



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO VALE DO SÃO FRANCISCO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA**

Danillo Olegário Matos da Silva

**VALIDAÇÃO DE UM SENSOR DE DETERMINAÇÃO DA  
UMIDADE DO SOLO PARA O MANEJO DA IRRIGAÇÃO**

JUAZEIRO – BA  
2013

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO VALE DO SÃO FRANCISCO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA**

Danillo Olegário Matos da Silva

**VALIDAÇÃO DE UM SENSOR DE DETERMINAÇÃO DA  
UMIDADE DO SOLO PARA O MANEJO DA IRRIGAÇÃO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós Graduação em Engenharia Agrícola da UNIVASF, em cumprimento parcial aos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Agrícola, com área de concentração em Engenharia de Biosistemas.

Orientador: Prof. DSc. Brauliro Gonçalves Leal  
Co-orientador: Prof. DSc. Augusto Miguel N. Lima

JUAZEIRO – BA  
2013

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO VALE DO SÃO FRANCISCO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA**

**FOLHA DE APROVAÇÃO**

Danillo Olegário Matos da Silva

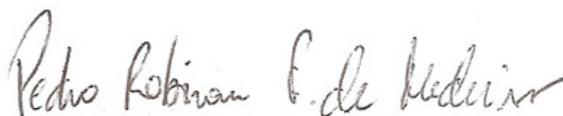
**VALIDAÇÃO DE UM SENSOR DE DETERMINAÇÃO DA UMIDADE DO SOLO  
PARA O MANEJO DA IRRIGAÇÃO**

Dissertação submetida ao Programa de Pós Graduação em Engenharia Agrícola da UNIVASF, como requisito para obtenção de título de Mestre.



---

Dr. Brauliro Gonçalves Leal  
Universidade Federal do Vale do São Francisco - Univasf



---

Dr. Pedro Robinson Fernandes de Medeiros  
Universidade Federal do Vale do São Francisco - Univasf



---

Dr. Welson Lima Simões  
Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa

Juazeiro, 30 de julho de 2013.

## **Dedicatória**

***A minha querida família,  
pelo carinho, incentivo e pela  
força em todos os momentos  
ao longo dessa caminhada.***

***Dedico.***

## **Agradecimentos**

A Deus por toda a graça concedida, e a Sua Mãe, Maria Santíssima por toda a proteção.

Muitos foram os que me ajudaram ao longo dessa jornada. A todos sou muito grato. Mas, certamente, só foi possível realizar este trabalho devido ao auxílio de algumas pessoas a quem devo agradecimentos especiais.

Aos meus Pais, Francisco Olegário da Silva e Marlúcia Matos da Silva, personagens incríveis desta vida, que tudo me deram, e a quem devo tudo. À sua sabedoria e amor pelos filhos. Nada vale mais do que o orgulho de ser vosso Filho.

Aos meus irmãos, Julianna Matos da Silva e Lucas Vinícius Matos da Silva, por todo o carinho e companheirismo.

A minha querida noiva, Jamara Carvalho Barros, por todo carinho, compreensão e paciência, que constituiu um verdadeiro ponto de apoio durante momentos difíceis com que me deparei ao longo deste trabalho.

À Universidade Federal do Vale do São Francisco por proporcionar o curso e aos professores do Colegiado de Pós Graduação em Engenharia Agrícola.

Ao meu Orientador, Prof<sup>o</sup> Dr. Brauliro Gonçalves Leal, pela atenção e, sobre tudo, pelas frutíferas discussões mantidas durante a pesquisa, que foram essenciais para o desenvolvimento deste trabalho.

Ao meu Co-orientador, Prof<sup>o</sup> Dr. Augusto Miguel Nascimento Lima pelas suas sábias palavras de apoio, pela contribuição e confiança em mim depositada.

Aos meus amigos Hideo de Jesus Nagahama, Fábio Pereira Nelson e José Alberto Ferreira Cardoso por contribuírem diretamente para conclusão deste trabalho.

Aos Alunos de Engenharia da Computação e Engenharia Agrícola e Ambiental, Eduardo Fernandes, Sergio Murilo e Iug Lopes.

Aos meus amigos de mestrado por todos os momentos que passamos juntos.

... Meus sinceros agradecimentos.

SILVA, D. O. M. **Validação de um sensor de determinação da umidade do solo para o manejo da irrigação.** 2013. 63 f. Dissertação (Mestrado em engenharia agrícola) - Universidade Federal do Vale do São Francisco – UNIVASF. Juazeiro-BA.

## RESUMO

Recentes pesquisas verificaram que o manejo automatizado da irrigação feito via sensoriamento da umidade do solo pode resultar em até 80% de economia de água. Considerando que a agricultura irrigada é responsável por uma grande demanda da água utilizada no mundo, o desenvolvimento de soluções inovadoras que possam auxiliar a gestão eficiente deste recurso vital é de grande importância para o manejo da irrigação. Assim, o trabalho objetivou-se em: (i) calibrar, gerar e comparar um modelo representativo e eficiente para leitura da umidade do solo com os sensores Watermark e (ii) avaliar o efeito da salinidade na determinação da umidade do solo utilizando sensores resistivos na região do Submédio São Francisco. O experimento foi constituído por doze vasos com o solo Vertissolo Háplico. Nos vasos foram plantadas mudas de grama-batatais e instalado sensores de umidade do solo, na profundidade de 20 cm. Uma Rede de Sensores Sem Fios foi utilizada para receber os valores medidos e armazená-los em um banco de dados. Para determinação da umidade foram coletadas amostras de solo a 20 cm de profundidade. Os sensores foram calibrados durante um ciclo de umedecimento secagem do solo e os tratamentos aplicados em três ciclos, foram constituídos de quatro níveis de água salina, utilizando Na para elevação da CEEs. O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado em esquema fatorial 4x3, com três repetições. Os resultados indicaram baixos coeficientes de determinação na calibração de alguns sensores não influenciaram nos valores do erro relativo da umidade. A maior variação do erro relativo da umidade ocorreu no instante em que o solo apresentava o maior teor de água. A aplicação de uma equação geral de calibração dos sensores apresentou baixas variações do erro relativo da umidade. Os sensores, quando calibrados para o solo específico, podem ser utilizados para fins de manejo de irrigação. Os diferentes níveis de salinidade não influenciaram no erro relativo da umidade do solo determinado pelos sensores.

**Palavras Chave:** Eficiência na irrigação. Sensoriamento remoto. Desertificação.

## ABSTRAT

Recent research found that the management of irrigation done via automated sensing of soil moisture can result in up to 80% water savings. Considering that irrigated agriculture is responsible for a large demand of water used in the world, developing innovative solutions that can assist the efficient management of this vital resource is of great importance to irrigation management. Thus, the study aimed to: (i) calibrate, generate and compare a representative model and efficient reading of soil moisture with Watermark sensors and (ii) evaluate the effect of salinity on the determination of soil moisture using resistive sensors in the region of Lower Basin San Francisco. The experiment consisted of twelve vessels with Haplic Vertisol soil. The pots were planted grass seedlings batatais - installed sensors and soil moisture at a depth of 20 cm. A Wireless Sensor Network was used to receive the measured values and store them in a database. To determine the moisture soil samples were collected at 20 cm depth. The sensors were calibrated during a cycle of wetting and drying soil treatments applied in three cycles, were four levels of saline water, using In lifting the CEes. The experimental design was completely randomized in a 4x3 factorial design with three replications. The results showed low coefficients of determination for the calibration of some sensors did not affect the values of the relative error of moisture. The largest change in moisture relative error occurred at the moment when the soil had the highest water content. The application of a general equation of calibration of the sensors showed low variation of the relative error of moisture. The sensors when calibrated to the specific soil, can be used for irrigation management. The different salinity levels did not influence the relative error of soil moisture determined by the sensors.

**Keywords:** Irrigation efficiency. Remote sensing. Desertification.

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>9</b>
<b>2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>11</b>
2.1 Solo .....	11
2.2 Fluxo de Água no Solo .....	11
2.3 Umidade do Solo .....	13
2.4 Métodos de Determinação da Umidade do Solo .....	15
2.5 Redes de Sensores Sem Fio – RSSF .....	18
2.6 Aplicação da RSSF na Agricultura .....	19
2.7 Salinidade .....	21
<b>CAPÍTULO 1. Calibração e Avaliação de Sensor de Umidade do Solo</b>	
<b>Utilizando uma Rede de Sensores Sem Fios .....</b>	<b>24</b>
Introdução .....	26
Material e Métodos .....	27
Resultados e Discussões .....	29
Conclusões .....	33
Revisão Bibliográfica .....	33
<b>CAPÍTULO 2. Influência da Salinidade no Sensoriamento da Umidade</b>	
<b>do Solo .....</b>	<b>39</b>
Introdução .....	41
Material e Métodos .....	42
Resultados e Discussões .....	45
Conclusões .....	49
Revisão Bibliográfica .....	50
<b>3. CONCLUSÃO GERAL .....</b>	<b>53</b>
<b>4. AGRADECIMENTOS .....</b>	<b>55</b>
<b>5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>56</b>

## 1. INTRODUÇÃO

A Salinização é um processo de degradação do solo que vem aumentando em todo o globo. Estima-se que 19,5% das terras irrigadas (45 milhões de hectares) e 2,1% das não irrigadas (32 milhões de hectares) estejam afetadas pelos sais (FAO, 2006). Segundo Andrade *et al.*, (2011), já no início da Era Cristã, em decorrência da salinidade do solo, ocorreu um grande declínio das áreas agrícolas irrigadas nos vales dos rios Tigres e Eufrates, tornando terras férteis em áreas improdutivas. Este impacto desencadeou o êxodo humano das regiões secas para as úmidas e a irrigação perdeu sua função vital, passando a desempenhar função secundária. Porém o crescimento demográfico contínuo e exponencial conduziu a humanidade a resgatar a prática da agricultura irrigada. Seja como técnica de suplementação das chuvas nas regiões úmidas ou como técnica para tornar os solos das zonas áridas e semiáridas do planeta produtivas.

No Brasil, o Polo de Desenvolvimento Petrolina-Juazeiro, localizado na Região Semiárida do Nordeste, encontra-se um dos maiores exemplos de desenvolvimento agrícola em áreas irrigadas do País. A modernização do padrão produtivo possibilitado pela irrigação vem transformando a economia desta região. De acordo com os dados do IBGE (2011), o Produto Interno Bruto (PIB) do agronegócio das cidades deste polo vem, ao longo dos anos, obtendo destaque no cenário nacional devido, principalmente, a produção de frutas. Em 2010, Petrolina teve sua produção avaliada em R\$ 630,38 milhões, sendo a décima cidade do país com o maior valor de produção agrícola. Neste mesmo ano, a produção de Juazeiro foi avaliada em R\$ 422,90. Já em 2011, Petrolina teve o terceiro melhor desempenho no PIB agrícola nacional, com R\$ 658,80 milhões. Neste mesmo ano, Juazeiro produziu R\$ 200,94 milhões. O PIB agrícola das duas juntas somam R\$ 859,73, o maior dentre os municípios brasileiros (TERRA, 2012).

No entanto, esta região, é caracterizada por baixos índices pluviométricos e intensa evapotranspiração, e tecnicamente, a baixa eficiência da irrigação e a drenagem insuficiente tem contribuído para a degradação físico-química dos solos, que é um dos graves problemas agrícolas (AMARAL, 2011), sendo a salinidade do solo um importante fator desta degradação. Considerando que os mesmos problemas que levaram a irrigação ao declínio há milhares de anos continua a ser

identificados nas áreas irrigadas das mais diferentes partes do globo (D'ALMEIDA, 2002; BURKHALTER e GATES, 2006; ANDRADE, 2009; QUINN, 2009), o aprimoramento para um eficiente manejo da irrigação nos perímetros irrigados deste polo torna-se cada vez mais necessário.

A umidade do solo é um índice básico para quantificar a água de amostras de solo (LIBARDI, 2005), e sua determinação, através de métodos diretos ou indiretos, é de grande importância para o manejo da irrigação. Geralmente utilizam-se métodos indiretos, em que a umidade é estimada a partir da medição de alguma propriedade do solo a ela relacionada (MIRANDA, 2007), sendo que, os principais, baseiam-se em medidas como a tensão da água no solo, moderação de nêutrons, a resistência do solo à passagem de corrente elétrica, e a constante dielétrica do solo (ADAMCHUK, 2004). Para Miranda (2007), os sensores do tipo resistência e capacitância elétrica têm algumas vantagens como não requerer manutenção periódica e principalmente a sua utilização em sistemas de irrigação automatizados.

A utilização de Redes de Sensores Sem Fio (RSSF), uma tecnologia emergente que permite a medição de grandezas através de sensores contidos em estações remotas, é uma das técnicas que podem contribuir para o uso eficiente da água. O uso de RSSF buscando aumentar a eficiência da irrigação pode trazer grandes benefícios para a agricultura (PEREIRA *et al.*, 2012). Segundo Cardenas-Lailhacar e Dukes (2010), pesquisas recentes indicaram que a irrigação feita com base no sensoriamento da umidade do solo pode resultar em até 80% de economia de água.

Entretanto, em virtude de os sensores determinarem o conteúdo de água do solo de forma indireta, os valores de umidade medidos por meio destes sofrem a interferência da condutividade elétrica do solo. Um acréscimo na quantidade de sal implica em um erro na determinação da umidade (BARBOSA, 2011). Desta forma, é imprescindível a realização de calibrações dos sensores para os solos a serem monitorados, em razão das diferenças físicas que os mesmos apresentam.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Solo

O solo é um sistema dinâmico aberto que recebe e fornece energia, estando em contínuo processo de transformação. É o reservatório de água e nutrientes para a planta, além de permitir a sustentação dos vegetais. O conceito de solo usando o Sistema Brasileiro de Classificação das Terras para Irrigação (SiBCTI) é basicamente o mesmo utilizado no Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS), (EMBRAPA, 1999), “ o solo que classificamos é uma coleção de corpos naturais, constituídos de partes sólidas, líquidas e gasosas, tridimensionais, dinâmicos, formados de material orgânico e mineral. Ocupam a maior parte do manto superficial das extensões continentais do nosso planeta, contém matéria viva e podem ser vegetados na natureza, onde ocorrem. Ocasionalmente podem ter sido modificados por atividades humanas”.

Para Libardi (2005), o solo é um material natural, sólido e poroso, que abriga em seus poros, quantidades variáveis de uma solução aquosa composta de vários eletrólitos ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{+2}$ ,  $\text{Mg}^{+2}$ , e outros componentes) denominada de água ou solução do solo, além de uma solução gasosa denominada ar do solo composta principalmente de  $\text{N}_2$ ,  $\text{O}_2$ , vapor d'água,  $\text{CO}_2$  e pequenas quantidades de outros gases.

### 2.2 Fluxo de água no solo

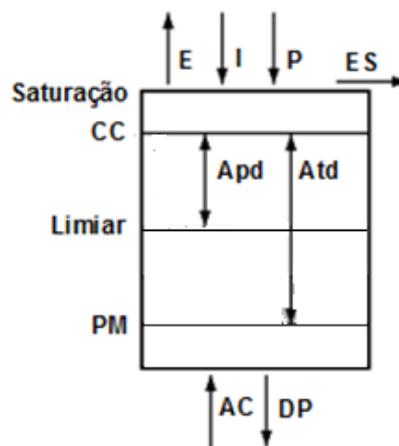
A água é o componente dinâmico do solo. O fluxo da água em seu estado líquido se dá de uma zona com maior potencial de umidade para uma zona com menor potencial, sendo identificados três tipos de movimento no interior do solo: fluxo não saturado, fluxo saturado e equalização de vapores (BRADY, 1989).

O fluxo saturado ocorre quando os poros na porção mais molhada do solo estão totalmente cheios de água. O fluxo não saturado se dá quando os poros estão

parcialmente cheios de água (BRADY, 1989; ALLEN *et al.*, 1998; CHANDRASEKARAN *et al.*, 2010).

A disponibilidade de água às plantas é definida pelo intervalo compreendido entre o limite superior e o inferior de água disponível, caracterizado pela umidade do solo equivalente à capacidade de campo e ao ponto de murcha permanente (CASSEL e NIELSEN, 1986). Ou seja, dependendo da quantidade de água presente no solo, ele pode estar saturado, na capacidade de campo (CC) ou no ponto de murcha permanente (PMP), sendo que a água presente no solo entre sua capacidade de campo e seu ponto de murchamento encontra-se disponível para a cultura.

A capacidade das culturas agrícolas de extrair água do solo diminui à medida que o solo atinge o seu ponto de murchamento. Quando o solo está suficientemente úmido, ele provê água de modo rápido, o bastante para atender a demanda atmosférica. Com a diminuição da água do solo, sua matriz tende a retê-la com maior intensidade e a sua extração torna-se mais difícil. Segundo Allen *et al.* (1988), quando a água do solo fica abaixo de um valor limiar, ela não pode ser transportada do solo para as raízes da planta de modo rápido o suficiente para atender a transpiração da cultura e ela começa a experimentar estresse hídrico (Figura 1).



**Figura 01.** Representação esquemática dos componentes do fluxo de água no solo. **E** - Evaporação; **I** - Irrigação; **P** - Precipitação; **ES** - Escoamento Superficial; **AC** - Ascensão Capilar; **DP** - Drenagem Profunda; **Apd** - Água parcialmente disponível; **Atd** - Água total disponível; **CC** - Capacidade de Campo; **PM** - Ponto de Murchamento; **Limiar** - Limite para água parcialmente disponível; **Saturação** - Limite de água no solo.

### 2.3 Umidade do solo

A umidade do solo é um dos elementos mais relevantes no controle dos processos hidrológicos, visto que exerce influência na geração do escoamento superficial, na evaporação do solo, na transpiração das plantas e em uma série de interações geográficas e pedogênicas (ÁVILA *et al.*, 2010). Para Libardi (2005), a umidade do solo é um índice básico para quantificar a água de amostras de solo e, tradicionalmente, tem sido expressa à base de massa e à base de volume.

A umidade à base de massa é representada pela relação entre a massa ocupada pela água em uma amostra de solo num dado instante e a massa de sólidos da amostra.

Pode ser medida em termos de porcentagem com base em peso seco, ou seja:

$$U = \frac{M_u - M_s}{M_s} \quad (1)$$

Onde:

U : umidade do solo a base de massa (g/g)

M<sub>u</sub> : massa do solo úmido (g),

M<sub>s</sub> : massa do solo seco (g).

Para se obter a umidade à base de volume ( $\theta$  cm<sup>3</sup>/cm<sup>3</sup>), é necessário medir Massa úmida e Massa seca, e o volume do solo amostrado (V, cm<sup>3</sup>):

$$\theta = \frac{M_u - M_s}{V} \quad (2)$$

Porém, pode-se medir a umidade à base de massa e, sabendo-se o valor da densidade do solo (d<sub>g</sub>), pode-se obter o valor de  $\theta$ :

$$\theta = U \cdot dg \quad (3)$$

A umidade do solo varia com o tempo, aumentando com a chuva, ascensão capilar ou com a irrigação e diminuindo com a drenagem ou com a evapotranspiração (REICHARDT, 1987, ALLEN, 1988). As propriedades do solo, as práticas culturais, o manejo do solo, a quantidade e intensidade de aplicação de água e o estágio de desenvolvimento das culturas são fatores que afetam a umidade do solo (PALTINEANU e STARR, 1997).

O conhecimento do regime de umidade no solo se reveste de grande importância no fornecimento de informações destinadas à tomada de decisões, como manejo de irrigação, escolha da época de plantio, determinação do consumo de água pelas plantas, estudo dos processos de transferência no sistema solo-planta-atmosfera e planejamento dos sistemas de drenagem. Assim, a determinação da umidade do solo é essencial para estudos de movimento e disponibilidade de água no solo, erosão, manejo da irrigação, dentre outros processos (BERNARDO *et al.*, 2006).

## **2.4 Métodos de determinação da umidade do solo**

Os métodos de medida da umidade do solo são normalmente classificados como diretos ou indiretos. A gravimetria é um método direto e é considerado o método padrão. Nele a massa de água presente numa dada amostra de solo é obtida por diferença entre o peso da amostra úmida e seca. Este método é adotado como padrão devido à sua simplicidade, praticidade e precisão, especialmente quando se usa balança digital com resolução próxima de centésimos de grama. Por outro lado, apresenta desvantagens por ser um método destrutivo e demorado, quando comparado aos métodos indiretos (GILBERTO JÚNIOR, 2003), dificultando a sua aplicação nos casos em que o conhecimento da umidade do solo é exigido com maior frequência.

Devido às dificuldades envolvidas na determinação direta da umidade do solo pelo método gravimétrico, geralmente utilizam-se métodos indiretos, em que a

umidade é estimada a partir da medição de alguma propriedade do solo a ela relacionada (MIRANDA, 2007).

Benedí e Muñoz-Carpena (2005) classificam os métodos indiretos em tensiométricos e volumétricos. Os métodos tensiométricos incluem o tensiômetro, bloco de gesso, sensor de dissipação de calor e psicrômetro. Já os volumétricos são representados pela reflectometria no domínio do tempo – TDR, reflectometria no domínio da frequência – FDR, reflectometria no domínio da amplitude – ADR, transmissão de fase e transmissão no domínio do tempo – TDT. Estes métodos são usados para a obtenção do potencial matricial e o volume de água no solo, respectivamente. Para Teixeira (2004), os principais métodos indiretos baseiam-se em medidas como a tensão da água no solo, moderação de nêutrons, a resistência do solo a passagem de corrente elétrica e constante dielétrica do solo.

Dentre os mais utilizados, o tensiômetro é um aparelho simples, barato, não requer calibração e nem é afetado pela salinidade do solo, podendo ser utilizado tanto em área de produção como para fins de pesquisa; no entanto, é necessário o conhecimento da curva de retenção de água no solo, o tempo de resposta é relativamente lento e requer manutenção frequente. A leitura automática vem sendo utilizado já há algum tempo, tendo como destaque o tensímetro (MARTHALER et al., 1983) e o tensiômetro com transdutor (THIEL, 1963; HUBBELL e SISSON, 1998). O princípio de funcionamento do tensiômetro baseia-se na formação do equilíbrio entre a solução do solo e a água contida no interior do aparelho. O equilíbrio ocorre quando a cápsula porosa entra em contato com o solo e a água do tensiômetro entra em contato com a água do solo. Caso a água do solo esteja sob tensão, ela exerce uma sucção sobre o instrumento, retirando água deste, fazendo com que a pressão interna diminua. Como o instrumento é vedado, ocorre a formação do vácuo, a leitura dessa pressão negativa fornece o potencial matricial da água no solo.

Outro método tensiométrico bastante utilizado é o modelo de bloco resistivo, em que, a resistência elétrica entre dois elétrodos embutidos em um meio poroso é proporcional ao seu teor de água, que é relacionado com o potencial matricial de água no solo. O Bouyoucos (bloco de gesso) e Sensor de Umidade de Matrix Granular (GMS) são exemplos de bloco resistivo e, tem como vantagens o baixo custo e simples operação, não necessitam de manutenção e apresenta resistência ao efeito da salinidade. Por outro lado, apresenta baixa resolução e tempo de reação lenta (BENEDÍ E MUÑOZ-CARPENA, 2005).

Entre os métodos indiretos volumétricos, a TDR (Reflectometria no Domínio do Tempo) vem sendo cada vez mais utilizada para determinação da umidade do solo em pesquisas de manejo e conservação da água e do solo (COELHO, 2005). A determinação indireta da umidade em tempo real por esta técnica envolve a medida da constante dielétrica do solo por meio do tempo decorrido por um pulso eletromagnético, obtido através da introdução de hastes de aço inoxidável no solo. Esse tempo decorrido é proporcional à constante dielétrica do solo e varia unicamente com o seu conteúdo de água (MANTOVANI *et al.*, 2007). Dentre vantagens inerentes da técnica da TDR, tem-se a precisão, o fato de ser um método não destrutivo, a não-utilização de radiação ionizante e a possibilidade de automação e de acoplamento a dispositivos multiplicadores de leituras são justificativas fortes para a adoção cada vez maior da técnica em substituição a outros métodos (TOPP *et al.*, 1980; COELHO e OR, 1996). Porém, este equipamento é relativamente caro devido a produtos eletrônicos complexos, sua aplicabilidade é limitada em solos salinos e determina a umidade em um pequeno volume de solo.

O FDR (Reflectometria no Domínio da Frequência) é uma técnica de medida e observação de fenômenos semelhante ao TDR (Reflectometria no Domínio do Tempo) na medida em que se baseia no princípio da reflexão. No entanto, essas medidas e observações são feitas no domínio da frequência (ARAÚJO, 2004). Silva (2005) desenvolveu um sensor FDR e o avaliou quanto à resposta da variação da umidade no solo, obtendo um resultado positivo e concluindo que o mesmo pode ser utilizado no manejo da irrigação. Oliveira (2008) utilizou esse mesmo sensor para realizar o manejo da irrigação em um cultivo de melancia e concluiu que o sensor permite medir a umidade em tempo real. Santos *et al.* (2008) foram mais além e desenvolveram um sistema de redes de sensores sem fio, de baixo custo, para o monitoramento e controle de irrigação de precisão. Em suas avaliações, os autores obtiveram dados de infiltração de água no solo, adquiridos por dois sensores capacitivos FDR, através da transmissão entre um módulo sensor e o módulo mestre conectado a um PC e evidenciaram o correto funcionamento do sistema, podendo ser facilmente instalado em campo. As vantagens do FDR é que ele permite medições em condições altamente salinas (até  $20 \text{ dSm}^{-1}$ ), porém apresenta uma pequena área de alcance (BENEDÍ E MUÑOZ-CARPENA, 2005).

O instrumento, conhecido como medidor de umidade de nêutrons, ou sonda de nêutrons, consiste de dois componentes: uma sonda, introduzida verticalmente no solo por meio de um tubo de acesso previamente instalado, que contém uma fonte emissora de nêutrons rápidos e um detector de nêutrons lentos e um medidor que faz o monitoramento dos nêutrons lentos próximos ao detector, tendo como princípio de funcionamento a emissão de nêutrons rápidos que se chocam com núcleos atômicos que vão gradativamente perdendo velocidade, diminuindo sua energia cinética sendo essa perda máxima quando o nêutron choca-se com um núcleo que tenha aproximadamente a mesma massa, no caso, o núcleo de hidrogênio (AMARO FILHO *et al.*, 2008). A sonda de nêutrons permite medir em diferentes profundidades do solo, não é afetado pela salinidade ou aberturas de ar, determina a umidade em um grande volume de solo, quando comparado com os outros métodos. Por outro lado, é um equipamento caro, pesado, emite radiação e necessita de operador certificado, não podendo ser automatizado devido a perigos (BENEDÍ E MUÑOZ-CARPENA, 2005).

## **2.5 Redes de Sensores Sem Fio – RSSF**

Na última década evidenciou-se um grande avanço tecnológico nas áreas de sensores, circuitos integrados e comunicação sem fio. A integração das três tecnologias propiciou a criação de redes de sensores sem fio (BAGGIO, 2011), que para Chong (2003), é uma das mais importantes tecnologias para o Século XXI.

Uma Rede de Sensores Sem Fios (RSSF), ou Wireless Sensor Network (WSN), é um tipo especial de redes *ad hoc* com capacidade de coletar e processar informações. Este sistema de medição é composto por uma grande quantidade de dispositivos autônomos, chamados “nós sensores”, os quais realizam medições no ambiente e transmitem os dados através da rede, até um ponto de acesso, no qual se encontra uma unidade de coleta e armazenamento, como um microcomputador. (AKYILDIZ *et al.*, 2002; TUBAISHAT *et al.*, 2003; GAJBHIYE e MAHAJAN, 2008). Algumas das variáveis rotineiramente monitoradas por RSSF atuais são: distância, direção, velocidade, umidade, velocidade do vento, temperatura, movimento,

vibração, intensidade luminosa, atividade sísmica, som, peso, pressão, dentre outras (NAYAK *et al.*, 2010).

Entre tantos padrões de redes sem fio existentes como o Bluetooth 802.15.1, Wi-Fi 802.11b, Wireless HART e GPRS/GSM 1XRRT/CDMA, o ZigBee 802.15.4 é o mais cotado para ser utilizado em aplicações de RSSF. Isso se deve ao fato deste padrão ter uma alta confiabilidade, segurança, simplicidade de protocolo, baixos custo e consumo de energia (KINNEY, 2003). Segundo Yick (2008), dispositivos ZigBee podem formar uma rede sem fio ligando centenas de milhares de dispositivos que consomem pouca energia, podendo operar alimentados por pilhas durante anos.

Para Carvalho *et al.*, (2012) a agricultura de precisão é uma das principais áreas de pesquisa em redes de sensores sem fios para aplicações ambientais. O estabelecimento de uma RSSF em fazendas ou plantações, com o intuito de monitorar variáveis relacionadas ao manejo agrícola (como temperatura, pressão, umidade do solo e nível de radiação solar), é o principal tópico investigado na literatura (RIQUELME *et al.*, 2009; ZUOJING *et al.*, 2010; ROCCIA, 2011; MATESE *et al.*, 2012; LIQIANG *et al.*, 2011), buscando a otimização da irrigação e um maior benefício da atividade agrícola.

## **2.6 Aplicação de RSSF na Agricultura**

As Redes de Sensores Sem Fio (RSSF) apresentam grande potencial de emprego na agricultura, especialmente na Agricultura de Precisão (AP), devido à possibilidade de uma ampla área de cobertura de monitoramento (GAJBHIYE e MAHAJAN, 2008). Diversos trabalhos científicos (BECKWITH *et al.*, 2004; OLIVEIRA, 2008; XIAO *et al.*, 2010; NAYAK *et al.*, 2010) e aplicações práticas (BOGENA *et al.*, 2010; SUN *et al.*, 2010; ROCCIA, 2011; REHMAN *et al.*, 2011) tem destacado o monitoramento de variáveis agrícolas por meio de RSSF.

Para Beckwith, (2004) uma RSSF instalada em um campo agrícola pode realizar vários tipos de medições em diversos pontos do campo. Em cada ponto podem ser coletadas amostras da umidade do solo em diferentes profundidades, da temperatura do solo, da temperatura do ar, do nível de radiação solar, entre outras

variáveis de interesse. Todos estes dados seriam transmitidos até uma estação concentradora, como um computador, situada em local protegido (figura 2). De posse desses dados, um especialista pode fazer um mapeamento das condições do campo e da cultura agrícola (BERNARDO, 2006), para tomar decisões sobre a forma e o instante de atuar.

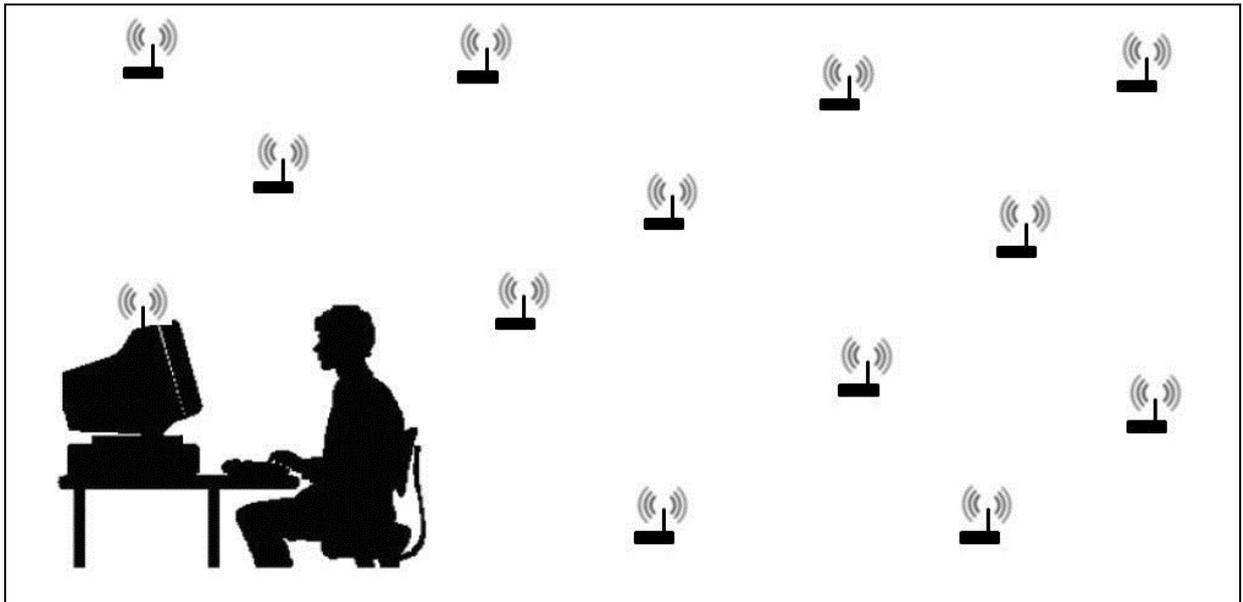


Figura 02. Visão do sistema de transferências de dados.

Segundo Baggio (2011), graças à evolução no campo das redes de sensores, a agricultura de precisão começou a alavancar o seu crescimento, já que permitem um acompanhamento em tempo real, proporcionando, por exemplo, mecanismos para a execução e testes em variadas operações. A irrigação é uma técnica que se baseia no monitoramento contínuo da umidade do solo e exige decisões diárias. A importância das Redes de Sensores sem Fio (RSSF) surge neste contexto, devido à sua capacidade para automatizar determinadas funções na agricultura, especialmente nos sistemas de irrigação. Através de suas particularidades, a RSSF é capaz de monitorar os sistemas de controle de parâmetros físicos como umidade, temperatura e pressão. (GRACON *et al.*, 2010).

Para Pereira *et al.* (2012), o uso de RSSFs buscando aumentar a eficiência da irrigação pode trazer grandes benefícios para a agricultura, pois esta atividade é responsável por cerca de 70% do total de água utilizada no mundo (BRAGA, 2008). Corroborando com essa idéia, pesquisas recentes indicaram que a irrigação feita

com base no sensoriamento da umidade do solo pode resultar em até 80% de economia de água (CARDENAS-LAILHACAR *et al.*, 2010).

Xiong *et al.* (2009), apresentam uma aplicação das RSSF em um sistema de irrigação de precisão, na qual a rede é usada para se obter com exatidão o déficit hídrico e, por conseguinte, realizar a irrigação com eficiência e economia de água. Na aplicação, um algoritmo de roteamento *multi-hop* e um mecanismo de fusão de dados são utilizados para melhorar a exatidão dos dados e garantir a tomada de decisões confiáveis. Vellidis *et al.* (2008), descrevem um protótipo que utiliza sensores sem fio em um sistema de irrigação em cultura de algodão. O sistema consiste de um servidor que recebe os dados do potencial hídrico do campo, por meio da leitura efetuada pela rede de sensores, que então planeja, agenda e controla os processos de irrigação para áreas específicas, por meio de pivôs automatizados, reduzindo custos e desperdício de água. Evans *et al.* (2007), Dassanayake *et al.* (2009), McCulloch *et al.* (2008) discutem a implantação de irrigação com taxas variáveis controladas de forma autônoma por meio de RSSF.

## 2.7 Salinidade

A salinização é um processo que conduz ao aumento da concentração da solução do solo em sais solúveis ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}_2^+$ ,  $\text{Mg}_2^+$ ,  $\text{K}^+$ ) para níveis prejudiciais às plantas, podendo ocorrer de duas formas: causas naturais (salinização primária) ou pode ter origem no manejo inadequado do solo e da água pela ação do homem (salinização secundária).

No mundo, estima-se que 19,5% das terras irrigadas (45 milhões de hectares) e 2,1% das não irrigadas (32 milhões de hectares) estejam afetadas pelos sais (FAO, 2006). A salinidade do solo torna-se bastante evidente em locais de clima árido e semiárido, onde a precipitação pluvial é reduzida e mal distribuída e as elevadas taxas de evapotranspiração propiciam um déficit hídrico durante quase todo o ano. Problemas de drenagem promovidos pelo relevo plano ou algum impedimento subsuperficial também contribuem para acumulação de sais. Desta forma, extensas áreas no Oeste dos Estados Unidos (RICHARDS, 1954), na

Austrália (NAIDU *et al.*, 1995), África, América do Sul e, até mesmo, na Europa (CHHABRA, 1996), convivem com o problema.

O Brasil, devido a sua extensa área territorial, apresenta solos em situações diversas, desde os submetidos à excessiva lixiviação, até solos em que os sais se concentram em teores prejudiciais ao crescimento das plantas. Neste contexto, destaca-se o Sertão Nordestino, abrangendo também outras áreas, como alguns locais na Região Amazônica e no Norte de Minas Gerais (NOVAIS *et al.*, 2007). Entretanto, a maior representatividade dos solos salinizados brasileiros encontra-se na Região Nordeste, dada a sua condição climática. Para Santos (2009), a ocorrência desse processo nos solos do semiárido brasileiro deve-se, principalmente, ao relevo, a geologia e ao clima. Os períodos prolongados de baixa pluviosidade que são constantes, com concomitante aumento significativo da temperatura, que provoca altos índices de evaporação tanto no solo como da água presente nos reservatórios, pode promover a elevação do teor de sais em grande parte das fontes de água (GUILHERME *et al.*, 2005) e, com isso, o manejo inadequado da irrigação contribui para a aceleração do processo de degradação dos solos, limitando a produção agrícola e reduzindo a produtividade das culturas.

Na tabela 1, é possível observar o percentual de perda de produtividade de algumas culturas devido aos níveis de Condutividade Elétrica do extrato de saturação do solo (CEes) e Condutividade Elétrica da água de irrigação (CEi). Porém, algumas culturas, devido a melhor capacidade de adaptação osmótica, conseguem produzir satisfatoriamente mesmo em meio salino. Esta capacidade de adaptação é muito útil e permite a seleção das culturas mais tolerantes, capaz de produzir rendimentos economicamente aceitáveis, quando não se pode manter a salinidade do solo abaixo do nível de tolerância das plantas tradicionalmente cultivadas (GHEYI *et al.*, 1997; AYERS e WESTCOT, 1991).

**Tabela 1-** Percentual de perdas de produtividades de algumas culturas em função da salinidade.

CULTURA	PRODUTIVIDADE POTENCIAL									
	100 %		90%		75%		50%		0%	
	CEes	CEi	CEes	CEi	CEes	CEi	CEes	CEi	CEes	
Alface	1,3	0,9	2,1	1,4	3,2	2,1	5,2	3,4	9,0	
Beterraba	7,0	4,7	8,7	5,8	11,0	7,5	15,0	10,0	24,0	
Cana de açúcar	1,7	1,1	3,4	2,3	5,9	4,0	10,0	6,8	19,0	
Cebola	1,2	0,8	1,8	1,2	2,8	1,8	4,3	2,9	7,4	
Feijão	1,0	0,7	1,5	1,0	2,3	1,5	3,6	2,4	6,3	
Melão	2,2	1,5	3,6	2,4	5,7	3,8	9,1	6,1	16,0	
Milho	1,7	1,1	2,5	1,7	3,8	2,5	5,9	3,9	10,0	
Laranja	1,7	1,1	2,3	1,6	3,3	2,2	4,8	3,2	8,0	
Soja	5,0	3,3	5,5	3,7	6,2	4,2	7,5	5,0	10,0	
Sorgo	6,8	4,5	7,4	5,0	8,4	5,6	9,9	6,7	13,0	
Tomate	2,5	1,7	3,5	2,3	5,0	3,4	7,6	5,0	13,0	
Uva	1,5	1,0	2,5	1,7	4,1	2,7	6,7	4,5	12,0	

Fonte: Ayers e Westcot, 1985.

CEis - Condutividade Elétrica do extrato de saturação do solo em mmhos/cm ou dS/m.

CEi – Condutividade Elétrica da água de irrigação em dS/m.

Os sais em excesso prejudicam o crescimento das plantas não só pelos efeitos diretos sobre o potencial osmótico da solução do solo e pelos íons potencialmente tóxicos presentes em elevadas concentrações, mas também pela degradação de algumas propriedades físicas dos mesmos, reduzindo a infiltração da água, trocas gasosas, crescimento de raízes e, com isso, dificultando o crescimento das plantas. Quantidades excessivas de sais proporcionam uma série de efeitos adversos nas propriedades físicas e químicas do solo, nos processos microbiológicos e no crescimento das plantas (LEVY, 2000; SARDINHA *et al.*, 2003). A salinidade promove maior retenção de água no solo (DIAS, 2010). Diminuição das comunidades bacterianas, além do declínio da sua atividade (SARDINHA *et al.*, 2003). Prejudica a divisão, alongamento celular e mobilização das reservas afetando, deste modo, o processo de germinação das sementes (FURTADO *et al.*, 2007). Induz à toxicidade de íons específicos, causa desequilíbrio nutricional (AMORIM, 2010).

No manejo da irrigação, valores de umidade do solo medidos por meio de sensores podem sofrer a interferência do aumento da condutividade elétrica do solo, onde um acréscimo na quantidade de sal, o que acontece, por exemplo, no caso de uma fertirrigação mal aplicada, implica em um erro na determinação da umidade (BARBOSA, 2011).



24 baixas variações do erro relativo da umidade. Os sensores Watermark, quando calibrados para  
25 o solo específico, podem ser utilizados para fins de manejo de irrigação.

26 **Palavras-chave:** Teor de água. Sensoriamento. Irrigação eficiente.

27

## 28 CALIBRATION AND VALIDATION OF SOIL MOISTURE SENSOR 29 USING WIRELESS

30

### 31 ABSTRACT

32

33 This paper aims to obtain and compare models Watermark sensor calibration using a  
34 Wireless Sensor Network (WSN). The experiment was conducted from 13 to 20 March 2013.  
35 The soil used was Vertisol Haplico texture blunt / clay that was air dried and sifted in  
36 destorroado mesh sieve of 2 mm in diameter. The experiment consisted of twelve vessels of  
37 63 cm height and diameter greater than equal to 53 cm. These pots were planted grass  
38 seedlings-Bahiagrass (*Paspalum notatum*) and installed soil moisture sensor, Watermark  
39 brand, model 200SS, at a depth of 20 cm. A Wireless Sensor Network was used to receive the  
40 measured daily and store them in a database. During a cycle of wetting / drying soil, soil  
41 samples were collected every day in each pot also 20 cm depth to determine soil moisture by  
42 gravimetric method. The results indicated that the low coefficients of determination obtained  
43 in the calibration of some sensors did not affect the values of the relative error of moisture.  
44 The largest change in moisture relative error occurred at the moment when the soil had the  
45 highest water content. The application of a general equation of calibration of the sensors  
46 showed low variation of the relative error of moisture. Watermark sensors when calibrated to  
47 the specific soil, can be used for irrigation management.

48 **Keywords:** Water content. Sensing. Efficient irrigation.

## INTRODUÇÃO

49  
50  
51  
52  
53  
54  
55  
56  
57  
58  
59  
60  
61  
62  
63  
64  
65  
66  
67  
68  
69  
70  
71  
72  
73

Atualmente, tem se destacado a utilização de diferentes tecnologias de sensoriamento aplicadas na agricultura, desde sensores voltados à coleta de dados do solo e de características ambientais até a transmissão das informações coletadas por distintas tecnologias sem fio (LEE, 2010; ZUOJING e HAIHUI, 2010; ZHANG, 2011; CARVALHO *et al.*, 2012). Nesse contexto, a utilização de sensores de umidade do solo é um dos meios mais prático para acompanhar o teor de água no solo, e sua aplicação vem trazendo várias contribuições ao meio agrícola (BOGENA *et al.*, 2010; SUN *et al.*, 2010; CARDENAS-LAILHACAR e DUKES, 2010; ROCCIA, 2011; REHMAN *et al.*, 2011).

Diversos são os métodos que quantificam a umidade do solo. Devido às dificuldades que envolvem a determinação direta pelo método gravimétrico, geralmente utilizam-se métodos indiretos, em que a umidade é estimada a partir da medição de alguma propriedade do solo a ela relacionada (MIRANDA *et al.*, 2007). Os principais métodos indiretos baseiam-se em medidas, como a tensão da água no solo, a moderação de nêutrons, a resistência do solo à passagem de corrente elétrica, e a constante dielétrica do solo (ADAMCHUK *et al.*, 2004; LEÃO *et al.*, 2007).

Sensores do tipo resistência e capacitância elétrica têm algumas vantagens como não requerer manutenção periódica e principalmente em sua utilização na irrigação automatizados (MIRANDA *et al.*, 2007). Entretanto, em virtude de os sensores determinarem o conteúdo de água do solo de forma indireta, é necessário a realização de calibrações para os solos a serem monitorados, em razão das diferenças físicas que os mesmos apresentam.

As regiões semiáridas, como a do Polo de Desenvolvimento Petrolina-Juazeiro, localizada no semiárido nordestino, são caracterizadas por apresentar baixos índices pluviométricos e altas taxas de evapotranspiração. A combinação desses dois processos

74 naturais com a adoção da irrigação mal manejada resulta em altas concentrações de sais no  
75 solo (BRITO *et al.*, 2005; CHAVES *et al.*, 2006; LOPES *et al.*, 2008). Segundo Barbosa  
76 (2011), a presença de sais promove um aumento da condutividade elétrica do solo, causando  
77 interferência na determinação de umidade pelos sensores. Apesar de o equipamento prover  
78 uma calibração universal, o fabricante, bem como os resultados na literatura (FARES *et al.*,  
79 2004; GROVES e ROSE, 2004; SANTOS *et al.*, 2006) ressaltam que calibrações locais  
80 podem melhorar a precisão do equipamento, ainda que sejam trabalhosas e onerosas.

81 Considerando que, para alcançar um manejo eficiente da irrigação, faz-se necessário  
82 uma calibração dos sensores para obter uma boa precisão na determinação da umidade, este  
83 trabalho tem como objetivo calibrar, gerar e comparar um modelo representativo e eficiente  
84 para leitura da umidade do solo com os sensores Watermark.

85

86

## MATERIAL E MÉTODOS

87

88 O trabalho foi conduzido em uma área experimental da Universidade Federal do Vale do  
89 São Francisco – Campus de Juazeiro - BA, que se localiza nas coordenadas geográficas:  
90 latitude 09° 24' S, longitude 40° 31' W, e altitude de 371 m. Segundo a classificação de  
91 Köppen, o clima desta área apresenta-se como tropical semiárido, tipo BshW, seco e quente  
92 na parte norte e semiárido quente estípico na parte sul, caracterizado pela escassez e  
93 irregularidade das precipitações, com chuvas no verão e forte evaporação em consequência  
94 das altas temperaturas.

95 O experimento foi realizado no período de 13 a 20 de março de 2013. O solo utilizado  
96 foi o Vertissolo Háptico, textura franco/argilosa, classificado segundo o Sistema Brasileiro de  
97 Classificação de Solos (EMBRAPA, 2006), com 45,2% de areia, 24,0% de silte e 30,8% de  
98 argila. O solo foi seco ao ar, destorroado e peneirado em malha de 2 mm de diâmetro. O

99 experimento foi constituído por doze vasos de 63 cm altura e diâmetro superior igual a 53 cm,  
100 e volume de 105 Litros. Os vasos foram perfurados para facilitar a drenagem, adicionado uma  
101 camada de brita de 5 cm e preenchidos com o solo.

102 Nos vasos foram plantadas mudas de grama-batatais (*Paspalum notatum*), uma das  
103 culturas de referência para pesquisa da evapotranspiração (ALLEN *et al.*, 1998). Um mês  
104 após o plantio, foi instalado um sensor de umidade do solo em cada vaso, na profundidade de  
105 20 cm. Os sensores utilizados foram da marca Watermark, modelo 200SS.

106 Foi utilizado um módulo SMX, conectado aos sensores Watermark, para ler a  
107 resistência AC do Watermark.

108 A coleta dos dados medidos pelos sensores foi feita por meio de uma Rede de Sensores  
109 Sem Fios (RSSFs), constituída por 13 XBee's, sendo um coordenador (nó sorvedouro)  
110 conectado via USB a um computador, e doze nós sensores conectados aos sensores de  
111 umidade do solo instalados nos vasos. Os dados recebidos pelo computador foram  
112 armazenados em um banco de dados.

113 Após a instalação da RSSFs, deu-se início a coleta de dados pelos sensores a cada 20  
114 minutos, durante 8 dias. Foram coletadas amostras deformadas de solo em cada vaso, sempre  
115 as 10:00 hs, na profundidade de 20 cm. Após a pesagem do solo úmido, as amostras foram  
116 colocadas em estufa a 105 °C, permanecendo por 24 hs, quando novamente foram pesadas  
117 para determinação da umidade padrão.

118 Os sensores utilizados no experimento foram calibrados individualmente através da  
119 equação (1). Esta equação apresenta uma relação entre umidade e constante dielétrica  
120 aparente do solo. Onde  $y$  é o valor volumétrico da umidade do solo obtido pelos sensores e  $x$   
121 é a umidade do solo obtida pelo método padrão. Também foi realizada, por meio desta mesma  
122 equação, uma calibração geral utilizando todos os dados coletados pelos sensores.

123

124 
$$y = a + b x \quad (1)$$

125

126 Foi feito uma avaliação quantitativa do erro relativo da umidade do solo medido pelos  
127 sensores, onde:  $\Delta U$  - erro relativo entre os valores da umidade do solo medidos pelo método  
128 padrão estufa ( $U_p$ ) e pelo sensor Watermark ( $U_s$ ).

129

130 
$$\Delta U = |U_p - U_s| / U_p \quad (2)$$

131

132 Com os dados foram realizado análise descritiva e comparação de média dos valores do  
133 erro relativo ( $\Delta U$ ) das diferentes equações obtidas.

134

## 135 **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

136

137 A Tabela 1 apresenta as equações de calibração dos 12 sensores de umidade do solo e  
138 seus respectivos coeficientes de determinação. Observa-se que os sensores 1, 2, 4, 5, 6, 10, 11  
139 e 12 apresentaram elevados coeficientes de determinação. Enquanto os sensores 3, 7, 8 e 9  
140 obtiveram um baixo coeficiente, com valores de 0,750; 0,520; 0,540; 0,690; respectivamente.

141 Os baixos coeficientes encontrados podem estar relacionados com os problemas citados  
142 por Périès e Enciso (2009), que estudando a interpretação das leituras de sensores Watermark  
143 em solos específicos, observou que estes sensores podem ser afetados por aberturas de ar  
144 causada por rachaduras no solo ou pelas interações com as raízes, conduzindo a erros na  
145 determinação da umidade do solo, devido ao mal contato entre o sensor e o solo.

146

147

148

149

150 **Tabela 2.** Equações lineares e coeficiente de determinação dos sensores.

Sensor Watermark	y (a x + b)	R <sup>2</sup>
1	0,01759 x + 7,504	0,920
2	0,01473 x + 8,954	0,930
3	0,01157 x + 11,05	0,750
4	0,01492 x + 8,567	0,820
5	0,01873 x + 6,058	0,830
6	0,01500 x + 10,23	0,820
7	0,009987 x + 13,09	0,520
8	0,01076 x + 10,58	0,540
9	0,01491 x + 9,083	0,690
10	0,01193 x + 9,407	0,870
11	0,01565 x + 9,172	0,950
12	0,01216 x + 10,66	0,910
Equação Geral	0,6572 x + 3,17	0,821

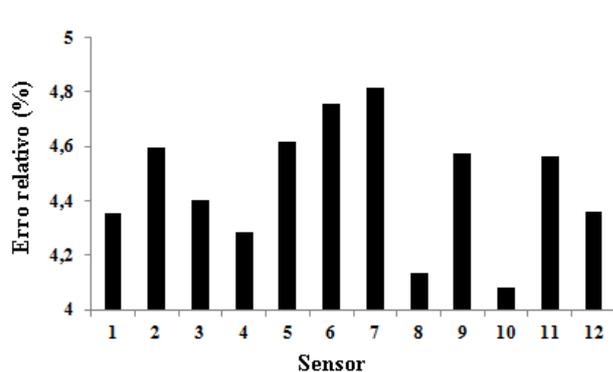
151

152 Na figura 1 é possível observar que os baixos coeficientes de determinação dos sensores  
153 citados na tabela 1, não influenciaram nos valores de  $\Delta U$  (erro relativo entre os valores da  
154 umidade do solo medidos pelo método padrão estufa e pelo sensor Watermark). Nota-se na  
155 Figura 1 que os sensores 1, 2, 11 e 12 com coeficiente de determinação acima de 0,900  
156 apresentaram maiores valores de  $\Delta U$  em comparação com o sensor 8 com coeficiente de  
157 0,540. Desta forma, entende-se que mesmo que o coeficiente de determinação apresente um  
158 baixo valor, a equação pode ser aplicada para determinação da umidade do solo pelos  
159 sensores Watermark.

160 Na figura 2, percebe-se que o maior valor do erro relativo ocorreu no instante que o solo  
 161 apresentava o maior teor de água, ou seja, na primeira coleta após a irrigação, quando o solo  
 162 estava saturado. Miranda *et al.* (2007), trabalhando com sensor dielétrico ECH<sub>2</sub>O em dois  
 163 tipos de solo, observaram que os erros mais expressivos ocorreram principalmente para teores  
 164 mais altos de água no solo. Confirmando que tensões menores (solo mais úmido) apresentam  
 165 maior variação nos valores da umidade, Freitas *et al.* (2012), em trabalho com sensor da  
 166 umidade do solo alternativo no manejo de irrigação, observaram que para tensão de 20 kPa,  
 167 os sensores apresentaram variações consideráveis. Segundo Benedetto (2010), este fenômeno  
 168 decorre, possivelmente, devido à maior mobilidade dos íons presentes na solução do solo ou  
 169 mesmo dos íons presentes no dielétrico (sulfato de cálcio), uma vez que a resposta dielétrica  
 170 de alguns materiais, é influenciada pela componente iônica.

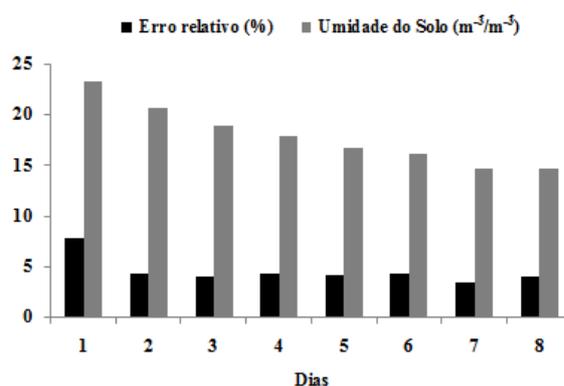
171 Ainda na Figura 2, observa-se que ocorreu baixa variação do erro relativo durante o  
 172 secamento do solo, apresentando valores de 3 a 5 %. Manieri *et al.* (2007) calibrando uma  
 173 sonda espiral de TDR observou que o erro foi de 3 a 6% em laboratório e 5 a 6 % em testes de  
 174 campo.

175



**Figura 1.** Valores médios do erro relativo de cada sensor utilizado no ciclo de umedecimento/secagem do solo.

176



**Figura 2.** Valores médios do erro relativo dos sensores e da umidade do solo durante o ciclo de umedecimento/secagem do solo.

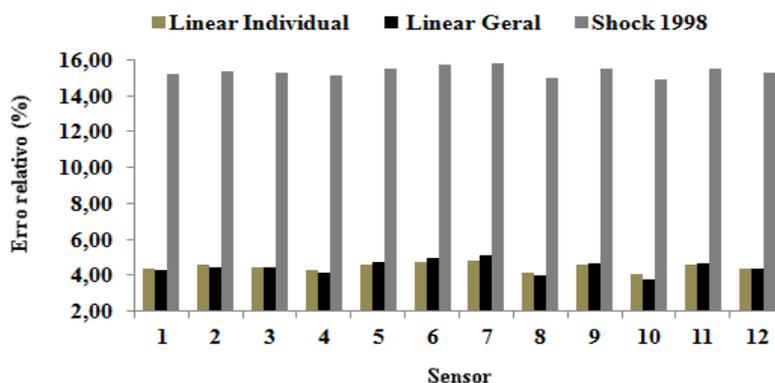
177 A Figura 3 apresenta uma comparação de  $\Delta U$  em relação a diferentes equações  
178 utilizadas na calibração dos sensores Watermark. Foi utilizada uma equação geral ( $y = 0,6572$   
179  $x + 3,1713$ ), de coeficiente de determinação de 0,821, obtida com todos os dados coletados na  
180 calibração dos sensores. E outra, estudada por Shock *et al.* (1998).

181 Nota-se nessa figura que os valores de  $\Delta U$  utilizando as calibrações individuais e geral  
182 apresentaram baixas variações entre elas. Assim, pressupõe-se que para fins de manejo de  
183 irrigação, a equação geral pode ser aplicada para os sensores Watermark em solos franco  
184 argilosos. Por outro lado, aplicado-se a equação de calibração de Shock *et al.* (1998), os  
185 valores médios de  $\Delta U$  seriam superestimados em até 16%.

186 Miranda *et al.* (2007), observaram que, se fosse utilizada a equação de calibração  
187 recomendada pelo fabricante, os valores de umidade do solo determinados pelo sensor  
188 ECH2O seriam superestimados em até 45% em relação à umidade real do solo. Enquanto  
189 Barbosa *et al.* (2012), trabalhando com o mesmo tipo de sensor, conclui que a equação do  
190 fabricante superestimou os valores de umidade do solo, para umidades superiores a 10%,  
191 sendo necessária a calibração para solos de textura diferentes.

192 Thompson *et al.* (2005) sugerem que, mesmo quando as calibrações são equações  
193 desenvolvidas especificamente ou verificado para um solo particular, diferentes condições de  
194 cultivo pode reduzir sensivelmente a precisão dessas equações de calibração, e conclui que os  
195 efeitos da salinidade do solo sobre os sensores Watermark tem ainda de ser descrito.

196



197 **Figura 3.** Comparação dos valores médios de  $\Delta U$  em função de diferentes calibrações dos  
 198 sensores Watermark.

199

200

201

## CONCLUSÕES

202

203 1. Os baixos coeficientes de determinação obtidos na calibração de alguns sensores não  
 204 influenciaram nos valores do erro relativo da umidade.

205

206 2. A maior variação do erro relativo da umidade ocorreu no instante em que o solo  
 207 apresentava o maior teor de água.

208

209 3. A aplicação de uma única equação de calibração dos sensores apresentou baixas variações  
 210 do erro relativo da umidade.

211

212 4. Os sensores Watermark, quando calibrados para o solo específico, podem ser utilizados  
 213 para fins de manejo de irrigação.

214

215

216

217  
218  
219  
220  
221  
222  
223  
224  
225  
226  
227  
228  
229  
230  
231  
232  
233  
234  
235  
236  
237  
238  
239  
240

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Fapesb, financiadora do Projeto Pesquisa – Edital 011/2011, termo de outorga- nº APP0023/2011, e a Univasf pela oportunidade oferecida.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADAMCHUK, V. I. et al. On –the-go soil sensors for precision agriculture. Computers and Electronics in Agriculture, Amsterdam, v. 44, p. 71-91, 2004.
- ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. Crop evapotranspiration Guidelines for computing crop water requeriments. Rome: FAO-Irrigationand drainage, Paper 56, 319 p. 1998.
- BARBOSA, M. A. G. Calibração e uso de sensores FDR para determinação da umidade e salinidade em dois tipos de solos. 2011. 88 f. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) - Universidade Federal Rural do Semiárido (UFERSA), Mossoró-RN, 2011.
- BARBOSA, M. A. G.; FIGUEIREDO, V. B.; MEDEIROS, J. F.; NASCIMENTO, I. B.; CARVALHO, B. L.; PALÁCIO, V. S. Calibração de sensor FDR ECH2O para determinação da umidade em dois tipos de solos. Revista Brasileira de Agricultura Irrigada. Fortaleza – CE. 2012.
- BENEDETTO, A. Water content evaluation in unsaturated soil using GPR signal analysis in the frequency domain. Journal of Applied Geophysics, v.71, p.26-35, 2010.
- BOGENA, H. R. et al..Potential of Wireless Sensor Networks for Measuring Soil Water Content Variability..Vadose Zone Journal 2010 Soil Science Society of America, Vol.9(4), p. 1002-1013. November 2010.

- 241 BRITO, L. T. L.; SRINIVASAN, V. S.; SILVA, A. S.; GHEYI, H. R.; GALVÃO, C. O.;  
242 HERMES, L. C. Influência das atividades antrópicas na qualidade das águas da Bacia  
243 Hidrográficas de Rio Salitre. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental,  
244 v.9, p.596-602, 2005.
- 245 CARDENAS-LAILHACAR, B.; DUKES, M. D. Precision of soil moisture sensor irrigation  
246 controllers under field conditions. Agricultural Water Management, n. 97, 2010. pp.  
247 666-672.
- 248 CARVALHO, F. B. S ; LEAL, B. G. ; SANTOS FILHO, J. V. ; BAIOCCHI, O. R. ; LOPES,  
249 W. T. A. ; ALENCAR, M. S. . Aplicações Ambientais de Redes de Sensores Sem Fio.  
250 Revista de Tecnologia da Informação e Comunicação, v. 02, p. 14-19, 2012.
- 251 CHAVES, L. C. G.; ANDRADE, E. M.; CRISÓSTOMO, L. A.; NESS, R. L. L.; LOPES, J.  
252 F. B. Risco de degradação em solo irrigado do Distrito de Irrigação do Perímetro Araras  
253 Norte, Ceará. Revista Ciência Agronômica, v.37, p.292-298, 2006.
- 254 EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Sistema  
255 Brasileiro de Classificação de Solos. Brasília: Centro Nacional de Pesquisas de Solos,  
256 370p. 2006.
- 257 FARES, A.; BUSS, P.; DALTON, M.; EL-KADI, A. I.; PARSONS, L. R. Dual field  
258 calibration of capacitance and neutron soil water sensors in a shrinking-swelling clay  
259 soil. Valdose Zone Journal, v.4, p.1390-1399, 2004.
- 260 FREITAS. A. W.; CARVALHO, J. A.; BRAGA R. A.; ANDRADE, M. J. B. Manejo da  
261 irrigação utilizando sensor da umidade do solo alternativo. Revista Brasileira de  
262 Engenharia Agrícola e Ambiental. v.16, n.3, p.268–274. 2012.
- 263 GROVES S.J.L.; ROSE S.C.L. Calibration equations for Diviner 2000 capacitance  
264 measurements of volumetric soil water content of six soils. Soil Use and Management,  
265 v.20, n.1, p.96-97, 2004.

- 266 LEÃO, R. A. O.; TEIXEIRA, A. S.; CANAFÍSTULA, F. J. F.; MESQUITA, P. E. G.;
- 267 COELHO, S. L. Desenvolvimento de um dispositivo eletrônico para calibração de
- 268 sensores de umidade do solo. Engenharia Agrícola, v. 27, p. 294-303, 2007.
- 269 LEE, W. S. et al.. Sensing technologies for precision specialty crop production. Computer and
- 270 Electronics in Agriculture, Vol. 74 (1), p.2-33. 2010.
- 271 LOPES, J. F. B; ANDRADE, E. M.; CHAVES, L. C. G. Impacto da irrigação sobre solos de
- 272 perímetros irrigados na Bacia do Acaraú, Ceará, Brasil. Engenharia Agrícola. v.28, p.34-
- 273 43, 2008.
- 274 MANIERI, J. M.; VAZ, C. M. P.; MARIA, I. C. Sonda espiral de tdr para a medida da
- 275 umidade no perfil do solo. Revista Brasileira Ciência do Solo. 2007
- 276 MIRANDA, F. R. et al. Calibração do sensor dielétrico ECH<sub>2</sub>O em dois tipos de solo. Revista
- 277 Ciência Agronômica, Fortaleza, v.38, n.3, pp.317-321, Jul.-Set., 2007.
- 278 PÉRIÈS, X. E.; ENCISO, J. M. Interpretation of Watermark Sensor Readings in Specific Soil
- 279 Types. Subtropical Plant Science, 61:6-14. 2009.
- 280 THOMPSON, R. B.; GALLARDO E. M.; AGUERA, E. T.; VALDEZ. L.C.; FERNÁNDEZ
- 281 E. M. D. Evaluation of the Watermark sensor for use with drip irrigated vegetable crops.
- 282 Irrig Sci. May 2005
- 283 REHMAN, A. U. et al. A review of wireless sensors and networks applications in agriculture.
- 284 Computer Standards & Interfaces, 2011.
- 285 ROCCIA, C. J. Avaliação de Redes de Sensores Sem Fio Aplicadas a Cultivos de Milho,
- 286 Eucalipto e Pinhão. Dissertação de Mestrado - Faculdade de Tecnologia - UNICAMP,
- 287 2011.
- 288 SANTOS, R. M.; OLIVEIRA, A. S.; VELLAME, L. M.; BRANDÃO, F. J. C. Montagem e
- 289 acurácia de um sistema experimental de pesagem para calibração de sensores de
- 290 umidade do solo. Ciênc. agrotec., Lavras, v. 30, n. 6, pp. 1162-1169, nov./dez., 2006.

- 291 SHOCK, C.C.; BARNUM, J.; SEDDIGH, M. Calibration of Watermark soil moisture sensors  
292 for irrigation management, In: Proc. Irrigation Assn., Intl. Irr. Show. p. 139-146. 1998.
- 293 SUN, D. et al.. WSN Design and Implementation in a Tea Plantation for Drought Monitoring.  
294 IEEE Computer Society - 2010 International Conference on Cyber-Enabled Distributed  
295 Computing and Knowledge Discovery, pp. 156-159. 2010.
- 296 ZUOJING, Z.; HAIHUI, Z. Design of wireless monitoring and warning system for protected  
297 agriculture environment. 6th International Conference on Wireless Communications  
298 Networking and Mobile Computing, pp. 1-5. 2010.
- 299 ZHANG, R. et al. A calibration method of detecting soil water content based on the  
300 information-sharing in wireless sensor network. Computer and Electronics in  
301 Agriculture, Vol.76,p.161-168.2011.



# 1 EFEITO DA SALINIDADE NO SENSORIAMENTO DA UMIDADE DO SOLO<sup>(1)</sup>

2  
3 Danillo Olegário Matos da Silva<sup>(2)</sup>, Brauliro Gonçalves Leal<sup>(3)</sup> & Augusto Miguel Nascimento

4 Lima<sup>(3)</sup>

## 6 RESUMO

7  
8 Este trabalho avalia o efeito da salinidade na medição da umidade do solo utilizando  
9 sensores resistivos na região do Submédio São Francisco. O experimento foi constituído por  
10 doze vasos com o solo Vertissolo Háptico, que foi seco ao ar, destorroado e peneirado em  
11 peneira de malha de 2 mm de diâmetro. Nestes vasos foram plantadas mudas de grama-  
12 batatais (*Paspalumnotatum*) e instalado sensores de umidade do solo, de marca Watermark,  
13 modelo 200SS, na profundidade de 20 cm. Uma Rede de Sensores Sem Fio foi utilizada para  
14 receber os valores medidos e armazená-los em um banco de dados. Os tratamentos foram  
15 constituídos de quatro níveis de água salina (0, 3, 6, e 9 dS/m), utilizando Cloreto de Sódio  
16 (NaCl) para a elevação da condutividade elétrica do extrato saturado do solo (CEes). As  
17 soluções foram preparadas e aplicadas em três ciclos de umedecimento/secagem, mantendo  
18 sempre a umidade do solo entre a capacidade de campo e ponto de murcha permanente. O  
19 delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado em esquema fatorial 4x3,  
20 com três repetições. Os resultados indicaram que os diferentes níveis de salinidade não  
21 influenciaram no erro relativo da umidade do solo determinado pelos sensores.

22 **Palavras-chave:** Sensor de Umidade. Condutividade Elétrica. Rede de Sensors Sem Fios.

---

<sup>(1)</sup> Parte da dissertação de Mestrado em Engenharia Agrícola do primeiro autor.

<sup>(2)</sup> Mestrando em Engenharia Agrícola. [danilloolegario@hotmail.com](mailto:danilloolegario@hotmail.com)

<sup>(3)</sup> Doutor, Prof. Adjunto, Universidade Federal do Vale do São Francisco – UNIVASF. Av. Antonio Carlos Magalhães, 510 Country Club, Juazeiro-BA. CEP: 48.902-300.

## EFFECT OF SALINITY ON SENSING OF SOIL MOISTURE

### ABSTRACT

This study evaluates the effect of salinity on the measurement of soil moisture using resistive sensors in the region of Lower-middle São Francisco. The experiment consisted of twelve pots with soil Vertisol Haplico, which was air dried and sifted in destorroado mesh sieve of 2 mm in diameter. These pots were planted grass seedlings-batatais (*Paspalumnotatum*) and installed soil moisture sensors, Watermark brand, model 200SS, the depth of 20 cm. A Wireless Sensor Network was used to receive the measured values and store them in a database. The treatments consisted of four levels of saline water (0, 3, 6, and 9 dS / m), using sodium chloride (NaCl) to increase the electrical conductivity of saturated soil extract (CEEs). The solutions were prepared and applied to three cycles of wetting / drying, keeping soil moisture between field capacity and wilting point. The experimental design was completely randomized in a 4x3 factorial design with three replications. The results showed that different salinity levels did not influence the relative error of soil moisture determined by the sensors.

**Keywords:** Humidity Sensor. Electrical Conductivity. Wireless Sensors Network.

### INTRODUÇÃO

A umidade do solo é um índice básico para quantificar a água de amostras de solo (Libardi, 2005), e sua determinação, através dos métodos diretos ou indiretos, é de grande importância no manejo eficiente da irrigação. Os métodos diretos são bastante precisos e baratos por um lado, mas, por outro, são demorados e destrutivos. Benedí e Muñoz-Carpena

48 (2005) classificam os métodos indiretos em tensiométricos e volumétricos. Os métodos  
49 tensiométricos incluem o tensiômetro, bloco de gesso, sensor de dissipação de calor e  
50 psicrômetro. Já os volumétricos são representados pela reflectometria no domínio do tempo –  
51 TDR, reflectometria no domínio da frequência – FDR, reflectometria no domínio da  
52 amplitude – ADR, transmissão de fase e transmissão no domínio do tempo – TDT. Estes  
53 métodos são usados para a obtenção do potencial matricial e o volume de água no solo,  
54 respectivamente, não são destrutivos e permitem sua utilização em múltiplas leituras em um  
55 mesmo local, mas, seus resultados podem sofrer a influência de fatores como salinidade e  
56 temperatura (SANTOS *et al.*, 2006; CARDENAS-LAILHACARE e DUKES, 2010;  
57 CELINSKI *et al.*, 2011).

58 As regiões Semiáridas, como as do nordeste brasileiro, caracterizam-se por apresentar  
59 baixos índices pluviométricos e intensa evapotranspiração. Nestas regiões, a baixa eficiência  
60 da irrigação e a drenagem insuficiente tem contribuído para a degradação físico-química dos  
61 solos, que é um dos graves problemas agrícolas (AMARAL, 2011), sendo a salinidade do solo  
62 um importante fator desta degradação.

63 Segundo Novais *et al.* (2007), os sais em excesso no solo prejudicam o crescimento das  
64 plantas cultivadas não só pelos efeitos diretos sobre o potencial osmótico da solução do solo e  
65 pelos íons potencialmente tóxicos presentes em elevadas concentrações, mas também pela  
66 degradação de algumas propriedades físicas dos mesmos, reduzindo a infiltração da água,  
67 trocas gasosas, crescimento de raízes e, com isso, dificultando o crescimento das plantas. Para  
68 Amorim *et al.* (2010), a salinidade induz à toxicidade de íons específicos, causa desequilíbrio  
69 nutricional, provocando redução do crescimento e diminuição do rendimento das culturas.

70 No manejo da irrigação, valores de umidade do solo medidos por meio de sensores  
71 podem sofrer a interferência do aumento da condutividade elétrica do solo, onde um

72 acréscimo na quantidade de sal implica em um erro na determinação da umidade  
73 (BARBOSA, 2011).

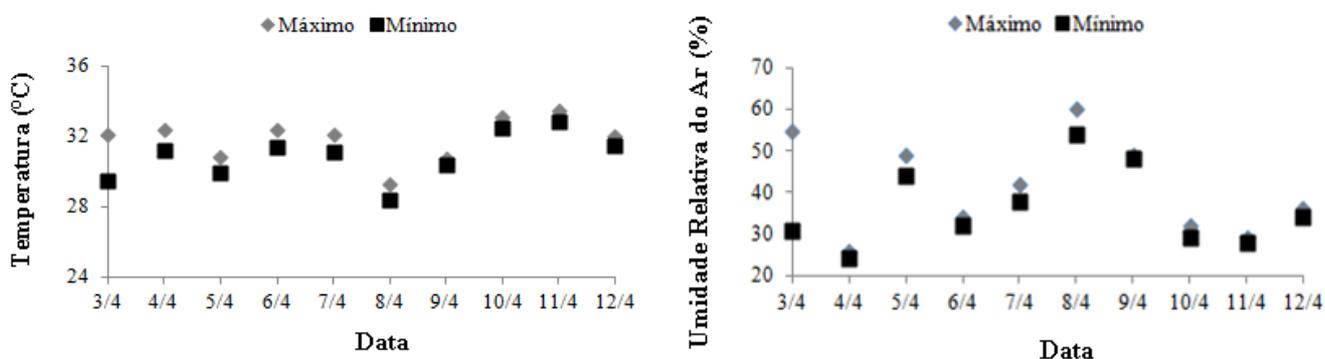
74 Desta forma, o objetivo do presente trabalho foi avaliar o efeito da salinidade na  
75 determinação da umidade do solo utilizando sensores resistivos na região do Submédio São  
76 Francisco.

77

## 78 MATERIAL E MÉTODOS

79

80 O trabalho foi conduzido em uma área experimental da Universidade Federal do Vale do  
81 São Francisco – Campus de Juazeiro– BA, que se localiza nas coordenadas geográficas:  
82 latitude 09° 24' S, longitude 40° 31' W, e altitude de 371 m. Segundo a classificação de  
83 Köppen, o clima desta área apresenta-se como tropical semiárido, tipo BshW, seco e quente  
84 na parte norte e semiárido quente estípico na parte sul, caracterizado pela escassez e  
85 irregularidade das precipitações com chuvas no verão e forte evaporação em consequência das  
86 altas temperaturas. Durante o experimento, no período de 03 a 11 de abril de 2013, houve  
87 baixa variação na temperatura e umidade relativa (Figura 1), sem ocorrências de  
88 precipitações.



89 **Figura 1.** Média dos valores de temperatura e umidade (máximo e mínimo), durante os três  
90 ciclos de umedecimento/secagem.

91

92 O experimento foi constituído por doze vasos de 63 cm altura e diâmetro superior igual  
93 a 53 cm. O solo utilizado foi o Vertissolo Háptico, textura franco/argilosa classificado  
94 segundo o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 2006), apresentando  
95 45,2% de areia, 24% de silte e 30,8% de argila. O solo foi seco ao ar, destorroado e peneirado  
96 em peneira de malha de 2 mm de diâmetro. Os vasos foram perfurados para facilitar a  
97 drenagem, adicionado uma camada de brita (5 cm) e preenchidos com o solo.

98 Nos vasos foram plantadas mudas de grama-batatais (*Paspalumnotatum*), uma das  
99 culturas de referência para pesquisa da evapotranspiração (ALLEN *et al.*, 1998). Um mês  
100 após o plantio, foi instalado um sensor de umidade do solo em cada vaso, na profundidade de  
101 20 cm. Os sensores utilizados foram da marca Watermark, modelo 200SS, fabricado pela  
102 Irrometer Company, Riverside – Califórnia. Estes sensores baseiam-se na determinação da  
103 resistência oferecida à passagem de uma corrente elétrica entre dois elétrodos. A resistência  
104 varia inversamente proporcional ao teor de água no bloco. Os sensores foram calibrados no  
105 período de 13 a 20 de março de 2013, obtido uma equação linear para cada sensor e utilizados  
106 na aplicação dos tratamentos.

107 A leitura dos dados medidos pelos sensores foi feita por meio de uma Rede de Sensores  
108 Sem Fios (RSSFs), constituída por 13 XBee's, sendo um coordenador (nó sorvedouro)  
109 conectado via USB a um computador, e doze nós sensores conectados aos sensores de  
110 umidade do solo instalados nos vasos. Os dados recebidos pelo computador foram  
111 armazenados em um banco de dados.

112 Após a instalação da RSSF, deu-se início a aplicação dos tratamentos e coleta de dados.  
113 Os tratamentos foram constituídos de quatro níveis de água salina (0, 3, 6, e 9 dS/m<sup>-1</sup>),  
114 considerando a dose 0 como testemunha, e para elevação da Condutividade Elétrica (C.E.) do  
115 extrato saturado dos demais solos foi utilizado diferentes doses de cloreto de sódio (NaCl). As  
116 soluções foram preparadas e aplicadas em três ciclos de umedecimento/secagem, Ciclo 1

117 (03/04 a 05/04), Ciclo 2 (06/04 a 08/04) e Ciclo 3 (09/04 a 11/04), mantendo sempre a  
118 umidade do solo entre a capacidade de campo e ponto de murcha permanente. A concentração  
119 da solução foi calculada a partir da relação entre condutividade elétrica da água de irrigação  
120 (CEa), expressa em  $\text{dS/m}^{-1}$ , e a concentração de sais solúveis (C), expressa em  $\text{mmol}_e\text{L}^{-1}$ , em  
121 que:  $C = \text{CEa} \times 10$  (RHOADES *et al.*, 1992).

122 Durante os ciclos foram coletadas amostras de solo deformadas duas vezes ao dia,  
123 (10:00 e 16:00hs), na profundidade de 20 cm. Após a pesagem do solo úmido, as amostras  
124 foram colocadas em estufa a  $105^\circ\text{C}$ , permanecendo por 24hs, quando novamente foram  
125 pesadas. Determinou - se, a partir dessas amostras, a condutividade elétrica do extrato  
126 saturado do solo utilizando um condutivímetro digital automático.

127 O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado (DIC) em  
128 esquema fatorial  $4 \times 3$ , com três repetições. Os tratamentos constituíram de quatro níveis de  
129 água salina e três ciclos de umedecimento/secagem do solo. Foi feito uma avaliação  
130 quantitativa do efeito da salinidade nos sensores de umidade do solo por meio do erro  
131 relativo.

$$132 \quad \Delta U = |U_p - U_s| / U_p \quad (1)$$

133 Onde:  $\Delta U$  - erro relativo entre os valores da umidade do solo medidos pelo método padrão  
134 estufa ( $U_p$ ) e pelo sensor Watermark ( $U_s$ ).

135 A análise dos dados foi realizada pela análise de variância e posteriormente com o teste  
136 de Tukey a 5% de probabilidade, para comparação de médias. Utilizou o software Assisat 7.6  
137 (SILVA e AZEVEDO, 2006).

138

139

140

141

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

142

143

144 A Tabela 1 apresenta os valores médios de  $\Delta U$  (erro relativo entre os valores da  
145 umidade do solo medidos pelo método padrão estufa e pelo sensor Watermark) em função das  
146 coletas de solos em diferentes horários e níveis de salinidade durante os três ciclos de  
147 umedecimento/secagem do solo. Nesta tabela, pode-se observar que os valores médio de  $\Delta U$   
148 variou de 1,7 a 6,3%. Durante estes ciclos, os diferentes níveis de salinidade não  
149 influenciaram estatisticamente nos valores de  $\Delta U$ . Segundo Benedí e Muñoz-Carpena (2005),  
150 os sensores de umidade do solo Watermark possui gesso no seu interior que diminui os efeitos  
151 da salinidade.

152 Pode-se observar ainda que no Ciclo 3 não houve diferença significativa entre os  
153 horários de coletas, onde o erro relativo foi de até 3,3%. Já nos Ciclos 1 e 2 ocorreram as  
154 maiores variações no valores de  $\Delta U$  no instante em que o solo apresentava o maior teor de  
155 água, ou seja, na primeira coleta após um dia da irrigação. Ainda no Ciclo 2, foi possível  
156 observar que na última coleta, quando o solo estava próximo do ponto de murcha, ocorreu a  
157 menor variação de  $\Delta U$ . Miranda *et al.* (2007), trabalhando com sensor dielétrico ECH<sub>2</sub>O em  
158 dois tipos de solo, observaram que os erros mais expressivos ocorreram principalmente para  
159 teores mais altos de umidade do solo. Enquanto, os mesmos sensores utilizados apresentaram  
160 leituras bastante semelhantes entre si para baixos valores de umidade do solo.

161 Freitas *et al.*,(2012), trabalhando com sensor da umidade do solo alternativo no manejo  
162 de irrigação, observou que para tensão de 20 kPa, os sensores apresentaram variações  
163 consideráveis, confirmando que tensões menores (solo mais úmido) proporcionam maior  
164 variaçãonos valores de capacitância. Este fenômeno decorre, possivelmente, devido à maior  
165 mobilidade dos íons presentes na solução do solo ou mesmo dos íons presentes no dielétrico

166 (sulfato de cálcio), uma vez que a resposta dielétrica de alguns materiais é influenciada pela  
 167 componente iônica (BENEDETTO, 2010).

168

169 **Tabela 1.** Anova e teste de média do Erro Relativo da Umidade em função das coletas de solos  
 170 em diferentes horários e níveis de salinidade durante os três ciclos de umedecimento/secagem  
 171 do solo.

Fatores	$\Delta$ Umidade		
	Ciclo 1	Ciclo 2	Ciclo 3
<b>Dia/Hora</b>			
1/10:00	0,063 a	0,056 a	0,027 a
1/16:00	0,043 b	0,030 b	0,023 a
2/10:00	0,034 b	0,034 b	0,015 a
2/16:00	0,031 b	0,017 c	0,033 a
<b>Níveis de salinidade (dS m<sup>-1</sup>)</b>			
0	0,045 a	0,036 a	0,026 a
3	0,042 a	0,036 a	0,018 a
6	0,033 a	0,026 a	0,024 a
9	0,051 a	0,040 a	0,029 a
<b>TESTE DE F</b>			
Dia/Hora	11,53 **	48,74 **	0,84 ns
Níveis de salinidade	1,55 ns	1,49 ns	1,00 ns
Interação Dia/Hora x Níveis de salinidade	0,54 ns	0,83 ns	0,67 ns
CV (Ciclo)	34,18	23,04	120,40
CV (Níveis de salinidade)	47,77	48,36	67,74

172 Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem pelo Teste de Tukey. ns: não significativo (P>0,05); \*:  
 173 significativo (P≤0,05); \*\*: significativo (P≤0,01).

174

175 Observa-se na Tabela 3 que, para os três ciclos, o aumento dos níveis de salinidade não  
 176 influenciaram estatisticamente (P>0,05) os diferentes horários de coletas. No entanto,  
 177 provocou alterações significativas (P≤0,01) na condutividade elétrica do extrato de saturação

178 do solo (CEes), ocorrendo um acúmulo diretamente proporcional com os tratamentos  
179 aplicados, conforme era esperado.

180

181 **Tabela 2.** Anova e teste de média da Condutividade Elétrica (C. E.) em função das coletas de  
182 solos em diferentes horários e níveis de salinidade durante os três ciclos de  
183 umedecimento/secagem do solo.

Fatores	Condutividade Elétrica		
	Ciclo 1	Ciclo 2	Ciclo 3
<b>Dia/Hora</b>			
1/10:00	0,479 a	0,445 a	0,534 a
1/16:00	0,479 a	0,445 a	0,534 a
2/10:00	0,414 a	0,493 a	0,514 a
2/16:00	0,414 a	0,493 a	0,514 a
<b>Níveis de salinidade (dS m<sup>-1</sup>)</b>			
0	0,207 d	0,196 d	0,196 d
3	0,338 c	0,385 c	0,405 c
6	0,502 b	0,528 b	0,648 b
9	0,739 a	0,767 a	0,848 a
<b>TESTE DE F</b>			
Dia/Hora	6,02 <sup>ns</sup>	1,60 <sup>ns</sup>	0,23 <sup>ns</sup>
Níveis de salinidade	209,58 <sup>**</sup>	107,97 <sup>**</sup>	88,31 <sup>**</sup>
Interação Dia/Hora x Níveis de salinidade	0,69 <sup>ns</sup>	0,22 <sup>*</sup>	0,24 <sup>*</sup>
CV (Ciclo)	11,81	16,12	15,37
CV (Níveis de salinidade)	12,29	17,10	19,96

184 Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem pelo Teste de Tukey. <sup>ns</sup>: não significativo (P>0,05); <sup>\*</sup>:  
185 significativo (P≤0,05); <sup>\*\*</sup>: significativo (P≤0,01).

186

187 Como pode ser observado na Tabela 3, os valores da CEes apresentou um  
188 comportamento crescente com o aumento do fator quantitativo (níveis de salinidade), sendo

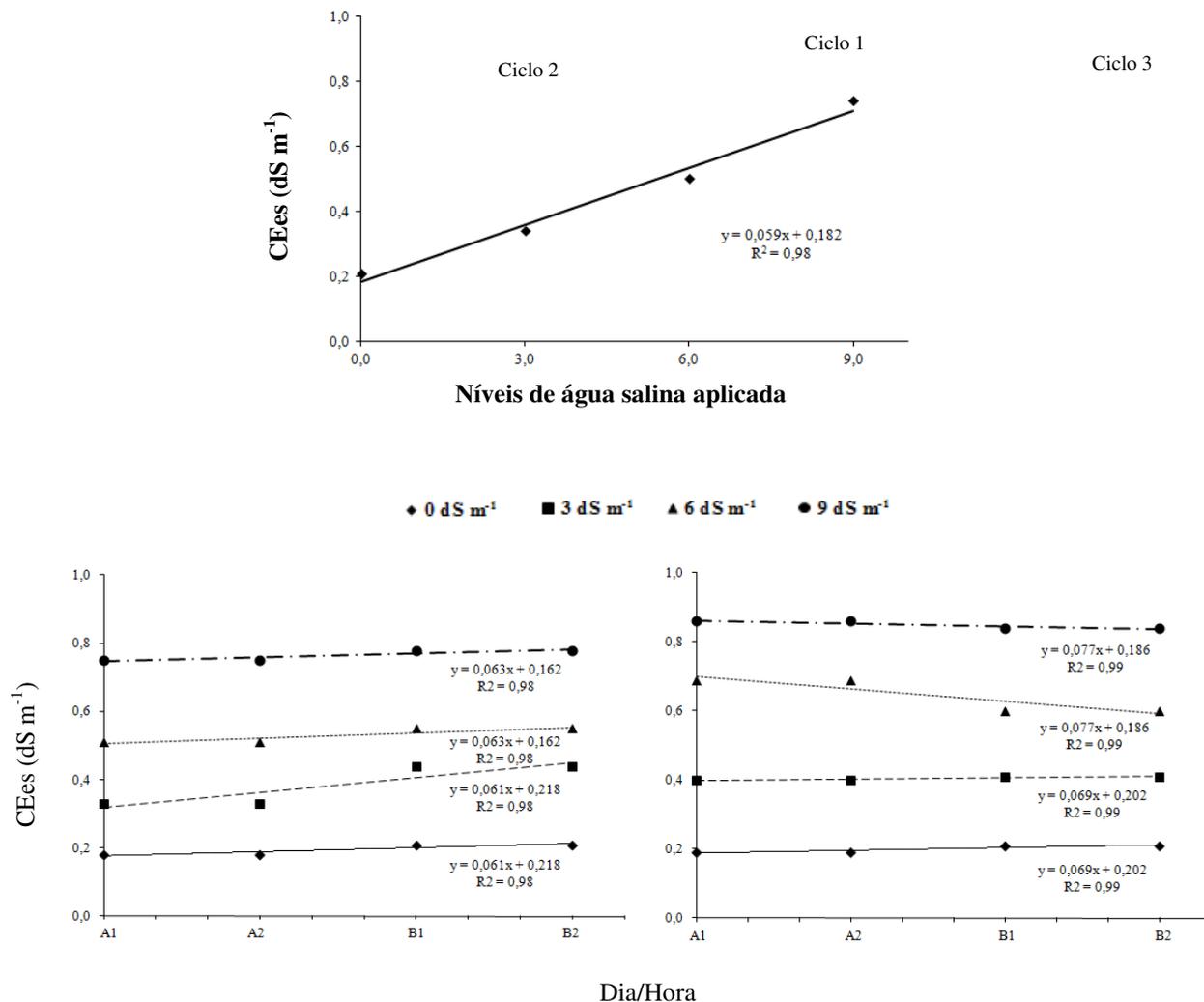
189 significativo em todos os ciclos. No entanto houve interação significativa ( $P \leq 0,05$ ) apenas nos  
190 ciclos 2 e 3 (Figura 2).

191 Nota-se na Figura 2 que a equação que melhor se ajustou para todos os ciclos foi a do  
192 modelo linear. Apresentando coeficiente de determinação de 0,98 para os Ciclos 1 e 2, e de  
193 0,99 para o Ciclo 3. Por meio da Figura 2, nos dados do Ciclo 1 é possível visualizar a  
194 influência dos tratamentos na condutividade elétrica do extrato saturado do solo.

195 Ainda na Figura 2 percebe-se que, apesar do curto período dos ciclos, houve um  
196 acúmulo de sais no solo, o que proporcionou elevação da CEes entre o 2º e o 3º ciclos.  
197 Segundo Novais *et al.* (2007), em solos de textura mais fina, porém, com material argiloso  
198 reativo, como os Vertissolos, o uso de águas que contenham sais pode acarretar a salinização  
199 em curtos períodos de tempo. Nestes, é necessária atenção especial com a drenagem e  
200 qualidade da água usada na irrigação.

201 Lima *et al.* (2012), estudando o efeito de lâminas crescentes de irrigação sobre  
202 parâmetros de salinidade do solo, em duas condições (Latossolo, de textura mais arenosa, e  
203 um Cambissolo, de textura mais argilosa) concluiu que as lâminas crescentes de irrigação  
204 levaram ao aumento da salinidade, sendo que os valores de CEes apresentaram efeito  
205 quadrático nos dois solos.

206 Avaliando o efeito da irrigação com águas salinas em um Latossolo cultivado com  
207 melão, Porto Filho *et al.* (2011), observou que em todos os níveis de salinidade da água de  
208 irrigação, a utilização de águas mais salinas produziu maior salinidade média no perfil.  
209 Corroborando com Blanco e Folegatti (2002), Gurgel *et al.* (2003), Dias *et al.* (2005) que,  
210 estudando os efeitos de níveis de salinidade de água e de lâminas de irrigação na evolução da  
211 salinidade do solo, concluíram que ocorre incremento de sais no solo, sendo diretamente  
212 proporcionais aos níveis de CE da água de irrigação utilizada, com maior concentração na  
213 camada superficial.



214

215 **Figura 2.** Regressão aplicada para os diferentes níveis de salinidade durante os três ciclos de  
 216 umedecimento/secagem do solo.

217

218

219

## CONCLUSÕES

220

221 1. Os diferentes níveis de salinidade de até 0,84 dS m<sup>-1</sup> da CEes não influenciaram no erro  
 222 relativo da umidade do solo determinado pelos sensores.

223

224

## AGRADECIMENTOS

225

226

227 Os autores agradecem a Fapesb, financiadora do Projeto Pesquisa – Edital 011/2011,  
228 termo de outorga nº APP0023/2011, e a Univasf pela oportunidade oferecida.

229

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

230

231

232 ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. Crop evapotranspiration  
233 Guidelines for computing crop water requirements. Rome: FAO - Irrigation and drainage,  
234 Paper 56, 1998. 319 p.

235 AMARAL, F. C. S. Sistema Brasileiro de classificação de terras para irrigação : enfoque  
236 na região semiárida. Rio de Janeiro: Embrapa Solos. 2011. 164p.

237 AMORIM, A. V; GOMES FILHO, E. ; BEZERRA, M. A.; PRISCO, J. T.; LACERDA,  
238 C. F. Respostas fisiológicas de plantas adultas de cajueiro anão precoce à salinidade, Revista  
239 Ciência Agronômica, v.41, p.113-121, 2010.

240 BARBOSA, M. A. G. Calibração e uso de sensores FDR para determinação da umidade  
241 e salinidade em dois tipos de solos. 2011. 88 f. Dissertação (Mestrado em Irrigação e  
242 Drenagem) - Universidade Federal Rural do Semiárido.

243 BENEDÍ, J. A.; MUÑOZ-CARPENA, R. Soil-water-solute process characterization: an  
244 integrated approach. Florida: CRC Press, 2005. 787 p.

245 BENEDETTO, A. Water content evaluation in unsaturated soil using GPR signal  
246 analysis in the frequency domain. Journal of Applied Geophysics, v.71, p.26-35, 2010.

247 BLANCO, F. F.; FOLEGATTI, M. V. Salt accumulation and distribution in a  
248 greenhouse soil as affected by salinity of irrigation water and leaching management.  
249 Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.6, p.414-419, 2002.

250 CARDENAS-LAILHACAR, B.; DUKES, M. D. Precision of soil moisture sensor  
251 irrigation controllers under field conditions. *Agricultural Water Management*, n. 97, pp. 666-  
252 672. 2010.

253 CELINSKI, V. G.; ZIMBACK, C. R. L.; CELINSKI, T. M. Resistência elétrica e sua  
254 correlação com a granulometria do solo visando aplicação na agricultura de precisão.  
255 SIMPÓSIO DE GEOESTATÍSTICA EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS, Botucatu-SP, 2011.

256 DIAS, N. DA S.; DUARTE, S. N.; GHEYI, H. R.; MEDEIROS, J. F. DE; SOARES, T.  
257 M. Manejo da fertirrigação e controle da salinidade do solo sob ambiente protegido,  
258 utilizando-se extratores de solução do solo. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e*  
259 *Ambiental*, v.9, p.496-504, 2005.

260 EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Sistema  
261 Brasileiro de Classificação de Solos. Brasília: Centro Nacional de Pesquisas de Solos, 2006.  
262 370p.

263 FREITAS, A. W.; CARVALHO, J. A.; BRAGA R. A.; ANDRADE, M. J. B. Manejo da  
264 irrigação utilizando sensor da umidade do solo alternativo. *Revista Brasileira de Engenharia*  
265 *Agrícola e Ambiental*. v.16, n.3, p.268–274. 2012.

266 GURGEL, M. T.; MEDEIROS, J. F.; NOBRE, R. G.; CARDOSO NETO, F. C.;  
267 SILVA, F. V. Evolução da salinidade no solo sob cultivo de melão irrigado com águas de  
268 diferentes salinidade. *Revista de Biologia e Ciência da Terra*, v.3, p.1-13, 2003.

269 LIBARDI, P. L. Dinâmica da água no solo. 2. Ed. Piracicaba [s.n.], Editado pelo autor,  
270 2005. 497 p.

271 LIMA, A. S.; MIRANDA, N. O.; MEDEIROS, J. F.; BARRETO, H. B. F.; AMARAL  
272 JÚNIOR, V. P. Avaliação de parâmetros de salinidade em dois solos submetidos a lâminas  
273 crescentes de irrigação com água salina. *Revista Verde*. v.7, n.1, p. 154 - 158. 2012.

274 MIRANDA, F. R.; SANTANA, M. G. S.; SOUZA, C. C. M.; OLIVEIRA, C. H. C.  
275 Calibração do sensor dielétrico ECH<sub>2</sub>O em dois tipos de solo. Revista Ciência Agronômica.  
276 Fortaleza, v.38, n.3, p.317-321. 2007.

277 NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L.; CANTARUTTI,  
278 R. B.; NEVES, J. C. L. Fertilidade do Solo. In: FREIRE, M. B. G. S.; FREIRE, J. F.  
279 Fertilidade do solo e seu manejo em solos afetados por sais. 1. Ed. Viçosa, MG. 2007. cap.  
280 16, p. 929-954.

281 PORTO FILHO, F. Q.; MEDEIROS, J. F.; GHEYI, H. R.; DIAS, N. S.; SOUSA, P. S.;  
282 DANTAS, D. C. Evolução da salinidade e pH de solo sob cultivo de melão irrigado com água  
283 salina. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental v.15, n.11, p.1130–1137.  
284 2011.

285 RHOADES, J. P.; KANDIAH, A.; MASHALI, A. M. The use saline waters for crop  
286 production. Roma: FAO, 1992. 133 p.

287 SANTOS, R. M.; OLIVEIRA, A. S.; VELLAME, L. M.; BRANDÃO, F. J. C.  
288 Montagem e acurácia de um sistema experimental de pesagem para calibração de sensores de  
289 umidade do solo. Revista Ciência e Agrotecnologia. v. 30, n. 6, pp. 1162-1169. 2006.

290 SILVA, F. de A. S. E.; AZEVEDO, C. A. V. de. A. New Version of the Assistat-  
291 Statistical Assistance Software. In: WORLD CONGRESS ON COMPUTERS IN  
292 AGRICULTURE, 4, Orlando-FL-USA. Anais... Orlando: American Society of Agricultural  
293 and Biological Engineers, 2006. p.393-396.

### 3. CONCLUSÃO GERAL

A irrigação é uma das tecnologias aplicadas na agricultura que mais tem contribuído para o aumento na produção de alimentos, sendo uma técnica já adotada e que está se expandindo cada vez mais em cultivos comerciais. No entanto, o uso inadequado dessa técnica vem provocando a salinização dos solos, principalmente nas condições ambientais do Nordeste. Nesta região há uma necessidade de trabalhar com medidas mitigadoras, sendo a principal delas, a lixiviação na proporção requerida pela cultura, que depende da salinidade da água de irrigação e da tolerância da cultura.

O acompanhamento da umidade do solo através dos sensores Watermark oferece um grande potencial para o manejo da irrigação, uma vez que o presente estudo mostrou a eficiência dos sensores submetidos a diferentes níveis de salinidade. A sua facilidade de utilização permite que seus usuários monitore o perfil do solo ao longo da estação para evitar a falta ou o excesso de água para as culturas. São de baixo custo, baixa manutenção, e são adequados para sistemas de irrigação automatizados, como foi utilizado em uma RSSFs.

As vantagens apresentadas sobre o uso das RSSFs são atraentes, devendo haver um projeto de implantação que considere as características do ambiente agrícola. As RSSFs devem servir de ferramenta para o agricultor que busca agregar mais eficiência no seu processo de produção e manter competitividade econômica, além de garantir preservação ambiental.

Através dos experimentos desenvolvidos no presente estudo pode-se concluir que:

- Os baixos coeficientes de determinação obtidos na calibração de alguns sensores não influenciaram nos valores do erro relativo da umidade.
- A maior variação do erro relativo da umidade ocorreu no instante em que o solo apresentava o maior teor de água.

- A aplicação de uma única equação de calibração dos sensores apresentou baixas variações do erro relativo da umidade.
- Os sensores Watermark, quando calibrados para o solo específico, podem ser utilizados para fins de manejo de irrigação.
- Os diferentes níveis de salinidade de até  $0,84 \text{ dS m}^{-1}$  da CEes não influenciaram no erro relativo da umidade do solo determinado pelos sensores.
- A maior variação do erro relativo da umidade ocorreu no instante em que o solo apresentava o maior teor de água.

#### **4. AGRADECIMENTOS**

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado da Bahia – FAPESB pelo financiamento do Projeto de Pesquisa intitulado “Desenvolvimento e avaliação de uma rede de sensores sem fio para fins de manejo da irrigação em plantios no Pólo de Desenvolvimento Petrolina-Juazeiro”, Termo de Outorga- nº APP0023/2011 do Edital 011/2011.

## 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADAMCHUK, V. I. et al. On –the-go soil sensors for precision agriculture. *Computers and Electronics in Agriculture*, Amsterdam, v. 44, p. 71-91, 2004.

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. Crop evapotranspiration Guidelines for computing crop water requirements. Rome: FAO – Irrigation and drainage, Paper 56, 1998. 319 p.

AMARAL, F. C. S. Sistema Brasileiro de classificação de terras para irrigação : enfoque na região semiárida. Rio de Janeiro: Embrapa Solos. 164p. 2011.

AMARO FILHO, J. ASSIS JUNIOR, R. N. MOTA, J. C. A. Física do solo conceitos e aplicações. 1º. ed. Fortaleza, CE, 2008.

AMORIM, A. V; GOMES FILHO, E. ; BEZERRA, M. A.; PRISCO, J. T.; LACERDA, C. F. Respostas fisiológicas de plantas adultas de cajueiro anão precoce à salinidade, *Revista Ciência Agronômica*, v.41, p.113-121, 2010.

ANDRADE, E. M. A. A irrigação e suas implicações sobre o capital natural em regiões áridas e semiáridas: uma revisão. *Revista séries*, v. 56, p. 390-398, 2009.

ANDRADE, M. E. ; MEIRELES, A. C. M. ; ALEXANDRE, D. M. B. ; PALÁCIO, H. A. Q. ;LIMA, C. A. Investigação de mudanças do status salino do solo pelo emprego de análise multivariada. *Revista brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 15, n. 4, p. 410-415. Campina Grande, PB. 2011.

AKYILDIZ, I.; SU, W.; SANKARASUBRAMANIAM, Y. E CAYIRCI, E. (2002). A Survey on Sensor Networks. *IEEE Communication Magazine*, 40(8):102–114.

ARAÚJO, F. O. de. Detecção de falta à terra no serviço auxiliar em corrente contínua das subestações de energia elétrica. Florianópolis: 2004. 98 f., Dissertação (Mestrado em metrologia) Universidade Federal de Santa Catarina.

ÁVILA, L. F.; MELLO, C. R.; SILVA, A. M. Continuidade e distribuição espacial da umidade do solo em bacia hidrográfica da Serra da Mantiqueira. *Revista Brasileira*

de Engenharia Agrícola e Ambiental. v.14, n.12, p.1257–1266, Campina Grande, PB. 2010.

AYRES, R. S.; WESTCOT, D. W. Water quality for agriculture. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Roma, 174p. 1985.

AYRES, R. S.; WESTCOT, D. W. - A qualidade da Água na Agricultura, (tradutores H. R. Gheyi, J. F. de Medeiros, F. A. V. Damasceno), Campina Grande, UFPB, 1991.

BAGGIO, A. Wireless Sensor Networks in precision agriculture. Disponível em [www.sics.se/realwsn05/papers/baggio05wireless.pdf](http://www.sics.se/realwsn05/papers/baggio05wireless.pdf). 2011.

BARBOSA, M. A. G. Calibração e uso de sensores FDR para determinação da umidade e salinidade em dois tipos de solos. 2011. 88 f. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) - Universidade Federal Rural do Semiárido (UFERSA), Mossoró-RN, 2011.

BECKWITH, R.; TEIBEL, D. & BOWEN, P. Report from the field: Results from an agricultural wireless sensor network. In: Proceedings of the 29th Annual IEEE International Conference on Local Computer Networks, 2004. Pages: 471 – 478.

BENEDÍ, J. A.; MUÑOZ-CARPENA, R. Soil-water-solute process characterization: an integrated approach. Florida: CRC Press, 2005. 787 p.

BERNARDO, S. SOARES. MANTOVANI. Manual de Irrigação. 8. ed. Viçosa: UFV, 2006, 625p.

BOGENA, H. R. et al..Potential of Wireless Sensor Networks for Measuring Soil Water Content Variability..Vadose Zone Journal 2010 Soil Science Society of America, Vol.9(4), p. 1002-1013. November 2010.

BRADY, N.C. Natureza e propriedades dos solos. 7. ed. Rio de Janeiro: Freitas Bastos, 1989.

BRAGA, P. F. Gestão de águas no Brasil. Scientific American Brasil, São Paulo, n. 70, p. 38-41, mar. 2008.

BURKHALTER, J. P. ; GATES, T. K. Evaluating regional solutions to salinization and waterlogging in an irrigated river valley. *Journal of irrigation and drainage engineering*. V. 132, p. 21-30, 2006.

CARDENAS-LAILHACAR, B.; DUKES, M. D. Precision of soil moisture sensor irrigation controllers under field conditions. *Agricultural Water Management*, n. 97, 2010. pp. 666-672.

CARVALHO, F.B.S.; LEAL, B. G.; SANTOS FILHO, J. V.; BAIOCCHI, O. R.; LOPES, W. T. A.; ALENCAR, M. S. Aplicações Ambientais de Redes de Sensores Sem Fio. *Revista de Tecnologia da Informação e Comunicação*, v. 02, p. 14-19, 2012.

CASSEL, D.K.; NIELSEN, D.R. Field capacity and available water capacity. In: KLUTE, A. (Ed). *Methods of soil analysis : physical and mineralogical methods*. 2.ed. Madison: American Society of Agronomy. 1986. p.902-926.

CHANDRASEKARAN, B.; ANNADURAI, K.; SOMASUNDARAN, E. *A Textbook of Agronomy*. New Delhi: New Age International Limited Publishers, 2010. 835 p.

CHHABRA, R. *Soil salinity and water quality*. Rotterdam, A. A. Balkema, 1996. 283p.

CHONG, C.; KUMAR, S. Sensor Networks: Evolution, Opportunities, and Challenges. *Proceedings of the IEEE*, Vol.91(8), pp. 1247-1256, August 2003.

COELHO, E.F.; OR, D. Flow and uptake patterns affecting soil water sensor placement for drip irrigation management. *Transactions of the ASAE*, St. Joseph, v.39, n.6, p.2007-16, 1996.

COELHO, E. F.; VELLAME, L. M.; COELHO FILHO, M. A. Sonda de TDR para estimativa da umidade e condutividade elétrica do solo, com uso de multiplexadores. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.9, n.4, p.475-480, Campina Grande, PB. 2005.

D'ALMEIDA, D. M. B. A. Risco de salinização de um Cambissolo na Chapada do Apodi-CE. Fortaleza: UFC. Dissertação de Mestrado. 72 p. 2002.

DASSANAYAKE, D. et al. Water saving through smarter irrigation in Australian dairy farming: Use of intelligent irrigation controller and wireless sensor network. p.4409 - 4415, 2009.

DIAS, N. S.; BLANCO, F. F. Efeito dos sais no solo e na planta. In: GHEYI, H. R.; DIAS, N da S.; LACERDA, D. F. de. Manejo da salinidade na agricultura: estudos básicos e aplicativos. Fortaleza: INCT Sal. p.129-141. 2010.

EVANS, R. G., KIM, Y., IVERSEN, W. M. Evaluation of Closed-loop Irrigation Control with Wireless Sensor Network. ASABE Annual International Meeting, 2007. Acessoem: maio de 2010.

FAO. Water in agriculture: opportunity untapped. Rome, 2006.

FURTADO, R. F.; MANO, A. R. de O.; ALVES, C. R.; FREITAS, S. M. de.; MEDEIROS FILHO, S. Efeito da salinidade na germinação de sementes de algodão. RevistaCiênciaAgronômica, [Fortaleza], v. 38, n. 2, p. 224-27, 2007.

GAJBHIYE, P. MAHAJAN, A. A survey of architecture and node deployment in wireless sensor network. 1st International Conference on the Applications of Digital Information and Web Technologies, ICADIWT 2008, August 4, 2008, p. 426-430, 2008.

GHEYI, H. R., QUEIROZ, J. E., MEDEIROS, J. F. Manejo e controle da salinidade na agricultura irrigada. Paraíba : UFPB, 1997.

GILBERTO JÚNIOR, O. J. Desempenho do reflectômetro no domínio do tempo na detecção de variações de umidade do solo. 2003. 94 f. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura de Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2003

GRACON, H. E. L. de LIMA, LENARDO C. e SILVA, PEDRO F. R. NETO. WSN as a Tool for Supporting Agriculture in the Precision Irrigation. Sixth International Conference on Networking and Services. Mossoró-RN, Brazil. 2010.

GUILHERME.L.R.G.; MARQUES, J.J.; PIERANGELI, M. A. P.; ZULIANI, D. Q.; CAMPOS, M. L. MARCHI, G. Elementos-traço em solos e sistemas aquáticos. In: VIDAL-TORRADO, P.; Alleoni.L.R. F.; COOPER, M.; SILVA, A. P.; CARDOSO, E.J. Tópicos de Ciência do Solo, vol.4. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. Viçosa, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, P.345-390, 2005.

HUBBELL, J.M.; SISSON, J.B. Advanced tensiometer for shallow or deep soil water potential measurements. Soil Science, Baltimore, v.163, n.4, p.271-7, 1998.

IBGE. Sistema IBGE de recuperação automática - SIDRA , 2011. Disponível em : <<http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/tabela/listabl.asp?c=1612&z=t&o=11>>. Acesso em 8 fev. 2013.

KINNEY, P. (2003). Zigbee technology: Wireless control that simply works. Disponível em: [www.zigbee.org/resources](http://www.zigbee.org/resources). Whitepaper.

LEÃO, R. A. O.; TEIXEIRA, A. S.; CANAFÍSTULA, F. J. F.; MESQUITA, P. E. G.; COELHO, S. L. Desenvolvimento de um dispositivo eletrônico para calibração de sensores de umidade do solo. Engenharia Agrícola, v. 27, p. 294-303, 2007.

LEVY, G. J. Sodicity. In: Sumner, M. E. (Ed.). Handbook of soil science. Boca Raton: CRC Press, p. G27-G63. 2000.

LIBARDI, P. L. Dinâmica da água no solo. 2. Ed. Piracicaba [s.n.], Editado pelo autor, 2005. p.497

LIQIANG, Z. et al. A Crop Monitoring System Based on Wireless Sensor Network. Procedia Environmental Sciences, Vol. 1, p. 558-565. 2011.

MANTOVANI, E. C.; BERNADO, S.; PALARETTI, L. F. Irrigação princípios e métodos. 2. ed. Viçosa, MG:UFV. 358 p. 2007.

MARTHALER, H.P.; VOGERSANGER, W.; RICHARD, F.; WIERENGA, P.J. A pressure transducer for field tensiometers. Soil Science Society of American Journal, Madison, v.47, n.4, p.624-7, 1983.

MATESE, A. et al.. Development Of A Wireless Sensor Network To Understand And Monitor Environmental Variability In Precision Viticulture. European Conference on Wireless Sensor Networks, 2012.

MCCULLOCH, J., MCCARTHY, P., GURU, S.M., PENG, W., HUGO, D., TERHORST, A. Wireless sensor network deployment for water use efficiency in irrigation. Proceedings of the workshop on Real-world wireless sensor networks. ACM, p. 46-50, 2008.

MIRANDA, F. R. de. A distributed control system for priority-based site-specific irrigation. 2007. Tese (Doutor em Engenharia de Biosistemas) – The University of Tennessee. UT. Estados Unidos.

NAIDU, R.; SUMNER, M. E.; RENGASAMY, P. Australian Sodic Soils – Distribution, properties and management. Melbourne, CSIRO, 1995. 351p.

NAYAK, A.; STOJMENOVIC, I. Wireless Sensor and Actuator Networks. John Wiley & Sons, New Jersey, USA, 2010.

NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. Fertilidade do Solo. In: FREIRE, M. B. G. S.; FREIRE, J. F. Fertilidade do solo e seu manejo em solos afetados por sais. 1. Ed. Viçosa, MG. 2007. cap. 16, p. 929-954.

OLIVEIRA, A. D. S. Avaliação do sensor de umidade topdeca no manejo da irrigação. 2008. 71 f., Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem)- Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2008.

PALTINEANU, I. C.; STARR, J. L. Real-time soil water dynamics using multisensor capacitance probes: laboratory calibration. Soil Sci. Soc. Am. J., Madison-WI, v.61, p.1576-1585, nov-dec, 1997.

PEREIRA, R. G. B.; CARVALHO, F.B.S.; LEAL, B. G. Projeto de um Circuito de Condicionamento de Sinal para Aplicações em Redes de Sensores Sem Fio. In: XII Escola Regional de Computação Bahia Alagoas Sergipe - ERBASE 2012, Juazeiro - BA. Anais da XII Escola Regional de Computação Bahia Alagoas Sergipe - ERBASE 2012.

QUINN, N. W. T. Environmental decision support system development for seasonal wetland salt management in a river basin subjected to water quality regulation. Agricultural water management, v. 96, p.247-254, 2009.

REICHARDT, K. A água em sistemas agrícolas. São Paulo: Manole, 1987. 188 p.

REHMAN, A. U. et al..A review of wireless sensors and networks applications in agriculture. Computer Standards & Interfaces, 2011.

RICHARDS, L. A. Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. Washington, US Department of Agriculture, 1954. 160p.

RIQUELME, J. A. L. et al..Wireless Sensor Networks for precision horticulture in Southern Spain. Computers and Electronics in Agriculture, Vol.68 (1). August 2009.

ROCCIA, C. J. Avaliação de Redes de Sensores Sem Fio Aplicadas a Cultivos de Milho, Eucalipto e Pinhão. Dissertação de Mestrado - Faculdade de Tecnologia - UNICAMP, 2011.

SANTOS, C. C.; TEIXEIRA, A. S.; CANAFÍSTULA, F. J. F.; DAHER, S.; BARROSO, G. C. A wireless system for remotemonitoringsoilmoistureandtemperature. In: Brazilian Congress of Agricultural Engineering, 37. City Iguassu Falls. 2008.

SANTOS, M.J. dos; SILVA, B. B. da. Análise do modelo conceitual e tecnológico do programa cisternas rurais em Sergipe. Engenharia Ambiental, Espírito Santo do Pinhal, v. 6, n. 2, p. 464-483, 2009.

SARDINHA, M.; MULLER, T.; SCHMEISKY, H.; JOER GENSEN, R.G. Microbial performance in soils along a salinity gradient under acidic conditions. AppliedSoilEcology, Amsterdam, v. 23, p. 237-244, 2003 23, p. 237-244, 2003.

SILVA, I. O. Desenvolvimento de um sensor capacitivo para o monitoramento de umidade no solo. 2005. 86 f, Dissertação (Mestrado em irrigação e drenagem)- Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2005.

SUN, D. et al.. WSN Design and Implementation in a Tea Plantation for Drought Monitoring. IEEE Computer Society - 2010 International Conference on Cyber-Enabled Distributed Computing and Knowledge Discovery, pp. 156-159. 2010.

TEIXEIRA, A. S. COELHO, S.L. Avaliação do tensiômetro eletrônico no monitoramento do potencial matricial de água no solo. Engenharia Agrícola, Jaboticabal, v.24:p.536–545, set./dez. 2004.

TERRA. 100 maiores PIBs da agropecuário, 2012. Disponível em : <<http://www.terra.com.br/economia/infograficos/pib-agropecuario/>> Acesso em : 8 fev. 2013.

THIEL, T.J. Electrical water pressure transducers for field and laboratory use. Soil Science Society of American Journal, Madison, v.27, n.5, p.601-2, 1963.

TOPP, G.C.; DAVIS, J.L.; ANNAN, A.P. Electromagnetic determination of soil water content: measurements in coaxial transmission lines. Water resources Research, Washington, v.16, n.3, p.574-582, 1980.

TUBAISHAT, M. MADRIA, S., Sensor networks: an overview. IEEE Potentials. 22 (2), 2003.

YICK, JENNIFER, MUKHERJEE, BISWANETH; GHOSAL, DIPAK. Wireless sensor network survey. Computer Networks. 2008. p.2293-2330.

VELLIDIS, G., TUCKER, M., PERRY, C., KVIEN, C., BEDNARZ, C. A real-time wireless smart sensor array for scheduling irrigation. Computers and Electronics in Agriculture. N. 61, p. 44-50, 2008.

XIAO, L.; GUO, L. The Realization of Precision Agriculture Monitoring System Based on Wireless Sensor Network. International Conference on Computer and Communication Technologies in Agriculture Engineering, Vol.3, pp. 89-92. 2010

XIONG, S.-M., WANG, L.-M., QU, X.-Q., ZHAN, Y.-Z. Application Research of WSN in Precise Agriculture Irrigation. In: Environmental Science and Information Application Technology, 2009. ESIAT 2009. International Conference on, 4-5 July 2009. p.297-300.

ZUOJING, Z.; HAIHUI, Z. Design of wireless monitoring and warning system for protected agriculture environment. 6th International Conference on Wireless Communications Networking and Mobile Computing, pp. 1-5. 2010.