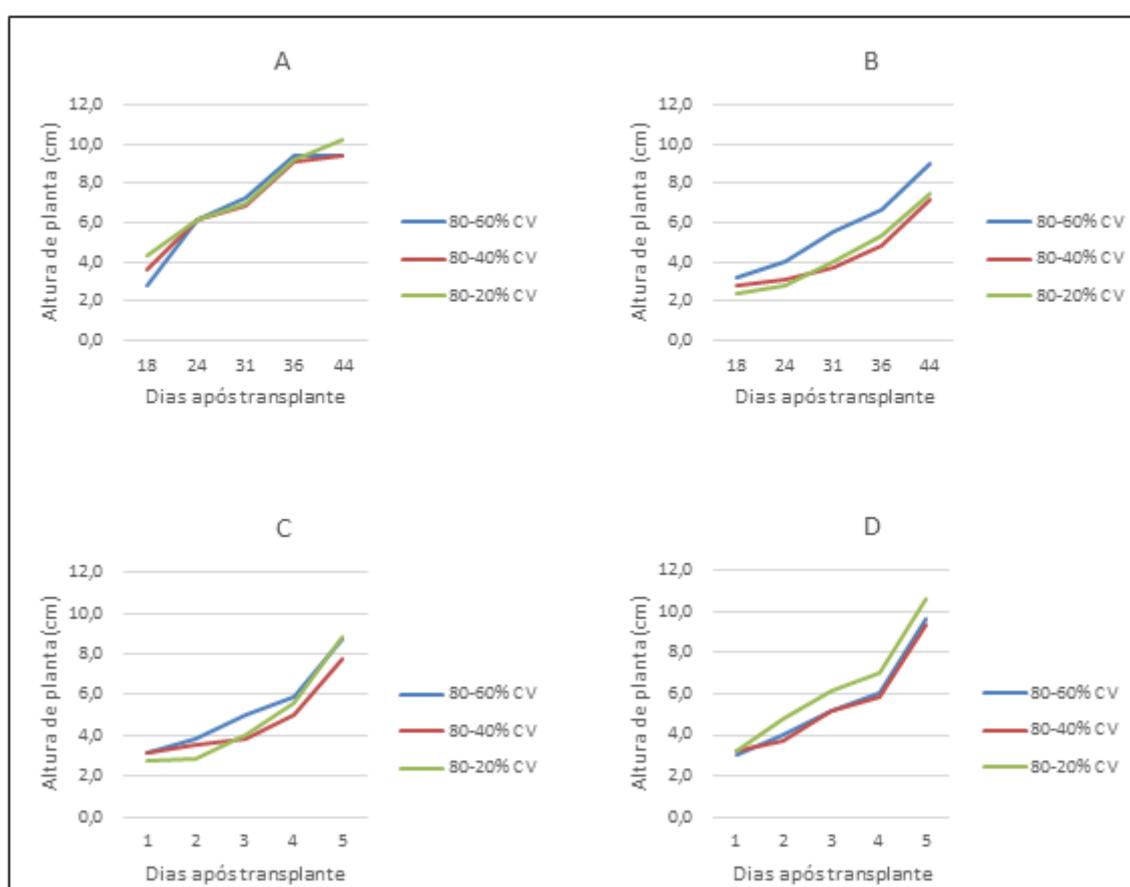


Figura 17 – A altura de planta (cm) ao longo do ciclo da Pimenta Iracema Biquinho, nos substratos com 100 % substrato (A), 60% solo 40% substrato (B); 40% solo+50% substrato (C) e 100% Solo (D) para distintas lâminas de irrigação. UNIPAMPA, Alegrete, 2019.

Fonte: Elaborado pela autora.

Os valores de alturas de plantas médios variaram entre 4,8 a 7,1 cm. Sendo que os tratamentos composto por 100% de subtrato e lâmina de irrigação de 80 a 20% do CV e 100% de solo com lâmina de irrigação de 80 a 20% do CV foram os que apresentaram

maiores valores de altura de planta de 10,3 a 10,6 cm. Estes valores ratificam os observados por Silva et al., (2013), que encontrou, alturas médias para as pimentas ‘Amarela Comprida’ e ‘Cheiro de Bode’ de 6 cm e 4,5 cm, respectivamente, dois meses após o plantio. Na figura 18 é apresentado o comportamento do diâmetro do caule (mm), em função dos dias após o transplante. Como nas demais avaliações de desenvolvimento, o tratamento composto pela mistura 100% substrato e lâminas de irrigações de 80 a 60% e 80 a 20% do CV apresentou o melhor desenvolvimento vegetativo.

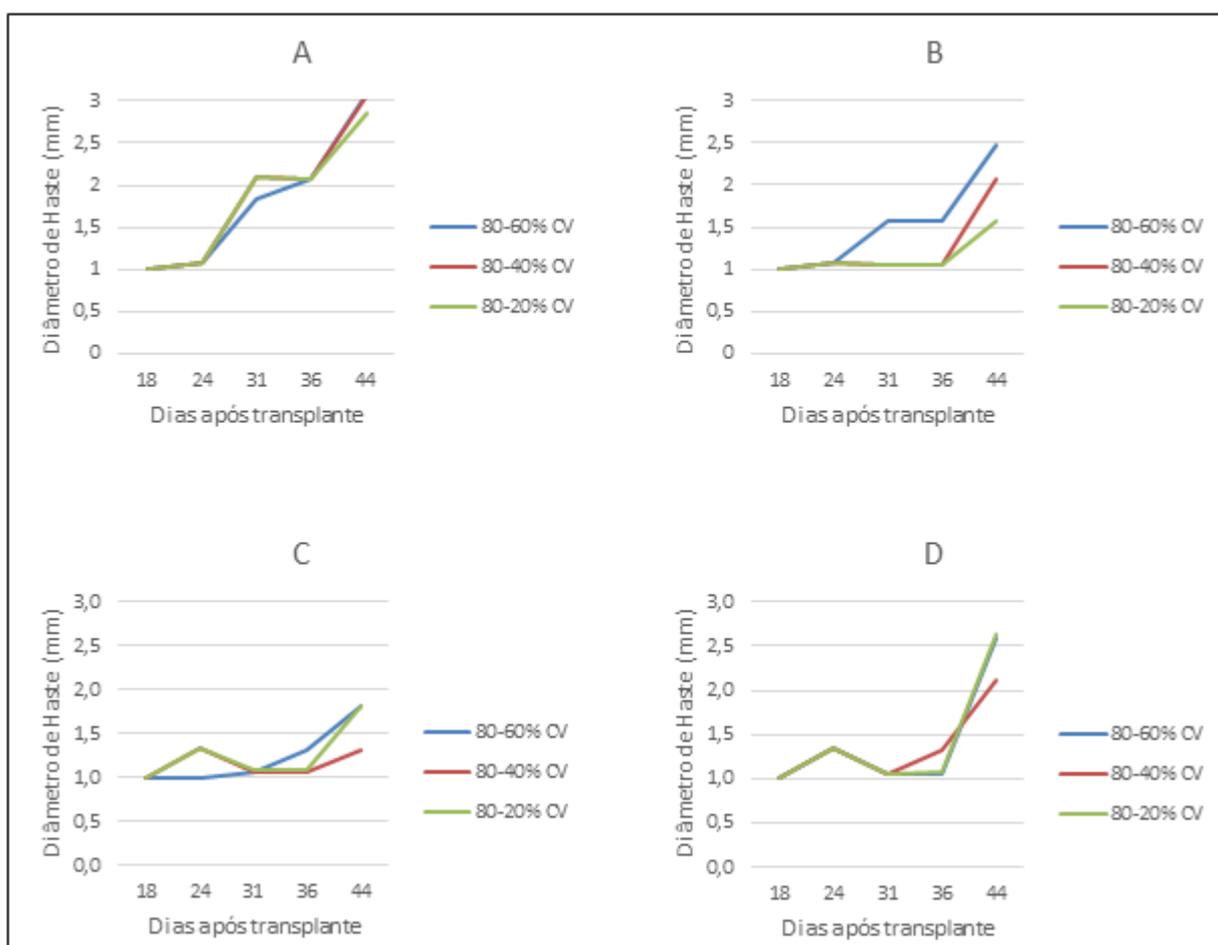


Figura 18 – Diâmetro de haste (mm) ao longo do ciclo da Pimenta Iracema Biquinho, nos substratos com 100 % substrato (A), 60% solo+40% substrato (B); 40% solo+50% substrato (C) e 100% Solo (D) para distintas lâminas de irrigação. UNIPAMPA, Alegrete, 2019

Fonte: Elaborado pela autora.

De acordo com Oliveira et al. (2009), diâmetros de haste é um aspecto de grande importância para a planta, pois garante maior sustentabilidade da parte aérea.

Segundo Silva Neto et al. (2013), na produção de pimenta ornamental com distintas composições de substrato, obtiveram valores de diâmetro de caule para a cultura de pimenta

entre 2,2 a 4,4 mm. Os valores médios obtidos nesse experimento foram entre 1,4 a 1,83 mm para a cultura da Pimenta Iracema Biquinho, logo os resultados encontrados ficaram pouco abaixo dos encontrados na literatura. Estes podem ser justificados pelo pequeno período de avaliação, ficando apenas observado a primeira fase fenológica da planta.

Na figura 19 é demonstrado o comportamento da pimenta ao longo do ciclo, por meio do número de folhas em função dos dias de transplante. Foi observado que ambos os tratamentos apresentaram comportamento crescente para esta avaliação de desenvolvimento, com média de número de folhas entre 6 a 12 folhas por vaso.

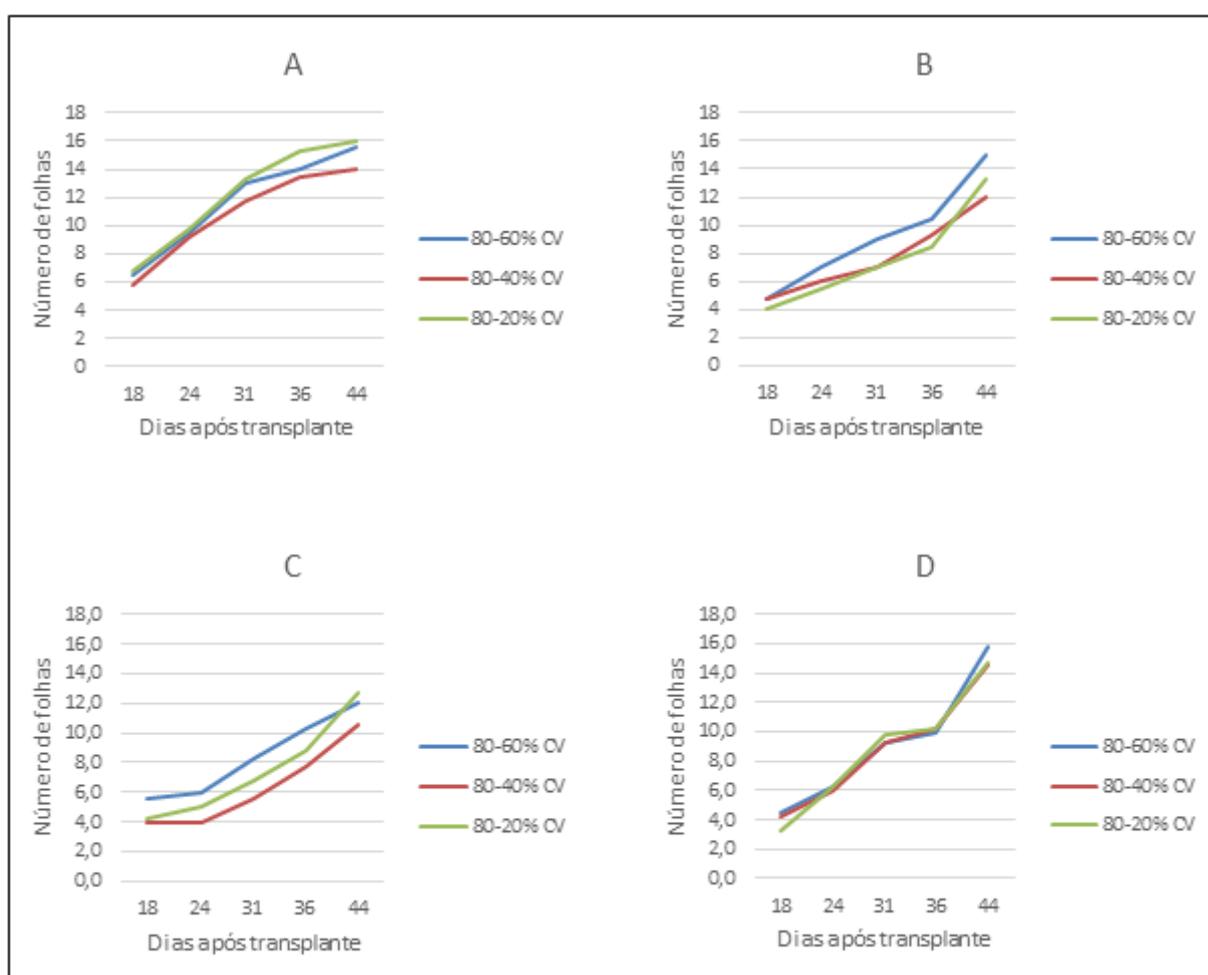


Figura 19 – Número de folhas ao longo do ciclo da Pimenta Iracema Biquinho, nos substratos com 100 % substrato (A), 60% solo 40% substrato (B); 40% solo+50% substrato (C) e 100% Solo (D) para distintas lâminas de irrigação. UNIPAMPA, Alegrete, 2019.

Fonte: Elaborado pela autora.

Observamos que os tratamentos que apresentaram um melhor desempenho quanto aos demais foram os compostos pelas misturas de 100% de substrato e lâminas de irrigações de 80

a 60 % e 80 a 20% do CV e para a mistura de 100% de solo com lâmina de irrigação de 80 a 60% do CV. Logo o tratamento que apresenta comportamento linear durante todo o ciclo analisado foi o tratamento composto por 100% de substrato com suas distintas lâminas de irrigações. Estes resultados são considerados satisfatórios tanto para os parâmetros de desenvolvimento como para o consumo hídrico, estas respostas positivas são consequência que estão diretamente interligadas com o tipo de mistura utilizado neste tratamento. O substrato é um dos fatores primordiais para o sucesso tanto para a germinação quanto para o crescimento da cultura, seus nutrientes são essenciais no desenvolvimento inicial da plântula, sendo o teor de matéria orgânica disponível no substrato e suas estruturas são determinantes para a máxima eficiência.

Um dos fatores de maior importância para a cultura é a quantidade de água disponível no substrato, pois é interligado diretamente com o desenvolvimento vegetativo e a produtividade da cultura. (KÄMPF, 2000).

CONCLUSÕES

De acordo com a metodologia utilizada e nas condições que o trabalho foi realizado pode concluir que:

- ✓ Os sensores ECH₂O, modelo EC-5, apresentaram uma resposta bastante satisfatória à variação de umidade para ambas as misturas testadas, comprovando que o mesmo apresenta boa performance, tanto em substratos menos porosos, no caso do solo, quanto em substratos.
- ✓ Os resultados observados mostram que os valores de condutividade elétrica, observados nos sensores ECH₂O, modelo 5TE, para as misturas compostas por: 30% solo + 70% substrato e 20% solo + 80% substrato, apresentaram ótima relação quando comparados com a umidade volumétrica dos materiais.
- ✓ Os sensores capacitivo, modelo 5TE, quando comparados com os do modelo EC-5, não mostram resposta muito satisfatória à variação de umidade estimada, em função da umidade volumétrica medida pelos mesmos, em todas as misturas testadas.
- ✓ A determinação da curva de retenção de água em substratos através do método do tensiômetro, apresenta-se como uma alternativa potencialmente viável aos métodos tradicionais, da mesa de tensão e da câmara de pressão de Richards.
- ✓ O uso de sensores capacitivos, modelos EC-5 e 5TE, apresentam ótima performance no manejo da irrigação da cultura da Pimenta Iracema Biquinho, sendo observado crescimento e desenvolvimento dentro do esperado, para a espécie.
- ✓ Os maiores consumo de água, da Pimenta Iracema Biquinho, foram observados nas misturas compostas por: 100% de substrato e 60% solo+40% substrato.
- ✓ As maiores altura de planta, diâmetro do caule e número de folhas, ocorreram nas plantas submetidas à lâmina de irrigação entre 80 e 60% da capacidade de vaso e em substrato 100% comercial.
- ✓ O tratamento recomendado para o mesmo manejo de irrigação realizado neste trabalho é o composto por 100% de substrato comercial, sendo o que apresentou melhor crescimento e desenvolvimento como mostrado nos resultados e visualmente.

REFERÊNCIAS

AGROSMART. **O Guia da Irrigação de Sucesso**. Agrosmart, 2018.

AMORIM, R.C.F.; RICIARI, R.P.; AMORIM, R.F.C. **Balanco Hídrico Climatológico para Cascavel/PR. XII**. Congresso Brasileiro de Meteorologia, Foz do Iguaçu-PR, 2002.

ANDRIESSE, J. P. Nature and management of tropical peatsoils. Roma: FAO, 1988. 165p. (FAO Soils Bulletin, 59).

AZEVEDO, G; TORTELLI, G.M; VIEIRA, M.L.). Diferentes níveis de retenção de água em substratos comerciais para uso agrícola. X Reunião Sul-Brasileira de Ciência do Solo Fatos e Mitos em Ciência do Solo Pelotas, RS - 15 a 17 de outubro de 2014.

BELLÉ S. 2001. Escolha do substrato. In: KÄMPF AN (coord). **Manutenção de plantas ornamentais para interiores**. Porto Alegre: Rígel. 112p. BENINCASA MMP.

BORHAN, M.S.; PARSONS, L.R. **Monitoring of soil water content in a citrus grove using capacitance ECH₂O probes**. St. Joseph: ASAE, 2004. (ASAE Paper No.042110).

BRITO, W. C. **Orientações gerais para projeto de construção de estufas**. Cametá, PA: 2008. Disponível em: <<https://www.passeidireto.com/arquivo/24244259/trabalho-de-casa-de-vegetacao>>. Acesso em: 21 mai. 2018.

BRUM, C.D. **Avaliação do desenvolvimento da capuchinha (*tropaeolum majus l.*) cultivada em vaso com irrigação por capilaridade em casa de vegetação**. Trabalho de Conclusão de Curso II apresentado ao Curso de Engenharia Agrícola, do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Farroupilha (IF Farroupilha, RS) e da Universidade Federal do Pampa (UNIPAMPA, RS), 2017.

BURÉS, S. Sustratos. Madri: Agrotécnicas, 1997. 342 p.

CADAHIA, C. Fertirrigacion: cultivos hortícolas y ornamentales. Madrid: MundiPrensa, 475p. 1998.

CALDEIRA, M. V. W et al. Crescimento de mudas de Eucalyptus saligna Smith em função de diferentes doses de vermicomposto. **Revista Floresta**, v. 28, n. 1-2, p. 19-30, 1998.

CENTRO INTEGRADO DE INFORMAÇÕES AGROMETEOROLÓGICAS (CIIAGRO). **Balanço Hídrico**. CIIAGRO, 1999. Disponível em: <<http://www.ciiagro.sp.gov.br/Definicoes/BalancoH%C3%ADrico.htm>> Acesso em: 21 ago. 2018.

COSTA, J.C.F et al. caracterização física de substratos orgânicos para o enraizamento de estacas de goiabeira. **Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável (RBAS)**, v.7, n.2, p.16-23, Junho, 2017.

COSTA, L. F. dos S. et al. Calibração de sensor dielétrico em diferentes tipos de solo. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v. 10, n. 18, p. 726-735, 2014.

COSTA, L.F.S et al. Calibração de sensores dielétrico em diferentes tipos de solo. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v.10, n. 18; p.726, 2014.

CZARNOMSKI, N. M. et al. Precision and accuracy of three alternative instruments for measuring soil water content in two forest soils of the Pacific Northwest. **Canadian Journal of Forest Research**, Ottawa, v. 35, n. 8, p. 1867-1876, 2005.

DANTAS, E. R; ARAÚJO, A. S. Avaliação das propriedades físico-químicas e microbiológicas de pimenta biquinho e sua aplicação em formulações alimentícias. **Anais... XII Congresso de Iniciação Científica da Universidade Federal de Campina Grande**, 2015.

De BOODT M; VERDONCK O. The physical properties of the substrates in horticulture. *Acta Horticulturae* 26: 37-44, 1972.

DECAGON DEVICES. **EC-5 – Sensor de umidade do solo**. São José dos Campos, SP: 2018. Disponível em: < <http://www.decagon.com.br/solos/sensores-umidade/ec-5/>> Acesso em: 21 ago. 2018.

DIAS-TAGLIACCOZZO, G. M.; FINGER, F. L.; BARBOSA, J. G. Fisiologia pós-colheita de flores de corte. **Revista Brasileira de Horticultura Ornamental**, v. 11, n. 2, p. 89-99, 2005.

DIAZ, B.C. **Uso da Centrifuga para Determinação da Retenção de Água para Substratos à Base de Casca de Arroz**. Tese apresentada ao Programa de Pós Graduação em Sistema de Produção Agrícola Familiar da Universidade Federal de Pelotas, como requisito parcial à obtenção do título de Doutor em Ciências (área do conhecimento: Sistema de Produção Agrícola Familiar), 2010.

DUBAL, I.T.P. **Avaliação da pimenta espaguete ornamental cultivada em diferentes substratos e submetida a distintas doses de irrigação.** Trabalho de Conclusão de Curso II apresentado ao Curso de Engenharia Agrícola, do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Farroupilha (IF Farroupilha, RS) e da Universidade Federal do Pampa (UNIPAMPA, RS), 2015.

EMBRAPA, **Agência Embrapa de informação tecnológica.** Gama, DF, 2012. Disponível em: <https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/pimenta/equipe_editorial.html>. Acesso em 13 de junho de 2019.

EMBRAPA, **Centro Nacional de Pesquisa de Hortaliças,** Gama, DF, 2007. Disponível em: <http://www.cnph.embrapa.br/paginas/sistemas_producao/cultivo_da_pimenta.htm>. Acesso em 13 de junho de 2019.

EMPÓRIO DAS SEMENTES. **Pimenta Iracema (Biquinho).** Empório das Sementes, 2015. Disponível em: < <http://www.emporiодasementes.com.br/pimenta-iracema.html>> Acesso em: 25 ago. 2018.

KÄMPF, A.N. **Produção comercial de plantas ornamentais.** Guaíba: Agropecuária, 2000. 254p.

KLEIN, V. A.; SIOTA, T. A.; ANESI, A. L.; BARBOZA, R. **Propriedades físico-hídricas de substratos hortícolas comerciais.** Revista Brasileira de Agrociência, v6, n.3, 2000.

FARIAS, M. F; SAAD, J.C.C; BÔAS, R.L.V. **Manejo da irrigação na cultura do crisântemo em vaso, cultivar rage, cultivado em ambiente protegido.** Eng. Agríc., Jaboticabal, v.24, n.1, p.51-56, jan./abr. 2004.

FACHINI,E. **Manejo da irrigação em diferentes substratos na produção de mudas de laranja.** Botucatu-SP, 31p.

FERMINO M. H. **Substratos: composição, caracterização e métodos de análises.** Guaíba: Agrolivros, 112p, 2014.

FERMINO MH. **Métodos de análise para caracterização física de substratos para plantas.** Porto Alegre: UFRGS. 79p (Tese doutorado), 2003.

FERRAZ, M.V.; CENTURION, J.F.; BEUTLER, A.N. et al. **Caracterização física e química de alguns substratos comerciais.** Acta Scientia Agronômica, v.27, n.2, p.209-214, 2005.

FURLAN, R. A.; BOTREL, T. A.; PAZ, V. P. da S. Consumo de água pela cultura do crisântemo envasado sob condições de casa de vegetação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 2, p. 52-55, 1998.

GARCIA, C.H. **Tabelas para classificação do coeficiente de variação**. Piracicaba: Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 1989.12p.(Circular técnica, 171).

HANDRECK, K. A.; BLACK, N. D. Growing media for ornamental plants and turf.Sydney: Unsw Press, 1999. 448p.

KLEIN, V. A. Uma proposta de irrigação automática controlado por tensiômetros. **Revista Brasileira de Agrociência**, v. 7, n. 3, p. 231-234, 2001.

LIBARDI, P. L. **Dinâmica da água no solo**. São Paulo: Universidade de São Paulo, 2005. 263 p.

LIBARDI, P. L. **Dinâmica da água no solo**. 2.ed. Piracicaba: o autor. 1999. 501p.

LIMA, FB.; SANTOS, G.O. Balanço hídrico-espacial da cultura para o uso e ocupação atual da bacia hidrográfica do Ribeirão Santa Rita, Noroeste do Estado de São Paulo. 2009.89f. Monografia. Fundação Educacional de Fernandópolis, Fernandópolis – SP, 2009.

LOPES, C. L. et al. **Pimenta (*Capsicum spp.*)** – Clima. Brasília, DF: Embrapa Hortaliças, 2007.Disponívelem:<https://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Pimenta/Pimenta_capsicum_spp/clima.html> Acesso: 07 nov. 2018.

MANFRON, P.A et al. Água disponível para plantas de alface após cultivos sucessivos em estufa plástica available water for lettuce plants after successive growth in plastic greenhouse. **Revista da FZVA**. Uruguaiana, v.12, n.1, p. 1-13. 2005.

MANIERI, J. M.; VAZ, C. M. P.; MARIA, I. C. D. TDR spiral probe for moisture measurement in the soil profile. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, n. 2, p. 191-198, 2007.

OLIVEIRA, M.I.; CASTRO, E.M.; COSTA, L.C.B.; OLIVEIRA, C. Características biométricas, anatômicas e fisiológicas de *Artemisia vulgaris* L. cultivada sob telas coloridas. **Revista Brasileira Plantas Mediciniais**, v.11, n.1, p.56-62, 2009.

PINTO, J.R.S. et al. Índice de velocidade de emergência e desenvolvimento inicial de

caesalpinia ferrea mart. ex tul. submetido a diferentes tipos de substratos. **Revista Verde**, Mossoró – RN, v.6, n.3, p. 174 – 179, julho/setembro de 2011.

REIS, N. V. B. **Construção de estufas para produção de hortaliças nas regiões Norte, Nordeste e Centro-Oeste**. Circular técnica 38. Brasília-DF: Embrapa Hortaliças, 2005.

Disponível em:

<<https://www.embrapa.br/documents/1355126/9124396/Constru%C3%A7%C3%A3o+de+estufas.pdf/8bec74eb-2206-44ff-9aad-538141520c4a>>. Acesso em: 11 de novembro de 2018.

RODRIGUES, F.M.; et al. **Calibração do sensor dielétrico ECH2O em dois tipos de solo**. Rev. Ciên. Agron., Fortaleza, v.38, n.3, p.317-321, Jul.-Set., 2007.

ROMANINI, C. E. B. et al. Desenvolvimento e simulação de um sistema avançado de controle ambiental em cultivo protegido. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.4, n. 11, p 1193-1201, 2010.

SCHAFER, G. Produção de porta-enxertos cítricos em recipientes e ambiente protegido no Rio Grande do Sul. Tese de doutorado (Fitotecnia). Porto Alegre, 2004. 144p.

SILVA, I. O. Desenvolvimento de um sensor capacitivo para o monitoramento de umidade no solo. Dissertação (Mestrado em irrigação e drenagem), Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2005.

SILVA, B.R. et al. **Avaliação da germinação e do desenvolvimento das mudas de diferentes variedades de pimentas**. 2º Simpósio de Integração Científica e Tecnológica do Sul Catarinense- SICT-Sul.

SILVA, E.C; SOUZA, R.J. **Cultura da Pimenta**. Disponível em: <file:///C:/Users/user/Downloads/bol_68.pdf>

SILVA NETO, J.J.; RÊGO, E.R.; BARROSO, P.A.; NASCIMENTO, N.F.F.; BATISTA, D.S.; SAPUCAY, M.J.L.C.; RÊGO, M.M. Influencia de substratos alternativos para produção de pimenteira ornamental (*Capsicum annum* L.). **Agropecuária Técnica**, v.34, p.21-29, 2013.

SILVA V. F. et al. **Diferentes Lâminas de água no crescimento inicial da pimenta biquinho (*Capsicum chinense*)**. In: CONGRESSO DE EDUCAÇÃO AGRÍCOLA SUPERIOR, 9. Areia, PB. Anais. Areia, PB, 2014.

SILVA, J.A.S et al. Balanço hídrico climatológico aplicada a cultura do milho para o

município de Barbalha – Ce. Instituto de Ensino atecnológico CENTEC, 2011.

SIMÕES, W. L. et al. **Manejo de irrigação**. Embrapa, [s.d.]. Disponível em: <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/uva_de_mesa/arvore/CONT000gn502g5w02wx5ok0liq1mq1vrf5y4.html> Acesso em: 30 out. 2018.

TRINTINALHA, M. A. et al. Comparação dos sistemas TDR e ECHO para medida de umidade, em um solo argiloso e em areia. **Acta Scientiarum**, Maringá, v. 26, n. 3, p.353-360, 2004.

VAN GENUTCHEN, M. T. H. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of insaturated. **Soil Science Society American Journal**, v. 41, p. 892-898, 1980.

XAVIER, V. C. et al. Concentração da solução nutritiva no cultivo hidropônico de pimenta ornamental. **Revista da Faculdade de Zootecnia, Veterinária e Agronomia**, v. 13, n. 1, p 24-32, 2006.

YODER, R. E. et al. Soil water sensor performance. **Applied Engineering in Agriculture**, v. 14, n. 2, p. 121-133, 1998.

ZORZETO, T. Q.; DECHEN, S. C. F.; ABREU, M. F.; FERNANDES J. F. Caracterização física de substratos para plantas. **Bragantia**, v. 73, n.3, p. 300-311, 2014.