



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMIÁRIDO
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS AMBIENTAIS E
TECNOLOGICAS
CURSO DE AGRONOMIA

THIAGO COSTA DOS SANTOS

VIABILIDADE DO USO DE VELAS DE FILTRO CASEIRO COMO
SENSORES DE UMIDADE DO SOLO DE ACORDO COM A
METODOLOGIA IRRIGÁS®.

MOSSORÓ-RN
2015

THIAGO COSTA DOS SANTOS

**VIABILIDADE DO USO DE VELAS DE FILTRO CASEIRO COMO
SENSORES DE UMIDADE DO SOLO DE ACORDO COM A METODOLOGIA
IRRIGÁS®.**

Monografia apresentada a Universidade Federal Rural do Semiárido-UFERSA, como requisito para obtenção do título de Engenheiro Agrônomo.

Orientador: Prof: D.Sc. Vladimir Batista Figueirêdo
– UFERSA.

MOSSORÓ-RN
2015

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do(a) autor(a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996, e Direitos Autorais Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tomar-se-á de domínio público após a data da defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu(a) respectivo(a) autor(a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
BIBLIOTECA CENTRAL ORLANDO TEIXEIRA - CAMPUS MOSSORÓ
Setor de Informação e Referência

S237v Santos, Thiago Costa dos.

Viabilidade do uso de velas de filtro caseiro como sensores de umidade do solo de acordo com a metodologia Irrigás® / Thiago Costa dos Santos. - Mossoró, 2015.

37f: il.

Orientador: Prof. Dr. Vladimir Batista Figueirêdo

Monografia (Graduação em Agronomia) - Universidade Federal Rural do Semi-Árido. Pró-Reitoria de Ensino e Graduação

1. Irrigação agrícola. 2. Vela de filtro. 3. Cápsula porosa. I. Título

RN/UFERSA/BOT/1010

CDD 631.587

THIAGO COSTA DOS SANTOS

**VIABILIDADE DO USO DE VELAS DE FILTRO CASEIRO COMO SENSORES
DE UMIDADE DO SOLO DE ACORDO COM A METODOLOGIA IRRIGÁS®.**

Monografia apresentada a Universidade Federal Rural do Semiárido-UFERSA, como requisito para para obtenção do título de Engenheiro Agrônomo.

Orientador: Prof: D.Sc. Vladimir Batista Figueirêdo – UFERSA.

Defendida em: 26 / 11 / 2015.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. ~~Vladimir~~ Vladimir Batista Figueirêdo (UFERSA)
Presidente

Prof. Dr. Francisco de Queiroz Porto Filho (UFERSA)
Membro Examinador

Prof. Dr. Francisco de Assis de Oliveira (UFERSA)
Membro Examinador

DEDICATÓRIA

A Tamires Taiane Costa dos Santos, (In memoriam), que foi minha Irmã, Amiga e para sempre será minha fonte de inspiração, orgulho, fortaleza e persistência, um exemplo de pessoa a ser seguido.

A Hilda Souza da Costa dos Santos, minha mãe, que sempre me deu apoio e força para eu nunca desistir. Foi a pessoa que me criou, me educou, me deu tudo na vida para me tornar o que sou hoje. Sempre esteve comigo, me ajudando de todas as formas para que eu tenha conquistado os meus sonhos. É por esses motivos e muitos outros que eu a considero a mulher da minha vida.

A Antonio dos Santos de Oliveira, meu pai, que tanto sonhou com esse momento. Um amigo que sempre esteve ao meu lado. Foi com seus ensinamentos e conselhos me tornei a pessoa que sou. Obrigado por me apoiar e acreditar.

A Zulmira Moreira de Oliveira , minha vó paterna que sempre me apoiou em todos os momentos.

Dedico.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, a Deus, por me ter permitido essa conquista, por ter me concedido saúde e a vida, pois nada nos é possível se não for de Sua vontade.

Ao meu orientador Prof. Vladimir Batista Figueirêdo, por toda a paciência, dedicação, amizade e sabedoria. Obrigado pelas oportunidades concedidas e por sempre acreditar no meu potencial.

Aos meus pais, Antonio dos Santos de Oliveira, Hilda Souza da Costa dos Santos e minha Vô paterna Zulmira Moreira de Oliveira, a quem devo a vida, pelo amor incondicional, educação e formação moral. Tenho muito orgulho de tê-los como pais, sempre me apoiaram e acreditaram. São minha fonte de fortalecimento para superar todos os obstáculos e nunca desistir.

À UFERSA pela oportunidade de cursar a graduação e contribuir com a minha formação profissional.

Ao CNPq, pela bolsa de Iniciação Científica concedida.

RESUMO

Um bom manejo de Irrigação é primordial para o potencial produtivo das culturas, Instrumentos como o tensiômetro são bastante utilizados para manejo de irrigação, entretanto o seu elevado custo e necessidade de manutenção acaba inviabilizando o seu uso. Outros materiais de baixo custo podem ser utilizados para construção de sensores Irrigás® como por exemplo, Velas de Filtro caseiro usadas em filtração de água para consumo humano. O objetivo deste trabalho foi verificar a viabilidade de velas de filtros caseiros como sensores de umidade do solo de acordo com a metodologia Irrigás®. O experimento foi realizado no Laboratório de Instrumentação e Manejo da Irrigação pertencente a Universidade Federal Rural do Semiárido, Mossoró-RN. Para construção dos equipamentos usou-se Velas de Filtros caseiros das marcas comerciais Agelux, Oásis, Santo André e Steffani. Para fins de comparação, utilizou-se de outros 4 sensores da marca “Irrigás” de tensões diferentes. Para calibração, procedeu-se com o método de pressão de borbulhamento que consistiu em um sistema composto por mangueira de 1,5 m de extensão flexionada em forma de “U” e acoplado a Vela de filtro que estava cheia de água em seu interior. As tensões suportadas eram determinadas pela diferença de altura (desnívelamento) entre a extremidade da mangueira e a Vela de Filtro, momento ao qual se observava a saída de água na extremidade da mangueira, indicando a tensão suportada pela cápsula. Também se determinou o tamanho de poros de cada cápsula porosa, usando microscópio eletrônico por varredura. Os resultados mostraram que em relação à tensão suportada, as Velas de Filtro não demonstraram diferenças entre si, sendo suportadas tensões sempre menores que as encontradas pelo “Irrigás”, esses valores de baixas tensões foram recomendados para determinação de umidade em solo de baixa tensão crítica em manejo de irrigação. Verificou-se que a cápsula Agelux por ter maior tamanho de poro médio apresentou menor capacidade de suportar tensões mais elevadas.

Palavras – Chave: Vela de filtro, manejo da irrigação, cápsula porosa, tamanho de poros.

LISTAS DE FIGURAS

Figura 1. Tensiômetro.....	15
Figura 2. Sonda de Neutrons.....	17
Figura 3. Esquema Irrigás	18
Figura 4. Sensor Irrigás	19
Figura 5. Velas Comercias Usados Para Construção das Cápsulas Porosas	20
Figura 6. Vela de Filtro Construída	20
Figura 7. Modelo de Sensor Irrigás	21
Figura 8. Microscopia Eletrônica Por Varredura em Cápsulas Porosas.....	22
Figura 9. Imagem de MEV da vela Steffani.....	28
Figura 10. Imagem de MEV da vela Agelux	28
Figura 11. Imagem de MEV da vela Santo André	29
Figura 12 Imagem de MEV da vela Oásis	29

LISTAS DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Relação Tensão x Tamanho de Poro Vela Santo André	27
Gráfico 2. Relação Tensão x Tamanho de Poro Vela Oásis	27
Gráfico 3. Relação Tensão x Tamanho de Poro Vela Agelux.....	28
Gráfico 4. Relação Tensão x Tamanho de Poro Vela Steffani.....	28

LISTAS DE TABELAS

Tabela 1. Médias de tensões suportadas em Sensores Irrigás e Cápsulas Porosas De diferentes fabricantes	24
Tabela 2. ANAVA e teste de médias das cápsulas porosas em relação a tensão (KPa) e tamanho de poros em (μm).....	26

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	10
2. REVISÃO DE LITERATURA	11
2.1 ÁGUA NA AGRICULTURA	11
2.2 CONTEÚDO DE ÁGUA DO SOLO	12
2.3 UMIDADE GRAVIMÉTRICA	12
2.4 UMIDADE VOLUMÉTRICA	14
2.5 MÉTODOS DE DETERMINAÇÃO DO TEOR DE UMIDADE DO SOLO	14
2.6 SENSORES IRRIGÁS	17
3. MATERIAIS E MÉTODOS.....	20
3.1 VELAS DE FILTROS CASEIROS E SENSORES IRRIGÁS®.....	20
3.2 CALIBRAÇÃO	21
3.3 DELINEAMENTO E ANÁLISE DOS DADOS.....	23
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	24
5. CONCLUSÕES.....	30
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	31

1. INTRODUÇÃO

O “sistema gasoso de controle de irrigação” foi patenteado pela Embrapa e é usualmente denominado por sua marca registrada, Irrigas. Os produtos Irrigas não são apenas cápsulas porosas de desenhos e propriedades variadas. Mais do que isto, são sistemas completos e acessórios desenvolvidos para o manejo de irrigação agrícola e doméstico, com uma variedade de níveis de sofisticação (CALBO & SILVA, 2001). Adicionalmente, o Irrigas é um sensor de sistemas tensiométricos para aplicações científicas em engenharia agrícola, fisiologia vegetal e geologia.

As aplicações do Irrigas no manejo de irrigação são úteis em ambientes tão variados quanto casas-de vegetação, vasos de plantas ornamentais e aplicações agrícolas diversas com sistemas de irrigação como o gotejamento, aspersão e sulcos de acordo com (CALBO & SILVA, 2001). Os produtos Irrigas fazem uso de sensores robustos e duráveis, que tem suas propriedades físicas ajustadas na fabricação. Uma série de aplicações pode ser criada a partir de modelos interessantes adaptáveis a cada problema de irrigação.

O irrigas na sua forma mais simples é um sistema que consta de uma cápsula porosa (sensor), conectada através de um tubo flexível a uma pequena cuba transparente, que é o dispositivo para medir o estado da água no solo. Para fins de manejo de irrigação, a cápsula é instalada no solo na profundidade efetiva do sistema radicular. Nesta situação a cápsula porosa entra em equilíbrio hídrico com o solo em poucas horas. No momento da medição do estado da água no solo (se o solo estiver “úmido”, a passagem de ar através da cápsula porosa é bloqueada, quando a cuba é imersa na água). Isto é, a água não entra na cuba porque o ar não sai do sistema através dos poros da cápsula. Por outro lado, quando o solo seca e a umidade diminui para abaixo de um valor crítico, a cápsula porosa torna-se permeável à passagem do ar. Assim, estando o solo “seco”, quando se emborca a cuba transparente no frasco de água, o menisco ar-água se movimenta na mesma, no sentido de se igualar com o nível da água no frasco. Quando isto ocorre o solo deve ser irrigado. Ao contrário, se a cápsula úmida bloquear a entrada de água na cuba, então o solo ainda permanece suficientemente “úmido” e não deve ser irrigado conforme (CALBO & SILVA, 2001).

O objetivo deste trabalho foi verificar a viabilidade de velas de Filtros Caseiro como sensores de umidade do solo de acordo com a metodologia do sensor Irrigas.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 ÁGUA NA AGRICULTURA

No universo a água é o recurso mais importante em todos os aspectos da vida, em excesso ela causa inundações ou calamidades ambientais e sua escassez provoca fome e miséria, entretanto o manejo adequado da água pode conduzir a excelentes resultados na produção de alimentos, porém seu mau uso poder acarretar degeneração do meio físico natural.

O crescimento agrícola mundial, superado pelo aumento da população vem causando preocupação a segurança alimentar, ao lado da oferta de alimentos, a degradação do solo, baixos índices de produtividades ao uso de fertilizantes e defensivos associado à escassez da água constituem os principais entraves ao aumento da produção agrícola compatível com o da população. Para (CHRISTOFIDIS, 1997) se o desequilíbrio persistir poderá ter graves crises econômicas e sociais de difícil solução.

O setor agrícola é o maior consumidor de água, sendo que a nível mundial a agricultura consome cerca de 70 % de toda a água derivada das fontes (lagos, rios e aquíferos subterrâneos) e os outros 30 % são consumidos pela indústria e uso doméstico (CHRISTOFIDIS, 1997), sendo, portanto um elemento crucial ao desenvolvimento agrícola em que sem o controle e administração adequado não será possível uma agricultura sustentável, para (CARDOSO et al., 1998) quase metade da água consumida é destinada a agricultura.

A irrigação representa a maneira mais eficiente de aumento na produção de alimentos. Estima-se que no ano 2020 os índices de consumo de água para a produção agrícola sejam mais elevados na América do sul, África e Austrália, prevendo-se um incremento maior na produção agrícola no hemisfério sul em consequência da possibilidade de elevação de intensidade do uso que sob irrigação produz até três cultivos por ano.

A expansão da agricultura irrigada se tornará uma questão preocupante, devido ao elevado consumo e às restrições de disponibilidade de água. Avaliando-se a necessidade de água dos cultivos, em termos médios, é possível verificar-se que, para produzir uma tonelada de grão, são utilizadas mil toneladas de água, sem se considerar a ineficiência dos métodos e sistemas de irrigação e o seu manejo inadequado; avaliações de projetos de irrigação em todo o mundo indicam que mais da metade da água derivada para irrigação se perde antes de alcançar a zona radicular dos cultivos.

A irrigação na agricultura mostra-se primordial para fornecer condições para potencial produtivo das culturas conforme (HERNANDEZ, 2004). O Brasil apresenta grande variabilidade climática mostrada pelas diferenças de regiões como sul e sudeste que possuem radiação solar e temperaturas adequadas para o desenvolvimento das culturas enquanto o nordeste sofre com os efeitos das secas devido à escassez de água para uso na agricultura e consumo humano. Portanto o conhecimento relativo à quantidade de água necessária para desenvolvimento das plantas constitui um aspecto importante na agricultura irrigada para que haja um adequado programa de manejo de irrigação.

Um bom manejo de irrigação pode se dar por meio da adoção de técnicas simples como turno de rega a esquemas mais complexos envolvendo água-planta-atmosfera, adotando critérios de aplicação de água que indiquem o momento e a quantidade de água para cada irrigação, de forma a suprir as necessidades hídricas das plantas e garantindo dessa forma o uso racional da água, energia e insumos agrícolas obtendo máxima produtividade (ROQUE, 2008). Para um melhor monitoramento pode-se fazer uso de sensores precisos para acompanhar o conteúdo de água do solo permitindo uma determinação precisa sobre quanto e quando irrigar (CRUZ, 2010).

2.2 CONTEÚDO DE ÁGUA DO SOLO

A quantidade de água armazenada no solo a uma dada profundidade do sistema radicular denomina-se de conteúdo de água do solo, ou umidade do solo. Ela pode ser obtida pela relação entre o volume de água e volume de solo (Umidade Volumétrica) ou a relação entre massa de água e massa de solo (Umidade Gravimétrica). A umidade do solo é expressa em percentagens, caso ela não seja apresentada é importante mencionar se ela foi determinada base de peso ou volume, mostrando como um parâmetro muito importante no manejo e dimensionamento de sistemas de irrigação.

2.3 UMIDADE GRAVIMÉTRICA

A umidade gravimétrica representa a quantidade de água contida em um solo e sua massa de sólidos secos (KLEIN, 2008). Para determinar a umidade gravimétrica deve-se pesar a amostra de solo quando estiver úmida em seguida seca em estufa (105°C) até atingir uma massa constante.

Para se determinar a umidade gravimétrica não se leva em consideração o volume do solo e conseqüentemente a estrutura do solo pode ser destruída (KLAR, 1991). Este método

também não serve como indicativo do volume de água armazenado, pois a base de massa do solo varia de acordo com a densidade do solo e seu teor de água.

O Método da Estufa bastante trabalhado que consiste na extração de água utilizando uma fonte de calor gerado por estufas elétricas. É destrutivo, Direto e bastante preciso (RIGHES et al., 2003).

A principal vantagem deste método é a precisão de seus resultados, seu baixo custo de operação e dispensa de elementos químicos, em razão disso acaba sendo utilizado como método para calibração de outros equipamentos, entretanto este método demora muito para produzir resultados, em torno de 24 horas.

Método do forno elétrico foi desenvolvido com o intuito de reduzir o consumo de energia bem como o tempo de secagem do solo (FONSECA et al., 2009 a. É um método simples, barato que apresenta baixo custo de aquisição e em razão disso é de grande utilidade pelos produtores e técnicos para se medir a umidade do solo. Seu funcionamento consiste a base de energia elétrica sendo que a fonte de geração de calor usado para executar se dar através de resistências de aquecimentos.

Método do forno elétrico é bastante confiável e eficiente na determinação da umidade do solo independentemente do tipo de textura do solo (FONSECA et al., 2009). Testes estatísticos mostraram que não houve diferença em dois solos, um de textura arenosa e outro de textura argilosa, após secarem durante 30 minutos a uma temperatura de 160°C, chegando à conclusão de que os teores de água determinados com forno elétrico e o método da estufa foram estatisticamente iguais (OLIVEIRA et al., 2008).

O Método Forno Micro- ondas Como o próprio nome sugere faz uso de um forno micro-ondas comercial para secagem de amostras de solos. Sua principal vantagem é a redução do tempo de secagem que pode variar de acordo com o tamanho e número de amostras, tipo de solo, umidade e da potência do forno micro-ondas utilizado para realizar a operação (DAL PRÁ, 2008; FRANCO, 2009).

Umas das principais vantagens deste método é o tempo de secagem do solo, pois enquanto o método convencional demanda até 72 horas para completar o teste o forno micro-ondas leva no máximo 14 minutos (SOUZA et al., 2002). A utilização do forno micro - ondas em laboratório não deixa resíduos, produz resultados rápidos e eficientes a menores custos.

O Método das pesagens também conhecido como balão volumétrico e foi idealizado por Papadakis (1941). Se baseia na saturação da amostra de solo a fim de se obter um padrão que servirá de base para as demais determinações, sendo um método bastante simples, após tomar conhecimento da densidade de partículas do solo e do padrão necessita-se apenas de

uma balança de precisão de 1g, isso torna o método barato e de boa precisão (KLAR, 1984).

A vantagem deste método é a sua rapidez e agilidade na determinação da umidade do solo em campo (BERNARDO et al., 2006), informando a resposta logo após a coleta da amostra de solo, apresenta um baixo custo e dispensa o uso de equipamentos sofisticados.

2.4 UMIDADE VOLUMÉTRICA

Existe uma correlação matemática para converter a umidade gravimétrica para volumétrica através da razão do produto da umidade gravimétrica e da densidade do solo pela densidade da água originando uma umidade a base de volume expressa em cm^3/cm^3 , m^3 , mm^3/mm^3 , água/ m^3 de solo (KLEIN, 2008). Este método mostra-se mais confiável pelo fato das plantas explorarem um volume de solo para qual existirá um volume de água.

2.5 MÉTODOS INDIRETOS DE DETERMINAÇÃO DE UMIDADE DO SOLO

No campo a quantificação do teor de água do solo pode ser de difícil realização em consequência da dinâmica da água no seu estado líquido na sua movimentação no perfil do solo (BRAGANÇA et al., 2005). Os métodos diretos são destrutivos e não possibilitam a repetição das medidas daí a necessidade de uso de métodos indiretos para determinação da umidade do solo (MIRANDA et al., 2007).

Segundo Gardner et al., (2000) Os métodos indiretos se baseiam em propriedades dos solos que variam de acordo com o conteúdo de água no solo, fundamentando-se em parâmetros físicos como tensão de água do solo, resistência do solo a passagem de corrente elétrica, moderação de Nêutrons e permissividade elétrica relativa ao meio.

São métodos bastantes indicados para estudos de monitoramento de água no solo, em pesquisas e em sistemas de agricultura de precisão, pois devido a sua praticidade, rapidez e possibilidade de repetição de medidas em determinados pontos de perfil do solo (SILVA et al., 2008).

Segundo Muñoz- Carpena et al. (2005) os métodos indiretos podem ser tensiométricos ou volumétricos, sendo que os métodos tensiométricos expressam o potencial matricial de água no solo e os volumétricos o volume de água por unidade de solo.

Os métodos tensiométricos possuem como principal característica a presença de um material poroso que se mantém em contato com o solo e a dinâmica de entrada e saída de

água nestes materiais é em função do conteúdo de água do solo (MUÑOZ CARPENNA et al., 2005).

A tensiometria é uma das técnicas mais acessíveis para manejo de irrigação, pois mostra-se como uma alternativa barata e de fácil instalação dos equipamentos no local de análise. O tensiômetro consiste em uma cápsula porosa de cerâmica conectada a um vacuômetro ou coluna de mercúrio por meio de um tubo (BERNARDO et al., 2009) e (BRITO et al., 2009).

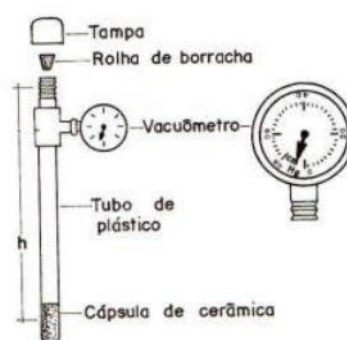


Figura 1. Tensiômetro, Embrapa 2013.

Os tensiômetros clássicos utilizam manômetro de mercúrio devido à alta precisão quando comparado com o manômetro metálico, embora exija maiores cuidados devido o manuseio do mercúrio (BERNARDO et al., 2009).

De acordo com Brito et al., (2009) o funcionamento de um tensiômetro esta baseado no equilíbrio entre a água do interior do tubo do tensiômetro e a solução do solo, que após o estabelecimento do equilíbrio e a medida que a umidade vai reduzindo a água do interior do tensiômetro atravessa a cápsula porosa reduzindo a pressão interna do equipamento em consequência da redução do potencial de água no solo formando um vácuo que é mensurável.

A principal vantagem do uso do tensiômetro é o fato dele não ser afetado pelos sais presentes na solução do solo (MUÑOZ CARPENNA et al., 2005), pois eles se movem com facilidade por meio da cápsula porosa de cerâmica.

O Sensor de Bloco de Gesso constitui de uma célula eletroquímica com uma solução saturada eletrolítica de sulfato de cálcio ideia defendida por (BOUYOUCOS & MICK, 1940) apud (MUÑOZ CARPENNA et al., 2005). Seu funcionamento é baseado na resistência elétrica entre dois eletrodos inseridos em um bloco de gesso no qual se aplica uma pequena voltagem de corrente elétrica alternada que fornece uma indicação indireta do conteúdo de

água do solo (VIELMO, 2008). Os blocos de gesso apresenta uma propriedade particular pelo fato de absorverem ou perderem umidade afim de atingir o equilíbrio com a solução do solo, variando de acordo com a umidade deste.

A dissolução dos blocos de gesso com o decorrer do tempo e a deposição de argila conferem as principais desvantagens do uso deste método, deve-se também atentar para as correções das leituras obtidas em campo em função da variação da temperatura. O fenômeno da histerese também prejudica as leituras, pois os sensores dos blocos de gessos apresenta leituras variadas de resistência para um dado valor de potencial de água do solo quando o solo estiver umedecendo ou secando.

Sensor de bloco de gesso é tido como simples, barato e de fácil fabricação e operação podendo ser utilizado no controle de irrigação (VIELMO, 2008), entretanto devido sua baixa precisão requer calibração em campo, fazendo uso de um método padrão em função do teor de água para cada solo específico.

Método de Colman baseia no princípio de variação da resistência elétrica sendo que a única diferença do método anterior é que os eletrodos são constituídos de fibra de vidro protegidas por duas placas de metal monel (BERNARDO et. al., 2009). Este método apresenta como principal vantagem o fato dos dados obtidos serem corrigidos em função da temperatura em virtude do sensor ser constituído por um termistor que é sensível a variação de temperatura, permitindo a determinação da temperatura da célula. É extremamente importante que antes do uso deste método ocorra a calibração em função do teor de água no solo ou tensão para que os resultados sejam mais precisos.

A técnica de moderação de nêutrons consiste em perdas de energia destas partículas, passando de um estado rápido para lento conforme (CHANASKY & NAETH, 1996); (REICHARDT & TIMM, 2004). A sonda de nêutrons é constituída por uma fonte de nêutrons rápidos e um detector de neutros lentos, um contador de pulsos, um cabo conector e blindagem (BELL, 1987). O princípio de funcionamento consiste em uma correlação estreita entre a quantidade de nêutron moderados a ser quantificada no aparelho e a concentração de hidrogênio presente na solução do solo (BERNARDO et al., 2009). As leituras são baseadas na quantidade de hidrogênio presente na água.

As principais vantagens sobre a utilização de sonda nêutrons se dá pelo fato de ser um método não destrutivo da estrutura do solo, permitindo repetições de várias leituras em um mesmo local, entretanto pelo fato de o mesmo fazer uso de uma fonte radioativa acaba tendo o risco de haver contaminação tanto de pessoas como do ambiente (VIELMO, 2008).



Figura 2. Sonda de Neutrons.

Os Métodos Dielétricos se baseiam na determinação da constante dielétrica do solo (K) que diz respeito a permissividade elétrica do meio (ϵ) considerando como material dielétrico do solo (SOUZA et al., 2006). Os principais métodos indiretos baseados na constante dielétrica do solo (K) são o TDR (*Time Domain Reflectometry*) ou reflectometria do domínio do tempo e FDR também denominado de técnica por capacitância (SILVA et al., 2008).

O TDR necessita de um dispositivo capaz de produzir pulsos elétricos com uma ampla faixa de frequência usados por diferentes equipamentos, que trafegam por uma linha de transmissão constituída por um cabo coaxial e uma sonda composta por hastes metálicas paralelas, em alguns casos em número de duas ou três inseridas no solo, atuando como guias de onda (MUÑOZ CARPENNA et al., 2005). Este método se fundamenta na estimativa do tempo (t) de propagação das ondas eletromagnéticas com frequências entre 1MHz a 1 GHz a uma velocidade de 30 cm.ns⁻¹ (c), por uma guia metálica de comprimento conhecido (L) colocada no solo (KAISER et al., 2010).

TDR apresenta muitas vantagens pelo fato da contribuição para pesquisas em agricultura irrigada, aquisição e armazenamento de dados para determinação da umidade do solo, condutividade elétrica e também a facilidade de obtenção destes dados (BIZARI et al., 2011).

As sondas de capacitância ou FDR consistem em dois ou mais eletrodos que são inseridos no solo (SILVA et al., 2008). Seu princípio de funcionamento está baseado na capacitância elétrica de um capacitor que utiliza o solo como meio dielétrico (MUÑOZ CARPENNA et al., 2005); (BORIM & PINTO, 2006). Após a conexão de um capacitor com um oscilador com o intuito de formar um circuito elétrico sintonizado, tem-se que mudanças na umidade do solo podem ser detectadas de acordo com variações na frequência de operação do circuito.

2.6 SENSORES IRRIGÁS®

Sensor Irrigás® é uma cápsula porosa ligada a um dispositivo de pressurização de ar, para trabalhos em campo esta cápsula deve ser instalada na profundidade do sistema radicular da cultura a ser analisada. Quando a cápsula é instalada no solo ela entra em equilíbrio hídrico com o meio, no qual se o solo estiver na condição úmida a passagem de ar através da cápsula é bloqueada, isso é observado pelo fato da água não entrar na cápsula quando imersa já que o ar não sai do sistema através dos poros da cápsula, sob outro aspecto quando o solo estiver na condição seca a umidade fica reduzida a um valor crítico que ao ser atingido a vela fica permeável à entrada de ar, deslocando o menisco ar-água para dentro do frasco no sentido de se equilibrar com o meio, quando esta situação ocorrer a irrigação deve acontecer. Caso a cápsula úmida impeça a entrada de água na cuba o solo não deverá ser irrigado, pois ele estará em uma condição suficientemente úmida (CALBO & SILVA, 2001).

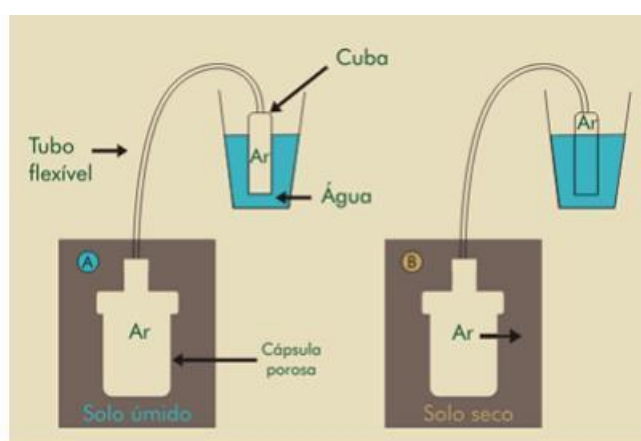


Figura 3. Funcionamento de um Sensor Irrigas, Embrapa 2013.

Irrigas apresenta natureza com relação aos fundamentos da física. Isso foi demonstrado por meio de diversas comprovações obtidas por experimentos em campos onde, (MOHAMMED, 2003); (MAROUELLI et al., 2003); (VIANA, 2004) observou a adequação de sistemas Irrigas para manejos em irrigação.

Os sensores Irrigás simples são mais baratos do que os tensiômetros, são bem mais fáceis de serem manipulados, não exigem manutenção e são mais confiáveis pelos agricultores pouco instruídos. Uma das maiores vantagens do Irrigás® é o fato de ele poder ser fabricado de várias maneiras e com outros materiais como placas de vidro circulares acopladas ou placas parafusadas que comprimem um tecido poroso. Neste caso a pressurização é feita através de um tubo de entrada de ar centralizado (CALBO & SILVA

,2001).

Os sensores podem ser fabricados usando velas de filtros que vão funcionar como estrutura de troca do ar e da água no interior da cápsula de acordo com a condição de umidade do solo, estas cápsulas serão ligadas a uma mangueira no qual serão colocadas dentro de um recipiente com água, caso a água penetre no interior do tubo isto é um indicativo de que o solo está seco e precisa ser irrigado, por outro lado caso a água não penetre é um indicativo de que o solo está úmido e dispensa a irrigação(CALBO & SILVA ,2001).

O maior entrave para o uso do Irrigás® é que o sensor não quantitativamente a tensão atual de água no solo, e sim apenas se o solo está seco ou não, isso dificulta o monitoramento de água de irrigação.

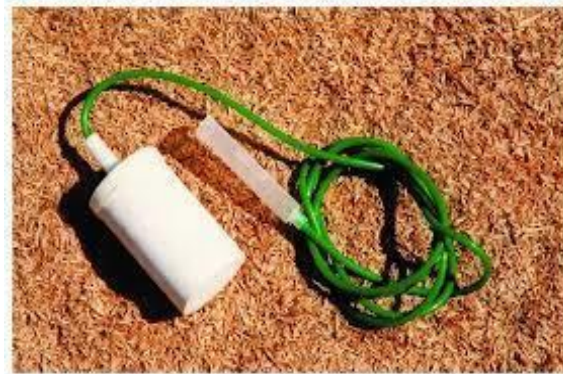


Figura 4. Sensor Irrigás®.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

O experimento foi realizado na Universidade Federal Rural do Semiárido (UFERSA) campus Mossoró - RN, os Sensores foram confeccionados a partir de velas de filtros caseiros e calibrados no Laboratório de instrumentação e manejo da irrigação. Foram utilizados 08 Sensores sendo 04 Sensores confeccionados a partir de velas e filtro caseiro de diferentes fabricantes e 04 sensores Irrigás® de diferentes tensões. Cada tratamento teve 7 repetições.

3.1 VELAS DE FILTROS CASEIROS E SENSORES IRRIGÁS®

Na confecção dos sensores usou-se velas de filtro caseiro das marcas comerciais Agelux, Oásis, Sto André e Stefani. Para garantir maior segurança durante o teste necessitou-se acoplar uma mangueira transparente de 5 mm de espessura e 10 mm de diâmetro vedada com cola, ainda ao conjunto foi adicionada mangueira de 1,5 m de comprimento por 5 mm de espessura e 10 mm de diâmetro coloração escura que também foi vedada com cola para garantir maior segurança ao teste.



Figura 5. Filtros Comercias Usados Para construção das Cápsulas Porosas.



Figura 6. Modelo de mangueira adicionada ao conjunto para manter o sistema de pressurização em funcionamento.

As Velas da marca AGELUX foram adquiridas da empresa AGELUX Indústria e Comércio de Produtos para Cerâmicas e Componentes Plásticos Ltda. Estas Velas tinham um comprimento de 86 mm; diâmetro médio de 47 mm, espessura de 8 mm. Para esse tipo de cápsula foi conectado uma mangueira de coloração escura de comprimento de 1,5 m, diâmetro de 0,5 cm.

As Velas da marca OÁSIS foram adquiridas da empresa OÁSIS PRODUTOS CERÂMICOS LTDA. Estas velas tinham um comprimento de 87 mm; diâmetro médio de 51 mm, espessura de 7 mm. Necessitou-se do uso de mangueira de acoplamento para evitar entrada de ar e deixar impreciso o sistema.

As Velas da marca St. André foram adquiridas da empresa RAMIRO & RAMIRO INDÚSTRIA E COMÉRCIO DE FILTRO LTDA. As Velas tinham comprimento de 81 mm e um diâmetro médio de 49 mm.

As velas da marca Stefani foram compradas da empresa Stefani Purificadores LTDA. Esta vela possui mecanismo de dupla ação contendo em seu interior carvão ativado. A vela possui um comprimento de 95 mm; espessura 3 mm e diâmetro médio de 56 mm.

Os sensores Irrigás® testados (25 kPa, 15 kPa, 40 kPa e 80 kPa) foram cedidos pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa SEMIÁRIDO). Os sensores Irrigás foram fabricados pela empresa hidrosense LTDA, tendo as seguintes dimensões: Comprimento de 83 mm, Diâmetro de 22 mm, espessura 10 mm. Cada sensor estava acoplado a uma mangueira de 1,30 m de comprimento por 2 mm de diâmetro.



Figura 7. Modelo de Sensor Irrigás® usado para comparação com os filtros comerciais.

3.2 CALIBRAÇÃO

Para calibração das cápsulas porosas adotou-se Sistema de pressão de Borbulhamento o qual foi desenvolvido um sistema composto por uma (Mangueira de 1,5 m de extensão + Vela de Filtro). Para determinação das tensões suportadas as velas foram

completamente preenchidas com água em seguida o conjunto (Mangueira + vela) foi flexionado em forma de “U” para que houvesse diferenças de nível entre a saída da mangueira e a vela. No momento em que a água saísse da mangueira indicava que a vela estava permeável a entrada de ar a partir daquele valor, representando a sua tensão.

Os sensores Irrigas® foram calibrados adotando-se Sistema de pressão de Borbulhamento o qual foi desenvolvido um sistema composto por uma (Mangueira de 8,0 m de extensão + sensor). Para determinação das tensões suportadas os sensores foram completamente preenchidos com água, em seguida o conjunto (Sensor+Mangueira) foi flexionado em forma de “U” na parte superior do reservatório da Universidade Federal Rural do Semiárido, o local foi escolhido em decorrência da altura do prédio o que possibilitava a realização do teste. No momento em que a água saísse da mangueira, indicava que o sensor estava permeável a entrada de ar a partir daquele valor, representando a sua tensão.

Para determinação do tamanho e da quantidade dos poros das cápsulas porosas de cada fabricante, as amostras foram analisadas em Microscópio Eletrônico por Varredura (MEV) no laboratório de Microscopia do Centro de Pesquisas do Semiárido da Universidade Federal Rural do Semiárido. As amostras foram cortadas em quadrados de tamanho 10 mm e feito uma limpeza superficial (Figura 8A) em seguida submetidas ao processo de metalização que consistiu no bombardeamento das cápsulas com partículas de ouro a fim de otimizar a visualização (Figura 9B) ,em seguidas as amostras foram analisadas em MEV modelo *TESCAN* e as imagem obtidas foram processadas no software *VEJA TCX 64*.

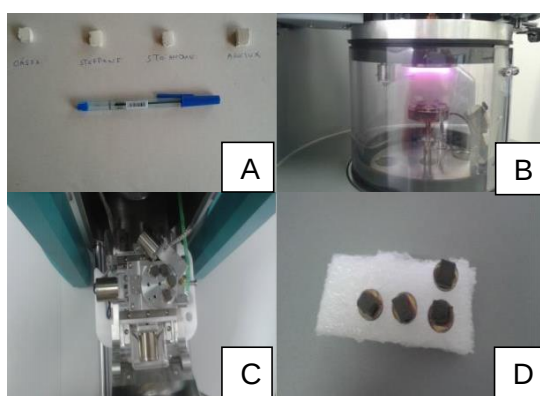


Figura 8. Preparação das Amostras (A); Metalização usando Partículas de Ouro (B); Amostras sendo analisadas em MEV (C); Amostras após análise em MEV e Metalização.

As imagens obtidas foram utilizadas para determinar o tamanho médio dos poros por meio do uso de um paquímetro digital. O tamanho do poro era determinado em cm depois com o auxílio de escala da imagem convertia-se para μm (micrometro). Com os dados da

porosidade foi possível fazer uma análise de regressão Linear entre as tensões obtidas de cada marca com o tamanho médio dos poros.

Os valores obtidos de tensão em metros por coluna de água (m.c.a) foram multiplicados por 9,80 para obter a tensão da cápsula em Kilopascal (KPa).

3.3 DELINEAMENTO E ANÁLISE DOS DADOS

Os dados foram trabalhados em Delineamento Inteiramente Casualizados (DIC). Utilizou-se 08 tratamentos e 7 repetições e a análise estatística se deu por análise de variância e comparação de médias pelo teste de tukey 5% de probabilidade usando o software estatístico R desenvolvido na universidade de Auckland, Nova Zelândia. A análise de regressão bem como o coeficiente e variação foi feito em software Excel utilizando as funções correspondentes.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os sensores Irrigás[®] identificados na (Tabela 1) suportaram maiores valores de tensão, especialmente o modelo de 25/05 que apresentou uma tensão superior a todos os outros conforme (Tabela 1).

Tabela 1. Médias de tensões suportadas em Sensores Irrigás[®] e Cápsulas Porosas de diferentes fabricantes.

Marca	Tensão (kPa) ¹	CV(%)
Irrigás 25/05	42,03 a	10.64
Irrigás 40/05	36,71 b	13.19
Irrigás 80/05	33,17 b	12.60
Irrigás 15/05	22,53 c	11.10
STF	11,74 d	20.27
OAS	10,44 d	13.90
STA	9,31 d	21.60
AGE	7,90 d	25.39

¹ Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

Os sensores Irrigás[®] apresentaram maiores valores de tensão e um coeficiente de variação médio indicando pouca variabilidade das medidas em relação as suas médias PIMENTEL GOMES (1985), pois foram fabricados exclusivamente para este fim com tamanho, diâmetro e espessura de material predefinidos. Para Marouelli et al., (2008), sensores de modelo 25/05 são recomendados para sistemas de irrigação tanto por gotejamento quanto por sulcos, bem como para uso em conjunto com outros sensores independentemente da tensão de referência para fins de monitoramento da quantidade de água aplicada em excesso. Os sensores Irrigás[®] de 40/05 e 80/05 apresentaram valores de tensões muito abaixo do esperado, isso pode ter ocorrido em função de falhas na vedação do sensor ou em decorrência do teste de pressão de borbulhamento que pode ter sido diferente do modelo adotado pela empresa HIDROSENSE LTDA, já que a mesma não forneceu nenhum tipo de informação técnica relacionada a confecção dos sensores Irrigás[®] alegando confidencialidade de seu trabalho.

Os modelos Irrigás[®] 25/05 são recomendados para vários tipos de hortaliças como: abóbora, abobrinha, alho-porro, batata, berinjela, brócolis, ervilha – torta, espinafre, feijão vagem, jiló, melancia, melão nabo e pimentão (MAROUIELLI & CALBO, 2008).

O uso combinado de Sensores Irrigas® de 25 kPa, 40 kPa e 15 kPa foi recomendado por Marouielli & Calbo (2008), embora aumente os custos para muitos agricultores essa combinação pode permitir um aprimoramento na qualidade do manejo de irrigação através da instalação simultânea destes sensores nas duas profundidades raso e profundo. Isso permite determinar com melhor precisão a umidade do solo a qualquer momento (tensão) garantindo um melhor e mais rápido ajuste da lâmina de água aplicada.

Os sensores confeccionados a partir de velas de filtro não apresentaram diferença significativa entre si, e sim valores de tensão muito baixo quando comparados com os Sensores Irrigás®.

As Velas de Filtro da marca Steffani apresentou maior valor de tensão 11,74 kPa. De acordo com Calbo & Silva (2001), cápsulas deste tipo especialmente de 12 kPa representa um custo de fabricação 100 vezes maior do que a construção de uma cápsula de tensão superior.

As Velas de Filtro da marca Oásis apresentaram uma tensão de 10,44 kPa bem como o menor coeficiente de variação quando comparado com as outras marcas, indicando uma maior homogeneidade dos dados, sensores Irrigás® com essa tensão foram recomendados para estudos de manejos de irrigação de plantas cultivadas em substratos ou solos muito arenosos por Calbo & Silva (2001). Entretanto é importante saber que segundo Liz et al. (2008) as cápsulas porosas com essa tensão não são recomendadas para uso em substratos a base de fibra de coco, pois após atingir um reduzido teor de água este substrato pode necessitar de um alto volume de água para iniciar seu processo de reidratação.

As marcas comerciais Sto. Andre e Agelux apresentaram valor médio de tensão inferior a 10 kPa sendo que sensores Irrigás abaixo dessa tensão foram recomendados por Richards, (1949) para uso em vasos, pois a capacidade de campo em solos arenosos e substratos varia de 2 kPa para 6 kPa em solos argilosos. Segundo Cortez, (1999) para cultivos realizados em substratos a irrigação deve ser realizada quando a tensão atingir entre 3 e 10 kPa. A metodologia do mini sensor irrigas de baixa tensão possibilitou a obtenção de curvas de retenção de água em seis tratamentos na faixa de 0 a 11 kPa (LIZ et al., 2008).

Calbo & Silva (2001), defende que sensores de baixa tensão crítica podem ser fabricados de outras formas e de outros materiais, isso mostra que as Velas de Filtros caseiros foram viáveis e adequadas para construção de modelos semelhantes a metodologia do sensor irrigas bem como cápsulas com essa tensão foram indicadas por (MAROUELLI et al., 2009) para serem usados em cultura bastantes exigentes em água.

Em uma análise econômica feita por meio de visitas em lojas de material de irrigação

constatamos que um sensor Irrigás® modelo Pro custa em torno de 116,00 R\$ sem incluir as despesas com frete, além disso, o manuseio inadequado pode causar rachaduras ao sensor devido a sua baixa resistência a impactos mecânicos, entretanto com relação ao uso de velas de filtros caseiro temos uma redução bastante significativa em termos de construção, algo em torno de 10,00R\$ por cada sensor construído, isso mostra o quanto o uso de velas de filtro caseiro para construção de sensores de umidade do solo é viável e acessível a pequenos agricultores.

Na Tabela 2 pode ser observado pela análise de variância entre as Velas, a relação entre a tensão suportada e o tamanho dos poros o efeito significativo, isto é, existe diferença entre as tensões suportadas das capsulas bem como diferenças entre o tamanho médio de poros de cada cápsula. Isso pode ser visto pela diferença entre as médias que a marca Agelux obteve (AGE) apresentando menor tensão suportada e o maior tamanho de poros, enquanto que para as capsulas Santo André (STA) e Oásis (OAS) aconteceu exatamente o inverso. Observa-se que a capsula Steffani (STF) obteve maior tensão média enquanto seu tamanho médio de poros também é grande e estatisticamente igual ao da AGE, este resultado se deve ao fato de que mesmo o tamanho médio de poros sendo grande na cápsula STF, a desuniformidade no tamanho desses poros pode influenciar a tensão submetida a essas.

Tabela 2. ANAVA e teste de médias das cápsulas porosas em relação a tensão (kPa) e tamanho de poros (μm).

Fonte variação	GL	Quadrado médio	
		Tensão	Tamanho de poros
Marca	3	16,683*	70064,918*
Residuo	24	1,995	7772,759
Total	27	-	-
CV (%)	14,34	-	-
Médias ¹			
Marca		Tensão	Tamanho de poros
AGE		7,90 a	282,80 a
STA		9,32 ab	64,11 b
OAS		10,44 bc	79,11 b
STF		11,74 c	157,50 ab

*Significativo a 5% de probabilidade pelo teste F. ¹ Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

De acordo com os gráficos de regressão linear abaixo, todas as marcas apresentaram correlação linear negativa entre tensão e tamanho de poros, do qual deduz que quanto maior o diâmetro médio de poros menor será a tensão suportada pela vela, isso pode ser explicado pela condutância hidráulica que é diretamente proporcional ao quadrado do raio efetivo de seus poros

e inversamente proporcional a tensão suportada pela vela, conforme Moore, (1974).

Podemos perceber pelas as imagens da figura abaixo obtidas com o Microscópio Eletrônico de Varredura o diâmetro médio dos poros e a sua geometria o que reflete muito na condutância hidráulica do material e consequentemente na capacidade de tensão suportada pela Vela.

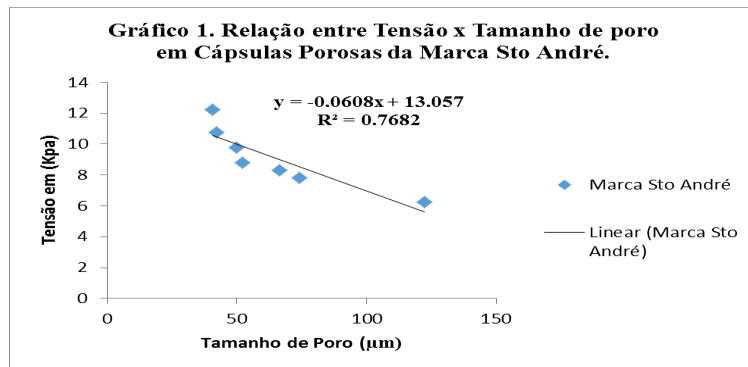


Gráfico 1 . Relação Tensão x Tamanho de Poro Vela Santo André.

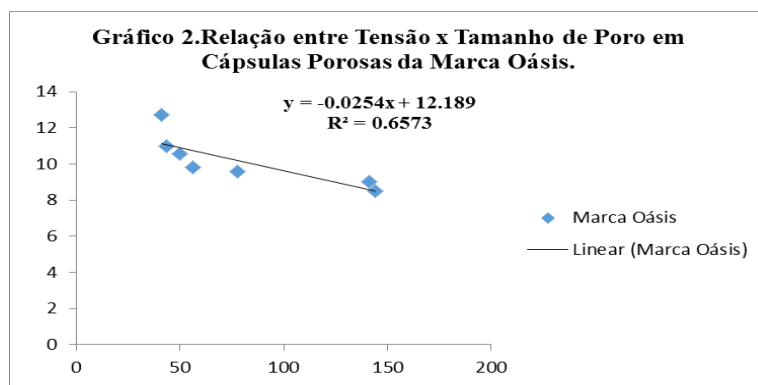


Gráfico 2 . Relação Tensão x Tamanho de Poro Vela Oásis.

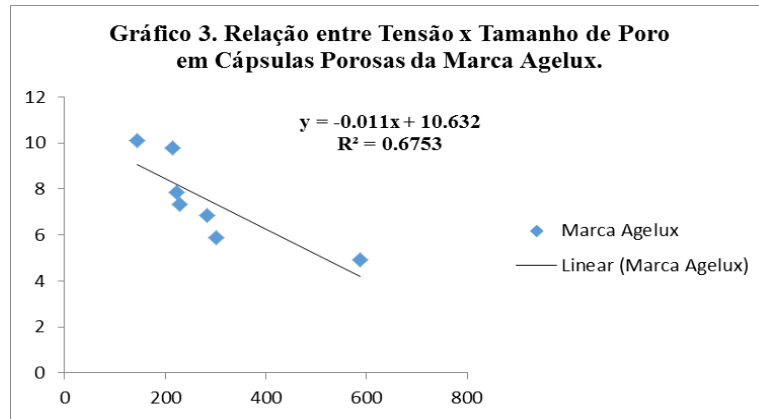


Gráfico 3 . Relação Tensão x Tamanho de Poro Vela Agelux.

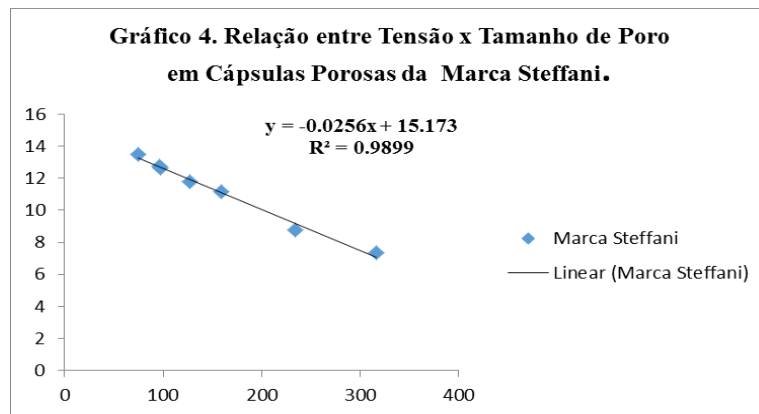


Gráfico 4 . Relação Tensão x Tamanho de Poro Vela Steffani.

Podemos perceber pelas as imagens da figura abaixo obtidas com o Microscópio Eletrônico de Varredura o diâmetro médio dos poros e a sua geometria, o que reflete muito na condutância hidráulica do material e consequentemente na capacidade de tensão suportada pela Vela.

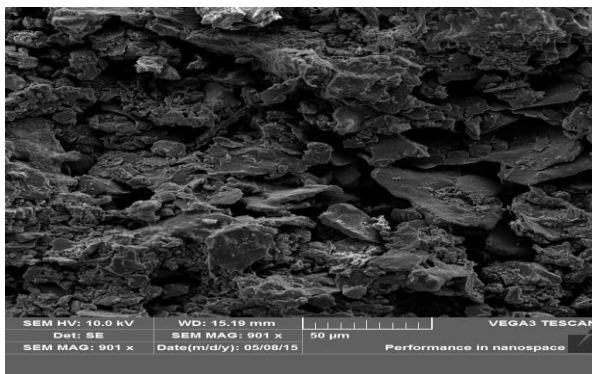


Figura 9. Imagem de MEV da vela Steffani .

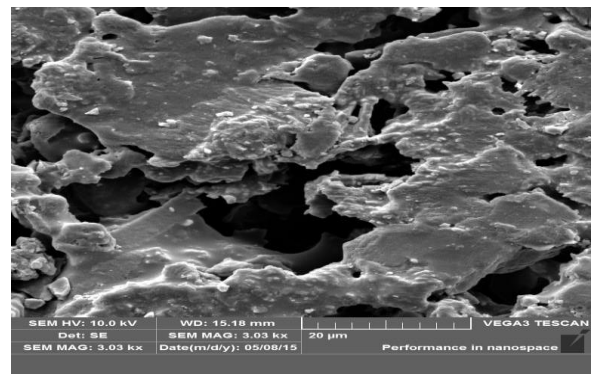


Figura 10. Imagem de MEV da vela Agelux.

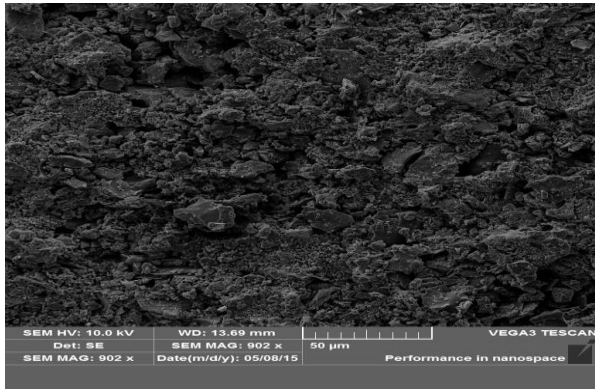


Figura 11. Imagem de MEV da vela Santo André.

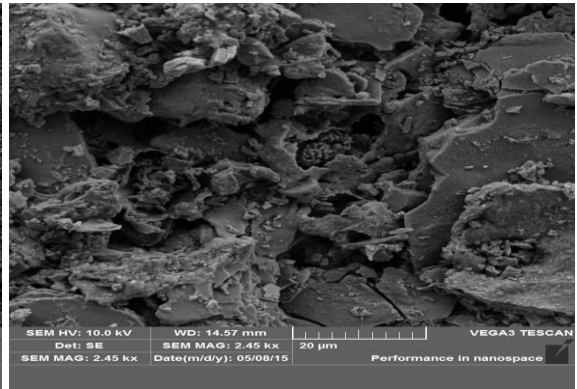


Figura 12. Imagem de MEV da vela Oásis.

5 CONCLUSÕES

As Velas de Filtro Caseiro suportaram tensões sempre menores que as do “Irrigas” ®. A Vela modelo Agelux apresentou menor tensão, provavelmente em função do maior tamanho médio de seus poros. Ao contrário das cápsulas Santo André e Oásis que apresentaram maiores valores de tensões. As Velas de Filtro da marca Steffani apresentou maior valor de tensão 11,74 kPa. Entretanto velas deste tipo especialmente de 12 kPa representa um custo de fabricação 100 vezes maior do que a construção de uma cápsula de tensão superior.

As velas de filtro caseiro mostraram-se ideais para serem usadas como sensores Irrigás, pois são baratas, de fácil construção e feitas de material altamente acessível ao agricultores de baixa renda e nível de instrução, é importante que durante a construção seja necessário adotar um adequado procedimento de vedação para impedir a entrada de ar no sistema inviabilizando o mesmo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALFARO, J.F.; MARIN, V. Uso de água y energia para riego en America Latina. http://unesco.org.uy/phi/libros/uso_eficiente/alfaro.html. 1991

ALFARO, J.F.; MARIN, V. Uso de água y energia para riego en America Latina. http://unesco.org.uy/phi/libros/uso_eficiente/alfaro.html. 1991

ALFARO, J.F. Assessment of progress in the implementation of the Mar del Plata action plan and formulation of a strategy for the 1990s (Latin America and the Caribbean). California: United Nations Development Programa, Food and Agricultural Organization, Departament of Economic and Social Affairs, Departament of Thechnical Cooperation. 1990. 90p.

ALBUQUERQUE, P.E.P de; DURÃES, F. M. O Uso e manejo de água na irrigação. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2008. 528 p.

BERNARDO, S. Impacto ambiental da irrigação no Brasil. In: Silva, D. D. da; Pruski, F. F. (Ed.). Recursos hídricos e desenvolvimento sustentável da agricultura. Viçosa: MMA, SRH, ABEAS, UFV, 1997. 252p.

BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E C. Manual de Irrigação 8 ed.- Viçosa: Ed. UFV, 2006. 625p.

BRAGANÇA, R.; BRUM, V. J.; SILVA, J.M. da ; ZINI JUNIOR, A.;BREGONCI, I. dos S.;REIS, E. F .dos ; PASSOS , R.R. Avaliação da umidade de um latossolo da região sul do estado do Espírito Santo por diferentes métodos de determinação. In: IX Encontro Latino Americano de Iniciação Científica, 2005, São José dos Campos. Anais... 2005, v. único, p. 643-646.

BRITO, A. dos S. LIBARDI, P. L.; MOTA, J.C.A.; MORAES, S.O. Desempenho do tensiômetro com diferentes sistemas de leitura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.33, n.1, p.17-24, 2009.

BELL, J. P. **Neutron probe practice**. 3. ed. Wallingford, Institute of Hydrology, 1987. 51p

BIZARI, D.R.; MATSURA, E.E.; SOUZA, C.F.; ROQUE, M.W. Haste portátil para utilização de sondas de TDR em ensaio de campo. **Irriga**, v.16, n.1, p.31-41, 2011.

BORIM, A. C. A.; PINTO, C. A. R. Medição de umidade do solo através de sensores capacitivos. **Revista de Ciências Exatas e Tecnologia**, v.1, n.1, 51-60, 2006.

CHRISTOFIDIS, D. A água e a crise alimentar. [www.iica.org.br/ Aguatrab/Demetrios%20Christofidis/P2TB01.htm](http://www.iica.org.br/Aguatrab/Demetrios%20Christofidis/P2TB01.htm). 1997. 14p.

COSTA, W.D.; COSTA, W.D. Disponibilidades hídricas subterrâneas na Região Nordeste. **A Água em Revista**, Belo Horizonte, n.9, p.47-59, 1997.

CARDOSO, H.E.A.; MANTOVANI, E.C.; COSTA, L.C. As águas da agricultura. **Agroanalysis**. Instituto Brasileiro de Economia/Centro de Estudos Agrícolas. Rio de Janeiro. 1998. p.27-28.

CHANASYK, D. S.; NAETH, M. A. Field measurement of soil moisture using neutron probes. **Canadian Journal of Soil Science**, v.76, n.3, p.317-323, 1996.

CARLESSO, R.; ZIMMERMANN, F.L. Água no solo: parâmetros para o dimensionamento de sistemas de irrigação. Santa Maria: UFSM/Departamento de Engenharia Rural, 2000. 88p

CETESB. Gestão da água. O problema da escassez de água no mundo problema da escassez. São Paulo, 2006 Disponível em:

<http://www.cetesb.sp.gov.br/Agua/rios/gesta_escassez.asp> Acesso em: 04 de abril de 2011

CRUZ, Tadeu M. L. et al. Avaliação de sensor capacitivo para o monitoramento do teor de água do solo. **Eng. Agríc.** [online]. 2010, vol.30, n.1, p.33-45. ISSN 0100-6916.

CALBO, A. G.; SILVA, W. L. C. irrigas-novo sistema para controle de irrigação. In: CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, 11, Fortaleza, 2001. Anais...

Brasília: Associação de Brasileira de Irrigação e Drenagem do XI Congresso Brasileiro de Irrigação e Drenagem. 2001, p.177-182.

CALBO, A. G. Sistema de Controle Gasoso de Irrigação baseado na determinação de umidade do solo por meio de cápsulas porosas. Patente BR PI 0004264-1, 2000.

CALBO, A. G. Gas irrigation control system based on soil moisture determination through porous capsules. Patent US 6705542B2, 2004

DAL PRÁ, B.R. Desenvolvimento de sistema para controle de umidade do solo em pequenas propriedades rurais. 2009. 66f. Dissertação (Mestrado Profissional do Programa de Pós Graduação em Desenvolvimento de Tecnologia) - Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento, Curitiba, 2009.

DAKER, A. Irrigação e drenagem: a água na agricultura. 3 vol., 7. Ed. rev. E ampl. Rio de Janeiro, Freitas Bastos, 1988. 543p

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisas em Solos (Rio de Janeiro , RJ). Manual de Análises de Métodos de análise de solo/ Centro Nacional de Pesquisas de Solos. - 2. Ed. ver. atual. – Rio de Janeiro, 1997. 212p.

FONSECA, S. O et al. Avaliação do método de forno elétrico para determinação da umidade do solo em relação ao método padrão estufa. IN :XIII Encontro Latino Americano de Iniciação Científica e IX Encontro Latino Americano de Pós-Graduação - Universidade do Vale do Paraíba, 2009a. Anais Eletrônicos... (S.L.), 2009. Disponível em: http://www.inicepg.univap.br/cd/INIC_2009/anais/arquivos/RE_0213_0309_01.pdf Acesso em: 10 set. 2012.

FAO. Producción de alimentos: función decisiva del agua. www.fao.org/wsf/final/volume2/t07sum-s.htm. 1996b.

FAO. La conservación de las tierras en América Latina. www.fao.org/ag.esp/revistas/spot4.htm. 1998.

GARDNER, C.M.K.; ROBINSON, D.; BLYTH, K.; COOPER, J.D. Soil water content. In: SMITH, K.A.; MULLINS, C.E. (Ed). **Soil and environmental analysis**. 2.ed. New York: Marcel Dekker Inc., 2000, p.1-64.

HERNANDEZ, F. B. T. Manejo da irrigação. 2004. Disponível em

<<http://www.irrigaterra.com.br/manejo.php>>. Acesso em 28 ago. 2005.

HILLEL, D. Fundaments of soil physics. London: Academic Press, 1980. 413p.

KLAR, A. E. água no sistema solo-planta – atmosfera. São Paulo: Nobel, 1984. 408p.

KLAR, A. E. A água no sistema solo-planta-atmosfera. São Paulo: Nobel ,1984. 408p.

KLEIN, V. A. Física do solo –Passo Fundo: Ed. Universidade Passo Fundo, 2008 .212p

KLAR, A. E. Irrigação: Frequencia e quantidade de aplicação. São Paulo: Nobel, 1991. 156p.

KAISER, D.R.UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA. Centro de Ciências Rurais. Fundamentos da ciência do solo. Aulas Práticas. Santa Maria, 2010.112 p.

KAISER, D. R.; REINERT, D.J.; REICHERT, J. M.; MINELLA, J. P. G. Dielectric constant obtained from TDR and volumetric moisture of soils in southern Brazil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.34 n.3, p.649-658, 2010.

LIBARDI, P. L. Dinâmica de água no solo. 1 ed. Piracicaba, 1995. 497p.

MAIA NETO, R. F. Água para o desenvolvimento sustentável. A Água em Revista, Belo Horizonte, n.9, p.21-32, 1997.

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

MACEDO, A. B. M. **Produção e eficiência de uso da água da bananeira cv Pacovan Ken sob diferentes tensões de água no solo.** 2008. 63f. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza.

MANTOVANI, E. C; BERNARDO, S.; PALARETTI, L. F. Irrigação: Princípios e métodos. 3. ed. atual. Viçosa: Ed. UFV, 2009. 355p.

MAROUELLI, W. A.; CALBO, A. G.; CARRIJO, O. A. Viabilidade do uso de sensores do tipo Irrigas® para o manejo da irrigação de hortaliças cultivadas em substratos. Horticultura Brasileira, Brasília, v.21, n.2, p. 286, 2003. Suplemento 2. CD-Rom. Trabalho apresentado no 43º Congresso Brasileiro de Olericultura, 2003, Recife

PASCHOLD, P. J.; MOHAMMED, A. Irrigas, - a new simple soil moisture sensor for irrigation scheduling. Zeitschrift für Bewässerungswirtschaft (Journal of Applied Irrigation Science) 38, p. 22-28, 2003.

PROJETO ÁGUA. Ecossistemas aquáticos. [www2.rantac.com.br/ cardeal/Projeto Agua.htm](http://www2.rantac.com.br/cardeal/Projeto_Agua.htm). 1998.

PIMENTEL GOMES, F. *Curso de Estatística Experimental*. São Paulo: Nobel, 1985. 467 p.

RIGHES, A. A. et al. Determinação de água no solo e na planta para irrigação. Santa Maria :Imprensa Universitária, 2003 .97p.

ROQUE, Wellington. Desenvolvimento de um multi-sensor eletrônico para medida da umidade, temperatura e condutividade elétrica do solo. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação. Campinas, SP: 2008.

REICHARDT, K. TIMM, LC. **Solo, planta e atmosfera: conceitos, processos e aplicações.** Barueri: Manole, 2004, 478 p.

REICHARDT, K. Á água na produção agrícola. São Paulo: Ed. McGraw-Hill do Brasil, 1978. 119p.

REICHARDT, K. Processos de transferência no sistema solo - planta-atmosfera. 4ª. ed. ver. e ampliada. Campinas, Fundação Cargil, 1985. vii + 466p.

VIANA, J. L. B. Manejo da irrigação por gotejamento durante o segundo ano de cultivo do cafeeiro adensado. Brasília: UnB, 2004. 44p. (Dissertação - Mestrado).

SANTOS, J. R. dos. Irrigar é preciso. Agroanalysis, Rio de Janeiro, v.18, n.3, p.29-34, 1998.

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

SOUZA, C.F.; MATSURA, E.E.; FOLEGATTI, M.V.; COELHO, E.F.; OR, D. Sondas de TDR para a estimativa da umidade e da condutividade elétrica do solo. **Irriga**, v.11, n.1, p.12- 25, 2006.

SCHNEIDER, P.; KLAMT, E.; GIASSEN, E. Morfologia do solo: subsídios para caracterização e interpretação de solos a campo. Guaíba: Agrolivros, 2007. 72p.

SIQUEIRA, G. M. Variabilidade de atributos físicos do solo determinados por métodos diversos. 2006. 163f. Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical e Subtropical) - Instituto Agrônomo, Campinas, 2006.

SOUZA, G. B.; NOGUEIRA, A. R. A; RASSINI, J. B. Determinação de Matéria seca e umidade em solos e plantas com forno micro-ondas doméstico. São Carlos: EMBRAPA – CPPSE. Circular Técnica nº 33, Dezembro, 2002.