

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA

CALIBRAÇÃO E DESEMPENHO DA SONDA DIVINER 2000 NO CULTIVO DA
ALFACE IRRIGADA COM ÁGUA SALOBRA

JOSÉ EDICLÉCIO BARBOSA DOS SANTOS

Recife-PE
Fevereiro de 2021

JOSÉ EDICLÉCIO BARBOSA DOS SANTOS

**CALIBRAÇÃO E DESEMPENHO DA SONDA DIVINER 2000 NO CULTIVO DA
ALFACE IRRIGADA COM ÁGUA SALOBRA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós
Graduação em Engenharia Agrícola, da
Universidade Federal Rural de Pernambuco, em
cumprimento aos requisitos para a obtenção do
título de Mestre em Engenharia Agrícola.

Orientadora: Prof^ª. Dr^ª. Ceres Duarte Guedes
Cabral de Almeida

Coorientador: Dr Alexandre Hugo Cezar
Barros

**Recife/PE
Fevereiro de 2021**

**CALIBRAÇÃO E DESEMPENHO DA SONDA DIVINER 2000 NO CULTIVO DA
ALFACE IRRIGADA COM ÁGUA SALOBRA**

Aprovada em 22 de fevereiro de 2021.

Orientadora:

Prof^{ta} Dr^a Ceres Duarte Guedes Cabral de Almeida – CODAI/UFRPE

Comissão examinadora:

Prof. Dr. José Amilton Santos Júnior – DEAGRI/UFRPE

Prof. Dr. Claudio Augusto Uyeda – IFPE

**Recife/PE
Fevereiro de 2021**

DEDICO:

Primeiramente a Deus, por ser essencial em
minha vida, autor de meu

destino, meu guia, socorro presente nas horas de
angústia. À minha mãe Clonides Barbosa de
Santana a meu pai Adelman Souza Santos aos
meus irmãos Edivan, Iran, Maria Edivania, Maria
Marcela e meus sobrinhos.

Aquele que trabalha duro pode superar um gênio, mas de nada adianta trabalhar duro se você não confia em você mesmo...!

(Masashi Kishimoto).

AGRADECIMENTOS

Ao meu Deus Jesus Cristo que está presente em minha vida em todos os momentos, que me orientou na vida pessoal e em cada etapa deste trabalho de pesquisa com sabedoria e discernimento.

A minha orientadora, Prof^ª. Dr^ª. Ceres Duarte Guedes Cabral de Almeida, por seus conselhos, apoio, orientação e acima de tudo pela sua amizade e empatia pela minha pessoa. Sua confiança e dedicação permitiram transpor os desafios desta pesquisa e promover pessoal crescimento tanto acadêmico como profissional.

Aos meus pais, Clonides Barbosa de Santa e Adelvan Souza Santos, pelo apoio, carinho e pela sua compreensão sem o qual jamais teria chegado aonde estou hoje.

Ao coorientador Prof. Dr Alexandre Hugo Cezar Barros, por toda sua dedicação em ceder a sonda Diviner 2000, para que fosse feita esta pesquisa e sua orientação conjunta deste trabalho de pesquisa.

Ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da Universidade Federal Rural de Pernambuco.

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola. Em especial, gostaria de agradecer expressamente aos professores doutores, José Amilton Santos Júnior, Gerônimo Ferreira da Silva e Manassés Mesquita da Silva, que de alguma forma contribuíram diretamente para a realização deste trabalho de pesquisa.

Ao Professor Dr. Brivaldo Gomes de Almeida, e ao técnico José Eudes da Silva de Oliveira, pelas suas colaborações e pela disposição em ajudar, obrigado pelo espaço concedido no Laboratório de Física de Solos do Departamento de Agronomia.

Aos meus irmãos que me ajudaram como podiam, de inúmeras formas possíveis, Edvan, Iran, Maria Edivania, Maria Marcela e aos meus sobrinhos, Emilly, Cauan, Pedro, Nicolas Rian, Isabele, Paulo Miguel e meu pequenino João Lucca.

Aos meus amigos que contribuíram diretamente em meu trabalho de pesquisa, Taize Calvacante, Jesiele Divincula, Anderson Santos, Douglas Alberto, José Edson, George, Laercia Rocha e Laís Franco. E aos meus amigos que contribuíram indiretamente, de todas as formas possíveis, como por exemplo, palavras de conforto, Érick Oliveira, Umberto Bitencourt, William Teles, Roniex Silveira, Rodrigo Juscelino, Diego Garção, Jonathan Melo, Everson Franklin, Júnior Dantas, Ellen Guimarães, Nayane Hora, Elen Fontes, Marcela Daniela, Tatiane Matias, Kamilla Maciel e Glaucia Dias.

Por fim gostaria de agradecer a FACEPE pela concessão da bolsa de estudos.

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS	ix
LISTA DE FIGURAS	x
RESUMO	xi
ABSTRACT	xii
1 INTRODUÇÃO	13
HIPÓTESES	15
2 OBJETIVOS	15
2.1 Objetivo Geral	15
2.2 Objetivos Específicos	15
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
3.1 Panorama do Uso da Água na Agricultura Irrigada	16
3.2 Salinidade na Água e no Solo	17
3.3 Aspectos Gerais da Cultura da Alface (<i>Lactuca sativa L.</i>)	18
3.4 Efeito da Salinidade sobre a Alface	20
3.5 Manejo de águas salobras na irrigação	20
3.6 Evapotranspiração de Referência (ET _o)	21
3.7 Umidade do Solo	23
3.8 Métodos Diretos para Determinação Umidade no Solo	24
3.9 Métodos Indiretos para Determinação Umidade no Solo	24
3.10 Sensores de Umidade do Solo	25
3.11 Caracterização da Sonda Diviner 2000	26
3.12 Caracterização do Espodossolo Humilúvico	28
4 MATERIAL E MÉTODOS	29
4.1 Caracterização da área de estudo	29
4.1.1 Caracterização da estrutura experimental do Experimento I - casa de vegetação	30
4.1.2 Características físico-hídricas e químicas do solo	30
4.1.3 Preenchimento dos vasos e instalação dos tubos de acesso	31
4.1.4. Caracterização da estrutura experimental do experimento II - lisímetros em ambiente aberto	34
4.1.4.1 Caracterização dos lisímetros	34
4.1.5 Caracterização e layout do sistema de irrigação	35
4.1.6 Manejo de Irrigação	36
4.1.7 Descrição e condução da cultura	38
4.2. Análise dos dados dos Experimentos I e II	40
4.2.1 Experimento I – Calibração da Sonda Diviner 2000	40
4.2.2 Experimento II – Resposta da cultura da alface em função do manejo de irrigação e qualidade da água	42

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	42
5.1 Experimento I – Performance da sonda Diviner 2000	42
5.2 Experimento II – Performance do manejo via solo e via clima	50
5.2.1 Análise biométrica e de produção de biomassa da alface	50
5.2.2 Balanço de água no solo	54
6 CONCLUSÕES	56
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	57

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Classificação das águas em função da condutividade elétrica (CE) em dS m^{-1} e concentração de sais em mg L^{-1}	17
Tabela 2. Caracterização físico-hídrica e química do solo.	31
Tabela 3. Coeficiente de cultivo (Kc) para cultura da alface de acordo com o estágio de desenvolvimento da planta.	38
Tabela 4. Classificação da exatidão dos sensores de umidade do solo conforme à raiz quadrada do erro quadrático médio (RMSE).	40
Tabela 5. Classificação de desempenho do modelo proposto conforme o valor do coeficiente “c”.....	41
Tabela 6. Índices estatísticos para o sensor Diviner 2000 antes e depois da calibração para os tratamentos A e B.....	48
Tabela 7. Resumo da análise de variância das variáveis biométricas: número de folhas (NF); diâmetro da cabeça (DC); diâmetro do caule (DCA); altura de planta (AP); comprimento da raiz (CR); massa fresca da parte aérea (MFPA) e massa seca da parte aérea (MSPA) da alface crespa em função da salinidade e manejo de irrigação.....	50
Tabela 8. Número de folhas (NF); diâmetro da cabeça (DC); diâmetro do caule (DCA); altura de planta (AP); comprimento da raiz (CR); massa fresca da parte aérea (MFPA) e massa seca da parte aérea (MSPA) da alface crespa em função da salinidade e manejo de irrigação.	51

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Componentes da sonda Diviner 2000.	27
Figura 2. Localização da área experimental.	29
Figura 3. Sequência fotográfica da montagem do conjunto vaso, brita, bidim, solo e tubo de acesso.	33
Figura 4. Layout esquemático dos vasos utilizados no experimento.	35
Figura 5. Croqui do arranjo experimental.	36
Figura 6. Valores de temperatura média e umidade relativa média do ar durante a condução do experimento.	37
Figura 7. Curvas de secagem do solo saturado com águas de diferentes salinidades, condutividade elétrica de 0,24 dS m ⁻¹ (A) e 6,4 dS m ⁻¹ (B), em função das leituras da sonda Diviner 2000 com a calibração do fabricante e respectiva umidade gravimétrica, convertida em volumétrica.	43
Figura 8. Curvas de secagem do solo saturado com águas de diferentes salinidades, condutividade elétrica de 0,24 dS m ⁻¹ (A) e 6,4 dS m ⁻¹ (B) em função das leituras da sonda Diviner 2000 com a calibração específica para o solo em estudo e respectiva umidade gravimétrica, convertida em volumétrica.	45
Figura 9. Umidade volumétrica do solo estimada pela sonda Diviner 2000, antes e depois da aplicação da equação específica de calibração, e sua relação com a umidade gravimétrica, convertida em volumétrica, considerando os tratamentos com águas de diferentes salinidades, condutividade elétrica de 0,24 dS m ⁻¹ (A) e 6,4 dS m ⁻¹ (B).	46
Figura 10. Umidade do solo ao longo do desenvolvimento da cultura da alface crespa, submetida a água salobra (TB) e não salobra (TA) determinadas pela sonda Diviner 2000 (VIA SOLO).	54
Figura 11. Lâminas de irrigação diárias aplicadas ao longo do experimento, com água não salobra (TA) e salobra (TB), estimadas pelo método de Penman-Monteith FAO (VIA CLIMA) e pela sonda Diviner 2000 (VIA SOLO).	55

RESUMO

O maior desafio na agricultura irrigada é a determinação rápida e precisa do teor de água no solo, para seu uso racional e eficiente. Deste modo, o estudo de equipamentos que estimem a umidade do solo é fundamental para a irrigação. O objetivo desta pesquisa foi calibrar e avaliar a performance da sonda de capacitância Diviner 2000, na estimativa da lâmina de irrigação no cultivo da alface crespa, irrigada com águas salobra e não salobra buscando verificar sua sensibilidade em comparação ao método padrão Penman-Monteith FAO (PM-FAO). A pesquisa foi realizada na área experimental do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da Universidade Federal Rural de Pernambuco. No primeiro experimento foi realizada a calibração da sonda Diviner 2000 em casa de vegetação, com um Espodossolo coletado no município de Goiana-PE, na profundidade de 0 a 0,20 m. O solo foi acondicionado em vasos, saturado por capilaridade, com água de condutividade elétrica (CE) de 0,24 dS m⁻¹ (TA) e 6,4 dS m⁻¹ (TB), separadamente, em quatro vasos para cada. Em seguida, foi instalado um tubo de acesso para sonda em cada vaso e, diariamente, os vasos eram pesados numa balança de precisão e as leituras realizadas via sonda, até que a variação diária da massa se tornasse constante. A equação de calibração foi obtida por meio da análise de regressão entre umidade volumétrica medida e estimada pela sonda. Os valores de R² foram 0,98 para o TA e 0,95 para o TB. Após a calibração, houve redução nos valores de RMSE e melhoria no índice de concordância ($d > 0,97$). No segundo experimento, avaliou-se a performance da Diviner em comparação com PM-FAO. Para tanto, utilizou-se 20 vasos para o plantio da alface crespa. Os tratamentos constituíram na utilização de água não salobra e água salobra para irrigação (TA e TB) e dois sistemas de determinação da lâmina diária (via clima-PM-FAO e via solo-sonda Diviner 2000). O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado em esquema fatorial 2 x 2, com cinco repetições. As alfaces foram colhidas e avaliadas conforme: número de folhas totais (NF), diâmetro da cabeça (DC), diâmetro do caule (DCA), altura da planta (AP), comprimento da raiz (CR), massa fresca da parte aérea (MFPA), massa da matéria seca da parte aérea (MSPA). Os dados foram submetidos à análise de variância e quando detectada significância pelo teste F, as médias foram submetidas ao teste de Tukey ($p < 0,05$). Com base nos resultados, não houve efeito, nas variáveis biométricas da alface, da interação entre salinidade da água de irrigação e o manejo de irrigação a 1% de probabilidade pelo teste F. O uso de água não salobra (CE=0,24 dS m⁻¹) na irrigação da alface crespa, proporcionou maior desenvolvimento das plantas, quando comparado ao tratamento com água salobra, independente da forma de determinação da lâmina de irrigação.

Palavras-chave: Diviner 2000, Umidade do Solo, Irrigação de Precisão, Agricultura Irrigada.

ABSTRACT

The biggest challenge in irrigated agriculture is the quick and accurate determination of the soil water content, for the rational and efficient use. Thus, the study of equipment that estimate soil water content is fundamental for irrigation. The objective of this research was to calibrate and evaluate the performance of the Diviner 2000 capacitance probe, in estimating the irrigation depth in the cultivation of crisp lettuce, irrigated with brackish and non-brackish water, seeking to verify its sensitivity in comparison with the standard method Penman-Monteith FAO (PM-FAO). The research was carried out in the experimental area of the Agricultural Engineering Post-Graduate Program at the Federal Rural University of Pernambuco. In the first experiment was performed the Diviner 2000 probe calibration in a greenhouse, with Spodosol collected from the municipality of Goiana-PE, in the 0 - 0.20 m depth. The soil was packed in pots, then saturated by capillarity, with water of electrical conductivity (CE) of 0.24 dS m⁻¹ (TA) and 6.4 dS m⁻¹ (TB), separately in four pots for each. Then, a probe access tube was installed in each pot and daily, the pots were weighed on a precision scale and readings were carried out via the probe, until the daily variation in the mass became constant. The calibration equation was obtained through the regression analysis between volumetric soil water content measured and estimated by the probe. R² values were 0.98 for TA and 0.95 for TB. After calibration, there was a reduction in the RMSE values and an improvement in the agreement index ($d > 0.97$). In the second experiment, the performance of Diviner compared to PM-FAO was evaluated. Therefore, 20 pots were used to growth curly lettuce. The treatments consisted of two levels of salinity irrigation water (TA and TB) and two systems for determining the irrigation depth (via climate-PM-FAO and via soil-probe Diviner 2000). The experimental design used was completely randomized in a 2 x 2 factorial scheme, with five replications. At the 41 days after transplanting the harvest was done and the plants was evaluated according to: number of total leaves (NF), head diameter (DC), stem diameter (DAC), plant height (AP), root length (CR), aerial fresh mass (MFPA), aerial dry mass (MSPA). The data were submitted to analysis of variance and when significance was detected by the F test, the means were submitted to the Tukey test ($p < 0.05$). Based on the results, there was no effect, in the lettuce biometric variables, of the interaction between irrigation water salinity and irrigation management at 1% probability by the F test. The use of non-brackish irrigation water ($EC=0.24$ dS m⁻¹) in the crisp lettuce, provided greater crop development, when compared to the treatment with brackish irrigation water, regardless of the form of determination of the irrigation depth.

Keywords: Diviner 2000, Soil Water Content, Precision irrigation, Irrigated Agriculture

1 INTRODUÇÃO

O desenvolvimento agrícola visa maximizar a produção de modo a atender a demanda mundial de alimentos, para isto, deve-se considerar o uso racional da água. Todavia, o uso eficaz da água na irrigação, exige conhecimentos em distintas áreas, entre elas, as propriedades físico-hídricas do solo e a determinação das necessidades hídricas da cultura, as quais são essenciais para o sucesso da área irrigada e melhor rendimento agrícola. Conseqüentemente, haverá a otimização da produção comercial tanto em quantidade como de qualidade, mesmo em regiões com recursos hídricos limitados (VARBLE & CHÁVEZ, 2011).

Este fato requer mudanças no padrão de consumo agrícola deste recurso natural, logo, para o uso eficiente da água, a agricultura de precisão torna-se uma técnica viável (ULLAH et al., 2019). Com isto, faz-se necessário determinar a quantidade de água para a irrigação, para um correto planejamento, dimensionamento e gerenciamento da irrigação (MANTOVANI et al., 2007; CRUZ et al., 2010; SEGUNDO et al., 2011).

De acordo com Frizzone (2007) um dos principais problemas no uso da água é o manejo inadequado nos projetos de irrigação, visto que, o déficit hídrico pode levar a redução da produtividade e da qualidade do produto. Por outro lado, o excesso gera perdas de água, energia e contribui para o processo de lixiviação dos nutrientes e poluição dos lençóis freáticos. Aliado a isso, existem várias técnicas para se determinar quando e quanto irrigar, que podem ser definidas em função do solo, clima e fatores culturais, via métodos diretos e indiretos. Deste modo, é de suma importância que essa prática seja eficiente, sob o ponto de vista econômico, ambiental e social. Para isto, existem métodos diretos e indiretos que estimam o momento correto de reposição da água de irrigação, associado ao volume de água a ser aplicado, com diferentes níveis de eficiência. Ambos os métodos visam alcançar economia hídrica na agricultura, ou seja, realizar a irrigação mais próxima do ideal em face da demanda vegetal.

A evapotranspiração é um parâmetro agrometeorológico utilizado no planejamento e manejo da irrigação, com base nas variáveis climáticas. A determinação da evapotranspiração de referência (ET_o) por diferentes métodos torna-se viável, pois, apresentam resultados reconhecidos cientificamente, que comprovam ser bastante eficiente, como exemplo temos o método de Kimberly-Penman (1972), Penman (1948), Frere-Popov (1979), FAO24-Radiação, Tanque Classe A, entre outros. No entanto, o método Penman-Monteith FAO foi estabelecido como padrão pela FAO, pois, abrange diversos parâmetros climatológicos (CAVALCANTE JUNIOR et al., 2011).

O monitoramento da umidade do solo, para fins de irrigação, é normalmente facilitado quando se dispõe de sensores eletrônicos que estimam o conteúdo de água no solo. Entre os métodos indiretos, têm-se os que se baseiam em medidas como resistência do solo à passagem de corrente elétrica, moderação de nêutrons, tensiômetros, termalização de nêutrons, resistência elétrica (capacitância) e reflectometria no domínio do tempo (TDR) entre outros, porém, vale salientar a necessidade de calibrações, para correção de possíveis erros (DEAN et al., 1987; STARR & PALTINEANU, 1998; CHANZY et al., 1998; FARES & ALVA 2000).

Silva et al. (2005) relatam que o controle da irrigação com base na quantidade de água presente no solo é um dos métodos mais pertinentes, devido principalmente a sua praticidade e precisão. Sondas de capacitância aparecem como alternativa promissora no manejo de irrigação, por apresentar fácil adaptação aos sistemas automáticos de aquisição de dados e baixo custo, seja em ambiente protegido ou não, elevando a precisão dos dados (WIEDENFELD, 2004; DURSUN & OZDEN, 2011).

Uma das propriedades do solo que mais distorcem a estimativa da água no solo via sensores de capacitância é a salinidade. Este fato é evidenciado em vários estudos demonstrando que altos níveis salinos no solo afetam a sensibilidade dos sensores capacitivos de umidade do solo (ROSSEL et al., 2011; MEAD et al., 1995; BAUMHARDT, LASCANO & EVETT, 2000; KELLENNERS et al., 2004; THOMPSON et al., 2007).

Vários estudos usando sensores foram desenvolvidos e testados no manejo da água de hortaliças irrigadas com águas salobras, dando ênfase a cultura da alface. Paulus et al. (2010) avaliaram a produção e os indicadores fisiológicos de alface via sensor eletrônico com a utilização de água salobra. Van der Salm et al. (2020) de modo a minimizar as perdas hídricas no cultivo em estufas NW europeias, com foco no cultivo de vegetais holandeses, utilizaram sensores para monitorar as condições de umidade do solo, bem como para acionar a irrigação. Voogt, Balendonck & Winkel (2018) analisaram o desempenho das medições de umidade do solo usando sensores FDR em combinação com um lisímetro em crisântemo, obtendo $R^2 = 0,8857$.

Assim, pode-se inferir que, regiões com grande potencial e aptidão agrícola para produtos hortícolas, que têm como limitação o uso de águas salobras para irrigação, possuem fator delimitador. Face à gravidade desse quadro, faz-se necessário a adoção de estratégias para o desenvolvimento da agricultura irrigada, em todo o território brasileiro. Sendo assim, surge a necessidade do desenvolvimento de estudos para definição da lâmina ideal para a irrigação de hortaliças por meio de sensores eletrônicos.

HIPÓTESES

- Monitorar a umidade do solo em tempo real, com o uso da sonda Diviner 2000, devidamente calibrada para uma condição específica em termos de tipo de solo e água para fins de irrigação, proporciona a racionalização do uso de água e insumos, uma vez que aumenta sua exatidão.
- Desenvolver uma equação de calibração específica para o solo sob irrigação com águas salobras, aumenta a precisão e a exatidão no monitoramento da umidade do solo.
- A utilização da calibração específica para quando se utiliza água com alta concentração de sais na irrigação, melhora a precisão e exatidão da umidade volumétrica estimada, em solos que utilizam Reflectometria no Domínio da Frequência (FDR) para a determinação de umidade.
- O uso de águas salobras na irrigação da cultura da alface proporciona efeitos deletérios nos aspectos biométricos: número de folhas totais, diâmetro da cabeça, diâmetro do caule, altura da planta, comprimento da raiz, massa fresca da parte aérea, massa da matéria seca da parte aérea.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

- Calibrar e avaliar a performance da sonda de capacitância Diviner 2000, na estimativa da lâmina de irrigação no cultivo da alface irrigada com águas doce e salobra

2.2 Objetivos Específicos

- Calibrar a sonda de capacitância Diviner 2000 para o uso da água salobra;
- Comparar os dados de umidade do solo, medidos com base na curva de calibração específica obtida em campo, com os dados resultantes do uso da equação fornecida pelo fabricante;
- Avaliar a sensibilidade da sonda de capacitância na determinação da lâmina de irrigação em diferentes níveis de salinidade no cultivo da alface.
- Comparar a eficácia do manejo da irrigação obtida por via clima utilizando o método de Penman-Monteith FAO e via solo por meio da sonda Diviner 2000 no cultivo da alface.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Panorama do Uso da Água na Agricultura Irrigada

A água é o recurso que mais limita o rendimento das plantas, especialmente nas regiões onde não há precipitações regulares, sendo a irrigação o meio que constitui a alternativa de elevar a produção, impulsionando assim, maior número de safras no decorrer do ano, e conseqüentemente, maior renda (SOARES et al., 2010).

A Organização das Nações Unidas (ONU, 2019) estimou a população mundial para os anos de 2030 e 2050. É esperado até o fim destes anos cerca de 8,5 e 9,7 bilhões de habitantes, respectivamente. Nesta previsão, a demanda por alimentos, comparada com a atual, crescerá em aproximadamente 70%. Segundo a Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura (FAO, 2017) a área irrigada no mundo corresponde a 310 milhões de hectares, dos quais 70% encontram-se na Ásia. A Índia é o país que ocupa a primeira posição, com a maior área irrigada do mundo, correspondente a 66 milhões de hectares, logo em seguida vem a China e Estados Unidos com 62 e 27 milhões de hectares irrigados respectivamente. O Brasil está na nona posição, com aproximadamente 6,95 milhões de hectares, com potencial de incremento de 3,14 milhões de hectares até 2030. Segundo um estudo realizado pela Agência Nacional de Águas (ANA, 2017) o consumo de água no Brasil é de $2.057 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$, cerca 80% a mais que duas décadas atrás. As aplicações são diversas, a saber: 0,3% em usinas termoelétricas, 0,8% em mineração, 2,4% em abastecimento rural, 8,8% em abastecimento urbano, 9,5% em indústria, 11% em abastecimento animal e 67,2% em irrigação. Este estudo também prevê um aumento de 30% até 2030, pois o consumo de água está vinculado ao desenvolvimento econômico do país. O uso de irrigação planejada deve possibilitar a economia de água, como também o aumento da produção agrícola, que atualmente, quando se comparado com a agricultura de sequeiro, é 2,7 vezes maior (FAO, 2017).

Marouelli & Calbo (2009) relatam que, para que se possa aumentar a eficiência nos usos múltiplos das águas, é necessário que se modifique o cenário atual em relação ao desperdício das águas das áreas irrigadas. Segundo os mesmos autores, é possível obter maior produtividade, entre 10% e 30% e, ao mesmo tempo, reduzir o uso da água em aproximadamente 30%, por meio de estratégias aprimoradas de irrigação.

Lima et al. (1999) mencionam que a simples melhora de 1% no uso da água utilizada na irrigação, significaria uma economia de 200 mil litros de água por agricultor, por hectare por ano. Tal melhoria, se utilizada de forma racional promoveriam economia de cerca de 20% da água utilizada na irrigação e até 30% da energia consumida, dos quais 20% da energia seria

relativa ao acesso de água utilizada nos perímetros irrigados e 10% equivalentes à utilização de equipamentos ultrapassados no manejo.

3.2 Salinidade na Água e no Solo

Com a crescente competição do desenvolvimento urbano e industrial, a disponibilidade mundial de água doce utilizada para irrigação está diminuindo, tornando-se assim um desafio no uso dessas águas de má qualidade nas áreas irrigadas (OLIVEIRA et al. 2011). Deste modo, busca-se alternativas na utilização dessas águas de qualidade inferior na agricultura, de tal modo que a cultura se desenvolva e produza produtos de boa qualidade, com a produtividade esperada e com mínimo risco ao efeito de salinização dos solos (MEDEIROS et al., 2012). Contudo, o crescimento desordenado das áreas irrigadas tem causado grandes problemas, principalmente relacionado a salinização do solo, devido principalmente por essas águas apresentarem em sua composição sais dissolvidos, tornando-se salinos em poucos anos (MEDEIROS & GHEYI, 2001).

Steppunh (2001) relata que, embora as águas salobras tenham sido consideradas impróprias para o manejo da irrigação, vários especialistas no mundo levantam evidências que tal uso pode ser viabilizado, desde que sejam tomadas medidas que venham propiciar melhor manejo nas áreas irrigadas. No entanto, para que haja viabilidade no uso dessas águas, devem-se considerar as propriedades físicas e químicas do solo, práticas de manejo do solo, condições climáticas, drenagem e método de irrigação (MEDEIROS, 1998). Deste modo, Rhoades et al. (2000) salientam a importância de caracterizar os níveis de salinidade presentes na água, de modo que sejam classificadas em termos de concentração de sais, expressos em condutividade elétrica, e o tipo de água compatível com a classe (Tabela 1).

Tabela 1. Classificação das águas em função da condutividade elétrica (CE) em dS m^{-1} e concentração de sais em mg L^{-1} .

Classes de água	CE (dS m^{-1})	Concentração de sais (mg L^{-1})	Tipos de água
Não salobra	< 0,7	< 500	Potável e água de irrigação
Ligeiramente salobra	0,7 – 2	500 – 1.500	Água de irrigação
Moderadamente salobra	2 – 10	1.500 – 7.000	Água de drenagem primária e subterrânea
Altamente salobra	10 – 25	7.000 – 15.000	Água de drenagem secundária e subterrânea
Excessivamente salobra	25 – 45	15.000 – 35.000	Água subterrânea altamente salobra
Salmoura	> 45	> 35.000	Água do mar

Fonte: Rhoades et al. (2000).

A salinização do solo é um fenômeno crescente em todo mundo, e que afeta milhões de hectares, principalmente em locais que não são conduzidas boas práticas de irrigação, resultando no decréscimo da produtividade agrícola. A condutividade elétrica é o parâmetro mais usado para quantificar os níveis salinos da solução do solo (NAZÁRIO et al., 2013). O impacto na produtividade está relacionado à elevação da concentração de sais solúveis na solução do solo e à sensibilidade das espécies vegetais à salinidade limiar, a qual representa em qual ponto a produtividade da cultura passa a ser influenciada pela salinidade do solo. Todas as culturas possuem um limiar de salinidade no solo, como por exemplo, o melão que tem um valor da salinidade limiar expresso em termos de condutividade elétrica do extrato de saturação (CEes) de 2,2 dS m⁻¹ sendo classificada como muito sensível; o feijão caupi é classificado como uma espécie com tolerância moderada à salinidade da água de irrigação apresentando salinidade limiar de 3,3 dS m⁻¹ e o sorgo, que possui uma tolerância de 6,8 dSm⁻¹ classificado como muito tolerante. No entanto, devido à escassez de água de boa qualidade, a água salobra é frequentemente usada no setor agrícola em inúmeras culturas, sem se preocupar com os possíveis danos gerados ao ambiente (AYERS & WESTCOT, 1999; RHOADES & MERRILL, 1976; MAAS et al., 1986; COSTA et al., 2015).

Os altos níveis de salinidade no solo representam um dos estresses ambientais mais severos que as plantas podem sofrer, pois, em sua presença o metabolismo dos vegetais sofre limitações, como por exemplo a seca fisiológica, redução da capacidade produtiva, toxidez, entre outros distúrbios graves. A utilização de águas com altos níveis salinos, podem gerar aumento na concentração de sais solúveis nos solos, contudo, o rigor na determinação da lâmina ideal de irrigação, pode diminuir a entrada desses sais no solo, por meio da redução da quantidade de água utilizada, como também de uma possível salinização da área (PEDROTTI et al., 2015).

3.3 Aspectos Gerais da Cultura da Alface (*Lactuca sativa* L.)

A alface (*Lactuca sativa* L.) tem sua origem na Ásia Ocidental e Europa, é uma cultura que provém de espécies silvestres que ainda são encontradas nas suas regiões de clima temperado, pertencente à família da Asteraceae, que compreende entre 23.000 e 30.000 espécies e é considerada uma das maiores famílias de plantas, sendo a cultivar mais importante no grupo das hortaliças de folha, a qual é cultivada em quase todos os países. A parte comestível (folhas) cresce em roseta em volta do caule, podendo ser crespas ou lisas de coloração variada, podendo ter tons que variam do verde a cor roxa conforme o cultivar, como também pode ter ou não a formação de uma “cabeça” (MOU, PROHENS & NUEZ, 2008;

FILGUEIRA, 2000; WEI et al., 2017)

Inúmeras variedades são cultivadas em diferentes regiões, com ampla gama de variedades locais e antigas mantidas nos bancos de germoplasma do mundo. No Brasil, as principais variedade cultivadas são Elba, Vanessa, Verônica e Vera, Regina (LEBEDA et al., 2007; HENZ & SUINAGA, 2009).

No entanto, por ter origem em clima temperado, a alface se adapta melhor em condições de baixas temperaturas, é uma cultivar que foi introduzida no Brasil em 1650 pelos portugueses e está presente em todas as regiões do Brasil. No entanto, há algumas restrições quanto ao seu cultivo, pois, apresenta sensibilidade em condições adversas de precipitação pluvial, temperatura e umidade relativa (GOMES et al., 2005).

Em face da alta demanda e o aumento do público consumidor cada vez mais exigente, que buscam além das propriedades nutricionais da alface a promoção do bem-estar, supressão de doenças e consequentemente prolongar a expectativa de vida, a alface vem sendo crescentemente apreciada (BASLAM, GARMENDIA & GOICOECHEA, 2011; KIM et al., 2016). Para Sala & Costa (2012) a grande maioria das alfaces se adaptam melhor em ambiente com temperatura amena, especialmente no período de crescimento vegetativo. Turini et al. (2011) afirmam em seus estudos que, temperaturas acima de 20 °C e intensa radiação solar, favorecem a alface em seu pendoamento precoce, contribuindo com a formação de “cabeças” compactas, queima das bordas das folhas externas, como também, das folhas novas.

Sala e Costa (2012) relatam a importância da alface (*Lactuca sativa L.*) como a hortaliça folhosa mais importante do mundo, onde seu consumo se dá principalmente in natura em forma de saladas e sopas sendo também a principal hortaliça folhosa consumida no Brasil. Ultimamente, a alface do grupo cressa apresenta maior importância econômica no mercado, uma preferência de 70% no Brasil, tal fato está relacionado principalmente por apresentar grande porte, quando comparada as outras da mesma espécie, serem facilmente manuseadas e acondicionadas e apresentarem boa adaptabilidade as condições climáticas do Brasil (SUINAGA et al., 2013).

Na cultura da alface, em que a parte comercial da planta é a área fotossintética foliar, é crucial manter o crescimento ideal por meio do fornecimento da demanda hídrica eficiente. Com isto, a resposta da cultura a diferentes aplicações de lâminas de irrigação vem sendo usada para determinar o rendimento ideal e a eficiência máxima do uso da água (BLACK, 1966; BAUDER, HANKS & JAMES, 1975; GALLARDO et al., 1996).

Devido ao crescimento populacional e a busca por melhores hábitos alimentares, estes

voltados para o consumo de hortaliças e frutas, a alface tornou-se importante dentro e fora do país. Partindo dessa premissa, trata-se de uma hortaliça de baixo custo, além de ser nutricionalmente rica em vitaminas, sais minerais e gerar inúmeros benefícios à saúde (ABREU et al., 2010).

3.4 Efeito da Salinidade sobre a Alface

A alface é considerada como sendo moderadamente sensível à salinidade presente no solo, seu rendimento potencial ocorre quando a condutividade elétrica do extrato saturado atinge o valor limiar de $1,3 \text{ dS m}^{-1}$ ocorrendo uma redução de 13% do rendimento por acréscimo unitário de salinidade acima do valor limite (AYERS & WESTCOT, 1999).

Segundo Guimarães et al. (2017) ao avaliarem a fitomassa fresca e seca de folhas, caule, raízes e fitomassa total da parte aérea da variedade do grupo crespa (cv. Valentina e Alcione), submetidas a quatro níveis de condutividade elétrica, de $1,6$ a $7,6 \text{ dS m}^{-1}$, observaram que todas as variáveis ficaram significativamente afetadas pelos níveis de sais utilizados na irrigação. Constataram ainda que a irrigação com condutividade elétrica de $3,5 \text{ dS m}^{-1}$ possui maior ponto de máxima produção de matéria fresca das folhas, enquanto a condutividade elétrica de $7,6 \text{ dS m}^{-1}$ decresceu 31,48% no acúmulo de fitomassa.

Xu & Mou (2015) estudaram os efeitos da salinidade, com duas concentrações de sais ($2,5$ e $8,4 \text{ dS m}^{-1}$), sobre cultivares de alface. Os resultados mostraram que, os níveis de salinidade afetaram negativamente o crescimento e desenvolvimento das plantas, com significativa redução na massa fresca da parte aérea, massa seca da parte aérea e massa seca do caule.

3.5 Manejo de águas salobras na irrigação

A técnica de irrigação tem sido utilizada para sanar o problema da escassez hídrica, no entanto, tem sido considerada uma das principais responsáveis pelos impactos ambientais de origem antrópica no semiárido, agravando o problema da salinização do solo, em especial nos perímetros irrigados (ALVES et al., 2011). Um fator importante que deve ser observado no manejo da irrigação diz respeito à salinização e à sodicidade. A presença de sais na água de irrigação em situações que a condutividade elétrica é maior que $0,75 \text{ dS m}^{-1}$, indica que existe um risco de salinidade do solo. A sodicidade é definida como a alta concentração de sódio no solo que pode levar à formação de crostas, à elevação do pH, à baixa condutividade hidráulica, à falta de oxigênio para respiração radicular e ao aumento de incidência de doenças causando a diminuição da produtividade e o surgimento de solos degradados (FREITAS et al., 2018).

Altos níveis de sais nas águas de irrigação prejudicam o desenvolvimento das culturas, bem como, causam o entupimento do sistema de irrigação (GARCIA et al., 2008). Uma das alternativas consideradas viáveis para o manejo estratégico de águas salobras é a sua mistura com água de baixa concentração de sais, principalmente na produção vegetal em regiões que sofrem com estiagens prolongadas (SILVA et al., 2014).

O manejo estratégico de águas salobras, deve ser executado de forma criteriosa uma vez que as altas concentrações de sais proporcionam grandes impactos nas medições como a superestimativa da umidade do solo quando se utiliza sensores de capacitância. Este fato pode ser explicado pela dispersão do sinal emitido pelos sensores, causada pelas altas concentrações de sais, outro efeito considerável da salinidade é o aumento da constante dielétrica do meio, que resulta na diminuição da velocidade de propagação do campo eletromagnético, superestimando as medições. Nesse sentido, diversos autores retratam o efeito da salinidade sobre sensores dielétricos (TDRs e FDRs), destacando a importância da calibração específica destes sensores em solos, principalmente, quando submetidos a elevados índices de concentração de sais na água, ou na solução do solo (SUN et al., 2000; INOUE et al., 2008; REGALADO et al., 2007).

Neste contexto, Inoue et al. (2008), analisando a eficiência de sensores dielétricos (TDRs, FDRs e ADRs) na estimativa da umidade em solos submetidos a soluções salinas, observaram que os sensores de capacitância (FDR) quando comparado aos TDRs apresentaram maior sensibilidade a elevados níveis de condutividade elétrica na solução do solo. Em contrapartida, Silva (2013) ao calibrar, gerar e comparar um modelo representativo para leitura da umidade do solo com os sensores Watermark e avaliar o efeito da salinidade na eficiência do sensor em solos na região do Submédio São Francisco, não encontrou efeito significativo dos diferentes níveis salinos.

3.6 Evapotranspiração de Referência (ET_o)

A evapotranspiração é um processo integrado de evaporação da água do solo e da transpiração da cultura, que é afetada por variáveis meteorológicas, características da cultura e práticas de manejo, bem como pelas características ambientais. Entre os diferentes componentes do ciclo hidrológico, a aproximação precisa da evapotranspiração é difícil devido a suas interações complexas com o sistema solo-planta-atmosfera, contudo, a estimativa confiável de ET_o é essencial para estimar a necessidade líquida de irrigação, planejamento regional de recursos hídricos e manejo (ALLEN et al., 1998).

Há diversos tipos de abordagem para quantificar ET_o, que pode ser calculada

indiretamente usando balanço energético (modelos empíricos). Esta técnica é baseada em dados meteorológicos específicos do local: altitude e latitude. Porém, deve-se considerar a qualidade dos dados meteorológicos, visto que tais parâmetros físicos são relativamente complexos, e apresentam limitações, principalmente na precisão dos instrumentos, a qual pode limitar o seu uso (WIDMOSER, 2009; TABARI, GRISMER & TRAJKOVIC, 2013; BERTI et al., 2014; DJAMAN et al., 2015; PEREIRA et al., 2015).

Existem diferentes métodos indiretos para medir a evapotranspiração de referência, como o Método Blaney-Criddle (Equação 1), muito usado nos Estados Unidos para definir o manejo da irrigação; Método de Hargreaves (Equação 2), que considera as variáveis de latitude, temperatura diária máxima, média e mínima para estimar a E_{To} (mm d^{-1}); Método de Camargo (Equação 3) o qual se baseia em resultados da evapotranspiração de referência para mais de uma centena de localidades (BORGES & MENDIONDO, 2007).

$$E_{To} = k_p (0,46 T_a + 8,13) \quad (1)$$

Em que:

k – coeficiente mensal dependente da vegetação, localidade e estação do ano, que varia de 0,5 a 1,2. Foram usados os valores de 0,85 para a estação úmida (novembro a abril) e 0,45 para a estação seca (maio a outubro),

p – porcentagem de insolação máxima diária (N) em relação ao horário de insolação teórico do ano (4380 h),

T_a – temperatura média diária do ar, $^{\circ}\text{C}$.

$$E_{To} = a R_a T D^{\frac{1}{2}} (T_a + 17,8) \quad (2)$$

Em que:

TD – variação de temperatura em $^{\circ}\text{C}$ no dia, $T_{\text{max}} - T_{\text{min}}$,

a – coeficiente adimensional, cujo valor proposto é 0,0023,

R_a – radiação solar extraterrestre incidente acima da atmosfera no dia 15 de cada mês, $\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$,

T_a – temperatura média diária do ar, $^{\circ}\text{C}$.

$$E_{To} = 0,01 R_a T_a K \quad (3)$$

Em que:

K – fator de ajuste de Camargo: 1,00 para temperatura média do ar. T_a até 23,5 °C; 1,05 para T_a de 23,6 a 24,5 °C; 1,10 para T_a de 24,6 a 25,5 °C; 1,15 para T_a de 25,6 a 26,5 °C; 1,20 para T_a de 26,6 a 27,5 °C e 1,30 para T_a superior a 27,5 °C,

R_a – radiação solar extraterrestre incidente acima da atmosfera no dia 15 de cada mês, mm d^{-1} . Para a obtenção de R_a em mm d^{-1} , dividem-se os valores em $\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$ por 2,45,

T_a – temperatura média diária do ar, °C.

Segundo Gocic & Trajkovic (2010) a equação PM-FAO apresenta duas vantagens sobre dezenas de outras equações para este propósito, a primeira é que a equação pode ser usada globalmente sem calibrações locais devido à sua base física e a segunda, é uma equação bem documentada e que foi testada usando um grande número de lisímetros. Todavia, apresentam como ponto negativo a requisição do amplo conjunto de dados meteorológicos, impossibilitando sua utilização em locais que não possuam estações meteorológicas, que colem medições de temperaturas máxima e mínima do ar (T_{max} e T_{min}), umidade relativa máxima e mínima (RH_{max} e RH_{min}), velocidade do vento (u) a 2 m de altura e radiação solar de ondas curtas (R_s). Esta demanda de dados é a principal restrição em seu uso em locais onde os dados climáticos são limitados ou não estão disponíveis na maioria dos países em desenvolvimento (TRAJKOVIC & KOLAKOVIC, 2009). Desse modo, sua aplicabilidade está basicamente reservada aos campos experimentais e as áreas agrícolas com alto padrão tecnológico.

3.7 Umidade do Solo

A umidade do solo é a quantidade de água presente nos espaços vazios do solo, é uma variável de grande importância para compreensão dos processos hidrológicos e climáticos para regulação das ocorrências hidrológicas, meteorológicas, agrícolas e climáticas. O teor de água está presente nos microporos e macroporos (ocupados por ar e água), os quais controlam e modulam os sistemas físicos, químicos e biológicos. É um sistema muito importante em diversas aplicações, como na agricultura para desenvolvimento e manutenção das plantas, na geoengenharia, onde o alto teor de água no solo pode indicar perigo potencial de deslizamentos de terra, dentre outros. Todos eles têm em comum a necessidade da quantificação da água no solo (KITIĆ & BENGIN, 2013).

Os métodos de determinação da umidade do solo são classificados em diretos e indiretos. O método direto, considerado padrão, pode ser representado em base de massa, denominada umidade gravimétrica (U) ou em base de volume, denominada umidade

volumétrica (θ). As duas formas de representação da umidade do solo se relacionam entre si por meio da expressão: $\theta = U \times D$ onde D é a densidade do solo (MANIERI et al., 2007).

3.8 Métodos Diretos para Determinação Umidade no Solo

De acordo com Silva (2016) os métodos diretos envolvem a remoção ou separação da água do solo, da qual pode ser obtida pela utilização de solvente, reação química ou aquecimento. Para Topp & Ferre (2002) o método de padrão para determinar a umidade do solo (U) é em estufa, normalmente 100 g de solo, ou menos, a uma temperatura de aproximadamente 105 °C, contudo salientam alternativas, como a secagem com microondas. Bruland & Richardson (2005) enfatizam que, apesar do método gravimétrico obter bons resultados, tem desvantagens, por apresentar demanda maior de tempo, entre 24 a 72 h a depender do tipo solo, o qual é excessivamente longo para a tomada de decisão, sobre o quanto irrigar, além de ser um método destrutivo, e não pode ser automatizado, tornando-se pouco adequado para monitorar a umidade do solo em tempo real, especialmente para fins de manejo de irrigação.

3.9 Métodos Indiretos para Determinação Umidade no Solo

Nos últimos anos, a tecnologia vem avançando na procura por técnicas não destrutivas na determinação da umidade do solo, que tenham como vantagens a precisão, a exatidão e a segurança do operador (SOUZA et al., 2016). Para Silva et al. (2008) os métodos indiretos mais comumente utilizados são a Reflectometria no Domínio do tempo (TDR) e a Reflectometria no domínio da frequência (FDR), os quais se fundamentam na constante dielétrica da matriz do solo.

Santos (2005) relata que a constante dielétrica está relacionada com a capacidade do material não condutor, em transmitir ondas ou pulsos eletromagnéticos com alta frequência. Segundo Robinson et al. (2003) o ar e os solos secos, apresentam uma constante dielétrica que varia entre 1 e 5 respectivamente, enquanto a água em torno de 80, apontando assim que pequenas variações no conteúdo de água no solo podem gerar grande influência na capacitância. No entanto, Souza et al. (2013) relatam que tais equipamentos não são unicamente dependentes da água presente no solo, pois mudanças quanto a mineralogia, teor de sais solúveis entre outros, podem alterar os resultados obtidos pelas sondas, e salientam que calibrações proporcionam aplicabilidades em diferentes solos, com maior precisão e exatidão.

Silva Junior et al. (2013) em estudos realizados em Latossolo Vermelho, comprovaram

que a técnica de obtenção do conteúdo de água no solo, utilizando a sonda de capacitância Profile Probe PR2/6, é apropriada para aquisição do conteúdo de água no solo, desde que, sejam realizadas calibrações específicas para o mesmo, pois, possuem elevado valor de cargas positivas em virtude dos altos teores de óxido de ferro, as quais interferem os resultados, e comprometem a constante dielétrica, e por conseguinte, a umidade predita.

3.10 Sensores de Umidade do Solo

Fraden (2010) define os sensores como sendo equipamentos capazes de detectar um impulso físico e convertê-lo em sinal elétrico, como voltagem, corrente ou carga, que seja compatível com circuitos eletrônicos. Para Iyengar et al. (2011) os sensores atuais são basicamente compostos por quatro itens básicos: dispositivo de detecção, microcontrolador, memória e um tranceptor. Os sensores podem ser classificados segundo as suas especificações, como exatidão, sensibilidade, histerese, velocidade de resposta, estabilidade, material entre outros, que vão depender da sua finalidade e utilização seja, na engenharia civil e construção, saúde, energia, transporte, agricultura entre outros (FRADEN, 2010).

Os sensores são utilizados em diversas áreas da agricultura, que vão desde a etapa inicial, até o fim do processo, como no monitoramento ambiental, controle de maquinários e na agricultura de precisão (WANG, ZHANG & WANG, 2006). Para Guimarães et al. (2010) os sensores utilizados na agricultura para estimar a umidade do solo, são sondas eletrônicas, que quando inseridas no solo, transmitem pulsos elétricos, que são interpretados por controladores eletrônicos, os quais apresentam os resultados de umidade em base de volume ou de massa.

Vários autores destacam a praticidade e simplicidade em se usar sensores que monitoram o estado de água no solo, por apresentarem fácil manuseio e dados precisos, como a sonda de nêutrons e as sondas de capacitância. Contudo, salientam os cuidados extras que os usuários devem ter no uso da sonda de neutros, por usar fonte radioativa na estimativa da umidade do solo, e que, por outro lado, os sensores que funcionam por capacitância, com uma ampla variedade de modelos e preços, conforme a finalidade, podem ser usados em pesquisas e por produtores rurais (COELHO, COELHO FILHO & OLIVEIRA, 2005; MANTOVANI et al., 2007; MAROUELLI & SILVA, 2009).

No entanto, é de suma importância a realização de calibrações em sondas capacitivas, pois, os solos apresentam diferenças físicas e químicas, que influenciam na precisão e exatidão dos mesmos. Tais fatos são comprovados na literatura por diversos trabalhos, como o realizado com Cambissolo e Argissolo de texturas diferentes, onde o sensor ECH₂O (Decagon

Devices, IncTM) superestimou os valores de umidade do solo para faixas maiores que 10% (BARBOSA et al., 2012). Outro trabalho realizando calibração em diferentes tipos de substratos, constatou que a utilização de tais sondas, não apresentou boa eficácia em solos com texturas média argilosa e arenosos com alto teor de matéria orgânica (ARAÚJO PRIMO et al., 2015).

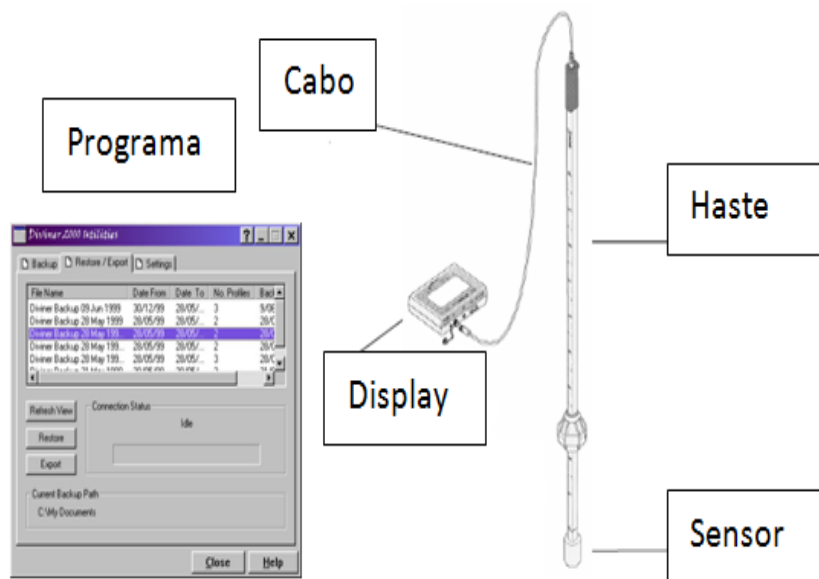
3.11 Caracterização da Sonda Diviner 2000

A sonda Diviner 2000 usa a Reflectometria no Domínio da Frequência (FDR), sendo composta por sensor, haste, cabo conector, display, e programa para ter acesso às informações (Figura 1). Trata-se de um sistema portátil de monitoramento de umidade do solo, o qual usa a capacitância elétrica para estimar a umidade do solo. Quando o equipamento está em execução, é gerado um campo de alta frequência ao redor do sensor, partindo do tubo de acesso e adentrando ao solo, os resultados da frequência são, portanto, obtidos em função da quantidade de água existente no solo, o resultado da medição é exibido no datalogger.

A sonda, além de ser portátil, mede a umidade do solo em intervalos regulares de 10 cm através do perfil do solo fazendo leituras por meio de um tubo de acesso em PVC. Segundo o próprio fabricante, não há necessidade de parar, pausar e segurar a sonda em uma profundidade específica enquanto faz as leituras, pois, os dados são computados automaticamente no perfil do solo até a profundidade desejada. As leituras são feitas instantaneamente do conteúdo de umidade do solo nas profundidades específicas no perfil particular do solo (SENTEK, 2000).

Devido a fatores presentes no solo como a acidez e salinidade do solo, os sensores de capacitância necessitam ser calibrados para proporcionar medições com maior precisão da umidade do solo. Embora os equipamentos apresentem uma calibração universal, fornecida pelo fabricante, calibrações feitas pelo usuário podem melhorar a precisão (PALTINEANU & STARR, 1997; MORGAN et al., 1999; BAUMHARDT, LASCANO & EVETT, 2000; FARES et al., 2004; GROVES & ROSE, 2004).

Figura 1. Componentes da sonda Diviner 2000.



Fonte: Adaptado, Manual do Diviner 2000.

Segundo recomendações do fabricante, antes do uso da sonda Diviner 2000, é preciso que seja realizada a calibração para se obter a normalização das leituras de frequência (F), a qual é realizada no ar, no solo e na água, obtendo assim frequência relativa (FR) normalizada (Equação 4) (SENTEK, 2000).

$$FR = (F_{ar} - F_s) * (F_{ar} - F_w)^{-1} \quad (4)$$

Em que:

F_{ar} – leitura da frequência no tubo PVC de acesso suspenso no ar

F_s – leitura da frequência no tubo de PVC de acesso no solo

F_w – leitura da frequência no tubo de PVC em água

A sonda Diviner 2000 apresenta várias vantagens por se tratar de uma sonda móvel, ser bastante leve, permitindo o monitoramento em uma quantidade maior de locais, podendo ainda obter dados em profundidades diferentes, possui boa precisão, é um método não destrutivo, não utiliza fonte radioativa, dentre outros aspectos (SENTEK, 2000; SOUZA et al. 2006). Por outro lado, Resende et al. (2017) salientam como desvantagem na utilização da sonda Diviner 2000, a necessidade do uso de uma curva de calibração específica para cada tipo solo, a fim de se determinar o valor absoluto da umidade do solo, e obter maior precisão, pois as medições com a equação padrão do fabricante, podem ser influenciadas por variações decorrentes das características do solo e do próprio ambiente.

Tedeschi et al. (2014) desenvolveram equações de calibração para medições do conteúdo volumétrico de água em solo afetados por sais por meio da capacitância pela Diviner 2000. Os autores avaliaram a precisão da equação de calibração de fábrica e ainda, obtiveram equações lineares e potenciais de calibração da sonda sob uso de águas salobras e água com baixos teores de sais. Andrade Junior et al. (2007) utilizaram a Diviner 2000 em um Latossolo Amarelo da microrregião do Litoral Piauí, e obtiveram leituras de capacitância com alta correlação ($R^2= 0,97$) e baixo erro padrão ($0,01 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$), propondo assim uma equação de calibração específica da Diviner 2000 para aplicação em um solo Latossolo Amarelo.

Haberland et al. (2015) monitoraram o conteúdo de água no solo em tempo real, com calibração no campo apropriada, da sonda Diviner 2000, em um vinhedo, e observaram que a sonda mostrou-se ser altamente sensível as variações de conteúdo de água no solo, obtendo correlação melhor na profundidade de 0 a 0,40 m com $R^2=0,91$ e entre 0,50-0,60 m $R^2=0,75$. Contudo, a equação de calibração para todo o perfil, de 0 a 0,60 m foi moderadamente precisa ($R^2 > 0,81$) com relação às equações de calibração por camada. Dessa forma, os autores destacaram a importância de se calibrar corretamente a sonda Diviner 2000, pois, eleva a eficácia para medir o teor de água do solo no campo em tempo real, usando diferentes pontos de acesso, na detecção de diferentes umidades em cada ponto específico.

Araújo Primo et al. (2015) estudando a calibração da Diviner na variação do armazenamento de água em um Argissolo Vermelho-Amarelo cultivado com palma forrageira, conseguiram resultados satisfatórios cientificamente na estimativa do conteúdo de água no solo, através da frequência relativa, quando compararam seus resultados, com os descritos na literatura.

3.12 Caracterização do Espodossolo Humilúvico

O Espodossolo Humilúvico é definido pela presença de horizonte B diagnóstico antecedido por um horizonte E (álbico ou não) ou horizonte A. Apresenta cor desde cinza até vermelha ou amarela, no horizonte espódico. Pode apresentar fragipã ou duripã logo após o horizonte espódico, sendo solos levemente ácidos e pobres em bases trocáveis, distróficos, podendo conter altos teores de alumínio trocável. Do ponto de vista físico, apresenta textura arenosa, com baixa capacidade de retenção de nutrientes e água (CARVALHO et al., 2013).

Em Pernambuco, a distribuição geográfica destes solos, ocupa sua maior extensão nos Tabuleiros Costeiros da Mata Norte, cujos municípios de Goiana, Araçoiaba, Abreu e Lima, Igarassu e Cruz de Rebouças possuem maior extensão, e algumas estreitas faixas da baixada litorânea do estado (COSTA et al., 2007). Esses solos apresentam deficiência de oxigênio e

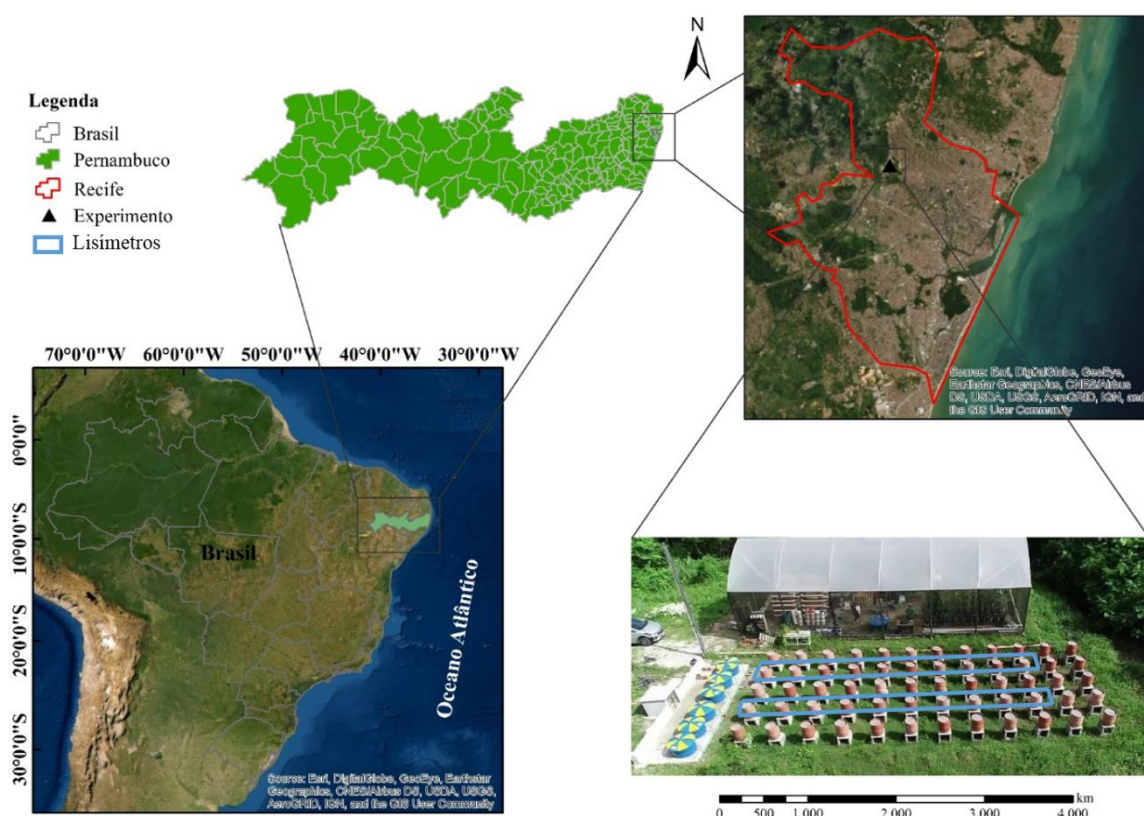
água no mesmo ambiente, este fato está relacionado a textura mais arenosa nas camadas superficiais e na camada endurecida e impermeável na subsuperfície, tendo assim, grande influência na elevação do lençol freático no período úmido. No Nordeste, áreas agrícolas localizadas nos Tabuleiros Costeiros, sofrem sem o manejo diferenciado, ocasionando queda na produtividade agrícola (SILVA et al., 2013).

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Caracterização da área de estudo

O experimento foi realizado entre o período de 27 de outubro a 7 de dezembro de 2020, totalizando 42 dias, no Laboratório de Fertirrigação e Salinidade do Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal Rural de Pernambuco, no município de Recife-PE, cujas coordenadas geográficas no sistema SAD 69 (*South American Datum*) são 8° 01' 07" de latitude Sul e 34° 56' 53" de longitude Oeste, altitude média de 6,50 (Figura 2).

Figura 2. Localização da área experimental.



Fonte: Autor.

O experimento foi dividido em duas etapas, ambas utilizando o solo Espodosolo Humilúvico. A primeira foi executada em casa de vegetação, como foco na calibração específica da sonda Diviner 2000 para este tipo de solo. A segunda etapa foi realizada em

ambiente aberto, com o cultivo da alface irrigada com água salobra e lâmina definida com base no monitoramento da umidade do solo (via sensor de solo) ou da evapotranspiração da cultura, em função da ETo (PM-FAO-56).

O clima predominante na região é do tipo As', tropical chuvoso, de acordo com Köppen (ALVARES et al., 2013). A estação chuvosa acontece nos meses de maio a agosto, com precipitação anual acumulada de aproximadamente 1804 mm (OMAR et al., 2018). A temperatura média anual é de 25,5 °C, e suas temperaturas mais elevadas ocorrem no mês de janeiro, com média de 27 °C e julho é o mês mais frio, com média de 24 °C. A evapotranspiração potencial (ETP) anual da microrregião de Recife é de 1.393,5 mm com média mensal é 116,1 mm. A umidade relativa do ar apresenta valores médios anuais de 84%. A incidência de radiação solar é classificada como alta com pouca variação ao longo do ano, exceto pela influência de nebulosidade durante o período chuvoso, a qual é característica de regiões tropicais e favorecem a radiação difusa (energia refletida pelas nuvens) (CARNEIRO et al., 2015; SANTOS et al., 2017; RIBEIRO & NASCIMENTO, 2020).

4.1.1 Caracterização da estrutura experimental do Experimento I - casa de vegetação

A casa de vegetação utilizada na primeira etapa da pesquisa, possui dimensões de 6,0 m de largura, 18,0 m de comprimento, com 4,0 m de pé direito e 5,5 m na parte mais alta da estufa, tendo um rodapé de 0,20 m em concreto armado. A cobertura é do tipo arco, possuindo filme de polietileno de baixa densidade, com 150 µm de espessura, tratado contra a ação dos raios ultravioletas e com difusor de radiação solar. As partes laterais e frontal são em telas de nylon da cor preta, com 50% de sombreamento, tendo seu piso coberto com manta geotêxtil (bidin), com o objetivo de impedir a germinação de plantas, que possam servir como hospedeiras de pragas e doenças.

4.1.2 Características físico-hídricas e químicas do solo

O solo utilizado foi classificado como Espodossolo Humilúvico, coletado no município de Goiana-PE na profundidade de 0 - 0,20 m, cujas coordenadas geográficas são 7° 33'38" Sul e 35° 00'09" Oeste, com elevação média de 13 m. O solo foi processado para descarte dos materiais mais grosseiros e destorroamento em partículas menores.

A análise granulométrica (Tabela 2) foi realizada pelo método do densímetro e peneiramento, ao qual consiste na sedimentação e peneiramento das partículas que fazem parte da composição do solo, seguindo as recomendações do manual de métodos de análise de solo, para determinar o teor de areia, argila e silte (DONAGEMMA et al., 2017). Para o

cálculo da densidade do solo (Equação 5) utilizou-se os dados obtidos pelo método do cilindro volumétrico (anéis com 5 cm de diâmetro x 5 cm de altura), o qual tem o princípio da obtenção da massa por pesagem e do volume pela coleta de amostras de solo com estrutura não deformada, por meio de um cilindro de volume interno conhecido (ALMEIDA et al., 2017). As análises foram realizadas no Laboratório de Física de Solos, do Departamento de Agronomia na UFRPE, Campus Dois Irmãos, Recife-PE.

$$D_s = \frac{m_a}{v} \quad (5)$$

Em que:

D_s – densidade do solo, $g\ cm^{-3}$,

m_a – massa de amostra de solo seco a $105\ ^\circ C$ até obter peso constante, g,

V – volume do cilindro, cm^3 .

Tabela 2. Caracterização físico-hídrica e química do solo.

Caracterização física do solo						
Solo	Profundidade (m)	Densidade do Solo ($g\ cm^{-3}$)	Areia ($g\ kg^{-1}$)	Silte ($g\ kg^{-1}$)	Argila ($g\ kg^{-1}$)	Classe Textural
Espodosolo Humilúvico	0-0,20	1,5	952,34	21,55	26,11	Arenosa
Caracterização Química do solo						
pH (água)	Ca^{+2}	Mg^{+2}	Na^{+}	K^{+}	MO	H+Al
1:2,5	_____ $cmol_c\ dm^{-3}$ _____				$g\ kg^{-1}$	$cmol_c\ dm^{-3}$
6,0	1,6	0,85	0,05	64	10,16	1,76

pH: potencial hidrogeniônico; Ca^{+2} : Cálcio; Mg^{+2} : Magnésio; Na^{+} = sódio; K^{+} = Potássio; MO: Matéria Orgânica do Solo; H+Al = Acidez Potencial.

4.1.3 Preenchimento dos vasos e instalação dos tubos de acesso

A massa do solo úmido, a ser acondicionada nos vasos, foi calculada por meio da razão entre a terra fina seca ao ar e a terra fina seca em estufa, para a obtenção do fator de correção “F”. Dessa forma, tornou-se possível calcular a massa do solo seco ao ar equivalente à massa de sólidos para manter a densidade do solo medida em campo, conforme a equação 6.

$$f = \frac{TFSA}{TFSE} \quad (6)$$

Em que:

TFSA – terra fina seca ao ar, g,

TFSE – terra fina seca em estufa, g.

Para tal, a quantidade do solo (massa seca ao ar) a ser acondicionada em cada vaso foi calculada por meio da equação 7, para obtenção da massa do solo Espodosolo Humilúvico seco ao ar.

$$M_{su} = D_s * f * V \quad (7)$$

Em que:

D_s – a densidade do solo, $g\ cm^{-3}$,

f – fator de correção,

V – volume útil do vaso, cm^3 .

Utilizou-se 8 vasos com capacidade de $0,0078\ m^3$ (23,5 cm de altura, 16 cm de diâmetro menor, 25 cm de diâmetro maior). Os vasos foram perfurados na base, preenchidos com uma camada de 3,5 cm de brita ($\varnothing = 2\ cm$), coberta com uma manta geotêxtil (bidim) a fim de permitir a drenagem do excesso da água sem que haja perda de solo. No centro de cada vaso foram instalados tubos de acesso de PVC com comprimento de 0,55 m e diâmetro de 0,054 m para calibrar a sonda Diviner 2000 (Figura 3).

A massa do solo seco ao ar, foi acondicionada nos vasos de forma a se obter uma massa de 8,01 kg no volume útil de $0,0059\ m^3$. Em seguida, foram submetidos a saturação por capilaridade com dois níveis de salinidade na água, com condutividade elétrica de $0,24\ dS\ m^{-1}$ e $6,4\ dS\ m^{-1}$ com quatro repetições cada. Posteriormente, foram instalados tubos de acesso (Figura 3) com 0,2 m abaixo da superfície do solo.

Figura 3. Sequência fotográfica da montagem do conjunto vaso, brita, bidim, solo e tubo de acesso.



Os vasos foram postos e organizados sobre uma bancada, a fim de permitir a drenagem da água por gravidade. Ao cessar a drenagem, cada vaso foi pesado representando a umidade equivalente à capacidade de campo, para posteriormente registrar o conteúdo de água no solo via Diviner 2000, representando assim a primeira leitura na capacidade de campo, utilizando a equação padrão de calibração do fabricante da sonda (Equação 8) a qual é baseada na combinação de solos arenosos e solo orgânico, possuindo coeficiente de determinação $R^2 = 0,9985$.

$$SF = 0.2746 * (\theta^{0.3314}) \quad (8)$$

Em que:

SF – frequência escalada,

θ - umidade volumétrica, mm.

As pesagens e leituras de umidade do solo foram realizadas diariamente às 8:00 h. Antes das medições diárias da umidade do solo realizada pelo sensor, os vasos eram pesados para calcular a massa de água presente no solo, por meio da diferença das pesagens diárias e a

massa do conjunto (vaso + brita + bidim + solo seco + tubo de acesso). Para calcular capacidade de campo, foi utilizado o cálculo por gravimetria referente a primeira leitura, conforme a equação 9.

$$\theta_{CC} = \left(\frac{M_a - M_s}{M_s} \right) * D_s \quad (9)$$

Em que:

θ_{CC} – umidade volumétrica do solo equivalente à capacidade de campo, $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$,

M_a – massa do solo atual, g,

M_s – massa do solo seco ao ar, g,

D_s – densidade do solo, g cm^{-3} .

As leituras de umidade do solo registradas pela sonda e pela pesagem foram coletadas até que a variação da umidade da massa do conjunto (vaso, brita, bidim, solo e tubo de acesso) tornassem-se constante, para que em seguida os dados fossem processados utilizando o software Microsoft Excel.

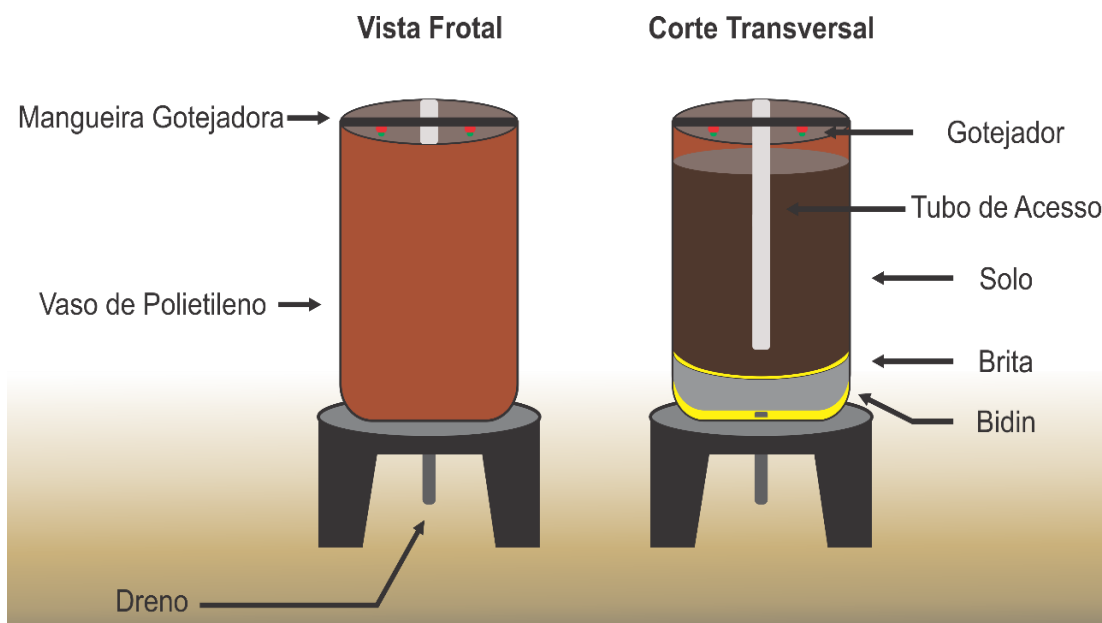
As curvas de secagem natural do solo em casa de vegetação foram geradas com dados medidos por meio das pesagens (método gravimétrico) como também com os valores das leituras obtidas pela sonda Diviner 2000 de acordo com os níveis de salinidade na água, com condutividade elétrica de $0,24 \text{ dS m}^{-1}$ (A) e $6,4 \text{ dS m}^{-1}$ (B).

4.1.4. Caracterização da estrutura experimental do experimento II - lisímetros em ambiente aberto

4.1.4.1 Caracterização dos lisímetros

O experimento foi composto por 20 lisímetros de drenagem de polietileno de 288 L cada, com diâmetro interno na borda de 0,57 m, dispostos sobre caixas de concreto com 0,40 m de altura e equidistantes a 2,0 m. Cada vaso foi equipado com um sistema de drenagem na sua base, com o objetivo permitir o escoamento do excesso de água e assim evitar a saturação, sem que houvesse perda de solo. O sistema continha uma camada de brita de tamanho de 0,05 m, sobre a camada de brita adicionou-se uma manta geotêxtil (bidim) com o objetivo de cobrir toda a face superior da brita e reter as partículas do solo colocado sobre a manta. Em seguida, os vasos foram preenchidos com 195 kg do Espodossolo Humilúvico seco ao ar, mesmo solo utilizado no experimento 1, de modo a manter a densidade de $1,5 \text{ g cm}^{-3}$ (Figura 4).

Figura 4. Layout esquemático dos vasos utilizados no experimento.



Fonte: Autor.

4.1.5 Caracterização e layout do sistema de irrigação

Os tratamentos constituíram da combinação de dois níveis de salinidade na água de irrigação, com condutividade elétrica (CE_{ai}) de 0,24 dS m⁻¹ (A) e 6,4 dS m⁻¹ (B) e dois sistemas de determinação da lâmina de irrigação via clima e via solo. O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado em esquema fatorial 2 x 2, com cinco repetições totalizando 20 parcelas experimentais (Figura 5).

Os testes de uniformidade foram conduzidos em duas ocasiões: no início do experimento e aos 44 dias após sua implantação. O volume de água foi coletado em todos os 40 emissores instalados ao longo das quatro linhas laterais utilizadas no experimento, por um determinado período de tempo pré-estabelecido (01 minuto) em três repetições. Para avaliação da uniformidade de aplicação da água, determinou-se o coeficiente de uniformidade de distribuição – CUD, conforme a equação 10 (KELLER & KARMELI, 1975).

$$CUD = 100 \left(\frac{q_{25}}{q_{med}} \right) \quad (10)$$

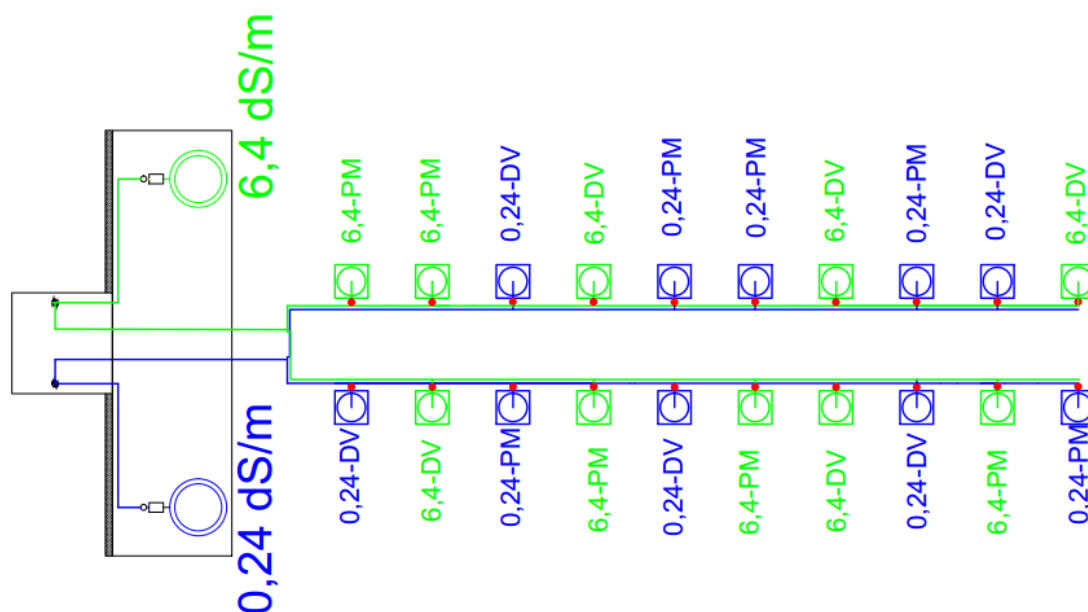
em que:

CUD - coeficiente de uniformidade de distribuição, %

q₂₅ - vazão média do menor quartil, L h⁻¹

q_{med} - média aritmética das vazões coletadas, L h⁻¹

Figura 5. Croqui do arranjo experimental.



0,24-DV= condutividade elétrica de 0,24 dS m^{-1} via Diviner 2000; 0,24-PM= condutividade elétrica de 0,24 dS m^{-1} via Penman-Monteith FAO; 6,4-DV= condutividade elétrica de 6,4 dS m^{-1} via Diviner 2000; 6,4-PM= condutividade elétrica de 6,4 dS m^{-1} via Penman-Monteith FAO.

Para armazenar a água utilizada na irrigação, foram utilizadas duas caixas d'água de 500 L, nas quais um tratamento foi composto pela água da rede de abastecimento da Universidade Federal Rural de Pernambuco (0,24 dS m^{-1}) ocorreu a adição do NaCl à água da rede de abastecimento da Universidade Federal Rural de Pernambuco até atingir os níveis de condutividade elétrica (CEai) desejados (6,4 dS m^{-1} , em cada caixa d'água). A condutividade elétrica da água foi monitorada todos os dias antes de irrigar através do uso de um condutivímetro portátil da marca Instrusul, modelo INS-51.

O sistema de irrigação localizada foi composto por gotejadores da marca Netafim, autocompensantes com vazão de 2 L h^{-1} , acionados por duas bombas de 0,5 cv, correspondente a cada tratamento. Quatro linhas de derivação de polietileno com 16 mm de diâmetro foram utilizadas para distribuição da água. Em cada vaso haviam dois gotejadores com espaçamento de 15 cm entre eles, fornecendo assim, vazão de 4 L h^{-1} .

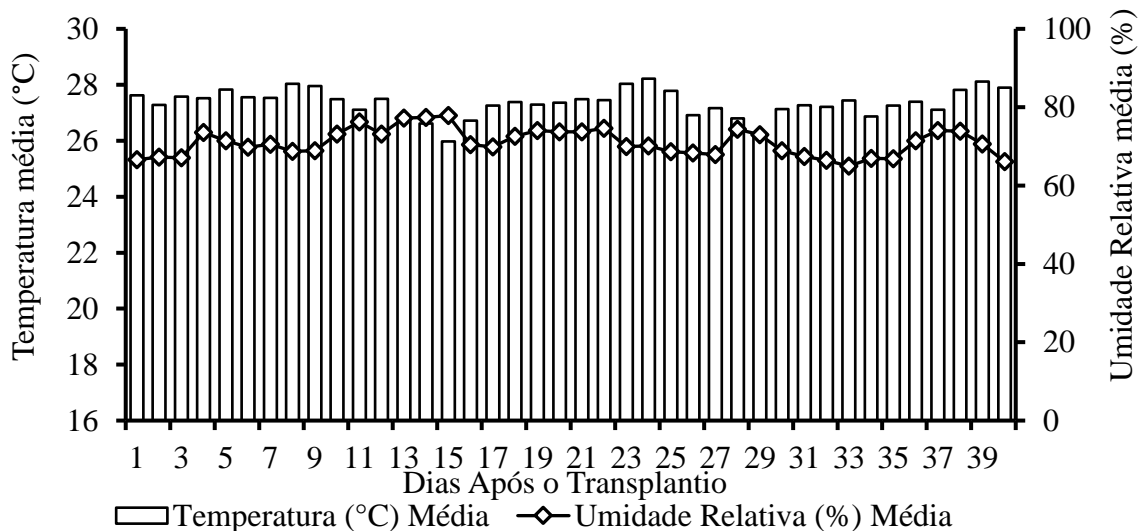
4.1.6 Manejo de Irrigação

No tratamento via clima, a determinação das lâminas de água foi realizada com base no balanço hídrico, conforme a evapotranspiração da cultura (ET_c), resultante do produto entre o coeficiente de cultura (K_c) e a evapotranspiração de referência (ET_o), a qual foi corrigida

de acordo em conformidade com a área do lisímetro.

Os dados meteorológicos diários utilizados para a obtenção da evapotranspiração de referência (ET_o), foram oriundos do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) da estação meteorológica automática do Recife A301, localizada a 4,5 km de distância (Figura 6). A velocidade do vento, neste estudo, foi considerada igual a 2 m s⁻¹, pois segundo Allen et al. (1998), em estudo realizado com mais de 2000 estações meteorológicas ao redor do mundo, na ausência de dados de velocidade do vento no local, este valor pode ser adotado como estimativa provisória. A precipitação pluviométrica foi medida através de um pluviômetro modelo Hellmann, instalado na área experimental.

Figura 6. Valores de temperatura média e umidade relativa média do ar durante a condução do experimento.



De posse dos dados climáticos, a ET_o diária foi calculada via equação de Penman-Montieth FAO 56 (equação 11) e o K_c adotado de acordo com a fase da cultura da alface de uma forma geral (Tabela 3).

$$ET_o = \frac{0,408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0,34u_2)} \quad (11)$$

Em que:

ET_o – evapotranspiração de referência, mm d⁻¹,

R_n – saldo de radiação à superfície da cultura, MJ m⁻² d⁻¹

G – densidade do fluxo de calor do solo, MJ m⁻² d⁻¹,

T – temperatura do ar a 2 m de altura, °C,

u₂ – velocidade de vento a 2 m de altura, m s⁻¹,

es – pressão de vapor de saturação, kPa °C⁻¹,

ea – pressão parcial de vapor, kPa,

Δ – declividade da curva de pressão de vapor de saturação kPa °C⁻¹,

Γ – coeficiente psicrométrico, kPa °C⁻¹.

Tabela 3. Coeficiente de cultivo (Kc) para cultura da alface de acordo com o estágio de desenvolvimento da planta.

Estádio de Desenvolvimento	Dias	Kc
Inicial	10	0,70
Vegetativo	10	0,85
Produção	9	1,00
Maturação	13	0,95

Fonte: Adaptado de Marouelli et al. (1996); Allen et al. (1998) e Marouelli et al. (2008).

No tratamento via solo, a determinação das lâminas de irrigação foi realizada com base nos dados obtidos pela sonda Diviner 2000. Com base na leitura diária do sensor, foi calculada a lâmina de reposição por meio da equação 12, com a finalidade de elevar a umidade do solo ao nível equivalente à capacidade de campo obtida em casa de vegetação via método gravimétrico, utilizando capacidade referente a primeira leitura obtida com água não salobra e água salobra (0,31 m³m³ e 0,32 m³m³).

$$LL = (\theta_{CC} - \theta_{ATUAL}) * Z * 10 * A \quad (12)$$

Em que:

LL – lâmina líquida, mm,

θ_{ATUAL} – umidade volumétrica atual do solo, cm³ cm⁻³,

θ_{CC} – umidade volumétrica do solo na capacidade de campo, cm³ cm⁻³,

A – área molhada do gotejador, (0,070 m²)

Z – profundidade de leitura do sensor, cm.

4.1.7 Descrição e condução da cultura

As mudas de alface (*Lactuca Sativa L.*) utilizadas nesse experimento foram do grupo crespa, adquiridas de uma sementeira localizada no município Vitória de Santo Antão-PE, com 20 dias após a semeadura. O transplântio foi realizado quando as plantas apresentaram quatro folhas definitivas, com uma planta por vaso. Eventualmente, as capinas ocorreram conforme o aparecimento de plantas daninhas. Durante a condução do experimento não houve

incidência de pragas e doenças, não sendo necessário a aplicação de defensivos agrícolas.

O diâmetro da cabeça foi determinado utilizando uma régua graduada, medindo a parte aérea da planta de uma extremidade a outra, o número de folhas totais foi determinado no dia da colheita, sendo considerado para o número de folhas comerciais apenas aquelas com tamanho superior a 3 cm e que apresentassem mais de 70% de coloração verde, e sem a presença de danos físicos e/ou secas.

O diâmetro do caule foi determinado utilizando um paquímetro digital, medindo-se distante 1,0 cm da região do corte, a massa fresca da parte aérea foi determinada logo após a coleta, utilizando-se uma balança digital de precisão (0,01g). Para determinação da altura da planta e para o comprimento da raiz, foi utilizado uma régua graduada. Para determinação da massa seca, as plantas foram acondicionadas em sacos de papel previamente identificados e secas em estufa com circulação forçada de ar, na temperatura de 65 °C (± 1), até que atingiram peso constante, quando foram pesadas em balança digital de precisão (0,01g).

A análise química do solo foi realizada no Laboratório de Química Ambiental de Solos, pertencente ao Departamento de Agronomia da UFRPE, para a determinação do potencial Hidrogeniônico (pH), teores de Mg^{+2} , Al^{+3} , Na^{+} , K^{+} , P, CO, MO e H+Al, cálculo da saturação por bases, da capacidade de troca de cátions (CTC), com o objetivo de avaliar a necessidade de correção do pH e/ou neutralização do Al trocável.

A partir dos dados obtidos pela análise química do solo (Tabela 2) e com a finalidade de obter maior eficiência no uso dos fertilizantes, a adubação da alface foi realizada de acordo com a recomendação de adubação do estado de Pernambuco, com o equivalente à 30 kg nitrogênio por hectare, 90 kg de fósforo por hectare e 90 kg de potássio por hectare. A adubação do nitrogênio e o potássio foi parcelada em três partes, aplicadas a cada sete dias, na quantidade proporcional à área do lisímetro, logo, aplicou-se: 0,8 g planta⁻¹ de ureia, 1,6 g planta⁻¹ de superfosfato simples e 2,3 g planta⁻¹ de MAP na formulação: 13-02-44 (CAVALCANTE et al., 2008).

As plantas foram colhidas aos 41 dias após o transplante e avaliadas quanto às seguintes variáveis: número de folhas totais (NF), diâmetro da cabeça (DC), diâmetro do caule (DCA), altura da planta (AP), comprimento da raiz (CR), massa fresca da parte aérea (MFPA), massa da matéria seca da parte aérea (MSPA).

4.2. Análise dos dados dos Experimentos I e II

4.2.1 Experimento I – Calibração da Sonda Diviner 2000

Após a diferença da massa diária do conjunto (vaso, brita, bidim, solo e tubo de acesso) se manterem constante, o que ocorreu aos 45 dias após iniciado o experimento, foram calculadas as médias diárias de umidade do solo em cada tratamento (água salobra e não salobra). A análise de regressão foi efetuada para relacionar o conteúdo volumétrico de água medido (Y , $m^3 m^{-3}$) e o conteúdo de água estimado pelo sensor (X , $m^3 m^{-3}$) para a obtenção da equação de calibração.

Os seguintes índices estatísticos foram utilizados para avaliar a associação entre os dados medidos e estimados antes e após a calibração específica: eficiência do modelo (EF) de Legates & McCabe (1999) o qual tem a função de avaliar o ajuste entre os valores medidos e estimados para escolha da melhor função (equação 13) e raiz quadrada do erro quadrático médio (RMSE) (Equação 14). Para a interpretação dos resultados do RMSE utilizou-se a classificação proposta por Fares et al. (2011) (Tabela 4). O coeficiente de determinação (R^2) foi utilizado como um indicador da precisão da estimativa e, também, como critério para selecionar a melhor equação de calibração.

$$EF = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - P_i)^2}{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2} \quad (13)$$

$$RMSE = \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (O_i - P_i)^2 \right]^{0,5} \quad (14)$$

Em que:

n – número de observações, $i = 1, 2, \dots, n$,

O_i – valores de umidade do solo medidos, $m^3 m^{-3}$,

P_i – valores de umidade do solo estimados pelo sensor, $m^3 m^{-3}$,

\bar{O} – média dos valores de umidade do solo medidos, $m^3 m^{-3}$.

Tabela 4. Classificação da exatidão dos sensores de umidade do solo conforme à raiz quadrada do erro quadrático médio (RMSE).

RMSE	Exatidão
RMSE $\geq 0,1$	Muito fraca
$0,1 > RMSE \geq 0,05$	Fraca
$0,05 > RMSE \geq 0,01$	Razoável
RMSE $< 0,01$	Boa

Fonte: Adaptado de Fares et al. (2011).

O índice de concordância Willmott (1981), equação 15, também foi utilizado como medida padronizada do grau do erro da correlação, variando entre 0 e 1, onde 0 indica que não há concordância entre as duas variáveis e 1 que existe uma perfeita concordância entre os valores medidos e estimados (WALKER, WILLGOOSE & KALMA, 2004).

$$d = 1 - \left[\frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^n (|P_i - \bar{O}| + |O_i - \bar{O}|)^2} \right] \quad (15)$$

Em que:

n – número de observações, $i = 1, 2, \dots, n$,

O_i – valores de umidade do solo medidos, $m^3 m^{-3}$,

P_i – valores de umidade do solo estimados pelo sensor, $m^3 m^{-3}$,

\bar{O} – média dos valores umidade do solo medidos, $m^3 m^{-3}$.

Por fim, foi utilizado o índice de confiança (c) proposto por Camargo e Sentelhas (1997), por meio da equação 16.

$$c = r * d \quad (16)$$

Em que:

r – coeficiente de correlação

d – índice de concordância Willmott (1981).

Para a interpretação dos resultados, utilizou-se a classificação proposta por Camargo e Sentelhas (1997) (Tabela 5).

Tabela 5. Classificação de desempenho do modelo proposto conforme o valor do coeficiente “c”.

Valor de “c”	Desempenho
> 0,85	Ótimo
0,76 a 0,85	Muito Bom
0,66 a 0,75	Bom
0,61 a 0,65	Mediano
0,51 a 0,60	Sofrível
0,41 a 0,50	Mau
≤ 0,40	Péssimo

Fonte: Camargo e Sentelhas (1997).

4.2.2 Experimento II – Resposta da cultura da alface em função do manejo de irrigação e qualidade da água

Os dados das variáveis biométricas efetuadas na cultura da alface foram submetidos à análise de variância em função do manejo de irrigação (solo ou clima) e da condutividade elétrica da água de irrigação. Nas variáveis em que foi detectada significância pelo teste F, as médias foram submetidas ao teste de Tukey ($p < 0,05$), por meio do programa estatístico SISVAR 5.0.

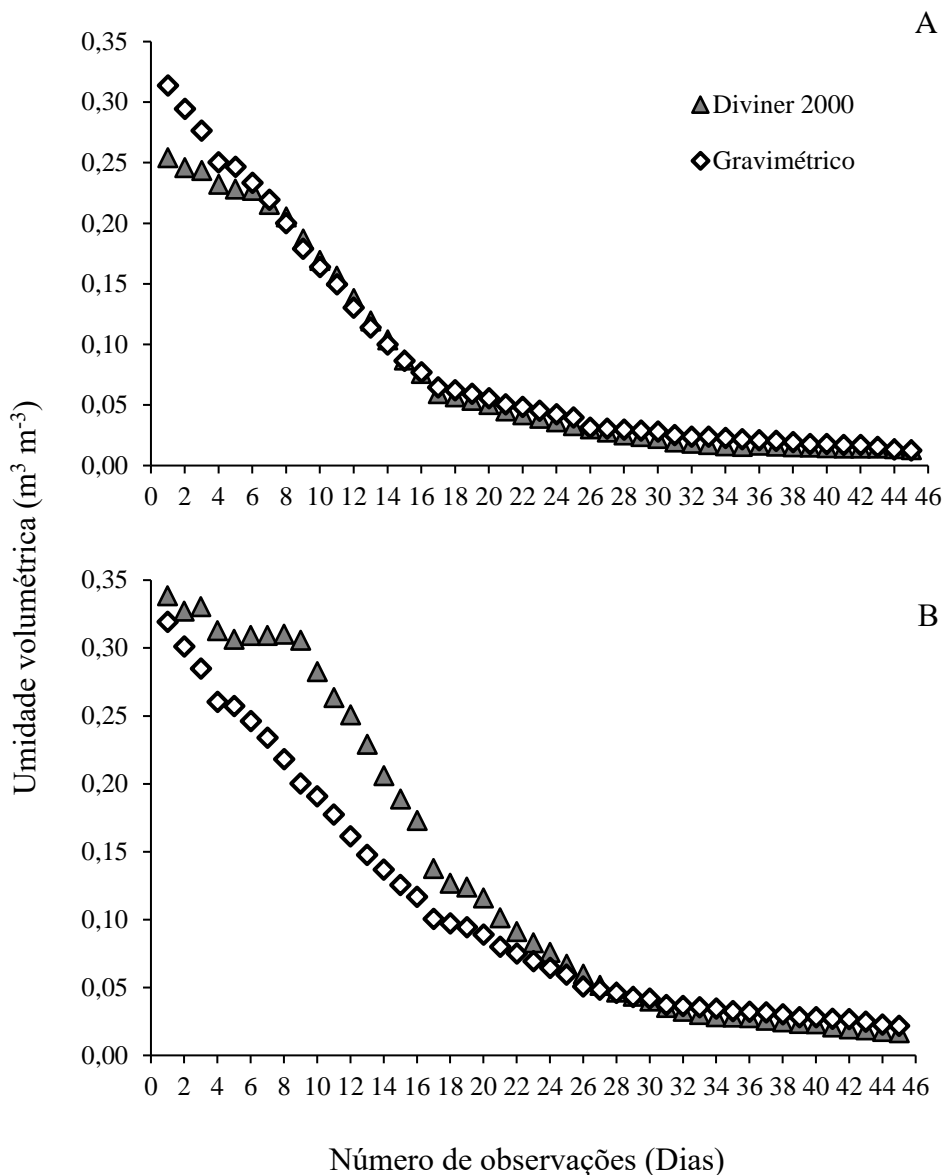
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Experimento I – Performance da sonda Diviner 2000

Na Figura 7 encontram-se as curvas de secagem natural do solo em casa de vegetação. Verificou-se que as leituras da sonda Diviner 2000 tem correlação com a pesagem, considerada como método padrão, por meio da qual foi calculada a umidade volumétrica correspondente.

Observa-se que, quando a umidade do solo se encontra na faixa de $0,25$ a $0,31 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ no tratamento A (Figura 8A), o sensor, utilizando a equação do fabricante, apresentou menor sensibilidade à variação da umidade, quando comparado aos dados obtidos por pesagem. Heng et al. (2002) comparando os valores da umidade do solo sob cultivo do tomate utilizando a sonda de nêutrons, a Diviner 2000 e o TDR, identificaram maior erro na Diviner 2000, ocasionado também na faixa de solo com maior umidade. Já no tratamento B ($6,4 \text{ dS m}^{-1}$), nota-se que o erro das leituras foi bem maior (Figura 8B) na faixa de $0,07$ a $0,32 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, indicando possível relação com a maior concentração de sais no solo, ocasionado pela saturação com água de condutividade elétrica $6,4 \text{ dS m}^{-1}$. Segundo Mazahrih et al. (2008) e Böhme et al. (2013) solos com alto teor de umidade, matéria orgânica e sais, podem ocasionar erros significantes em sondas que utilizam a reflectometria no domínio da frequência (FDR) na determinação da umidade presente no solo.

Figura 7. Curvas de secagem do solo saturado com águas de diferentes salinidades, condutividade elétrica de $0,24 \text{ dS m}^{-1}$ (A) e $6,4 \text{ dS m}^{-1}$ (B), em função das leituras da sonda Diviner 2000 com a calibração do fabricante e respectiva umidade gravimétrica, convertida em volumétrica.



A inclinação das curvas geradas pelas pesagens, mostram claramente a perda de umidade nas suas primeiras leituras nos dois tratamentos, enquanto as curvas oriundas da sonda Diviner 2000 no tratamento A ($0,24 \text{ dS m}^{-1}$) subestimou a umidade do solo na faixa de $0,25$ a $0,31 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ aumentando a sensibilidade à medida que o conteúdo de água no solo diminuía (Figura 8A). No entanto, no tratamento B houve redução da sensibilidade na faixa entre $0,20$ e $0,28 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, e superestimativa da umidade do solo na faixa de $0,07$ a $0,32 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ (Figura 8B).

Contudo, o comportamento da curva de secagem com base na umidade volumétrica

estimada pela sonda, depois de ser corrigido com a calibração específica, apresentou valores próximos aos medidos no tratamento B (Figura 8B). Para os valores estimados com a equação de calibração no tratamento A (Figura 8A), os dados não se aproximaram da reta 1:1 (Figura 9A), tal fato pode ser comprovado, através dos resultados dos índices estatísticos ao se comparar os dados com e sem a utilização da equação de calibração específica. Portanto, pode-se afirmar que a sonda Diviner 2000 no tratamento A, não precisa ser calibrada, pois, os índices indicadores de exatidão e precisão, não se distinguiram entre os valores medidos e estimados, principalmente quando o solo estiver numa faixa de umidade inferior a $0,25 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$. No tratamento B, por possuir uma maior concentração de sais solúveis na água, a qual ocasiona instabilidade na sonda Diviner 2000, quando o solo se encontra numa faixa de $0,07$ a $0,32 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ precisa ser calibrado, a fim de obter valores de umidade volumétrica mais exatos, principalmente quando o mesmo for utilizado em manejo de irrigação, com águas consideradas moderadamente salobras ou superior.

As equações de calibração para o solo foram realizadas de acordo com cada tratamento, obtidas por meio da correlação do conteúdo volumétrico de água no solo medido por meio das pesagens e estimado pela sonda Diviner 2000. A melhor equação de regressão foi escolhida de acordo com o coeficiente de determinação (R^2) mais alto, assim, ambos os tratamentos se ajustaram melhor para um modelo linear, equações 17 e 18, para os tratamentos A e B, respectivamente.

$$\theta = 1,0680 \times \theta_{\text{Diviner 2000}} + 0,0005 \quad R^2 = 0,98 \quad (17)$$

$$\theta = 0,7462 \times \theta_{\text{Diviner 2000}} + 0,0073 \quad R^2 = 0,96 \quad (18)$$

Em que:

θ – conteúdo volumétrico de água corrigido, $\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$,

$\theta_{\text{Diviner 2000}}$ – conteúdo volumétrico de água estimado pela sonda Diviner, $\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$, com a calibração do fabricante.

As equações propostas neste estudo apresentaram coeficiente de determinação (R^2) com valores de 0,98 e 0,96, para os tratamentos A e B, respectivamente. Com isto, grande parte da variabilidade dos dados pode ser explicada pelos modelos, permitindo inferir que os coeficientes de determinação (R^2) das curvas de calibração representaram ótimo desempenho.

Após a calibração da sonda Diviner 2000, a umidade volumétrica do solo foi corrigida com a equação de calibração. Os resultados obtidos com a equação específica, não se

aproximaram da reta 1:1 no tratamento A (Figura 9A) quando comparado com os dados obtidos por meio da calibração proposta pelo fabricante, subestimando a umidade do solo acima de $0,26 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$. Para o tratamento B ($6,4 \text{ dS m}^{-1}$), o conteúdo volumétrico de água, aproximou-se aos valores medidos, com pode ser observado na figura 9B, com a aproximação da reta 1:1. A calibração promoveu a aproximação entre os valores medidos e estimados aumentando a sensibilidade da sonda, no tratamento B, ainda na figura 9B, é observado que a baixa sensibilidade da sonda está diretamente relacionada com o aumento de sais presentes na água aplicada.

Figura 8. Curvas de secagem do solo saturado com águas de diferentes salinidades, condutividade elétrica de $0,24 \text{ dS m}^{-1}$ (A) e $6,4 \text{ dS m}^{-1}$ (B) em função das leituras da sonda Diviner 2000 com a calibração específica para o solo em estudo e respectiva umidade gravimétrica, convertida em volumétrica.

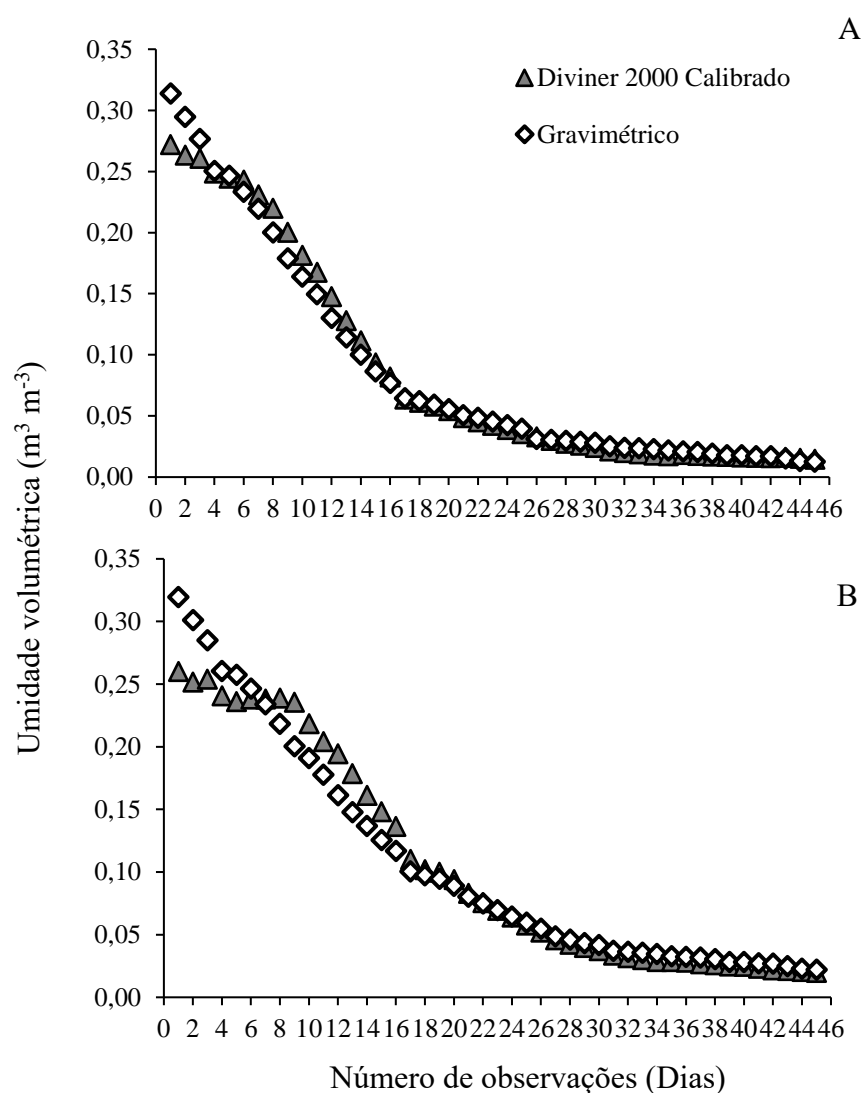
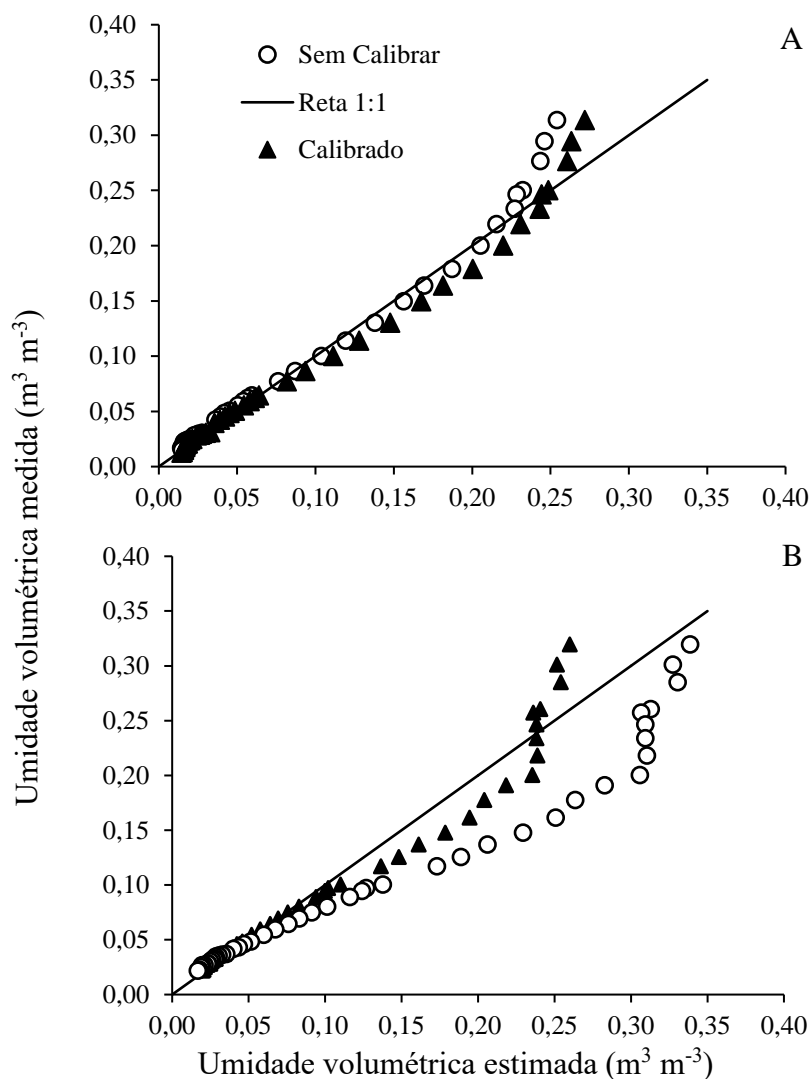


Figura 9. Umidade volumétrica do solo estimada pela sonda Diviner 2000, antes e depois da aplicação da equação específica de calibração, e sua relação com a umidade gravimétrica, convertida em volumétrica, considerando os tratamentos com águas de diferentes salinidades, condutividade elétrica de 0,24 dS m⁻¹ (A) e 6,4 dS m⁻¹ (B).



Groves & Rose (2004) encontraram valores similares, usando a sonda Diviner 2000 na determinação da umidade do solo em diferentes perfis, com R² variando entre 0,93 e 0,97. Haberland et al. (2015) em estudos com calibração da Diviner 2000 com monitoramento em tempo real, concluíram que a sonda é altamente sensível à variação de água no solo, principalmente nos primeiros 0,4 m, obtendo R² superior a 0,91, coeficiente menor ao encontrado neste trabalho, nos dois tratamentos.

Baumhardt, Lascano & Evett (2000) estudando os efeitos do tipo do solo, temperatura e salinidade (1,3 e 11,3 dS m⁻¹) na calibração de sondas de capacitância TDR e sondas de capacitância multisensor (MCAP), observaram resultados semelhantes aos deste trabalho

quanto às equações de calibração em função da salinidade com R^2 de 0,987. Em contrapartida, Thompson et al. (2010) ao analisarem os efeitos da salinidade do solo no conteúdo volumétrico de água do solo medido via sensor de capacitância EnviroSCAN, obtiveram equações de calibração com R^2 entre 0,82 e 0,93, inferiores aos deste estudo.

Os valores estimados pelo sensor Diviner 2000, depois da calibração, apresentaram ótima correlação quando comparados aos dados obtidos por meio do método padrão (gravimétrico) obtido por pesagens. Silva Junior et al. (2013) avaliaram a sonda de capacitância Profile Probe PR2/6 na determinação de umidade em Latossolo Vermelho distrófico na camada de 0 a 10 cm, comparando os dados obtidos pelo sensor com o método gravimétrico, obtiveram valor de ajuste de R^2 de 0,88, valor menor ao encontrado no solo em estudo, tal fato pode estar relacionado com os altos teores de óxido de ferro presente neste tipo de solo, implicando assim na redução da precisão. Deve-se ressaltar ainda que o excesso de Na inibe a absorção de nutrientes, como o Ca, e solos com pH elevado têm a disponibilidade de muitos micronutrientes reduzida, logo, solos salinizados tendem a ter deficiência em ferro (Fe^{+2}) (MUNNS & TERMAAT, 1986; RIBEIRO, FREIRE & MONTENEGRO, RIBEIRO 2003; VIANA et al., 2004; FARIAS et al., 2009; SILVA et al., 2009)

Vários estudos abordam a importância da calibração de sensores de umidade em solos irrigados com águas não salobras, como Souza et al. (2013) estudando solos com diferentes classes texturais (média e argilosa), propuseram equações com valores de coeficiente de determinação acima de 0,91, utilizando a sonda FDR (Diviner 2000). Miranda et al. (2007) obtiveram equações de calibração lineares com $R^2 = 0,98$ e $R^2 = 0,94$, em estudo com sensor capacitivo ECH₂O em dois tipos de solos arenosos (Neossolo Quartzarênico e Cambissolo) sem a presença de sais. Nesta pesquisa, os dados da umidade do solo foram corrigidos usando a equação do modelo linear para o solo Espodossolo Humilúvico em ambos os tratamentos, com salinidade da água de 0,24 dS m⁻¹ (A) e 6,4 dS m⁻¹ (B), e assim, pode-se concluir que os dados de umidade volumétrica estimados pelo sensor, melhoraram a precisão das leituras, aproximando-se dos valores medidos, reforçando a necessidade da calibração em sensores capacitivos para cada tipo de solo específico, de tal forma que se possa otimizar as medições.

Os valores da raiz quadrada do erro quadrático médio (RMSE) (Tabela 6), que expressa a acurácia dos resultados e apresenta o erro nas mesmas dimensões da variável analisada, observa-se que o RMSE apresenta exatidão razoável, com valores variando entre 0,0435 e 0,0111.

O índice de exatidão de Willmott (d) indica o afastamento dos valores observados, em

relação aos estimados pelo modelo padrão, com valores variando de zero a 1, para nenhuma a perfeita concordância. Neste experimento os valores deste índice apresentam alta concordância (Tabela 6) com valores variando entre 0,95 e 0,99 caracterizando um desempenho ótimo conforme classificação proposta por Camargo & Sentelhas (1997).

Similarmente ao índice de exatidão de Willmott (d), o coeficiente de correlação de Pearson (r), o índice de desempenho (c) e a eficiência do modelo (EF) apresentaram desempenho “ótimo”, com valores superiores a 0,93, destacando-se o índice de coeficiente de correlação de Pearson (r) com valores iguais a 1.

Estudos recentes com o uso de sensores capacitivos, mostraram resultados semelhantes quanto aos índices estatísticos analisados, em termos de precisão e exatidão, corroborando assim, a necessidade de fazer uma calibração específica para cada tipo de solo em virtude da sua composição física e química (SILVA, 2016; RESENDE et al., 2017; JIMÉNEZ et al., 2019).

Tabela 6. Índices estatísticos para o sensor Diviner 2000 antes e depois da calibração para os tratamentos A e B.

Tratamentos	RMSE m³ m⁻³	Willmott (d)	Pearson (r)	Desempenho (c)	EF	Classificação (c)
0,24 dS m⁻¹ Sem calibrar	0,0138	0,9930	1	0,9930	0,9941	Ótimo
0,24 dS m⁻¹ Calibrado	0,0111	0,9960	1	0,9960	0,9999	Ótimo
6,4 dS m⁻¹ Sem calibrar	0,0435	0,9547	1	0,9547	0,9347	Ótimo
6,4 dS m⁻¹ Calibrado	0,0182	0,9889	1	0,9889	1,0000	Ótimo

Observa-se que a calibração ajustada através do modelo linear, permitiu a redução nos valores do RMSE no tratamento B, ao qual quantifica a dispersão dos valores medidos e estimados em torno da reta 1:1 (Figura 9B) indicando assim que valores próximos de zero tem ajuste perfeito entre os dados medidos, dessa forma, pode-se afirmar que a calibração diminuiu o erro da sonda quando calibrada. Baumhardt, Lascano & Evett (2000) ao calibrarem a sonda de capacitância multisensor (MCAP) e obter a precisão de medição para dois tipos de solo e duas salinidades da água (1,3 e 11,3 dS m⁻¹), encontraram valores de RMSE semelhantes aos obtidos neste estudo, com valores variando entre 0,009 e 0.147 m³ m⁻³.

Resultados semelhantes foram encontrados por Tedeschi et al. (2014) em estudo no noroeste da China, calibrando a sonda Diviner 2000, em solo de classe textural franca sob solução salobra (1,25, 3,12, 7,81 dS m⁻¹) e água da torneira, obtiveram valores de RMSE sem

a calibração específica de 0,171 - 0,048 m³ m⁻³ respectivamente, sendo superior a este trabalho, e concluíram que há necessidade do uso da calibração específica do solo.

A validação do modelo linear foi comprovada pelo índice de Willmott (1981) como indicador de exatidão, resultando valores de $d = 0,9960$ para o tratamento A e $d = 0,9889$ para B. Os valores foram superiores aos encontrados nos tratamentos sem a calibração específica, aproximando-se de 1, considerando-os como tendo ótima concordância entre os valores medidos nas pesagens e os estimados pelo sensor, validando assim as diferenças aditivas e proporcionais entre as médias e suas variâncias. Francisco et al. (2014) avaliaram a acurácia e a calibração da sonda Diviner 2000 numa profundidade de 0,0 a 0,60 m em dois tipos de solos (Nitossolo Vermelho distrófico e Latossolo Vermelho Amarelo) e obtiveram valores do índice de Willmott de 0,826 e 0,756, respectivamente, valores muito inferiores aos encontrados neste trabalho.

O coeficiente de correlação de Pearson (r) foi utilizado para medir o grau da correlação e sua direção, ao qual assumiu valores iguais a 1 em ambos os tratamentos, o que significou correlação perfeita e positiva entre as duas variáveis com e sem a calibração. Os valores medidos e estimados pela sonda depois de ser calibrado através da equação do modelo linear, foram validados através dos coeficientes de desempenho (c), aos quais obtiveram valores de $c = 0,9960$ no tratamento A e 0,9889 em B, classificados como ótimos pelo critério de Camargo & Sentelhas (1997).

Os ajustes entre os valores medidos versus estimados, foram avaliados também pela eficiência do modelo (EF) de Legates & McCabe (1999) que tem como função, identificar a opção de ajuste mais adequada entre a equação do fabricante e a específica. Apesar do tratamento A retornar uma pequena melhora quando calibrado, o EF fica em torno de 0,99 para ambos resultados, independente de calibração. No tratamento B, sem calibração específica, a EF obteve um valor de 0,93, e quando corrigido com a equação linear proposta, alcançou valor igual a 1,00 isso representa uma melhora significativa de 7% nos resultados.

Contudo, os valores dos índices estatísticos referentes aos dados de umidade do solo, obtidos pelo método padrão e pela sonda Diviner 2000 sem a calibração, não apresentaram diferenças significativas em seus valores medidos e estimados no tratamento A, quando considerados os indicadores estatísticos de precisão e exatidão (Tabela 6). Esses resultados podem estar relacionados com a calibração do fabricante, o qual utilizou em sua calibração padrão, a combinação de solos com textura arenosa, muito semelhante a utilizada neste trabalho.

5.2 Experimento II – Performance do manejo via solo e via clima

5.2.1 Análise biométrica e de produção de biomassa da alface

A análise de variância mostrou que não houve efeito, nas variáveis biométricas da alface, da interação entre salinidade da água de irrigação (S) e o manejo de irrigação (I) a 1% de probabilidade pelo teste F (Tabela 7). Para o fator isolado Salinidade houve efeito significativo em todas as variáveis analisadas a 1% de probabilidade com exceção do comprimento da raiz (CR) que obteve efeito significativo a 5% de probabilidade. A fonte de variação Manejo de Irrigação, isoladamente, causou efeito significativo apenas para as variáveis diâmetro do caule (DCA) e comprimento da raiz (CR) (Tabela 7).

Xu & Mou (2015) avaliaram os efeitos da salinidade da água de irrigação (2,4 e 8,4 dS m⁻¹) sobre diferentes cultivares de alface como a lisa, romana e selvagem, em comparação com plantas cultivadas como testemunhas, constatando efeito deletério sobre a maioria das cultivares analisadas. Observou-se redução percentual de 50% nas plantas estressadas com sal em comparação com as plantas cultivadas como testemunhas.

Tabela 7. Resumo da análise de variância das variáveis biométricas: número de folhas (NF); diâmetro da cabeça (DC); diâmetro do caule (DCA); altura de planta (AP); comprimento da raiz (CR); massa fresca da parte aérea (MFPA) e massa seca da parte aérea (MSPA) da alface crespa em função da salinidade e manejo de irrigação.

Fontes de		Quadrados Médios						
Varição	GL	NF	DC	DCA	AP	CR	MFPA	MSPA
Manejo de	1	0,80ns	19,72ns	7,47*	0,008ns	29,76*	95,09ns	0,74ns
Irrigação (I)								
Salinidade	1	180,00**	114,62**	36,69**	82,41**	31,25*	2007,80**	15,68**
(S)								
I x S	1	5,00ns	16,05ns	1,99ns	0,12ns	12,16ns	81,24ns	0,53ns
Erro	16	2,20	4,39	0,50ns	0,83	3,71	35,98	0,264
CV (%)		12,90	16,02	10,11	9,51	15,70	33,66	28,35

*, ** e ns – significativos a 5%, 1% e não significativo, respectivamente, pelo teste F

De um modo geral, os tratamentos via clima e via solo não diferiram entre si significativo a 5% de probabilidade, com a exceção das variáveis diâmetro do caule (DCA) e comprimento da raiz (CR) (Tabela 8). Quanto ao efeito da água salobra, constatou-se diferenças entre os tratamentos TA - água não salobra e TB - água salobra, para todas as variáveis biométricas analisadas, registrando-se maiores valores para plantas submetidas ao

tratamento água não salobra.

Os estudos desenvolvidos por Oliveira et al. (2011) destoam dos resultados encontrados neste trabalho quanto às variáveis biométricas indicadoras do efeito da salinidade da água. Os autores avaliaram o desempenho de cultivares de alface (*Lactuca sativa L.*), irrigadas com água de diferentes níveis de salinidade (S1=0,5; S2=1,5; S3=2,5; S4=3,5 e S5=4,5 dS m⁻¹) e constataram diferenças entre os tratamentos analisados, além de ser afetada significativamente a 1% de probabilidade pela salinidade em todas as cultivares analisadas.

Tabela 8. Número de folhas (NF); diâmetro da cabeça (DC); diâmetro do caule (DCA); altura de planta (AP); comprimento da raiz (CR); massa fresca da parte aérea (MFPA) e massa seca da parte aérea (MSPA) da alface crespa em função da salinidade e manejo de irrigação.

Tratamentos	Variáveis Biométricas						
	NF	DC	AP	CR	DCA	MFPA	MSPA
		----- cm -----			--mm --	---- g planta ⁻¹ ----	
Clima	11a	12,09a	9,65a	11,52b	6,42b	15,64a	1,62a
Solo	12a	14,08a	9,61a	13,49a	7,64a	20,01a	2,01a
TA - água não salobra	15a	15,48a	11,66a	13,52a	8,39a	27,84a	2,70a
TB - água salobra	9b	10,69b	7,60b	11,02b	5,68b	7,80b	0,93b

Médias seguidas pela mesma letra na coluna, para os dados de Clima versus Solo e TA versus TB, não diferem entre si pelo teste Tukey (p<0,05).

A salinidade limiar da alface é de 2,2 dS m⁻¹ e, portanto, observou-se uma perda significativa no número de folhas, quando se confronta com o tratamento A em que se utilizou água com condutividade elétrica de 0,24 dS m⁻¹ com o tratamento B de 6,4 dS m⁻¹ (Tabela 8).

É possível observar este comportamento para a variável diâmetro da cabeça, ao qual houve um efeito deletério nas plantas da alface cultivada sob irrigação com água salobra (TB) (10,69 cm) em comparação com água não salobra (TA) (15,48 cm) (Tabela 8). Oliveira et al. (2011) ao avaliar o desempenho de cinco cultivares de alface (Mônica SF31, Grandes Lagos 659, Veneranda, Folha Roxa Quatro Estações e Stella) e cinco níveis de salinidade de água (S1=0,5; S2=1,5; S3=2,5; S4=3,5 e S5=4,5 dS m⁻¹), obtiveram resultados semelhantes aos deste trabalho. Os autores observaram que as variáveis: número de folhas, área foliar e a fitomassa da parte aérea foram reduzidas linearmente com o aumento da salinidade.

Da mesma forma, a variável diâmetro do caule também apontou maiores valores nas plantas da alface crespa cultivada sob irrigação com água não salobra (TA) (8,39 mm) em relação água salobra (TB) (5,68 mm). Similar comportamento foi observado na análise dos

dados da variável altura da planta (Tabela 8), em que a altura da planta da alface crespa cultivada sob irrigação com água salobra (TB) (7,60 cm) foi inferior àquelas irrigadas com água não salobra (TA) (11,66 cm).

Silva et al. (2017) encontraram resultados que corroboram os encontrados neste estudo, os autores obtiveram valores de altura da planta decrescentes em função da salinidade da água de irrigação (16 dSm^{-1}) na produção da alface crespa, e constataram uma perda de 54,65% quando comparado com a planta controle, concluindo assim, que os níveis crescentes da salinidade na água de irrigação, afetaram significativamente o desenvolvimento das plantas. Dias et al. (2005) estudando a produção da alface sob diferentes níveis de salinidade do solo, encontraram valores semelhantes em relação à altura da planta (9,2 cm) quando irrigado com água de salinidade igual a 7 dS m^{-1} .

Com relação a massa fresca da parte aérea (Tabela 8), os dados apresentam redução nas plantas submetidas a irrigação com água salobra (TB) (7,80 g) em relação água não salobra (TA) (27,84 g). A redução da massa fresca da parte aérea encontrada nesse estudo está de acordo com outras pesquisas realizadas. Oliveira et al. (2011) encontraram valores semelhantes, quando submetem as alfaces a diferentes níveis de salinidade na água de irrigação. Silva (2014) avaliando o desempenho produtivo e qualitativo de cultivares de alface, em diferentes épocas de plantio, obteve uma média da massa fresca da parte aérea no cultivo da alface crespa semelhante ao encontrado nesta pesquisa. O fato de os tratamentos sem o uso da água salobra proporcionar menor massa fresca, em comparação com os dados da literatura, pode estar associada às elevadas temperaturas e a alta incidência solar. Para Oliari et al. (2010) tais fatos estão relacionados a essas condições climáticas mencionadas, que aceleram o metabolismo das plantas e seus processos químicos. Viana et al. (2001) estudaram o efeito da salinidade na água de irrigação na produção da alface cv. Elba e, constataram que, a salinidade influenciou negativamente alguns parâmetros da planta, como a diminuição da fitomassa verde e seca da parte aérea, número de folhas, diâmetro da cabeça e fitomassa seca de raízes.

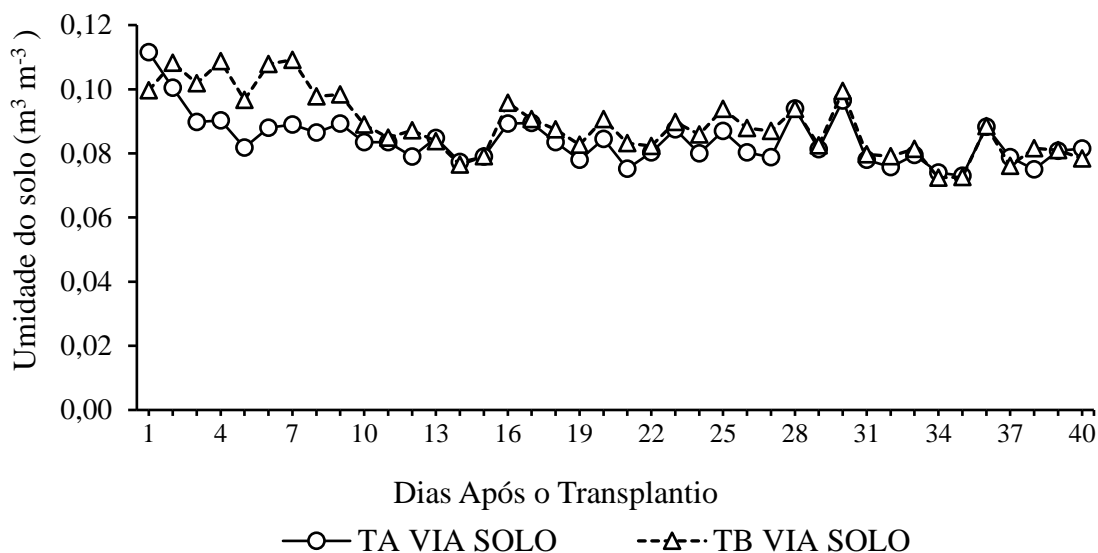
A massa seca da parte aérea também foi afetada pelo efeito da irrigação com água salobra (0,93 g por planta), em relação ao manejo com lâmina de irrigação com água não salobra (2,70 g), representando um decréscimo superior a 65%. Para Ayers & Westcot (1999) a elevada concentração de sais no manejo da cultura da alface, ocasiona problemas ao desenvolvimento da planta, retardando o seu crescimento em termos de altura, redução da parte aérea e diâmetro do caule.

Taiz et al. (2017) relatam que o excesso de sais ocasionados pelos meios de irrigação no cultivo da alface, modifica as atividades metabólicas das células, reduzindo assim, o alongamento celular, e conseqüentemente a elasticidade da parede celular, limitando o crescimento da planta, causando assim, a redução da massa fresca e seca. Para Munns (2005) os efeitos ocasionados nas culturas pela salinidade estão ligados a diminuição da taxa fotossintética, que se relaciona ao acúmulo de íons tóxicos, favorecendo a inibição da expansão foliar, reduzindo assim, o processo fotossintético da planta.

Contudo, as plantas da alface não se enquadraram nos padrões comerciais para venda em todos os tratamentos, considerando a massa fresca. Segundo a Hortibrasil (2013), as alfaces são divididas em 20 classes, com base na massa fresca, variando da classe cinco, com alfaces de até 100 gramas, até a classe 100, com alfaces pesando mais de 1000 gramas, separadas em intervalos de 50 gramas.

Os resultados dessa pesquisa podem estar diretamente relacionados com os fatores climáticos da região, que influenciaram negativamente a expressão do potencial produtivo da cultivar, em virtude da temperatura média, no decorrer do experimento, ser superior a 27 °C e 70% de umidade relativa (Figura 10). Momenté et al. (2007) relatam que, as condições ideais para o cultivo de alface envolvem temperaturas amenas. Para Silva et al. (2000) as altas temperaturas ao longo do cultivo da alface, afeta significativamente o peso, qualidade, arquitetura e conseqüentemente sua produtividade. Nesse sentido, Rodrigues et al. (2008) salientam que temperaturas acima dos 22 °C estimulam o pendoamento precoce. Para Macieira (2011) fatores negativos à alface, vão além da temperatura, mas também são afetados pelo fotoperíodo, maior umidade relativa e indisponibilidade hídrica. Filgueira (2000) relata que esses fatores resultam no menor rendimento da cultivar, proporcionando menor número de folhas, cabeças pequenas, e favorecem o pendoamento precoce, tornando assim, as folhas leitosas e amargas.

Figura 10. Umidade do solo ao longo do desenvolvimento da cultura da alface crespa, submetida a água salobra (TB) e não salobra (TA) determinadas pela sonda Diviner 2000 (VIA SOLO).

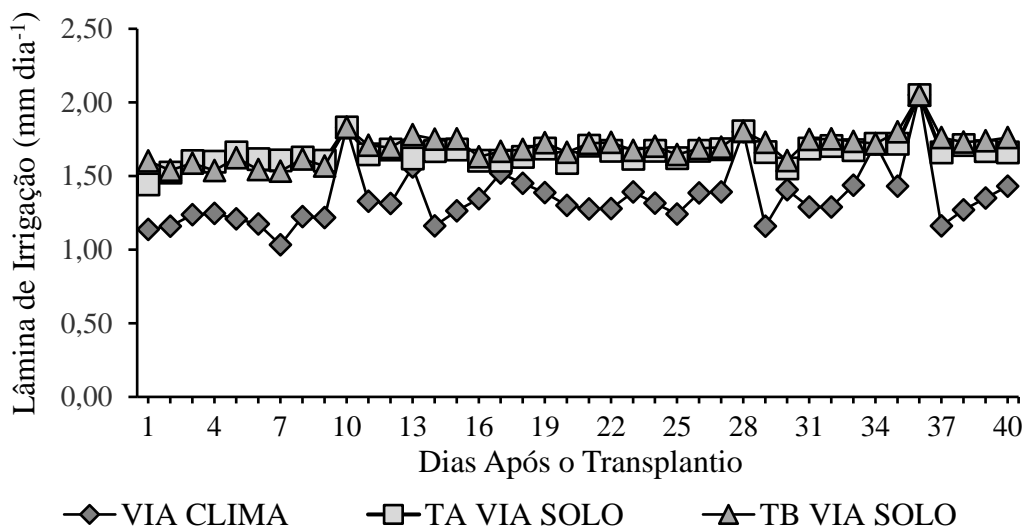


5.2.2 Balanço de água no solo

No decorrer do desenvolvimento da alface até a colheita no tratamento em que a lâmina foi determinada via solo, com base nas leituras da sonda Diviner 2000 (TA, não salobra e TB salobra VIA SOLO), os tratamentos apresentaram resultados similar. No TB VIA SOLO a lâmina de irrigação foi aproximadamente 1,68% maior que no tratamento TA VIA SOLO, totalizando até o final do ciclo, um consumo de 67,81 mm e 66,48 mm, respectivamente.

Para os tratamentos em que a lâmina foi determinada via clima pelo método de Penman-Monteith FAO, a irrigação diária variou ao longo do desenvolvimento da alface, em decorrência das mudanças climáticas, obtendo até o final do ciclo uma diferença média de 19,2% menor em relação ao tratamento TA VIA SOLO, em termos de consumo total, consumiu 54,16 mm de água utilizada na irrigação por planta, como demonstrando na figura 11.

Figura 11. Lâminas de irrigação diárias aplicadas ao longo do experimento, com água não salobra (TA) e salobra (TB), estimadas pelo método de Penman-Monteith FAO (VIA CLIMA) e pela sonda Diviner 2000 (VIA SOLO).



A lâmina aplicada via sonda Diviner 2000 foi aproximadamente 18% maior que a lâmina bruta aplicada via clima no decorrer do cultivo da alface. Consequentemente, observou-se discreta melhora nos índices quantitativos da cultivar sob as condições do tratamento TA VIA SOLO, como maior número de folhas totais, maior diâmetro da cabeça, maior diâmetro do caule, maior comprimento da raiz, e maior massa fresca e seca da parte aérea da planta.

Considerando que o manejo da irrigação com base na ETo diária calculada via equação de Penman-Montieth FAO 56 é uma referência quanto à estimativa da demanda hídrica da cultura, pode-se afirmar que a sonda Diviner 2000 foi bastante eficiente na determinação da umidade do solo, para fins de irrigação. Esta afirmativa se fundamenta no fato de que, entre as sete variáveis biométricas avaliadas neste estudo, apenas o CR e o DCA da alface diferiram entre si, quando se comparam os resultados médios obtidos nos tratamentos via clima e via solo (Tabela 8). Vale ressaltar que, a lâmina aplicada sob manejo via solo foi maior que no tratamento via clima (Figura 11), todavia, os parâmetros biométricos, de um modo geral, não diferiram (Tabela 8), indicando que, apesar do maior consumo de água, a cultura não elevou sua produção, tão pouco melhorou os aspectos qualitativos. Com isto, pode-se afirmar que, após a calibração, a estimativa da lâmina de irrigação via Diviner 2000 se equipara ao método padrão via Clima.

6 CONCLUSÕES

A calibração da sonda Diviner 2000 foi realizada de forma simples e satisfatória, apresentando melhora na determinação da umidade do solo classificado como Espodossolo Humilúvico, especialmente sob irrigação com água salobra. Sob tais condições, a equação de calibração, proposta neste estudo, melhorou significativamente os índices de precisão e exatidão, confirmando a necessidade da calibração específica para esse tipo de solo quando irrigado com águas de elevada concentração de sais.

Por outro lado, no solo Espodossolo Humilúvico irrigado com água não salobra, a equação de calibração específica não resultou em significativas melhoras confirmadas pelos indicadores de precisão e exatidão, não havendo assim, necessidade de calibração da sonda Diviner 2000 sob essas condições de solo-água.

A irrigação diária com água de condutividade elétrica de $6,4 \text{ dS m}^{-1}$ (salobra) exerce influência negativa no desenvolvimento da cultura da alface independentemente do método utilizado para a determinação, Penman-Monteith FAO ou sonda Diviner 2000.

O uso de água não salobra ($CE=0,24 \text{ dS m}^{-1}$) na irrigação da alface crespa, seja com lâmina determinada pelo método via clima (Penman-Monteith FAO) seja via solo (sonda Diviner 2000), proporcionou maior desenvolvimento das plantas, em termos de resposta ao crescimento e rendimento vegetal, quando comparado ao tratamento com água salobra.

Não houve efeito significativo da interação salinidade da água de irrigação e manejo de irrigação. O manejo via solo apresentou um melhor desempenho para os índices estudados quando comparado com o manejo via clima.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABREU, I. M. D. O.; JUNQUEIRA, A. M. R.; PEIXOTO, J. R.; OLIVEIRA, S. A. D. Qualidade microbiológica e produtividade de alface sob adubação química e orgânica. *Food Science and Technology*, v. 30, n. 1, p. 108-118, 2010. DOI: 10.1590/S0101-20612010000500018
- ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. Crop evapotranspiration-Guidelines for computing crop water requirements-FAO Irrigation and drainage paper 56. Fao, Rome, v. 300, n. 9, p. D05109, 1998.
- ALMEIDA, B. G.; VIANA, J. H. M.; TEIXEIRA, W. G.; DONAGEMMA, G. K. Densidade do solo. In: TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. Manual de métodos de análise de solo. 3. ed. rev. ampl. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, p. 65-75, 2017.
- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; DE MORAES, G.; LEONARDO, J.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, v. 22, n. 6, p. 711-728. 2013. DOI: 10.1127/0941-2948/2013/0507
- ALVES, M. S.; SOARES, T. M.; SILVA, L. T.; FERNANDES, J. P.; OLIVEIRA, M. L.; PAZ, V. P. Estratégias de uso de água salobra na produção de alface em hidroponia NFT. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 15, n. 5, p. 491-498. 2011. DOI: 10.1590/S1415-43662011000500009
- ANA- Agência Nacional de Águas. Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2017: Relatório Pleno/Agência Nacional de Águas. Brasília: ANA, p. 53-60, 2017.
- ANDRADE JUNIOR, A. S.; SILVA, C. R.; DANIEL, R. Calibração de um sensor capacitivo de umidade em Latossolo Amarelo na microrregião do Litoral Piauiense. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*. Belém - PA, v. 2, n. 4, p. 303-307, 2007.
- ARAÚJO PRIMO, J. T. D.; DA SILVA, T. G. F.; SIQUEIRA, S. M.; DE MOURA, M. S. B.; DE SOUZA, L. S. B. Calibração de sondas capacitivas, funções físico-hídricas e variação do armazenamento de água em um argissolo cultivado com palma forrageira. *Revista Ceres*, v. 62, n. 1, p. 20-29, 2015. DOI: 10.1590/0034-737X201562010003
- AYERS, R. S.; WESTCOT, D. W. A qualidade da água na agricultura. 2ª ed. Campina Grande: UFPB. Estudos da FAO Irrigação e Drenagem, 29 revisado. 1999, 153p.
- BARBOSA, M. A. G. B.; FIQUEREDO, V. B.; MEDEIROS, J. F.; NASCIMENTO, I. B. CARVALHO, B. L.; PALÁCIO, V. C. Calibração de sensor FDR ECH2O para determinação da umidade em dois tipos de solos. In: Inovagri International Meeting e IV Winotec: Fortaleza, 2012.
- BASLAM, M., GARMENDIA, I., GOICOECHEA, N. Arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) improved growth and nutritional quality of greenhouse-grown lettuce. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 59, n. 10, p. 5504–5515, 2011. DOI: 10.1021 / jf200501c
- BAUDER, J. W.; HANKS, R.J.; JAMES, D. W. Crop production function determinations as influenced by irrigation and nitrogen fertilization using a continuous variable design. *Soil*

Science Society of America Journal. V. 39, v. 1187-1192. 1975.

BAUMHARDT, R. L.; LASCANO, R. J.; EVETT, S. R. Soil material, temperature, and salinity effects on calibration of multisensor capacitance probes. *Soil Science Society of America Journal*. v. 64, n. 1, p. 1940–1946. DOI: 10.2136/sssaj2000.6461940x

BERTI, A.; TARDIVO, G.; CHIAUDANI, A.; RECH, F.; BORIN, M. Assessing reference evapotranspiration by the Hargreaves method in north-eastern Italy. *Agricultural Water Management*, v. 140, p. 20-25, 2014. DOI: 10.1016/j.agwat.2014.03.015

BLACK, C. A (1966) Crop yields in relation to water supply and soil fertility. In: PIERRE W. H.; KIRKHAM, C.; PESEK, J.; SHAW, R. (eds) *Plant environment and efficient water use*. Madison, WI, ASA, p. 77-201.

BÖHME, B.; MATHIAS BECKER, M.; DIEKKRÜGER, B. Calibrating a FDR sensor for soil moisture monitoring in a wetland in Central Kenya. *Physics and Chemistry of the Earth*, v. 66, p. 101-111, 2013. DOI: 10.1016/j.pce.2013.09.004

BORGES, A. C.; MENDIONDO, E. M. Comparação entre equações empíricas para estimativa da evapotranspiração de referência na Bacia do Rio Jacupiranga. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 11, n. 3, p. 293-300, 2007.

BRULAND, G. L.; RICHARDSON, C. J. Spatial variability of soil properties in created, restored, and paired natural wetlands. *Soil Science Society of America Journal*, v. 69, n. 1, p. 273-284, 2005. DOI: 10.2136/sssaj2005.0273a

CAMARGO, A. P.; SENTELHAS P. C. Avaliação do desempenho de diferentes métodos de estimativas da evapotranspiração potencial no Estado de São Paulo, Brasil. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, v. 5, n. 1, p. 89-97, 1997.

CARNEIRO, T. A.; GUISELINI, C.; PANDORFI, H.; LOPES NETO, J. P.; LOGES, V.; SOUZA, R. F. L. Condicionamento térmico primário de instalações rurais por meio de diferentes tipos de cobertura. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.19, n.11, p.1086–1092, 2015. DOI: 10.1590/1807-1929/agriambi.v19n11p1086-1092

CARVALHO, V. S. D; RIBEIRO, M. R.; DE SOUZA JÚNIOR, V. S.; BRILHANTE, S. A. Caracterização de Espodosolos dos estados da Paraíba e do Pernambuco, nordeste do Brasil. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 37, n. 6, p. 1454-1463, 2013. DOI: 10.1590/S0100-06832013000600003

CAVALCANTE JUNIOR, E. G.; DE OLIVEIRA, A. D.; ALMEIDA, B. D.; ESPÍNOLA SOBRINHO, J. Métodos de estimativa da evapotranspiração de referência para as condições do semiárido nordestino. *Ciências Agrárias*, v. 32, n. 1, p. 1699-1708, 2011. DOI: 10.5433/1679-0359.2011v32Suplp1699

CAVALCANTE, F. J. A; SANTOS, J. C. P; LEITE, J. P; SILVA, M. C. L; FREIRE. F. J; SILVA, D. J; SOUSA, A. R; MESSIAS, A. S; FARIA, C. M. B; BURGOS, N; JÚNIOR, M. A. L; GOMES, R. V; CAVALCANTE. A. C; LIMA, J. F. W. F. Recomendação de Adubação para o Estado de Pernambuco: 2ª Aproximação. In: SOUSA, A. R; SILVA, M. C; SILVA, A. B. Instituto Agrônômico de Pernambuco, 112p., 2008.

CHANZY, A.; CHADOEUF, J.; GAUDU, J. C.; MOHRATH, D.; RICHARD, G.; BRUCKLER, L. Soil moisture monitoring at the field scale using automatic capacitance probes. *European Journal of Soil Science*, v. 49, n. 4, p. 637-648, 1998. DOI: 10.1046/j.1365-2389.1998.4940637.x

COELHO, E. F.; COELHO FILHO, M. A.; OLIVEIRA, S. L. Agricultura irrigada: eficiência de irrigação e de uso de água. *Bahia Agrícola*, v. 7, n. 1, p. 57-60, 2005.

COSTA, J. P. N.; CAVALCANTE JUNIOR, E. G.; MEDEIROS, J. F.; GUEDES, R. A. A. Evapotranspiração e rendimento do milho a diferentes lâminas e salinidade da água de irrigação. *Irriga*, v. 1, n. 2, p. 74-80, 2015. DOI: 10.15809/irriga.2015v1n2p74

COSTA, L. J. G.; BITTAR, S. M. B.; RIBEIRO, M. R.; DE BRITO BARRETO, S. Evolução mineralógica de dois solos de referência do Estado de Pernambuco, Brasil. *Revista de Biologia e Ciências da Terra*, v. 7, n. 1, p. 71-83, 2007.

CRUZ, T. M. L.; TEIXEIRAS, A. S.; CANAFÍSTULA, F. J. F.; SANTOS, C. C.; OLIVEIRA, A. D. S.; DAHER, S. Avaliação de sensor capacitivo para o monitoramento do teor de água do solo. *Engenharia Agrícola, Jaboticabal*, v.30, n.1, fev. 2010.

DEAN, T. J.; BELL, J. P.; BATY, A. J. B. Soil moisture measurement by an improved capacitance technique, Part I. Sensor design and performance. *Journal of Hydrology*, v. 93, n. 1-2, p. 67-78, 1987.

DIAS, N. S.; DUARTE, S. N.; YOSHINAGA, R. T.; TELES FILHO, J. F. Produção de alface sob diferentes níveis de salinidade do solo. *Irriga*, v.10, p.20-29, 2005. DOI: 10.15809/irriga.2005v10n1p20-29

DJAMAN, K.; BALDE, A. B.; SOW, A.; MULLER, B.; IRMAK, S.; N'DIAYE, M. K.; MANNEH, B.; SAITO, K. Evaluation of sixteen reference evapotranspiration methods under Sahelian conditions in the Senegal River valley. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, v. 3, p.139–159, 2015. DOI: 10.1016/j.ejrh.2015.02.002

DONAGEMMA, G. K.; VIANA, J. H. M.; ALMEIDA, B. G. A.; RUIZ, H. A.; KLEIN, V. A.; DECHEN, S. C. F.; FERNANDES, R. B. A. Análise granulométrica. In: TEIXEIRA, P. C. et al. (Eds). *Manual de Métodos de Análise de Solo*. 3 ed. Brasília, DF: EMBRAPA, p. 95-116. 2017.

DURSUN, M; OZDEN, S. A wireless application of drip irrigation automation supported by soil moisture sensors. *Scientific Research and Essays*, v. 6, n. 7, p. 1573-1582, 2011. DOI: 10.5897/SRE10.949

FAO – Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura. *Agricultura Irrigada Sustentável no Brasil: Identificação de Áreas Prioritárias*. Brasília, 2017.

FARES, A. et al. Improved Calibration Functions of Three Capacitance Probes for the Measurement of Soil Moisture in Tropical Soils. *Sensors*, v. 11, n. 5, p. 4858-4874, 2011. DOI: 10.3390/s110504858.

FARES, A.; ALVA, A. K. Soil water components based on capacitance probes in a sandy soil. *Soil Science Society of America Journal*, v. 64, n. 1, p. 311-318, 2000. DOI:

10.2136/sssaj2000.641311x

FARES, A.; BUSS, P.; DALTON, M.; EL-KADI, A.I.; PARSONS, L.R. Dual field calibration of capacitance and neutron soil water sensors in a shrinking-swelling clay soil. *Valdese Zone Journal*, v.4, p.1390-1399, 2004.

FARIAS, S. G. G.; SANTOS, R. S.; FREIRE, A. L. O.; SILVA, R. B. Estresse salino no crescimento inicial e nutrição mineral de gliricídia (*Gliricidia sepium* (Jacq.) Kunth ex Steud) em solução nutritiva. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.33, n.5, p.1499-1505. 2009.

FILGUEIRA, F. A. R. Novo manual de olericultura: agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças. 2. ed. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 412p. 2000.

FRADEN, J. Chemical sensors. In: *Handbook of Modern Sensors*. Springer, New York, NY, p. 569-606, 2010. DOI: 10.1007/978-1-4419-6466-3

FRANSCICO, J. P.; JOSÉ, J. V.; FERNANDES, R. D. M.; DIOTTO, A. V.; MARQUES, P. A. A.; FOLEGATTI, M. V. Acurácia e calibração de sonda de capacitância em um nitossolo vermelho distrofico e em um latossolo vermelho amarelo. II Inovagri Internacional Meeting. 2014. DOI: 10.12702/ii.inovagri.2014-a258

FREITAS, P. S. L.; DALLACORT, R.; BARBIERI, J. D.; BERTONHA, A. Manejo de água. In: BRANDÃO FILHO, J. U. T., FREITAS, P. S. L., BERIAN, L. O. S., GOTO, R. comps. *Hortaliças-fruto*, pp. 163-208. ISBN: 978-65-86383-01-0. 2018. DOI: 10.7476/9786586383010.0007.

FRIZZONE, J. A. Planejamento da irrigação com uso de técnicas de otimização. *Revista Brasileira de Agricultura Irrigada-RBAI*, v. 1, n. 1, p. 24-49, 2007. DOI: 10.7127/RBAI.V1N100107

GALLARDO, M.; JACKSON, L. E.; SCHULBACH, K.; SNYDER, R. L.; THOMPSON, R. B.; WYLAND, L. J. Production and water use in lettuces under variable water supply. *Irrigation Science*, 16(3), 125-137. 1996.

GARCIA, G. O. Alterações químicas de dois solos irrigados com água salina. *Revista Ciência Agronômica*, Fortaleza, v. 39, n. 1, p. 7-18, 2008.

GOCIC, M.; TRAJKOVIC, S. Software for estimating reference evapotranspiration using limited weather data. *Computers and Electronics in Agriculture*, v. 71, n. 2, p. 158-162, 2010. DOI: 10.1016/j.compag.2010.01.003

GOMES, T.M.; BOTREL, T. A.; MODOLO, V. A.; OLIVEIRA, R. F. Aplicação de CO₂ via água de irrigação na cultura da alface. *Horticultura Brasileira*, v. 23, n. 2, p. 316- 319, 2005. DOI: 10.1590/S0102-05362005000200031

GROVES, S. J.; ROSE, S. C. Calibration equations for Diviner 2000 capacitance measurements of volumetric soil water content of six soils. *Soil Use and Management*, v. 20, n. 1, p. 96-97, 2004. DOI: 10.1079/SUM2003229

GUIMARÃES, P. L.; SANTANA, M. A.; OLIVEIRA, I. R.; THOMAZ JÚNIOR, J. C. Proposta de procedimento para calibração de sensores e medidores de umidade do solo (Soil Moisture). In: *Congresso da Qualidade em Metrologia Rede Metrológica do Estado de São*

Paulo–REMES. São Paulo. 2010.

GUIMARÃES, R. F. B.; NASCIMENTO, R.; RAMOS, J. G.; LIMA, S. C.; CARDOSO, J. A. F.; MELO, D. F. Acúmulo de fitomassa de cultivares de alface hidropônica submetidas à salinidade. *Revista Brasileira de Agricultura Irrigada-RBAI*, v. 11, n. 8, p. 2141-2151, 2017. DOI:10.7127/rbai.v11n800701

HABERLAND, J.; GÁLVEZ, R.; KREMER, C.; ZUÑIGA, C.; RUDOLFFI, Y. Accurate soil water content monitoring in real time with appropriate field calibration of the FDR device “Diviner 2000” in a commercial table grape vineyard. *International Journal of Science Environment and Technology*, v. 4, n. 2, p. 273-284, 2015.

HENG, L. K.; CAYCI, G.; KUTUK, C.; ARRILLAGA, J. L.; MOUTONNET, P. Comparison of soil moisture sensors between neutron probe, Diviner 2000 and TDR under tomato crops. In: *Proceedings 17th World Congress of Soil Science.*, 14–21 August, Bangkok, Thailand, pp. 1532-1–1532-9 2002.

HENZ, G. P.; SUINAGA, F. A. Tipos de alface cultivados no Brasil. Embrapa Hortaliças-Comunicado Técnico (INFOTECA-E). 2009.

HORTIBRASIL, 2013. Classificação da alface. Disponível em: <<http://www.hortibrasil.org.br/classificacao/alface/alface.html>>. Acesso em: 22 de Dezembro. 2020.

INOUE, M.; AHMED, B. O.; SAITO, T.; & IRSHAD, M. Comparison of twelve dielectric moisture probes for soil water measurement under saline conditions. *American Journal of Environmental Sciences*, v. 4, n. 4, p. 367-372, 2008

IYENGAR, S. S.; PARAMESHWARAN, N.; PHOHA, V. V.; BALAKRISHNAN, N.; OKOYE, C. D. *Fundamentals of Sensor Network Programming: Applications and Technology*. Edição ilustrada, p. 344, 2011. DOI: 10.1002/9780470890158

JIMÉNEZ, A. D. L. Á. C.; ALMEIDA, C. D. G. C.; SANTOS JÚNIOR, J. A.; MORAIS, J. E. F.; ALMEIDA, B. G.; ANDRADE; F. H. N. Accuracy of capacitive sensors for estimating soil moisture in northeastern Brazil. *Soil & Tillage Research*, v. 195, n. 1, p. 1-5, 2019. DOI: 10.1016/j.still.2019.104413

KELLENNERS, T. J.; SOPPE, R. W. O.; AYARS, D. A. J. E.; SKAGG, T. H. Calibration of capacitance probe sensors in a saline silty clay soil. *Soil Science Society of America Journal*. v. 68, n. 1, p. 770–778. 2004.

KELLER, J.; KARMELI, D. *Trickle irrigation design*. California: Rain Bird Sprinkler Manufacturing Corporation, 1975. 133p.

KIM, M. J.; MOON, Y.; TOU, J. C.; MOU, B.; WATERLAND, N. L. Nutritional value, bioactive compounds and health benefits of lettuce (*Lactuca sativa* L.). *Journal of Food Composition and Analysis*, v. 49, p. 19-34. 2016. DOI: 10.1016/j.jfca.2016.03.004

KITIĆ, G.; CRNOJEVIĆ-BENGIN, V. A Sensor for the Measurement of the Moisture of Undisturbed Soil Samples. *Sensors*, v. 13, n. 2, p. 1692-1705, 2013. DOI:10.3390/s130201692

LEBEDA, A.; RYDER, E. J.; GRUBE, R.; DOLEŽALOVÁ, I.; KŘÍSTKOVÁ, E. Lettuce

(Asteraceae; *Lactuca* spp.). In: SINGH, R. J. (ed.), Genetic Resources, Chromosome Engineering, and Crop Improvement, Vol. 3, Vegetable Crops. BocaRaton, CRC Press, Taylor and Francis Group: p. 377–472. 2007.

LEGATES, D. R.; MCCABE, G. J. Evaluating the use of “goodness-of-fit” measures in hydrologic and hydro climatic model validation. *Water Resources Research*, Boulder, v. 35, n. 1, p. 233-241, 1999.

LIMA, J. E. F. W.; FERREIRA, R. S. A.; CHRISTOFIDIS, D. O uso da irrigação no Brasil. In: FREITAS, M. A. V. de. (Ed.). O estado das águas no Brasil: perspectivas de gestão e informações de recursos hídricos. Brasília: ANEEL-SRH/MME/MMA-SRH/OMM, p. 73-82 1999.

MAAS, E. V.; POSS, J. A.; HOFFMAN, G. J. Salinity sensitivity of sorghum at three growth stages. *Irrigation Science*, v. 7, n. 1, p. 1-11, 1986.

MACIEIRA, G. A. A. Competição de cultivares de alface Romana no outono e primavera no município de Boa Esperança. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Fitotecnia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG, 2011.

MANIERI, J.M.; VAZ, C.M.P.; CLERICI, I. M. Sonda espiral de TDR para a medida da umidade no perfil do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 31, n. 2, p. 191-198, 2007. DOI: 10.1590/S0100-06832007000200001

MANTOVANI, E. C.; BERNARDO, S.; PALARETTI, L. F. Irrigação: princípios e métodos. 2. ed. atual. e ampl. Viçosa: Editora da UFV, p 358. 2007.

MAROUELLI, W. A.; CALBO, A. G. Manejo de irrigação em hortaliças com sistema Irrigas. Brasília, DF: Embrapa Hortaliças, p. 16. 2009.

MAROUELLI, W. A.; SILVA, W. L. C.; SILVA, H. R. Irrigação por aspersão em hortaliças: qualidade da água, aspectos do sistema e método prático de manejo. 2.ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 150p. 2008.

MAROUELLI, W. A.; SILVA, W. L. C.; SILVA, H. R. Manejo da irrigação em hortaliças. 5. Ed. p. 1-40, Brasília: EMBRAPA-SPI/EMBRAPA-CNPQ, 1996.

MAROUELLI, W. A.; SILVA, H. R. Parâmetros para o manejo de irrigação por aspersão em tomateiro para processamento na Região do Cerrado. Brasília: Boletim de pesquisa e desenvolvimento/Embrapa Hortaliças Brasília. 28p. 2009.

MAZAHRIH, N.T.; KATBEH-BADER, N.; EVETT, S.R.; AYARS, J.E.; TROUT, T.J. Field calibration accuracy and utility of four down-hole water content sensors, *Vadose Zone Journal*, v. 7, p.992–1000, 2008. DOI:10.2136/vzj2008.0001

MEAD, R. M.; AYARS, J. E.; LIU, J. Evaluating the influence of soil texture, bulk density and soil water salinity on a capacitance probe calibration. *ASAE Pap.* p. 95–3264. Am. Soc. Agric. Eng., St. Joseph, MI. 1995.

MEDEIROS, D. C.; MEDEIROS, J. F.; BARBOSA, M. A.; QUEIROGA, R. C.; OLIVEIRA, D. A.; FREITAS, D. S.; WALLACE, E. Crescimento do melão Pele de Sapo, em níveis de salinidade e estágio de desenvolvimento da planta. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola*

e Ambiental, v. 16, n. 6, p. 647-654, 2012. DOI: 10.1590/S1415-43662012000600009

MEDEIROS, J. F. Manejo da água de irrigação salina em estufa cultivada com pimentão. Tese (Doutorado em Irrigação e Drenagem) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz". Piracicaba, 1988.

MEDEIROS, J. F.; GHEYI, H. R. Riscos de salinidade em áreas irrigadas. In: MIRANDA, J. H.; PIRES, R. C. M. (ed.). Irrigação. Piracicaba: FUNEP, cap.5, p. 255-314. Série Engenharia Agrícola, Irrigação, 1, 2001.

MIRANDA, F. R.; SANTANA, M. G. S., DE SOUZA, C. C. M.; DE OLIVEIRA, C. H. C. Calibração do sensor dielétrico ECH2O em dois tipos de solo. Revista Ciência Agronômica, v. 38, n. 3, p. 317-321, 2007.

MOMENTÉ, V. G.; BARRETO, H. G.; SILVEIRA, M. A.; SANTANA, W. R.; TAVARES, I. B.; SOUZA, R. C.; ANDRE, C. M. G. Avaliação de linhagens F8 de alface ao pendoamento precoce sob condições de temperaturas elevadas de Palmas-TO. In: Congresso Brasileiro de Olericultura, 47. Resumos. Porto Seguro: ABH, 2007. (CD-ROM).

MORGAN, K. T.; PARSONS, L. R.; WHEATON, T. A.; PITTS, D. J.; OBREZA, T. A. Field calibration of a capacitance water content probe in fine sand soils. Soil Science Society of America Journal, Madison, v.63, p.987-989, 1999.

MOU, B.; PROHENS, J.; NUEZ, F. (Eds.), Handbook of Plant Breeding, Vol. I: Vegetables I: Asteraceae, -Brassicaceae, Chenopodiaceae, and Cucurbitaceae. Springer, New York, NY, USA. p. 75-116. 2008.

MUNNS, R. Genes and salt tolerance: Bring them together. New Phytologist, Cambridge, v. 143, p. 645-663, 2005. DOI: 10.1111/j.1469-8137.2005.01487.x

MUNNS, R.; TERMAAT, A. 1986. Whole plant responses to salinity. Austr. J. Plant Physiol., v.13, n.1, p.143-160.

NAZÁRIO, A. Z.; BESTETE, L. O.; GARCIA, G. O.; REIS, E. F.; CECÍLIO, R. A. Desenvolvimento e produção do milho irrigado com água de diferentes condutividades elétricas. Engenharia Ambiental: pesquisa e tecnologia, Brasília, v. 10, n. 2, p. 117-130, 2013.

OLIARI, I. C, R.; UMBURANAS, R. C.; ESCHEMBAK, V., KAWAKAMI, J. Efeito da restrição de luz solar e aumento da temperatura no crescimento de plantas de rabanete. Pesquisa Aplicada & Agrotecnologia, v. 3, p. 83-88. 2010.

OLIVEIRA, F. D. A. D.; CARRILHO, M. J. D. O.; MEDEIROS, J. F. D.; MARACAJÁ, P. B.; DE OLIVEIRA, M. K. Desempenho de cultivares de alface submetidas a diferentes níveis de salinidade da água de irrigação. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 15, n. 8, p. 771-777, 2011. DOI: 10.1590/S1415-43662011000800002

OMAR, A.; VIGODERIS, R.; PANDORFI, H., MOURA, G.; GUISELINI, C. Green roof: Simulation of energy balance components in Recife, Pernambuco state, Brazil. Engenharia Agrícola, v. 38, n. 3, p. 334-342, 2018. DOI: 10.1590/1809-4430-eng.agric.v38n3p334-342/2018

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS – ONU. Population Division (2019). World

Population Prospects: The 2019 Revision https://population.un.org/wpp/Publications/Files/WPP2019_10KeyFindings.pdf; Acesso em 31 de julho de 2019.

PALTINEANU, I. C.; STARR, J. L. Real-time soil water dynamics using multisensor capacitance probes: laboratory calibration. *Soil Science Society of America Journal*, Madison, v.61, p.1576- 1585, 1997.

PAULUS, D., DOURADO NETO, D., FRIZZONE, J. A., SOARES, T. M. Produção e indicadores fisiológicos de alface com água salina. *Horticultura Brasileira*, v. 28, n. 1, p. 29-35. 2010. DOI: 10.1590/S0102-05362010000100006.

PEDROTTI, A.; CHAGAS, R. M.; RAMOS, V. C.; PRATA, A. P. N.; LUCAS, A. A. T.; SANTOS, P. B. Causas e consequências do processo de salinização dos solos. *Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental*, v. 19, n. 2, p. 1308-1324, 2015.

PEREIRA, L. S.; ALLEN, R. G.; SMITH, M.; RAES, D. Crop evapotranspiration estimation with FAO56: Past and future. *Agricultural Water Management*, v. 147, p. 4–20, 2015. DOI: 10.1016/j.agwat.2014.07.031

REGALADO, C. M.; RITTER, A.; RODRÍGUEZ-GONZÁLEZ, R. M. Performance of the commercial WET capacitance sensor as compared with time domain reflectometry in volcanic soils. *Vadose Zone Journal*, v. 6, n. 2, p. 244-254, 2007. DOI: 10.2136/vzj2006.0138

RESENDE, R. S.; BATISTA, W. R. M.; DE AMORIM, J. R. A. Calibração do sensor de capacitância Diviner 2000 utilizando tubos de acesso padrão e alternativo. *Revista Brasileira de Agricultura Irrigada-RBAI*, v. 11, n. 5, p. 1662-1669, 2017. DOI: 10.7127/rbai.v11n500745

RHOADES, J. D.; KANDIAH, A.; MASHALI, A. M. Uso de águas salinas para produção agrícola. *Estudos FAO Irrigação e drenagem*, 48, p.117, 2000.

RHOADES, J. D.; MERRILL, S. D. Assessing the suitability of water for irrigation: theoretical and empirical approaches. In: *Prognosis salinity and alkalinity*. Rome, FAO Soils Bulletins. 31, p. 69-110. 1976.

RIBEIRO, E. P.; NASCIMENTO, G. V. S. Características climáticas e regime hídrico da microrregião de Recife, Pernambuco. *Revista Equador*, v. 9, n. 3, p. 158-177. 2020.

RIBEIRO, M. R.; FREIRE, F. J.; MONTENEGRO, A. A. A. Solos halomórficos no Brasil: Ocorrência, gênese, classificação, uso e manejo sustentável. *Tópicos em Ciência do Solo*. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v.3, p.165-208. 2003.

ROBINSON, D.A.; JONES, S.B.; WRAITH, J.M.; OR, D., FRIEDMAN, S.P. A review of advances in dielectric and electrical conductivity measurement in soils using time domain reflectometry. *Vadose Zone Journal*. 2, p. 444–475, 2003. DOI: 10.2136/vzj2003.4440

RODRIGUES, I. N.; LOPES, M. T. G.; LOPES, R.; GAMA, A. S.; MILAGRES, C. P. Desempenho de cultivares de alface na região de Manaus. *Horticultura Brasileira*, v. 26, p. 524-527, 2008. DOI: 10.1590/S0102-05362008000400020

ROSSEL, R. V.; ADAMCHUK, V. I.; SUDDUTH, K. A.; MCKENZIE, N. J.; LOBSEY, C. Proximal soil sensing: An effective approach for soil measurements in space and time. *Advances in Agronomy*, v. 113, n. 1, p. 243-291. 2011. DOI: 10.1016/B978-0-12-386473-

4.00005-1.

SALA, F. C.; COSTA, C. P. Retrospective and trends of Brazilian lettuce crop. *Horticultura Brasileira*, Vitória da Conquista, v. 30, n. 2, p. 187-194, 2012. DOI: 10.1590/S0102-05362012000200002

SANTOS, P. F. C.; MOREIRA, A. B.; ALMEIDA, C. A. P.; NÓBREGA, R. S. Conforto térmico e diferentes tipos de tempo meteorológico na cidade do Recife (PE). *ENTRELUGAR*, v. 8, n. 16, p. 12-31. 2017.

SANTOS, R. M. Calibração de sensores FDR (Frequency Domain Reflectometry) para estimativa da umidade do solo. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-graduação em Ciências Agrárias. Universidade Federal da Bahia, 2005.

SEGUNDO, A. K. R., MARTINS, J. H., MONTEIRO, P. M. D. B., OLIVEIRA, R. A. D., OLIVEIRA FILHO, D. Development of capacitive sensor for measuring soil water content. *Engenharia Agrícola*, v. 31, n. 2, p. 260-268. 2011. DOI: 10.1590/S0100-69162011000200006

SENTEK. Diviner 2000: user guide version 1.21. Stepney: Sentek Pty Ltd. 2000.

SILVA JUNIOR, J. J.; COLOMBO, A.; SCALCO, M. S.; SILVA, B. M.; LIMA, P. T. Calibração de sondas de capacitância para determinação de umidade em Latossolo Vermelho Distroférico. *Irriga, Botucatu*, v. 18, n. 4, p. 743-755, 2013. DOI: 10.15809/irriga.2013v18n4p743

SILVA, A. L.; NASCIMENTO, M. N.; TANAN, T. T.; OLIVEIRA, U. C.; CARMO, L. J. Efeito da salinidade da água de irrigação na produção de alface crespa. *Enciclopédia biosfera*, v. 14, n. 26, p. 328-337, 2017. DOI: 10.18677/EnciBio_2017B28

SILVA, C. R. da; ANDRADE JÚNIOR, S. de A.; SOUZA, C. F. Aspectos práticos na utilização da técnica de capacitância: desafios e aprendizagem. In: SOUZA, C. F. et al. (Org.). *Aplicações de técnicas eletromagnéticas para o monitoramento ambiental*. Taubaté: Universidade de Taubaté, v. 1, p. 25-45, 2008.

SILVA, C. R.; FOLEGATTI, M. V.; SILVA, T. J. A.; ALVES JÚNIOR, J.; SOUZA, F. C.; RIBEIRO, R. V. Water relations and photosynthesis as criteria for adequate irrigation management in 'Tahiti' lime trees. *Scientia Agricola*, v. 62, n. 5, p. 415-422, 2005. DOI: 10.1590/S0103-90162005000500001

SILVA, D. M. O. Calibração de sensores dielétricos ECH2O para solos de referência na zona da mata de Pernambuco. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) -Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, PE, Brasil, 2016.

SILVA, D. O. M. Validação de um sensor de determinação da umidade do solo para o manejo da irrigação. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola), Universidade Federal do Vale do São Francisco, Juazeiro, 2013.

SILVA, E. A.; GOMES, J. B. V.; DE ARAÚJO FILHO, J. C.; SILVA, C. A.; DE CARVALHO, S. A.; CURI, N. Podzolização em solos de áreas de depressão de topo dos tabuleiros costeiros do Nordeste brasileiro. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 37, n. 1, p. 11-24, 2013. DOI: 10.1590/S0100-06832013000100002

- SILVA, E. N.; SILVEIRA, J. A. G.; RODRIGUES, C. R. F.; DUTRA, A. T. B.; ARAGÃO, R. M. Acúmulo de íons e crescimento de pinhão-mansô sob diferentes níveis de salinidade. *Revista Ciência Agronômica*, v.40, n.2, p.240-246, 2009.
- SILVA, J. L. D. A.; MEDEIROS, J. F. D.; ALVES, S. S.; OLIVEIRA, F. D. A. D.; SILVA JUNIOR, M. J. D.; NASCIMENTO, I. B. D. Uso de águas salinas como alternativa na irrigação e produção de forragem no semiárido nordestino. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 18, 66-72. 2014.
- SILVA, O. M. P. Desempenho produtivo e qualitativo de cultivares de alface em diferentes épocas de plantio em Mossoró-RN. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia: Área de Concentração em Agricultura Tropical) - Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró, 2014.
- SILVA, V. F.; BEZERRA NETO, F.; NEGREIROS, M. Z.; PEDROSA, J. F. Comportamento de cultivares de alface em diferentes espaçamentos sob temperatura e luminosidade elevadas. *Horticultura Brasileira*, n. 18, p. 183-187, 2000. DOI: 10.1590/S0102-05362000000300008
- 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*, v. 15, n. 1, p. 36-50, 2010. DOI: 10.15809/irriga.2010v15n1p36
- SOUZA, C. F.; MATSURA, E. E.; FOLEGATTI, M. V.; COELHO, E. F.; OR, D. Sondas de TDR para a estimativa da umidade e da condutividade elétrica do solo. *Irriga, Botucatu*, v. 11, n. 1, p. 12-25, 2006. DOI: 10.15809/irriga.2006v11n1p12-25
- SOUZA, C. F.; PIRES, R. C. M.; DE MIRANDA, D. B.; VARALLO, A. C. T. Calibração de sondas FDR e TDR para a estimativa da umidade em dois tipos de solo. *Irriga*, v. 18, n. 4, p. 597-606, 2013. DOI: 10.15809/irriga.2013v18n4p597
- SOUZA, C. F.; SILVA, C. R.; DE ANDRADE JUNIOR, A. S.; COELHO, E. F. Monitoramento do teor de água no solo em tempo real com as técnicas de TDR e FDR. *Irriga, Botucatu, Edição Especial, Irriga*, v. 1, n. 01, p. 26-42, 2016. DOI: 10.15809/irriga.2016v1n01p26-42
- STARR, J. L.; PALTINEANU, I. C. Soil water dynamics using multisensory capacitance probes in non-traffic interrows of corn. *Soil Science Society of American Journal* 62, 114-122, 1998. DOI: 10.2136/sssaj1998.03615995006200010015x
- STEPPUNH, H. Pre-irrigation of a severely-saline soil with in situ water to establish dry land oranges. *Transactions of the ASAE*, v. 44, n. 6, p. 1543-1551, 2001. DOI: 10.13031/2013.7039
- SUINAGA, F. A.; BOITEUX, L. S.; CABRAL, C. S.; RODRIGUES, C. S. Métodos de avaliação do florescimento precoce e identificação de fontes de tolerância ao calor em cultivares de alface do grupo varietal crespa. Brasília, DF: Embrapa Hortaliças, 2013. 4 p. (Embrapa Hortaliças. Comunicado Técnico, 89).
- SUN, Z. J.; YOUNG, G. D.; MCFARLANE, R. A.; CHAMBERS, B. M. The effect of soil electrical conductivity on moisture determination using time-domain reflectometry in sandy soil. *Canadian Journal of Soil Science*, v. 80, n. 1, p. 13-22, 2000.

TABARI, H.; GRISMER, M. E.; TRAJKOVIC, S. Comparative analysis of 31 reference evapotranspiration methods under humid conditions. *Irrigation Science*, v. 31, n. 2, p. 107-117, 2013. DOI 10.1007/s00271-011-0295-z

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MØLLER, I. M.; MURPHY, A. *Fisiologia e desenvolvimento vegetal*. TAN, 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017. 858 p.

TEDESCHI, A.; HUANG, C. H.; ZONG, L.; YOU, Q. G.; XUE, X. Calibration equations for Diviner 2000 capacitance measurements of volumetric soil water content in salt-affected soils. *Soil Research*, v. 52, n. 4, p. 379-387, 2014. DOI: 10.1071/SR13172

THOMPSON, R. B.; GALLARDO, M.; FERNÁNDEZ, M.D.; VALDEZ, L. C.; MARTÍNEZ-GAITÁN, C. Salinity effects on soil moisture measurement made with a capacitance sensor. *Soil Science Society of America Journal*, v. 71, n. 6, p. 1647. 2007. DOI: 10.2136/sssaj2006.0309

TOPP, G. C.; FERRE, P. A. The soil solution phase, in *Methods of Soil Analysis Part 4 – Physical Methods*, Soil Science Society of America Book Series, no 5, edited by J. H. Dane and G. C. Topp, p.417–545, 2002.

TOPP, G. C.; ZEGELIN, S.; WHITE, I. Impacts of the real and imaginary components of relative permittivity on time domain reflectometry measurements in soils. *Soil Science Society of America Journal*, v. 64, n. 4, p. 1244-1252, 2000. DOI: 10.2136/sssaj2000.6441244x

TRAJKOVIC, S.; KOLAKOVIC, S. Estimating reference evapotranspiration using limited weather data. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, v.135, p.443-449, 2009. DOI: 10.1061/(ASCE)IR.1943-4774.0000094

TURINI, T.; CAHN, M., CANTWELL, M.; JACKSON, L.E.; KOIKE, S.; NATWICK, E.; SMITH, R.; SUBBARAO, K.; TAKELE, E. Iceberg lettuce production in California. *Vegetable Production Series*. University of California Agriculture and Natural Resources, Richmond, CA. 2011. DOI: 10.3733/ucanr.7215

ULLAH, H.; ARENAS, R. S.; FERDOUS, Z.; ATTIA, A.; DATTA, A. Improving water use efficiency, nitrogen use efficiency, and radiation use efficiency in field crops under drought stress: A review. *Advances in agronomy*, v. 156, n. 1, p. 109-157. 2019. DOI: 10.1016/bs.agron.2019.02.002

VAN DER SALM, C.; VOOGT, W.; BEERLING, E.; VAN RUIJVEN, J.; VAN OS, E. Minimising emissions to water bodies from NW European greenhouses; with focus on Dutch vegetable cultivation. *Agricultural Water Management*, 242, 2020. DOI: 10.1016/j.agwat.2020.106398

VARBLE, J. L.; CHÁVEZ, J. L. Performance evaluation and calibration of soil water content and potential sensors for agricultural soils in eastern Colorado. *Agricultural Water Management*, v. 101, n. 1, p. 93-106, 2011. DOI: 10.1016/j.agwat.2011.09.007

VIANA, S. B. A; FERNANDES, P. D; GHEYI, H. R; SOARES, F. A. L.; CARNEIRO, P. T. Índices morfofisiológicos e de produção de alface sob estresse salino. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.8, n.1, p.23-30. 2004. DOI: 10.1590/S1415-

43662004000100004

VIANA, S.; RODRIGUES, L. N.; FERNANDES, P. D.; GHEYI, H. R. Produção de alface em condições de salinidade a partir de mudas produzidas com e sem estresse salino. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 5, n. 1, p. 60-66. 2001.

VOOGT, W.; BALENDONCK, J.; VAN WINKEL, A. Bodemvochtgehalte sensoren voor watermanagement in grondteelten. Relatório WPR 715. Wageningen University and Research, Wageningen, 2018. DOI: 10.18174 / 4660142018.

WALKER, J. P.; WILLGOOSE, G. R.; KALMA, J. D. In situ measurement of soil moisture: a comparison of techniques. *Journal of Hydrology*, v. 293, n 1-4, p. 85-99, 2004. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2004.01.008

WANG, N.; ZHANG, N.; WANG, M. Wireless sensors in agriculture and food industry-Recent development and future perspective. *Computers and electronics in Agriculture*, v. 50, n. 1, p. 1-14, 2006. DOI: 10.1016/j.compag.2005.09.003

WEI, Z.; ZHU, S. X.; VAN DEN BERG, R. G.; BAKKER, F. T.; SCHRANZ, M. E. Phylogenetic relationships within *Lactuca* L. (Asteraceae), including African species, based on chloroplast DNA sequence comparisons. *Genetic Resources and Crop Evolution*, v. 64, n. 1, p. 55-71, 2017. DOI 10.1007/s10722-015-0332-5

WIDMOSER, P. A discussion on and alternative to the Penman–Monteith equation. *Agricultural Water Management*, v. 96, n. 4, p. 711-721, 2009. DOI: 10.1016/j.agwat.2008.10.003

WIEDENFELD, B. Scheduling water application on drip irrigated sugarcane. *Agricultural Water Management*, v. 64, n. 2, p. 169-181, 2004. DOI: 10.1016/S0378-3774(03)00192-6

WILLMOTT, C. J. On the validation of models. *Physical geography*, v. 2, n. 2, p. 184-194, 1981. DOI: 10.1080/02723646.1981.10642213

XU, C.; MOU, B. Evaluation of lettuce genotypes for salinity tolerance. *HortScience*, v. 50, n. 10, p. 1441-1446. 2015. DOI: 10.21273/HORTSCI.50.10.1441