



**SISTEMA IRRIGAS PARA MANEJO DE
IRRIGAÇÃO: Fundamentos, aplicações e
desenvolvimentos**



República Federativa do Brasil

Luiz Inácio Lula da Silva

Presidente

**Ministério da Agricultura, Pecuária e
Abastecimento**

Roberto Rodrigues

Ministro

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

Conselho de Administração

Luís Carlos Guedes Pinto

Presidente

Silvio Crestana

Vice-Presidente

Alexandre Kalil Pires

Hélio Tollini

Ernesto Parterniani

Marcelo Barbosa Saintive

Membros

Diretoria-Executiva da Embrapa

Silvio Crestana

Diretor-Presidente

José Geraldo Eugênio de França

Kepler Euclides Filho

Tatiana Deane de Abreu Sá

Diretores-Executivos

Embrapa Hortaliças

José Amauri Buso

Chefe-Geral

Carlos Alberto Lopes

Chefe Adjunto de Pesquisa e Desenvolvimento

Gilmar Paulo Henz

Chefe Ajunto de Comunicação, Negócios e Apoio

Osmar Alves Carrijo

Chefe Adjunto de Administração



ISBN 85-86413-07-0
Dezembro, 2005

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA
Embrapa Hortaliças
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento

Sistema Irrigas para Manejo de Irrigação: Fundamentos, Aplicações e Desenvolvimentos

Adonai Gimenez Calbo
Washington Luiz de Carvalho e Silva

Brasília, DF
Dezembro, 2005

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:

EMBRAPA HORTALIÇAS

BR 060 Rodovia Brasília-Anápolis km 9
C. Postal 218, 70359-970 Brasília-DF
Tel. (61)3385-9009; Fax (61)3556-5744
E-mail: sac.hortalicas@embrapa.br
www.cnph.embrapa.br

COMITÊ DE PUBLICAÇÕES DA EMBRAPA HORTALIÇAS

Presidente: Gilmar P. Henz
Secretária-Executiva: Fabiana S. Spada
Editor Técnico: Flávia A. de Alcântara
Membros: Alice Maria Quezado Duval
Miriam Josefina Baptista
Nuno Rodrigo Madeira
Paulo Eduardo de Melo

Normalização bibliográfica: Rosane Mendes
Parmagnani

1ª edição

1ª impressão (2005): 50 exemplares

Todos os direitos reservados.

A reprodução não-autorizada desta publicação, no todo ou em parte, constitui violação dos direitos autorais (Lei nº 9.610).

CIP. Brasil. Catalogação na Publicação
EMBRAPA HORTALIÇAS

Calbo, Adonai Gimenez

Sistema Irrigas para manejo de irrigação: fundamentos, aplicações e desenvolvimentos / Adonai Gimenez Calbo ; Washington Luiz de Carvalho e Silva. -- Brasília : Embrapa Hortaliças, 2005.
174 p. : il.

ISBN 85-86413-07-0

1. Irrigação - Manejo. I. Silva, Washington Luiz de Carvalho e. II. Título.

CDD 631.587 (21. ed.)

CDD 635.642 (21. ed.)

APRESENTAÇÃO

É com grande satisfação que a Embrapa Hortaliças disponibiliza para a Sociedade Brasileira o livro “Sistema Irrigas para Manejo de Irrigação – Fundamentos, Aplicações e Desenvolvimentos”. A tecnologia do Irrigas é um perfeito exemplo do potencial da pesquisa científica em toda sua extensão, desde a sua idéia inicial e seu desenvolvimento até o seu patenteamento, produção em escala industrial e uso no campo, ou seja um ciclo completo de Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação (PD&I). Antes de ser lançado no mercado, as diferentes versões do Irrigas passaram por avaliações no campo e foram validadas por meio de dias de campo e unidades demonstrativas junto a produtores agrícolas.

Assim como a tecnologia do Irrigas, o presente livro também é inovador na sua forma e no conteúdo. A decisão dos autores e da Embrapa Hortaliças em disponibilizá-lo integralmente por meio eletrônico, via internet, no formato pdf, demonstra que o conhecimento técnico-científico pode e deve ser compartilhado com todos. O formato de perguntas e respostas facilita a compreensão do sistema Irrigas como um todo, complementado por várias ilustrações.

Desta maneira, cumprimento os autores pela iniciativa e dedicação que culmina com a publicação do presente livro, seguramente uma grande contribuição à agricultura e à ciência brasileira.

José Amauri Buso
Chefe Geral
Embrapa Hortaliças

DEDICATÓRIA

Sabedores da importância da água para a humanidade, da escassez que se avizinha e que cerca de 70% da água doce é utilizada na agricultura, dedicamos este livro a todos aqueles que têm se esforçado para desenvolver meios que possibilitem o uso racional e sustentável da água na agricultura.

PREFÁCIO

O livro “**Sistema Irrigas para manejo de irrigação**” é o resultado do trabalho intenso e alongado sobre variadas e proveitosas aplicações de um novo sistema para manejo da irrigação, baseado em um novo sensor de tensão de água, o Irrigas.

Registrado pela Embrapa sob a marca Irrigas, o Sistema Gasoso de Controle de Irrigação, encontra aplicações em variados campos, tão díspares quanto a fisiologia vegetal, a geologia, a engenharia civil e, principalmente, a agricultura. É um sistema inovador que está sendo estudado em diversas instituições de ensino e pesquisa no Brasil em países como a Alemanha e Estados Unidos, e que vem sendo comercializado, através da Internet e de revendas comuns para agricultores da Europa, do Brasil e dos Estados Unidos.

Neste livro as aplicações do Irrigas são esmiuçadas em temas específicos de acordo com as teorias, interpretações e aplicações. O conteúdo é introduzido com simplicidade e aprofundado gradativamente em capítulos descritivos na primeira parte do livro. Uma estrutura moderna de perguntas e respostas é utilizada em vários capítulos para detalhar e para tornar mais fácil o entendimento das aplicações. A segunda parte do livro trata da tensiometria a gás, dos sinalizadores de irrigação, regadores automáticos, ativadores de irrigação e é fechada com uma introdução aos fundamentos da automatização da irrigação com sensores Irrigas, em sistemas acionados ou não por Irrigas. Na terceira parte do livro, são tratadas as aplicações avançadas nas quais há ênfase maior para as aplicações científicas, seja em agricultura de precisão, em laboratório e até para estudos de fisiologia vegetal. Uma pluralidade de fotos e esquemas ilustra as aplicações e é rica fonte para todos que queiram utilizar e ampliar os usos da tecnologia Irrigas. Cada dispositivo ilustrado foi

devidamente testado. Complementando, o livro contém um glossário ilustrado com a definição dos termos utilizados, uma vasta literatura, um índice analítico para facilitar as consultas mais detalhadas e a lista dos fabricantes.

Em geral, maior ênfase é dada primeiro às aplicações agrícolas em culturas anuais, frutas e hortaliças. A seguir tratam-se de assuntos atinentes à rega de plantas ornamentais seja em jardins, em vasos, em casas de vegetação ou mesmo em ambiente doméstico. Os procedimentos selecionados representam algumas das várias possibilidades de uso do sistema Irrigas em agricultura e em pesquisa.

Sistema Irrigas para manejo de irrigação

SUMÁRIO

PRIMEIRA PARTE – FUNDAMENTOS E APLICAÇÕES

1	Aspectos gerais	3
2	Fundamentos	11
3	Origem e tipos	19
4	Perguntas freqüentes sobre o Irrigas	29
5	Tensiômetros a gás e aplicações	37
6	Sinalizadores de irrigação	47

SEGUNDA PARTE - AUTOMATIZAÇÃO

7	Regadores automáticos	57
8	Ativadores de irrigação	67
9	Automatização com ativadores	75
10	Controladores pontuais de irrigação	81
11	Sistemas selecionados de automatização	89

TERCEIRA PARTE – USOS AVANÇADOS

12	Estado da água no solo e na planta	95
13	Caracterização e testes	103
14	Irrigas bifacial	111
15	Aplicações instrumentais	123

QUARTA PARTE – PESQUISA E TRANSFERÊNCIA DE TECNOLOGIA

16	Realidade no manejo de irrigação no Brasil e no exterior	133
17	Produtos Irrigas comercializados	137
18	Glossário	141
	Referências	159
	Índice analítico	165

Parte 1

FUNDAMENTOS E APLICAÇÕES

ASPECTOS GERAIS

Adonai Gimenez Calbo & Washington L.C. Silva

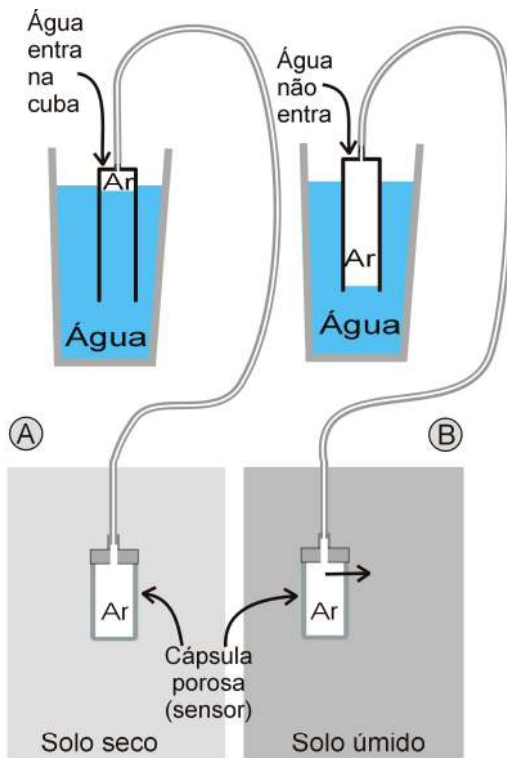


Figura 1.1- Ilustração do funcionamento do Irrigas. A- Em solo seco o sensor Irrigas é permeável ao ar e por isto não oferece resistência à entrada de água quando a cuba é imersa em água. B- Em solo úmido torna-se impermeável ao ar e o sensor Irrigas impede a entrada de água na cuba, durante o teste de imersão.

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. 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. Os produtos Irrigas fazem uso de sensores robustos e duráveis, que tem suas propriedades físicas ajustadas na fabricação. Uma série de aplicações podem ser criadas a partir de modelos interessantes adaptáveis a cada problema de irrigação.

Sensores Irrigas (Fig. 1.1) simples custam cerca de 10 vezes menos do que tensiômetros comuns, são muito mais fáceis de usar, praticamente não envolvem trabalho de manutenção e são tão rápidos quanto os tensiômetros e certamente são mais confiáveis para uso por agricultores pouco instruídos e para as aplicações de automação.

Sistema Irrigas

O Irrigas, na sua forma mais simples (Fig. 1.1), 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 (Fig. 1.1) 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 emborca-se 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.

Relação solo-água-plantas-atmosfera

A figura 1.2 ilustra como a produtividade das plantas é afetada, de forma geral, pela tensão de água no solo. No topo (Fig. 1.2A) vê-se que em uma cultura comum, sensível ao encharcamento (hipoxia) a produtividade aumenta rapidamente enquanto a tensão da água aumenta entre zero e a capacidade de campo. Isto ocorre porque próximo à capacidade de campo os macroporos já contêm suficiente quantidade de ar para prover oxigênio necessário para a respiração e para o crescimento das raízes. Assim, há um nível de tensão de água ótimo e acima deste valor a produtividade diminui lentamente até uma denominada tensão crítica, acima da qual a produtividade diminui rapidamente e é reduzida a zero em tensão de água ainda bem menor do que o denominado ponto de murcha permanente. A razão da produtividade reduzir-se a zero antes do ponto de murcha permanente (Pm) decorre da definição metodológica deste parâmetro. Veja-se que ponto de murcha permanente é aquela tensão de água acima da qual a planta se mantém murcha, mesmo após ser colocada em ambiente que reduz a transpiração a zero, por várias horas (Slavich, 1974), geralmente colocando-se a amostra em uma câmara fechada ao abrigo da luz durante a noite. Na prática agrícola, não se faz uso de métodos que anulem a transpiração para fazer a planta recuperar a turgidez.

Para uma planta tolerante ao encharcamento do solo, ao contrário, observa-se que a produtividade diminui lentamente com o aumento da tensão da água no solo, sem passar por um máximo (Fig. 1.2B). Este declínio lento da produtividade também aumenta rapidamente em tensões de água superiores ao valor crítico (Tc), visto que nestas tensões de água elevadas a planta encontra exponencial aumento na dificuldade de retirar a água do solo em função da elevada tensão de água.

O parâmetro Tc depende da interação planta/solo/atmosfera. Tc diminui quando as condições atmosféricas causam aumento da taxa de evapotranspiração e também diminui com fatores que causem diminuição da condutividade hidráulica entre o solo e a raiz. Por ser um parâmetro muito difícil de definir experimentalmente Tc não tem sido considerado em textos básicos de fisiologia vegetal. Diferentemente, para manejo de irrigação, Tc é parâmetro que aparece com frequência manuais e em artigos científicos. Os valores de Tc para cada conjunto planta/solo/atmosfera têm sido utilizados para se escolher sensores de tensão ou de umidade utilizados no manejo de irrigação de diferentes culturas.

Retenção de água no solo

Na figura 1.3 ilustra-se o declínio da umidade em função do aumento da tensão da água no solo. Os valores exatos numa curva deste tipo dependem da composição

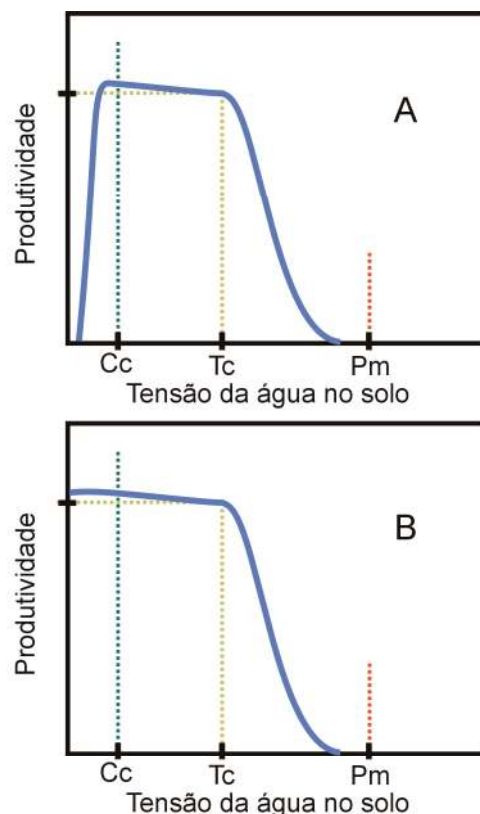


Figura 1.2- Curvas típicas relacionando a tensão de água e a produtividade para plantas sensíveis à hipoxia no topo (A) e para plantas tolerantes à hipoxia (B). Cc é a capacidade de campo, Tc a tensão crítica da planta e Pm o ponto de murcha permanente.

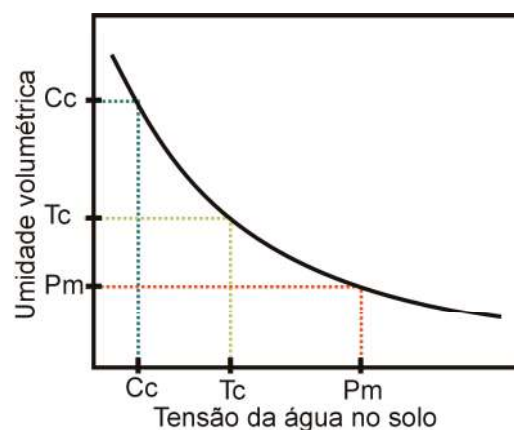


Figura 1.3- Curva de retenção de água de um par planta/solo idealizado, com seus parâmetros Cc (capacidade de campo), Pm (ponto de murcha permanente) e Tc (Tensão crítica da planta) definidos.

granulométrica, do arranjo estrutural, teor de matéria orgânica do solo, além de propriedades físicas da água tais como tensão superficial e capilaridade. Em geral, os solos de partículas maiores (ex. arenosos) retêm quantidades de água menor do que solos com predominância de argila e silte (ex. argiloso).

Dentre os parâmetros ilustrados na figura 1.3, apenas a capacidade de campo não depende da interação planta/solo. Predominantemente, a capacidade de campo depende da textura, da compactação e da disposição das diferentes camadas que compõem o perfil de cada tipo de solo. Em geral, quanto menores as partículas constituintes do solo, maior é a tensão da água na capacidade de campo.

Em vasos para plantas a capacidade de campo de solos e outros substratos em geral depende mais da profundidade do vaso do que de qualquer outro fator. Na prática, para que haja macroporos cheios de ar para prover oxigênio para as raízes em vasos com altura menor que 15 cm, o substrato precisa ser composto de grânulos que deixem macroporos com diâmetros maiores que 0,2 mm. A tensão da água na capacidade de campo usualmente varia de cerca de 2 kPa em solos arenosos e substratos a cerca de 6 kPa em solos argilosos (Richards, 1949).

Na figura 1.4 ilustra-se como a umidade se redistribui no solo após a aplicação da irrigação ou chuva. Os padrões cinéticos desta redistribuição da água é função da lâmina de água v e da estrutura do solo. Nesta figura procura-se evidenciar que a água só se movimenta apreciavelmente enquanto a umidade é maior do que a da capacidade de campo e que este movimento é mais rápido no início enquanto a umidade é mais alta, tensão de água menor, e depois é fortemente diminuída conforme a umidade se torna igual e menor que a capacidade de campo.

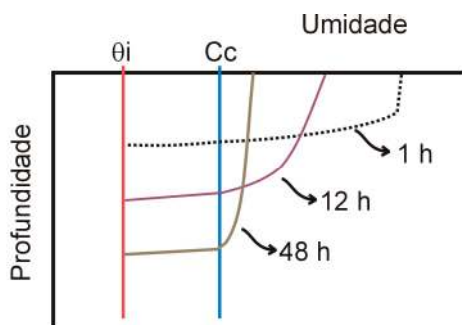


Figura 1.4- Ilustração da redistribuição da água após irrigação ou chuva em função da profundidade. C_c é a capacidade de campo e θ_i é a umidade inicial do solo.

Manejo de Irrigação

Manejo de irrigação representa os procedimentos utilizados para se irrigar as plantas com a quantidade de água correta, antes que o teor de água no solo diminua a ponto de causar dificuldades para as raízes absorverem as quantidades de água que a planta necessita para manter seu desenvolvimento sem restrições. Em outras palavras, para manejar adequadamente a irrigação deve-se utilizar de parâmetros que auxiliem na determinação de “quando” irrigar e de parâmetros para definir “quanto” de água deve ser aplicada na irrigação.

Sabe-se que ao fazer um manejo de irrigação adequado possibilita-se que as plantas se desenvolvam em sua plena capacidade e, adicionalmente, se assegura que não haja a lixiviação de nutrientes, arrastados por aplicações excessivas de água, que percola e alcança profundidades superiores à do sistema radicular.

Para a questão “quando irrigar?” a resposta correta é o momento no qual as raízes das plantas começam a ter dificuldades para absorver a água do solo, de modo que

este tornando-se mais seco, a produtividade da cultura seria prejudicada. Em outras palavras, a irrigação deve ser feita quando a umidade do solo decresce e atinge a tensão crítica da água (T_c) para a planta.

A quantidade correta (“quanto irrigar?”) por sua vez, depende das características de retenção de água do solo, da profundidade efetiva do sistema radicular e da tensão crítica de água (T_c) para as plantas.

Dentre os vários métodos de manejo de irrigação disponíveis, aqueles que se fundamentam na avaliação da umidade volumétrica, ou por unidade de matéria seca do solo, e os métodos tensiométricos, são os de aplicação mais direta, e os mais fáceis. Porém, são métodos que exigem boa amostragem, efetuadas em vários pontos, em profundidade adequada.

Os métodos micrometeorológicos, por outro lado, fazem amostragens que usualmente são aplicáveis em áreas mais amplas, desde que uniformes. Estes métodos no entanto são menos eficientes e não possibilitam um ajuste tão exato da quantidade de água que deve ser aplicada na irrigação quanto os métodos tensiométricos de manejo de irrigação. Adicionalmente, no manejo com métodos micrometeorológicos há necessidade de se utilizar também de métodos para avaliar periodicamente a umidade do solo ou ainda fazer medições de variáveis biológicas como a tensão da água na folha ou da abertura estomática, para que o agricultor tenha segurança e saiba que suas plantas não estão perdendo produtividade por causa de estresse hídrico.

Dentre os métodos de manejo de irrigação mais eficientes para aproveitar ao máximo a água disponível estão os métodos tensiométricos, e entre estes pode-se citar o tensiômetro comum e o Irrigas. A razão disso é que a tensão da água no solo próximo as raízes é uma medida da dificuldade da planta para absorver cada volume unitário de água do solo. Um solo arenoso, com um teor volumétrico de água de 10%, por exemplo, pode conter muita água, facilmente disponível para a planta, enquanto um solo argiloso com esta mesma umidade volumétrica praticamente não teria água facilmente disponível para as plantas.

Para um bom manejo de irrigação com sensores pontuais de tensão de água, como o Irrigas, ou de umidade como o TDR (Time Domain Reflectometry), por exemplo, os sensores precisam ser instalados de modo que possam amostrar adequadamente a tensão da água no solo. Para que a amostragem seja satisfatória, sensores em número suficiente precisam ser apropriadamente instalados para se estimar qual é a umidade no solo visto que “A localização de estações de sensores no campo aparece como um primeiro problema no monitoramento do estado da água no solo, uma vez que o número de sensores disponíveis é normalmente pequeno em relação a área irrigada” (Coelho et al., 1995).

O baixo custo, a facilidade de leitura, e o fato de ser um sensor robusto, que não precisa de manutenção, tornam o Irrigas o sensor de escolha, seja para manejo de irrigação com leitura manual, seja para manejo de irrigação

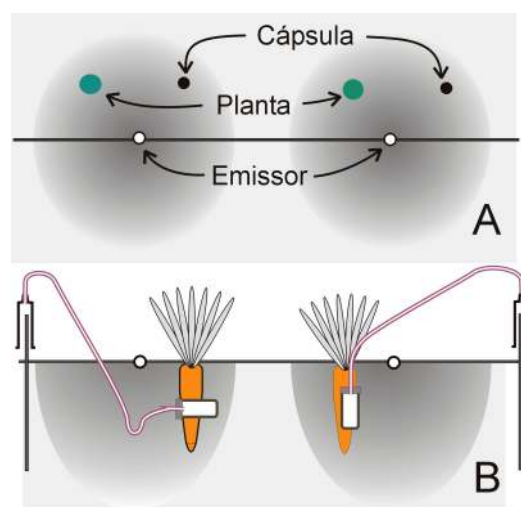


Figura 1.5 - Vista de topo (A) e lateral (B) com duas alternativas de instalação da cápsula porosa em relação à planta e ao emissor. Na apresentação em vista lateral esquematiza-se a planta e a cápsula porosa posicionada na vertical à direita e posicionada na horizontal à esquerda.

automatizado. E a razão disto é que não é difícil adquirir e ler um número adequado de sensores Irrigas, necessários em cada aplicação de manejo de irrigação.

Escolha dos sensores Irrigas

O estado da água no solo pode ser avaliado com o Irrigas de maneira discreta como colocado acima ou de maneira contínua, entre zero e a tensão crítica de água na qual o sensor se torna permeável ao ar.

Para adquirir sensores Irrigas, deve-se fazê-lo de acordo com a faixa de tensão de água adequada para o crescimento irrestrito de um determinado cultivo (Fig. 1.2). As tensões de água que costumam ocorrer quando se controla desta forma variam, tipicamente, entre a tensão crítica de água na qual a irrigação deve ser realizada (T_c) e valores de tensão de água (transitórios) abaixo da capacidade de campo (Fig. 1.2).

O Irrigas é atualmente comercializado com diferentes tensões críticas, por exemplo 10, 25, 40 kPa. Quanto ao uso, por exemplo, o Irrigas de 10 kPa se presta principalmente para o manejo de irrigação de plantas cultivadas em substratos e em solos muito arenosos. O Irrigas de 25 kPa é muito utilizado para o manejo de irrigação da maioria das culturas, hortaliças, frutas e até de grandes culturas, em solos de textura média a argilosa. O Irrigas de 40 kPa, por outro lado é recomendado para cultura mais tolerantes ao déficit de água, especialmente quando cultivadas em solos argilosos, que retêm a água mais fortemente.

Instalação do Irrigas

Para utilizar o Irrigas adequadamente é necessário instalar as cápsulas porosas em posição compatível com a profundidade efetiva das raízes. Para isto é necessário que se conheça a profundidade das raízes da planta. Isso pode ser feito observando tabelas com profundidades estimadas (Marouelli et al, 2001) ou *in situ*, escavando-se até uma profundidade igual ou um pouco maior que a profundidade das raízes das plantas.

Sabendo-se a profundidade do sistema radicular, as covas para a instalação do sensor Irrigas são feitas. Estas curvas podem ser feitas com auxílio de ferramentas como pá, cavadeira ou trado. A distância horizontal entre a planta e o centro da cova deve ser 1/3 a 1/2 da profundidade efetiva das raízes, onde o sensor Irrigas estará sendo instalado. A denominada profundidade efetiva das raízes é a camada de solo contada a partir da superfície, onde se concentram-se cerca de 80 % das raízes da planta. Posicionado o Irrigas, retorna-se solo para a cova pressionando-o, com as mãos para propiciar íntimo contato e uma compactação similar ao solo ao redor.

Na figura 1.5 mostra-se uma curva no tubo flexível do Irrigas, este detalhe que também tem sido utilizado na instalação de outros sensores, como os sensores eletrométricos de Bouyoucos feitos de blocos de gesso.

Este detalhe, usualmente impossível de ser considerado nos tensiômetros comuns de haste rígida, assegura que água da chuva ou a própria água de irrigação não escorra para a cápsula porosa através do tubo. Os sensores Irrigas assim instalados são denominados de “sensores raiz”. A irrigação é feita quando o solo ao redor dos “sensores raiz” “seca” e a tensão da água se torna maior que a tensão crítica do sensor Irrigas utilizado.

A quantidade ou lâmina de água a ser aplicada é aquela necessária para levar a umidade do solo da tensão crítica (T_c) à capacidade de campo.

Para conferir se a lâmina de irrigação aplicada é adequada, insuficiente ou excessiva, deve-se adicionalmente instalar os denominados sensores Irrigas limite ou sensores Irrigas de controle. Estes sensores são instalados na profundidade onde já se torna difícil observar a presença de raízes das plantas. Idealmente a quantidade de irrigação deve ser tal que apenas metade dos “sensores limite” dêem resposta “úmido”, algumas horas após a irrigação. Isto é importante porque a água que escoar para baixo da profundidade das raízes não pode ser absorvida e por isto é considerada como perda, além de causar lixiviação de nutrientes.

Tipicamente, os “sensores raiz” são instalados na metade da profundidade do sistema radicular e os “sensores limite” na profundidade limite do sistema radicular. Para hortaliças, em particular, e culturas anuais como o feijoeiro os “sensores raiz” são instalados, em geral, entre 10 e 25 cm.

Quando se usa os sensores em pares ou baterias, então, convém usar rótulos de cores diferentes. Assim, sensores com rótulo vermelho poderiam ser os “sensores limite”, utilizados para ajustar a lâmina de irrigação, enquanto os sensores com rótulo verde seriam os “sensores raiz”, utilizados para determinar o momento da irrigação.

Após concluir a instalação dos sensores Irrigas é conveniente marcar o local com uma estaca visível, para facilitar a monitoração dos sensores. Em outras palavras, os sensores são instalados como uma estação de controle de irrigação, com vários sensores em uma pequena região representativa e de fácil acesso no cultivo. O tubo flexível de cada Irrigas é, então, preso a uma cuba (Fig. 1.5), mantida de boca para baixo, ou então é ligada a um sinalizador de irrigação que será descrito posteriormente. Para uso com outros dispositivos modernos de leitura, o tubo do sensor Irrigas pode também simplesmente ser tampado com uma capa para que a água da chuva não entre no interior da cápsula porosa do Irrigas.

Adicionalmente, não se deve esquecer que durante o desenvolvimento das plantas as raízes se aprofundam no solo, progressivamente. Em consequência, pode ser necessário reinstalar os sensores em profundidade maior. Desse modo aplicam-se lâminas de irrigação maiores que possibilitam às raízes explorar elementos nutritivos dissolvidos na solução contida em uma camada mais ampla do solo. Esta reinstalação pode ser feita quando a planta atinge 35% a 40% de sua idade fenológica.



Figura 1. 6 - Três pares de sensores Irrigas instalados em duas profundidades, Rótulo verde para os sensores “raiz” na profundidade efetiva e sensores “controle” instalados no dobro desta profundidade. A leitura está sendo efetuada com um leitor MPI-03.

Sensores, sulcos, gotejamento e “mulching”

Na irrigação por sulcos ou gotejamento os sensores Irrigas podem ser instalados na linha ou paralelamente à linha das plantas. A distância horizontal entre o sensor e a linha de emissão de água (gotejadores ou sulco) também deve ser de aproximadamente $\frac{1}{3}$ da profundidade das raízes da planta. Convém que as distâncias horizontais entre o sensor e a planta e entre o sensor e a linha de emissão de água sejam aproximadamente iguais.

Nos solos em que o “mulching” é uma cobertura de plástico, os sensores Irrigas devem, preferencialmente, ser instalados antes da aplicação do filme plástico. Contudo, caso tenham de ser instalados, posteriormente, então vedase bem o corte do plástico para que não entre água de chuva no local das cápsulas porosas. Os tubos dos sensores Irrigas devem atravessar o mesmo orifício usado pelo caule da planta.

Número de sensores

Num campo homogêneo deve-se instalar menos três pares de cápsulas de Irrigas (Fig. 1.6), visto que o solo em locais com baixa densidade de raízes permanece úmido por longo tempo, e o solo em regiões com elevada densidade de raízes seca mais rapidamente. Em geral, o uso de um único sensor tensiométrico, seja este o Irrigas ou um tensiômetro comum, é uma amostra insuficiente, visto que não há como se ter certeza sobre a densidade de raízes e sobre outros fatores que afetam a uniformidade da distribuição da água no solo ao redor de qualquer sensor pontual de irrigação.

Leitura do Irrigas e o momento da irrigação

A leitura dos sensores Irrigas deve ser feita, preferencialmente, toda manhã e, em culturas sensíveis ou em solos arenosos, pelo menos duas vezes ao dia. A irrigação poderá ser aplicada quando metade dos “sensores raiz” apresentarem leitura “seco” ou “aberto”. A irrigação deve ser aplicada ainda que os sensores “sensores limite” apresentem leitura de “úmido”.

É interessante que seja feito um registro das leituras dos sensores no tempo, inclusive com anotação de chuvas, para futuras consultas. Por exemplo, se não tem havido chuvas e ainda assim a maioria dos “sensores limite” estão se mantendo com resposta “úmido”, então, muito provavelmente a lâmina de irrigação que vem sendo aplicada está excessiva e deve ser diminuída.

Para facilidade de leitura, dois ou mais sensores Irrigas (raiz) as vezes são ligados em paralelo a um único tubo para tornar a leitura dos sensores raiz mais rápida.

Cuidados

Após o uso em uma cultura, os sensores Irrigas devem ser muito bem lavados usando apenas água e uma esponja abrasiva macia. Adicionalmente, antes de uma nova instalação os sensores Irrigas precisam ser testados para verificar se não foram danificados por animais, no transporte ou por manuseio rude. O teste de vazamento é a principal forma de verificar se o Irrigas funcionado bem. Para esse

teste deve-se, mergulhar completamente a cápsula porosa do Irrigas em água por cerca de meio minuto e fazer uma leitura de umidade. Se a resposta for “úmido” o sensor presumivelmente está bom para ser reinstalado.

SUMÁRIO

Neste capítulo o uso do sistema Irrigas foi introduzido juntamente com noções básicas de manejo de irrigação das plantas.

CAPÍTULO 2

FUNDAMENTOS

Adonai Gimenez Calbo & Washington L.C. Silva

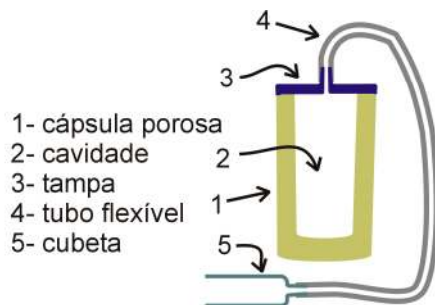


Figura 2.1- Ilustração de um sistema Irrigas simples com seus componentes.

Recentemente, um novo sistema para manejo de irrigação foi desenvolvido, patenteado e licenciado pela Embrapa (Calbo & Silva, 2001). Este sistema, denominado Irrigas, é simples, de baixo custo, confiável e requer pouca ou nenhuma manutenção. O Irrigas consiste de uma cápsula porosa, que é o sensor, conectada a um dispositivo de pressurização de ar e medição, o qual em versões muito simples pode ser uma pequena cuba transparente conforme está ilustrado na figura 2.1. Em solo úmido, os poros da cápsula porosa impregnam-se de água e é necessário pressão para forçar a passagem de ar através dos poros. Conforme o solo seca, a tensão de água aumenta e a pressão necessária para forçar a passagem de ar através dos poros diminui. Quando a tensão da água no solo se torna maior que a pressão de borbulhamento da cápsula porosa (T_d) o ar permeia livremente os poros maiores e a pequena pressão gerada pela imersão da cuba em água já é suficiente para forçar a passagem de ar na cápsula.

Na figura 2.2 ilustra-se a aderência da água às partículas hidrofílicas de um meio poroso em duas dimensões. Considerando que estas partículas estavam inicialmente secas, então, primeiro, a água cobre superfícies hidrofílicas. Segundo, aumentando a disponibilidade, a água enche os pequenos poros entre as partículas sólidas, enquanto volumes gasosos permanecem nos poros maiores. Em estado de equilíbrio, neste caso os meniscos ar/água entre as partículas possuem raio de magnitude r . Adicionando-se ainda mais água ao sistema, o raio de curvatura característico (r) aumenta e em consequência os volumes gasosos entre as partículas são reduzidos. Por outro lado, se parte da água é removida do sistema, o raio de curvatura dos meniscos é reduzido e mais volumes gasosos são formados entre as partículas. Esta interpretação é consistente com a teoria capilar da umidade no solo, na qual a tensão da água no solo é relacionada com a tensão superficial da água pela expressão:

$$T = (2\sigma \cos \alpha) / r \quad (1)$$

Onde σ é a tensão superficial da água e α é o ângulo de contato (Reichardt, 1985). Em vidro e em outros meios altamente hidrofílicos, especialmente se texturizados (Bico et al., 2002), α é próximo de zero e $\cos \alpha$ é um valor próximo de 1,0, o que por consequência reduz a equação 1 a $T = 2\sigma / r$ (Marshall, 1959; Libardi, 1995).

Em uma medição por secagem ou dessorção na cápsula porosa a tensão da água no solo (T), na qual a cápsula porosa do Irrigas começa a ser permeada por gás, pode ser representado pela expressão:

$$T = T_d - p \quad (2)$$

Onde, p é a pressão gasosa aplicada. Similarmente, em um ensaio com umedecimento da cápsula porosa, a tensão da água no solo pode ser calculada com a expressão:

$$T = T_s - p \quad (3)$$

Onde T_s é a tensão crítica de sorção da cápsula porosa.

Os parâmetros mais importantes para o sensor Irrigas são T_d e T_s , ambos dependentes da tensão superficial da água, dos maiores poros e do ângulo de contato, um valor próximo de zero na cerâmica porosa. A tensão superficial da água é um parâmetro pouco afetado pela temperatura na faixa entre zero e 50 °C (Nobel, 1991). Para usos de maior precisão, pequenas correções de T_d e T_s devido a variações de temperatura podem ser efetuadas por proporcionalidade direta com a tensão superficial. Os efeitos da salinidade dos solos sobre a tensão superficial da água são ainda menores que os efeitos da temperatura (Kemper & Amemiya, 1958).

O objetivo deste capítulo é apresentar evidências experimentais e discutir os fundamentos de funcionamento e uso do Irrigas para o manejo de irrigação. Adicionalmente, orientações para obter sistemas tensiométricos Irrigas adequados para cada necessidade de manejo de irrigação são apresentadas.

Sensores Irrigas experimentais / procedimentos

Para comparar a resposta do sensor Irrigas em função de valores ajustados de tensão de água, pequenos sensores Irrigas foram manufaturados com uma ampla faixa de tensões críticas (T_d). Estes sensores Irrigas têm diâmetro de 17 mm, altura de 9 a 10 mm e uma cavidade interna com 8 mm de diâmetro por 6 mm de profundidade. A tampa foi feita com discos de PVC de 5 mm de espessura por 17 mm de diâmetro e com um orifício central de 3 mm de diâmetro, ao qual se fixou um tubo de cobre de 15 mm de comprimento. Um tubo de PVC flexível foi conectado ao sensor Irrigas de um lado e a uma cuba graduada transparente de 1,0 ml do outro (Fig.2.3).

Câmara de Richards / procedimentos

Para testar a hipótese de que o sensor Irrigas se torna permeável ao ar em tensões de água superiores a pressão de borbulhamento (T_d), câmaras de Richards de pressão negativa (Richards, 1941 e 1949) foram preparadas, conforme está ilustrado na figura 2.3. A estabilização de um tensiômetro comum foi utilizada como indicador de equilíbrio de tensão de água.

Antes de utilizar o aparato, uma fina camada de argila foi aplicada à parede da placa porosa para conduzir água para o tensiômetro ou para o sensor Irrigas e para impedir a entrada de ar na placa porosa. Estas propriedades de boa condutividade hidráulica e impermeabilidade ao ar da

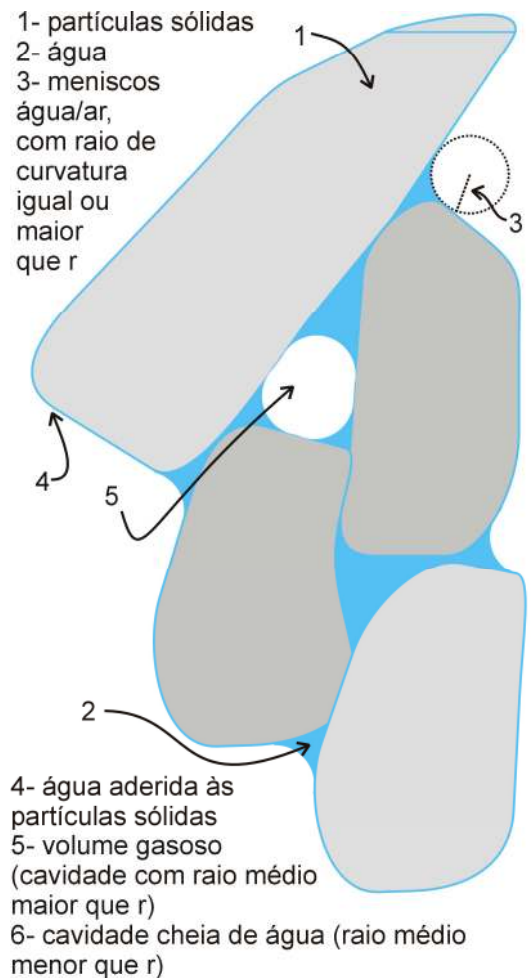


Figura 2.2 - Ilustração sobre a adesão de água à superfície de partículas hidrofílicas de um meio poroso, em situação estática, na qual os meniscos água/ar entre as partículas possuem raio de curvatura r , de modo que as cavidades com espessura superior a $2r$ são volumes gasosos e as menores estão cheias de água. Observação: no plano de corte o raio de curvatura dos meniscos é no máximo igual a r de acordo com a lei de Gauss, que considera os meniscos em três dimensões.

argila umedecida foram reconhecidas por Marshall (1959). O nível de água dentro da câmara foi ajustado à cerca de 3 mm acima da base da placa porosa (Figura 2.3). Um tecido de algodão com cerca de 20 μm de espessura foi aplicado sobre a camada de argila abaixo do sensor Irrigas e abaixo do tensiômetro. Este tecido que manteve limpo os sensores para medições de troca de água do sensor por pesagem não causou atraso nas respostas à variações de tensão de água em ensaios preliminares. A base do tensiômetro foi esmerilhada, para torná-la plana de modo a melhorar o contato. O contato firme do tensiômetro foi obtido utilizando-se de um suporte (Fig. 2.3). Uma lâmina de plástico circular com orifício central foi utilizado para reduzir a evaporação sobre a câmara de Richards.

O equilíbrio de tensão da água foi alcançado rapidamente de acordo com a leitura no tensiômetro, em poucos minutos. Cápsulas porosas Irrigas com Td entre 7 e 60 kPa têm condutividade hidráulica entre 4 a 100 vezes maior que as cápsulas porosas do tensiômetro, de acordo com a aplicação da equação de Poiseuille (Marshall, 1959).

Tensão crítica do sensor e tensão da água no solo / observações

O sensor Irrigas se tornou permeável ao ar em tensão de água no solo próxima aos valores de pressão de borbulhamento (Td), o que é a razão da linearidade observada na figura 2.4. Esta resposta é uma evidência de que o método da imersão da cubeta é correto para o manejo de irrigação, visto que realmente a tensão Td foi também a tensão da água na qual a cápsula porosa se torna permeável ao ar. Estes resultados foram consistentes com aqueles obtidos por Kemper & Amemya (1958), que verificaram que a pressão de borbulhamento correspondia a tensão da água na qual cápsulas porosas de diferentes fabricantes norte americanos se tornavam permeáveis ao ar.

Permeabilidade ao ar do sensor e secamento / procedimentos

Após manter-se as cápsulas porosas do Irrigas em uma lâmina de água de 5 mm por pelo menos duas horas para preencher os poros com água, estas cápsulas foram utilizadas para se obter estimativas de Td pelo método da pressão de borbulhamento ou para determinar a tensão da água no solo em dessorção (secagem) na qual as cápsulas porosas do Irrigas se tornam permeáveis ao ar. Estes ensaios foram realizados a $25 \pm 1^\circ\text{C}$.

Para medições de pressão de borbulhamento as cápsulas porosas imersas foram submetidas a um gradual aumento da pressão, aplicado por uma fonte de ar de fluxo ajustado ($0,5 \text{ ml min}^{-1}$). A pressão de borbulhamento (Td) foi lida em manômetro de Hg, assim que o borbulhamento foi iniciado.

A estimativa da tensão da água no solo na qual as cápsulas porosas de Irrigas com diferentes valores de Td se tornam permeáveis ao ar foi efetuada com câmara de Richards (Figura 2.3). Nestas medições a tensão da água

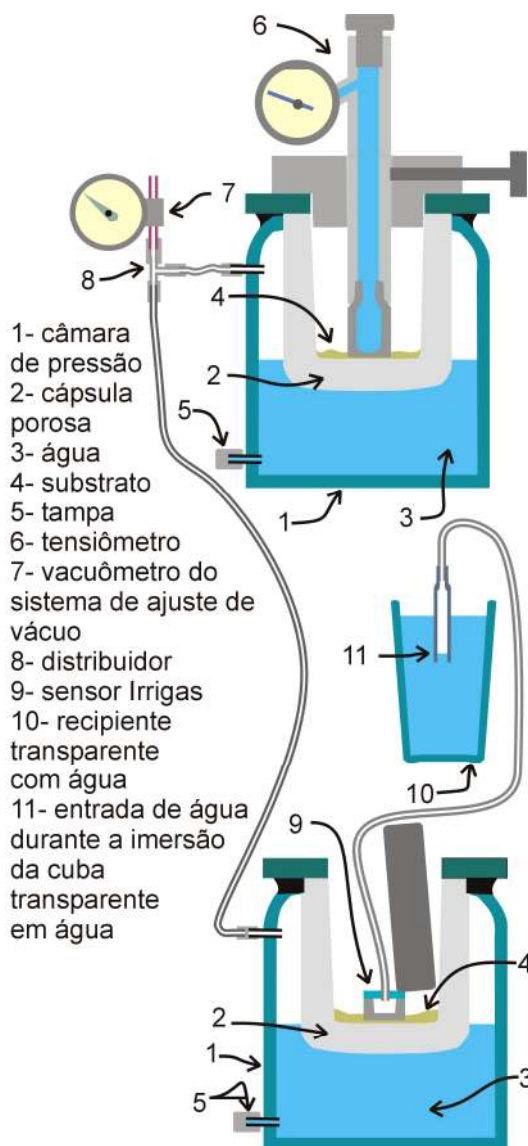


Figura 2.3- Ilustração de duas câmaras de Richards modificadas, de pressão negativa, nas quais a tensão da água de um sensor Irrigas e de um tensiômetro comum são controladas simultaneamente.

foi aumentada em degraus de 1,0 kPa. O teste de imersão da cuba foi usado para verificar a permeação do ar através do sensor Irrigas (Figura 2.3). Para este teste, a cuba transparente (Figura 1.3) foi imersa em água e o movimento de seu menisco foi inspecionado. Quando não havia movimento do menisco, o sensor Irrigas era considerado impermeável ao ar e um novo de aumento de tensão de água era aplicado. Degraus de aumento de tensão de água foram adicionados até o sensor Irrigas se tornar permeável ao ar.

Secamento do sensor / procedimentos

Para medir a perda de água da cápsula porosa em função da tensão da água, após o ajuste da tensão de água a cápsula porosa era removida da câmara de Richards, colocada em um pequeno frasco tampado, para evitar evaporação, e imediatamente pesada com precisão de miligrama.

Secamento do sensor / observações

Para o desenvolvimento de instrumentos que tenham resposta adequadamente rápida, a quantidade de água que precisa ser trocada entre a cápsula porosa e substrato é importante. Quanto maior a troca de água necessária para uma medição maior será o tempo de resposta.

Cada cápsula porosa possui a sua própria curva característica de teor de água versus tensão de água. A perda de água de três destas cápsulas foi aferida entre tensão de água zero e tensão igual a T_d , que é a faixa de trabalho principal dos sensores Irrigas.

Nesta faixa, a perda de água foi proporcional a tensão de água (Figura 2.5) e as cápsulas porosas com poros mais finos (T_d mais elevado) trocaram menos água do que as cápsulas porosas com poros maiores.

A troca de água necessária para resposta à tensão de água em cápsulas porosas com T_d mais elevado é uma propriedade valiosa porque a condutividade da água no solo decresce rapidamente conforme a tensão da água aumenta. Neste sentido outra boa característica da faixa de trabalho dos sensores Irrigas é a manutenção de fluxo de água praticamente saturado na cápsula porosa entre zero e T_d . Isso é uma condição que, evidentemente, favorece o rápido equilíbrio hídrico entre as cápsulas porosas e o solo.

As cápsulas porosas utilizadas nestes ensaios possuíam porosidade entre 20 e 35%. Em cápsulas porosas, a condutividade hidráulica é proporcional ao quadrado do raio efetivo dos poros, conforme a equação de Poiseuille (Moore, 1972), e este raio pode ser estimado a partir de valores de T_d (Eq. 1). Desse modo, calcula-se que uma cápsula porosa de 12 kPa deve ser cerca de 100 vezes mais permeável a água do que uma cápsula porosa de tensiômetro comum de 120 kPa, fato que é conhecido há muito tempo (Marshall, 1959).

Pressão e fluxo de ar através do sensor / procedimentos

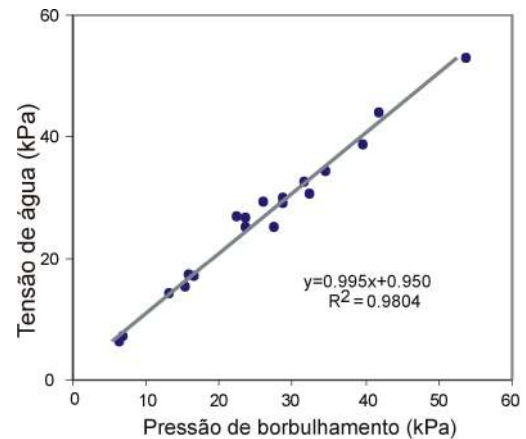


Figura 2.4- Tensão da água no solo na qual sensores Irrigas com diferentes tensões críticas (T_d) se tornam permeáveis ao ar.

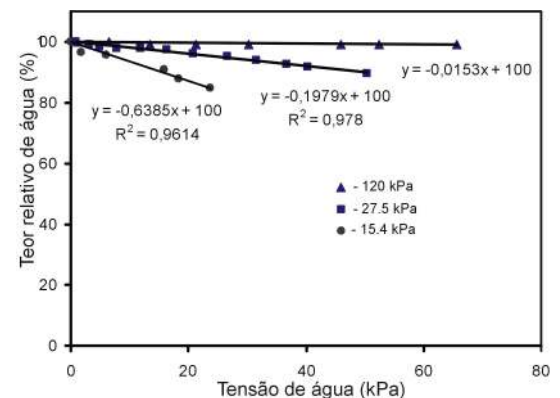


Figura 2.5- Teor relativo de água de cápsulas porosas com diferentes tensões críticas de dessorção em função da tensão de água.

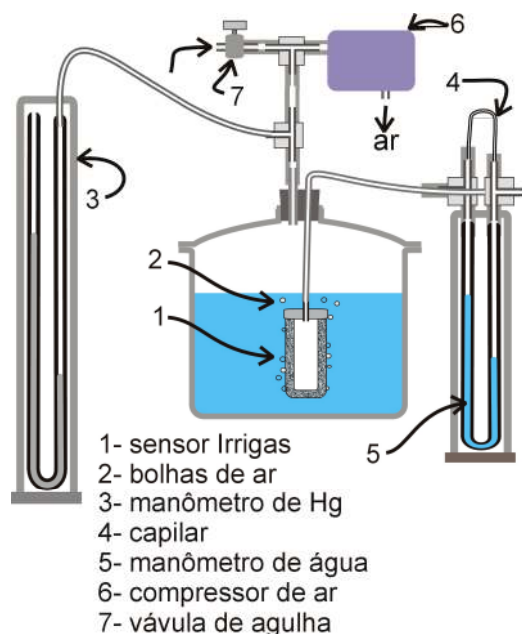


Figura 2.6- Sistema com fluxímetro de capilar para medir a vazão de ar através da cápsula porosa do Irrigas, em função da tensão de gás aplicada.

Na cápsula porosa imersa em água aumentou-se a pressão gradualmente, e após cada aumento esperou-se por 3 min enquanto o fluxo aumentava e se estabilizava, para anotar o fluxo. O fluxo de ar foi medido com fluxímetro de capilar calibrado (Slavick, 1974), enquanto a tensão de ar foi ajustada com uma válvula de agulha, utilizando-se o arranjo experimental ilustrado na (Figura 2.6).

Pressão e fluxo de ar através do sensor / observações

A pressão induzida por um fluxo de ar estacionário em uma cápsula porosa Irrigas imersa em água foi acompanhada no tempo (Figura 2.7A). O ar acumulado na cápsula porosa causou aumento de pressão até atingir T_d , após isto o ar que permeava a cápsula superou o fluxo de ar introduzido até igualar-se novamente ao fluxo de entrada de ar quando a pressão estabilizou-se ao redor de T_s . Os sensores Irrigas submetidos à tensão de água do solo com tensão de água maior que zero, por sua vez, apresentam respostas semelhantes porém as pressões observadas são menores (dados não apresentados).

Por outro lado, quando se aumenta a pressão de ar aplicada à cápsula porosa observa-se que o borbulhamento é iniciado quando a pressão aplicada (p) supera T_d . Em seguida vazão de ar através da cápsula porosa aumenta dramaticamente conforme p é subsequentemente aumentado (Figura 2.7B).

Estas respostas das cápsulas porosas tem sido consideradas úteis em todas as aplicações, inclusive para a automação (Calbo, 2000 e 2004) e vem sendo aplicadas com e sem automatização em equipamentos tais como: a cuba de imersão (Calbo & Silva, 2001), o sinalizador de irrigação (Calbo & Silva, 2003a), o tensiômetro a gás (Calbo & Silva, 2003b), os controladores tensiométricos (Calbo et al., 2004) e com novos produtos comerciais, como o MPI 03, o MRI e o controlador autônomo de irrigação fabricados.

Tensiômetro a gás diferencial / procedimentos

Na figura 2.8 um sistema para estimar a tensão da água do solo com as equações 2 e 3 é ilustrado. A tensão da água foi medida de acordo com a pressão induzida por fluxo contínuo de gás através dos tubos de referência e de medição. Para os sensores Irrigas experimentais um fluxo de 0,5 ml por minuto foi ajustado em ambos os tubos. Um fluxímetro de bolha de sabão (bolhometro) foi utilizado para monitorar este fluxo de gás.

Para medições diretas da tensão da água no solo o tensiômetro foi utilizado no modo diferencial (Fig. 2.8), sensores Irrigas similares foram conectados no lado de referência, imerso em água e no lado de medição. O sensor Irrigas de medição foi colocado em contato com o substrato sob tensão de água ajustada (Figura 2.3) e a medida de tensão de água no solo foi obtida em minutos, após a estabilização.

Tensiômetro a gás diferencial / observações

Medições da tensão de água foram obtidas mediante a leitura diferencial de pressão (equação 3). As leituras obtidas foram sempre boas estimativas da tensão da água no solo, o que é observável através da linearidade e a declividade muito próxima da unidade ilustradas na figura 2.9.

Diferentemente do princípio do Irrigas, em seu trabalho experimental Kemper & Amemya (1958) utilizaram o aumento da permeabilidade ao fluxo de ar através de cápsulas porosas quando submetidas a tensões de água maiores que T_d , para medir tensão da água no solo. Aquele método, contudo, é difícil porque a permeabilidade ao ar aumenta como uma função sigmoidal da tensão da água no solo. O comportamento exato desta curva é uma característica de cada cápsula porosa em particular e, adicionalmente, a sensibilidade à tensão de água diminui rapidamente conforme o valor assintótico de condutividade ao ar é aproximado.

Em um primeiro relato sobre tensiometria a gás, Calbo & Silva (2003b) utilizaram de duas técnicas diferentes para aplicar a equação de sorção (Eq. 3). Na primeira técnica, o sensor Irrigas foi lentamente pressurizado até o ponto em que o ar começou a permear através da cápsula porosa e depois disto a entrada de ar foi fechada e a pressão no sistema diminuiu para um valor mínimo p , o qual foi anotado para se calcular a tensão da água com a equação 3. Em uma segunda técnica, um fluxo de gás estacionário foi aplicado e a pressão p de estabilização foi anotada para cálculo com a equação 3. Naquele trabalho, obteve-se uma resposta linear relacionando a tensão de água com pressão de ar estabilizada.

Na figura 2.9 a leitura contínua e direta (em módulo) da tensão de água foi possibilitada por operação do Irrigas no modo diferencial. Dessa maneira o sensor Irrigas indicou a tensão da água similarmente a um tensiômetro comum (Fig. 2.5). O modo diferencial de uso do tensiômetro a gás, contudo, não é essencial para se obter medições diretas e contínuas da tensão da água, visto que a pressão de ar no lado da referência pode ser ajustada com outros mecanismos de ajuste de pressão de gás, como uma pressão de referência (offset).

A resposta diferencial do sensor Irrigas à tensão de água é eudimétrica, em uma faixa que vai de zero and T_d , no modo dessorção, e entre zero e T_s , em sistemas que operam no modo sorção ou umidificação. Cápsulas porosas com T_d de até 300 kPa tem sido utilizadas com sucesso neste tipo de medição (resultados não apresentados).

Mesmo quando utilizado para estudar tensões de água superiores a 100 kPa, a resposta é estável e o uso do sistema é simples. Diferentemente do Irrigas, o tensiômetro de Ridley & Burland (1993), também estudado por Tarantino & Mangiovi (2001), requer uma fase de pré-hidratação de 24 horas em câmara de alta pressão (4000 kPa) para dissolver as bolhas de ar na cápsula porosa. O tensiômetro de Ridley & Burland (1993) usualmente trabalha adequadamente por algumas horas antes da cavitação ocorrer. Apesar disto, o tensiômetro de Ridley & Burland (1993) é uma importante e

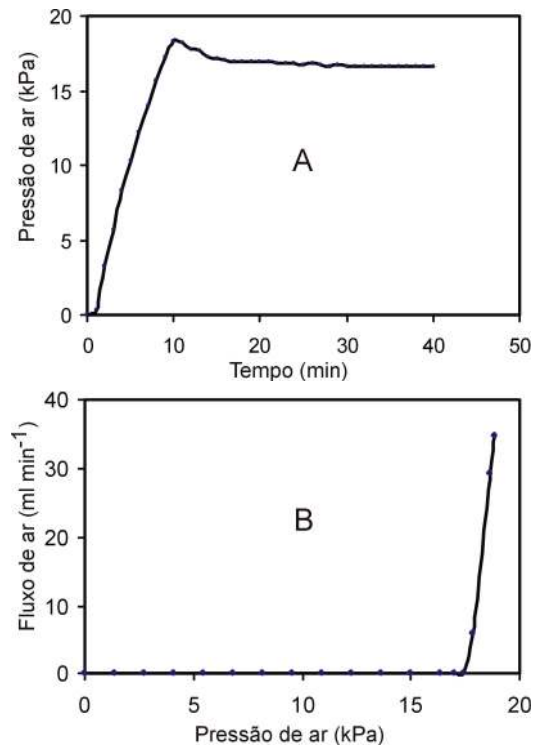


Figura 2.7- A) Pressão induzida por um fluxo de ar estacionário de $1,8 \text{ ml min}^{-1}$ em uma cápsula porosa Hidrosense imersa em água. B) Relação típica entre a pressão de ar aplicada e o fluxo de ar que atravessa a mesma cápsula porosa imersa em água.

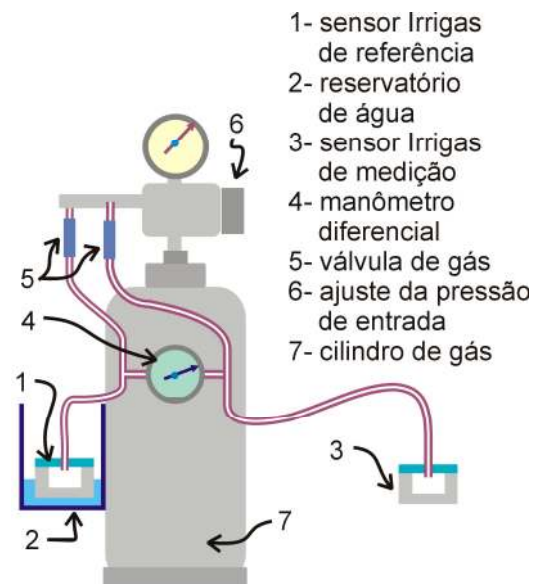


Figura 2.8- Tensiômetro a gás diferencial para a medição direta de tensão de água do solo com sensores Irrigas.

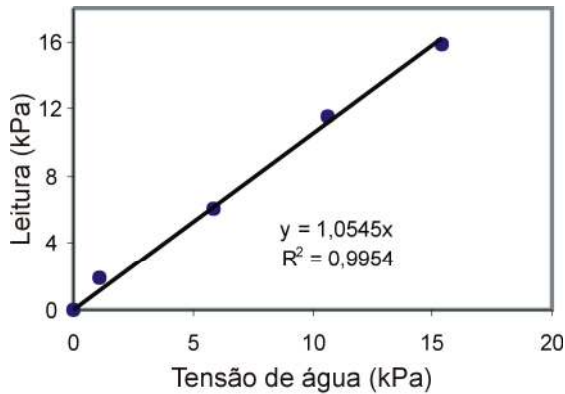


Figura 2.9- Típicas leituras de tensão da água no solo com um sistema Irrigas tensiométrico. A tensão da água no solo foi ajustada com câmara de Richards de pressão negativa.

nova ferramenta que vem sendo utilizada por engenheiros mecânicos e geofísicos, porém não é apropriado para manejo de irrigação.

Calbo & Silva (2003b) enfatizaram dois fatores relevantes para o uso do Irrigas em tensiômetros a gás portáteis: primeiro, é melhor usar pequenos sensores Irrigas, para se obter equilíbrio hídrico mais rapidamente. Segundo, o ar é compressível e, conseqüentemente, um volume morto pequeno no sistema é fundamental, especialmente se pressões de ar elevadas são necessárias na medição. Pequeno volume morto é obtido empregando-se tubos de pequeno diâmetro e sensores Irrigas com a cavidade preenchida com material sólido inerte. Adicionalmente, no presente trabalho, se demonstrou que menores trocas de água são necessárias fazendo-se uso de cápsulas porosas Irrigas de maior T_d , o que também pode ser relevante quando se deseja fazer com que o sensor entre em equilíbrio de tensão hídrica rapidamente.

SUMÁRIO

Irrigas é um sistema para medir tensão de água constituído de uma cápsula porosa (sensor) ligada por um tubo a um dispositivo de aplicar/medir pressão de gás. A tensão de água (T) é obtida com as expressões: $T = T_d - p$ e $T = T_s - p$, onde T_d é a tensão crítica de dessorção da água (início de borbulhamento), T_s é a tensão crítica de sorção (fim de borbulhamento) e p é a pressão gasosa. Diferentemente dos tensiômetros comuns, a cavidade da cápsula porosa do Irrigas é cheia de ar, não requer adição de água e tampouco correção de pressão hidrostática. O sistema foi testado, tanto no modo dessorção quanto sorção. No primeiro, determinou-se a tensão da água na qual a cápsula torna-se permeável ao ar. Os valores da tensão da água, ajustados com câmara de Richards, na qual o sensor Irrigas se tornou permeável ao ar foi praticamente a magnitude da pressão de borbulhamento (T_d). Resultado que confirma a validade do teste de imersão usado para o manejo de irrigação, conforme descrito nos capítulos anteriores. Segundo, no modo sorção, acionado por um fluxo contínuo de ar, os sensores Irrigas geraram leituras de tensão de água de maneira direta entre zero e T_s . Em seus usos as trocas de água dos sensores Irrigas são modestas e adequadas a cada aplicação graças ao fato de que sensores Irrigas de maior T_d trocarem quantidades muito menores de água com o meio na faixa de medição (0 a T_d). Para fins de manejo de irrigação, sistemas Irrigas comerciais de controlar tensão de água são selecionados de acordo com a tensão crítica de água para a cultura.

ORIGEM E TIPOS

Adonai Gimenez Calbo & Washington L.C. Silva



Figura 3.1- Irrigas de 25 kPa com cuba para o teste de imersão.

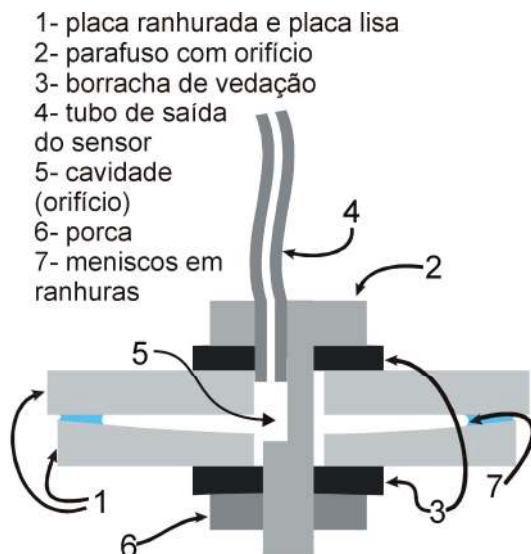


Figura 3.2- Sensor de tensão de água de placa ranhurada. A tensão crítica é função do diâmetro das ranhuras.

Neste capítulo são apresentados a origem e uma série de modelos de sensores Irrigas, alguns dos quais nem mesmo são fabricados de elementos porosos, como as cerâmicas e certas resinas plásticas. A inspeção visual destes sensores exóticos e a leitura de seu funcionamento, certamente são esclarecedoras e deverão ser úteis para aqueles que procuram novas soluções tecnológicas entre estes sensores.

1# Como surgiu o Irrigas?

Surgiu de um trabalho de desenvolvimento de uma sonda de pressão para ser usada para medir a pressão no interior de órgãos vegetais, com a introdução de um tubo capilar pontiagudo e cheio de óleo nas células. Em 1999, pouco tempo após o desenvolvimento da sonda de pressão termoelástica, havia interesse em usá-la para medir pressões negativas no xilema e nos tecidos das paredes celulares de raízes de cenoura. Neste sistema, a cavitação (redução da pressão até a formação de bolhas) no interior do tubo de vidro da sonda durante as medições da tensão com que as plantas succionam a água do solo (tensão do xilema) foi uma limitação em períodos prolongados de medição. No decorrer desse trabalho, que foi associado ao uso de cerâmicas, a utilidade do fenômeno de cavitação nesses materiais para aplicação ao manejo de irrigação começou a ser percebida e delineada. A seguir, logo que o Irrigas básico estava pronto, na fase final, pesquisadores da área de Irrigação consideraram a novidade prática e interessante para justificar o lançamento comercial deste tipo de produto (Fig. 3.1).

2# O Irrigas precisa ser feito de cerâmica?

Não necessariamente. Os melhores sensores Irrigas, entretanto, em termos de rapidez de resposta e molhabilidade, até o presente, foram fabricados de cerâmica porosa. No entanto, o Irrigas pode ser fabricado de outras maneiras e com outros materiais, como resinas plásticas porosas e com juntas de vidro com poros de diâmetro adequado aplicados na forma de ranhuras (Fig. 3.2) e de juntas nas quais os poros de diâmetros apropriados são obtidos com um tecido poroso comprimido entre duas placas. Nestas construções, tipicamente a pressurização é feita através de um tubo de entrada de ar centralizado. A determinação de Tc destes sensores pode ser feita com medidas de pressão de borbulhamento, com pressão de ar crescente a partir de zero para medir Td

(início de borbulhamento) e com pressões decrescentes a partir de pressões superiores a T_d quando se deseja medir T_s (fim de borbulhamento).

3# Qual o menor sensor Irrigas possível? Quais são as suas limitações?

O menor sensor Irrigas possível é um capilar de ponta cônica com a tensão crítica que se deseje. Em tese este poderá se tornar um instrumento poderoso de análise rápida da tensão de água, possivelmente de tensões inferiores a 1000 kPa. Para que a resposta seja rápida este sensor precisará ser operado com pressurização contínua no modo tensiômetro a gás. Operado no modo comum do Irrigas a resposta poderia ser extremamente lenta pois o capilar enche-se de água quando o solo está úmido e depois perderia água muito lentamente durante a secagem.

Dentre as limitações deste sistema pode-se citar:

- fragilidade, que pode ser superada com um bom desenho e com apropriado processo de fabricação;
- necessidade de calibração individualizada;
- enchimento lento do capilar com água em solo/planta úmidos, dificuldade que pode ser superada com o uso de tensiometria a gás;
- o contato com a amostra pode ocorrer principalmente por via gasosa;
- requer fluxos de ar extremamente diminutos para que possa ser adequadamente utilizado em tensiometria gasosa, ao menos em tensiometria gasosa de fluxo constante;
- caso utilizado com tensiometria gasosa com fluxos de ar elevados (seco) através do capilar, causa erro na estimativa da tensão de água, ao menos em tensiometria gasosa de fluxo constante;
- o volume morto do sistema de compressão de gás precisa ser extremamente diminuto.

Como se pode perceber, o preparo de sondas de pressão utilizando este tipo especial de sensor Irrigas é fascinante para pesquisa e para o desenvolvimento de novas metodologias. No entanto, possivelmente, as aplicações destes novos sensores deverá ser mais para aplicações científicas, nas quais exatidão, localização exata e alta velocidade de resposta são os fatores distintivos do sensor a ser utilizado.

Espera-se que em futuro breve estes novos sensores Irrigas ultra miniatura venham a se tornar importantes em laboratórios de solos e de biologia vegetal.

4# Como perceber qual sensor Irrigas possui maior T_d ?

Por enquanto as cápsulas porosas de um mesmo fabricante podem ser ordenadas de forma crescente em termos de T_d , olhando-se e manuseando-se as cápsulas porosas. As cápsulas de menor T_d são mais grosseiras, isto é, possuem poros maiores. Espera-se, no entanto, que

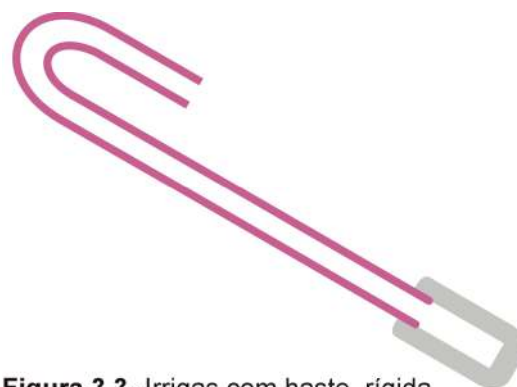


Figura 3.3- Irrigas com haste rígida, transparente e curvada. A base da haste rígida é colada sobre a cápsula porosa.

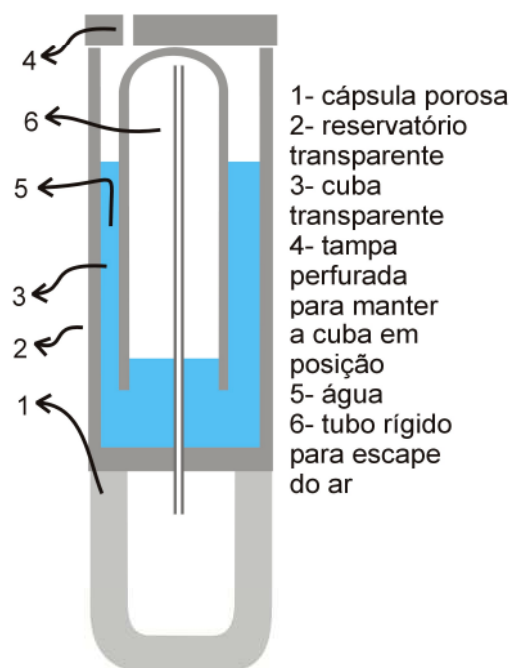


Figura 3.4- Sinalizador de Irrigação de pressurização manual fixado sobre a cápsula porosa do Irrigas. A pressurização é feita removendo-se a tampa e colocando de volta a cuba cheia de ar que é mantida no lugar fechando-se a tampa.

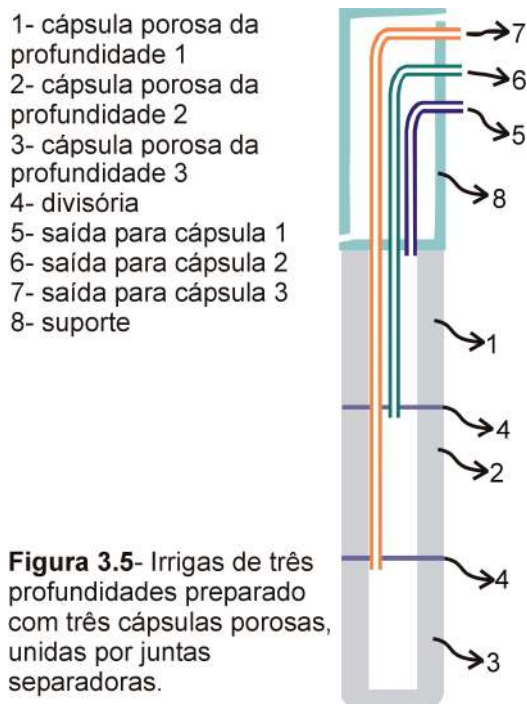


Figura 3.5- Irrigas de três profundidades preparado com três câpsulas porosas, unidas por juntas separadoras.

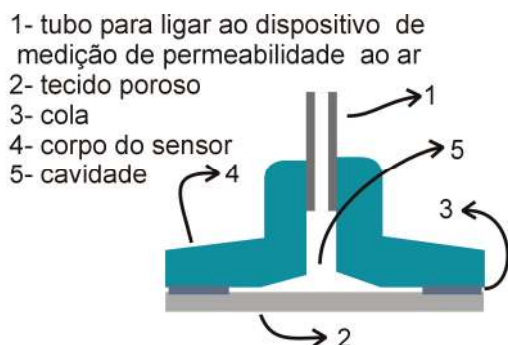


Figura 3.6- Sensor para manejo de irrigação preparado com tecido poroso hidrofílico com tensão crítica apropriada.

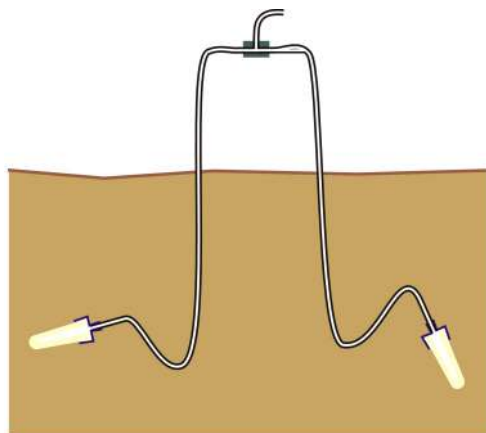


Figura 3.7- Dois sensores Irrigas ligados em uma bifurcação para leitura única.

câpsulas Irrigas de diferentes Td também sejam produzidas em cores diferentes, para evitar a necessidade de testes para aferir o valor correto de Td no campo.

5# Há formas alternativas de construção do Irrigas?

O desenho do Irrigas é função da criatividade e da aplicação. Assim, além do Irrigas com tubo flexível pode-se construir o Irrigas de outras formas. Veja-se, por exemplo, o Irrigas com haste rígida (Fig. 3.3) e transparente com a terminação superior em curva. Para verificar se o solo está “seco”, neste modelo, um copo com água é introduzido no tubo, por baixo. Se a água do copo entrar no tubo é porque o solo está “seco”, e o sensor Irrigas permeável ao ar. Na figura 3.4 ilustra-se um Irrigas colado ao corpo de um sinalizador de irrigação (detalhes no capítulo 6). Neste modelo, a pressurização é feita removendo-se a cuba (3) e fixando-a novamente com auxílio da tampa perfurada (4). Enquanto o solo está úmido o sensor Irrigas permanece impermeável e a água não entra na cuba (3). Quando o solo seca, então, a água entra na cuba fazendo o nível interno da água igualar-se ao nível externo. Logo que houver esta despressurização a irrigação deve ser aplicada. Outra construção interessante é o Irrigas de três profundidades (Fig. 3.5), no qual cada câpsula porosa tem saída distinta para fazer o teste de pressurização.

6# O sensor Irrigas pode ser fabricado com qualquer tensão crítica?

Sim. Estão disponíveis no mercado sensores Irrigas com câpsulas de diferentes tensões críticas (ex. 10, 25 e 45 kPa). Adicionalmente, as câpsulas de tensiômetros comuns com tensão crítica entre 80 e 120 kPa podem ser adaptadas para uso no modo Irrigas.

No caso de usar-se câpsula de tensiômetro comum é conveniente ligar-se pelo mês três sensores (Irrigas) em paralelo. Isto não só melhora a amostragem da tensão de água no solo como também melhora a condutividade ao ar quando o solo torna-se mais seco que esta tensão crítica.

Tem havido dificuldades técnicas para fabricar-se câpsulas porosas robustas com tensão crítica de dessorção (Td) inferior a 10 kPa. Irrigas de 7 kPa para testes experimentais tem sido fabricados, no entanto, estas câpsulas requerem manuseio mais cuidadoso. Espera-se que a indústria desenvolva sensores Irrigas de 5 kPa para cultivos em substratos que sejam suficientemente firmes para serem comercializadas.

Uma solução interessante para resolver esta limitação é o uso de sensores Irrigas de placas justapostas. Se uma das placas justapostas for de cerâmica, a resposta torna-se rápida mesmo quando usada no método simples de imersão da cuba. Se forem duas placas justapostas de vidro ranhurado, este sistema funciona bem com sinalizador e com tensiometria. A razão disto é que a pressurização constante diminui muito a troca de água necessária para a resposta.

7# O meio poroso para a fabricação do Irrigas pode ser simplesmente um tecido? Que propriedades este tecido precisaria ter?

Sim. Tecidos porosos podem ser utilizados para fabricar sensores Irrigas de baixa tensão crítica. Na figura 3.6 está um modelo de sensor Irrigas preparado com tecido poroso. Além da tensão crítica confiável, o tecido requer boa molhabilidade e durabilidade no solo. Adicionalmente, a construção do sensor com tecido precisa ser tal que assegure a manutenção de um bom contato hidráulico com o solo.

8# Qual a importância do tamanho e da forma da cápsula porosa do Irrigas?

A região do solo amostrada pelo sensor Irrigas depende da forma e do volume da cápsula porosa. Quanto maior o sensor, maior a possibilidade de que esta se avizinha de um número maior de raízes por volume de solo próximo à média que se procura amostrar. Se este arrazoado é válido, então, indica que sob este ponto de vista técnico é valioso utilizar sensores maiores. Uma outra alternativa é utilizar dois ou mais sensores ligados em paralelo (Fig. 3.7).

Sob o ponto de vista de resposta, a velocidade é tanto mais alta quanto menor for a cápsula porosa do Irrigas. Como uma propriedade do tipo difusão aparente, a velocidade de resposta aumenta com o inverso do quadrado da espessura da cápsula. Usualmente, com o sensor Irrigas instalado permanentemente no solo esta rapidez é pouco importante. No entanto, rapidez é indispensável em tensiômetros a gás portáteis.

A fabricação de cápsulas porosas maiores está associada à necessidade de melhores embalagens, da ocupação de maiores volumes e ao pagamento de fretes maiores, além de gastar mais material. Assim, comercialmente o Irrigas de cápsulas volumosas seria um produto mais caro.

Tendo-se em vista estas tendências tem-se dado prioridade à construção de sensores alongados e com cerca de 3 cm de diâmetro e suficiente resistência mecânica, porque estes são mais fáceis de instalar no solo perfurado com o auxílio de um trado.

Para controle de irrigação de vasos, cápsulas alongadas (>5 cm) com 0,7 a 2 cm de diâmetro são adequadas.

9# O que é Irrigas mini? Quais os tipos disponíveis?

Trata-se simplesmente de sensores Irrigas de dimensões diminutas. Por enquanto, os principais usos tem sido para regadores automáticos (regavaso), um tipo de Irrigas com tensão crítica da ordem de 15 kPa ou menor (Figura 3.8) e Irrigas mini para tubetes com tensão crítica da ordem de 10 kPa.

Para maior precisão, três ou mais destes sensores mini podem ser ligados em paralelo e utilizados para fazer



Figura 3.8- Sensor Irrigas com cápsula porosa mini da Hidrosense utilizado para manejo de irrigação de mudas em tubetes.

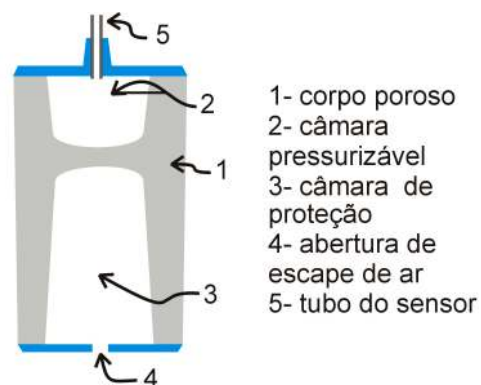


Figura 3.9- Tipo de sensor Irrigas bifacial contendo uma câmara protegida do contato com as partículas do substrato.

efetiva amostragem da umidade de canteiros de mudas, por exemplo, seja ou não com a finalidade da automatização.

10# Qual a importância do diâmetro do sensor Irrigas?

Irrigas com cápsulas de diâmetro menor responde às variações de umidade de maneira mais rápida e são mais fáceis de inserir no substratos de vasos. Para aplicações de tensiometria a gás, nas quais resposta rápida é importante, sensores Irrigas de pequeno diâmetro são preferíveis.

Sensores Irrigas alongados e de pequeno diâmetro são muito interessantes para uso prático, no entanto há que se tomar cuidado para que estes sensores não sejam muito frágeis.

11# O que é sensor Irrigas de alto desempenho? Quais suas aplicações?

Também denominados sensores bifaciais, são sensores Irrigas com uma parte interna na qual só penetra água filtrada e ar (Fig. 3.9). Assim, graças a adição de uma câmara ou cavidade de segurança este tipo de sensor Irrigas pode operar sem sofrer alteração da tensão crítica, mesmo em condições desfavoráveis, como por exemplo o uso em solos orgânicos, e até mesmo quando utilizado em regadores de pressão negativa que sabidamente sujam os sensores Irrigas.

As construções dos sensores Irrigas de alto desempenho podem ser variadas, dependendo da aplicação que se tenha em vista.

12# O que é sensor Irrigas multi escala?

É um tipo de Irrigas de alto desempenho com duas ou mais tensões críticas (Td). Um modelo simples de Irrigas com dois valores de Td está ilustrado na figura 3.10. Com este tipo de sensor se atribui duas ou mais escalas de leitura a um tensiômetro a gás. O Irrigas de tensão crítica menor é colocado internamente.

13# Existe Irrigas para medir tensão de água em plantas?

Ainda não. O problema é que as plantas desenvolvem tensões de água muito elevadas. Cerâmicas com tensões críticas muito elevadas possuem baixa condutividade hidráulica e sob tensão de água maior que Td possui também baixa condutividade ao ar. Estas dificuldades, no entanto estão sendo trabalhadas e espera-se que em breve hajam sensores Irrigas para medir tensão de água em plantas.

14# Um sensor Irrigas pode ser formado pela união de várias cápsulas porosas?

Isto está se tornando bem usual. Irrigas com duas ou mais cápsulas porosas unidas a um único tubo de leitura propicia melhor amostragem da umidade do solo e economiza tempo de medição. Evidentemente, medir cada

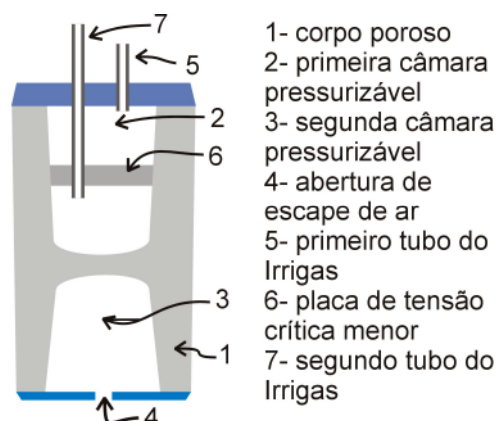


Figura 3.10- Tipo de sensor Irrigas bifacial com duas tensões críticas.

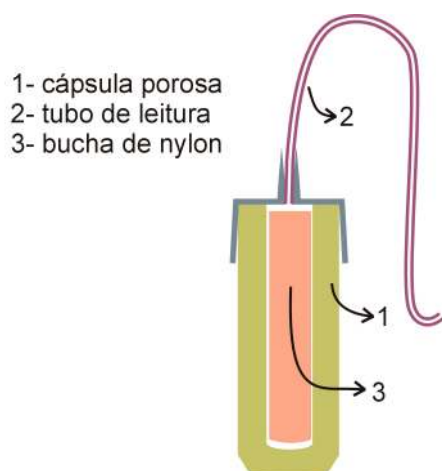


Figura 3.11- Sensor Irrigas com bucha de nylon para reduzir o volume gasoso interno, ou volume morto.

sensor individualmente é melhor, porém tende a ser muito trabalhoso (Fig. 3.7).

15# Para que serve sensor Irrigas com enchimento na cavidade da cápsula?

Em sistemas nos quais velocidade de resposta é importante, o uso de sensores Irrigas com sua cavidade tomada por um enchimento feito de material inerte, como por exemplo um cilindro de nylon (Fig. 3.11), é usado para reduzir o volume morto. A importância deste tipo de enchimento é obter uma velocidade de resposta maior em aplicações de tensiometria a gás, nas quais o fluxo de gás aplicado precisa ser reduzido. Sensores especiais deste tipo em geral são ligados ao sistema de medição por tubos de pequeno diâmetro.

16# Quais as formas de fixação do tubo à cápsula porosa, na fabricação?

As formas mais comuns de fixar o tubo à cápsula porosa são os encaixes mais comuns por dentro e por fora da tampa fixada à cápsula porosa do Irrigas (Fig. 3.12), usualmente sem o uso de colagem. Em Irrigas miniatura, por outro lado, o tubo pode ser colado diretamente à cápsula porosa com cola de PVC, epoxi ou outro adesivo resistente à água.

Quando o tubo é encaixado por fora, é comum, então, que ocorra que ocorra relaxamento do tubo plástico no tempo, o que pode tornar a vedação precária. Para solucionar este problema, serve tanto a colagem quanto o encaixe externo de um anel ou anilha de vedação que aperta o tubo contra o bico da tampa.

17# Haveria interesse específico em fabricar sensores Irrigas de modelos diferenciados para cápsulas porosas de tensão crítica muito reduzida e muito elevada?

Sim. Sensores Irrigas de tensão crítica inferior a 10 kPa tendem a ser muito quebradiços. Como nestes sensores a condutividade ao ar tende a ser elevada em tensões de água acima do valor crítico, então o uso de sensores arredondados e praticamente sem cavidade como ilustrado na figura 3.13A é uma forma efetiva de assegurar robustez suficiente.

Durante a queima ou sinterização de cápsulas porosas de sensores Irrigas de tensão de água muito superiores a 40 kPa é comum a ocorrência de trincas. Adicionalmente, a condutividade ao ar acima da tensão crítica nestes sensores é reduzida o que torna a resposta mais lenta quando se utiliza o teste de imersão. Estes dois problemas podem ser resolvidos fabricando sensores Irrigas com elemento poroso planar, de pequena espessura como ilustrado no sensor Irrigas da figura 3.13 B.

18# O que é o Irrigas “flow through”?

O Irrigas “flow through” (Figura 3.14) é um tipo de Irrigas de alto desempenho com cápsula porosa externa de tensão crítica maior do que o elemento poroso sensível

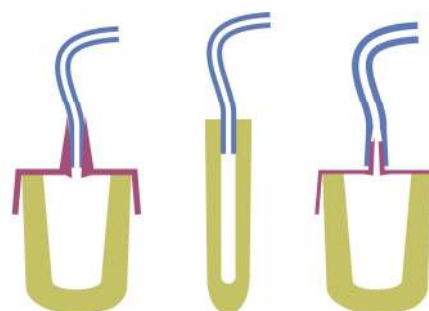


Figura 3.12- Formas típicas de prender o tubo flexível à tampa no sensor Irrigas.

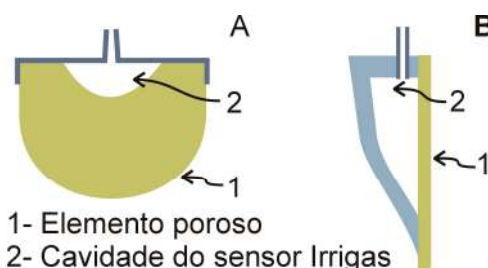


Figura 3.13- A- Irrigas com elemento poroso espesso de baixa tensão crítica com diminuta cavidade. B- Irrigas com elemento poroso plano de diminuta espessura e tensão crítica elevada.

interno. O elemento poroso interno desta forma nunca se impregna com partículas de solo que podem causar aumento do Td com o passar do tempo.

O “flow through” pode ser utilizado da maneira convencional ou em sistemas no qual se utiliza não a pressão positiva de ar na entrada, porém a pressão positiva de ar na saída para fazer automatização da rega, seja em vasos seja em outros sistemas.

19# É melhor pressurizar o Irrigas com pressão positiva ou negativa? Porque?

Sempre que possível o Irrigas deve ser utilizado com pressurização positiva. A razão disto é que sob vácuo parcial (pressão negativa), ocorre filtração de solução do solo para o interior do Irrigas. Durante esta filtração pequenas partículas são arrastadas para a superfície do sensor Irrigas, onde são aprisionadas nos poros causam um aumento da tensão crítica. Utilizando-se de pressão positiva, esta filtração de água praticamente não ocorre e, em consequência, a superfície da cápsula porosa do Irrigas se mantém limpa e com o valor de tensão crítica inalterado.

20# Como poderia ser segmentado o mercado de produtos Irrigas?

Ainda é um pouco difícil elaborar adequadamente a segmentação do mercado de produtos a base dos sensores Irrigas porque alguns dos mais importantes produtos à base deste sensor ainda estão em desenvolvimento. Dentro desta limitação, uma segmentação preliminar na qual os produtos comerciais atuais estão marcados com asterisco é:

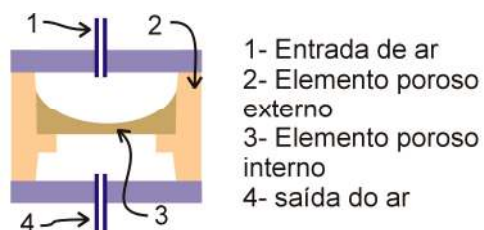


Figura 3.14- Irrigas "flow through", com elemento poroso interno de tensão crítica menor ao centro. O fluxo de ar através do sensor é utilizado para as medições de tensão de água.

a*\ Irrigas com cuba de imersão - A cuba de imersão é um dispositivo de leitura do Irrigas de baixíssimo custo. Assim pequenos produtores podem usar o Irrigas. Adicionalmente, é um dos dispositivos mais convenientes para todos aqueles que querem tomar experiência com o uso do Irrigas.

b\ Irrigas com sinalizador - Sinalizadores de irrigação simples ou mais sofisticados são produtos para usuários experientes e que valorizam muito o uso eficiente do tempo.

c*\ Irrigas com MPI-03 – MPI-03 é um dispositivo de leitura comercial de sensores Irrigas de custo relativamente baixo para agricultores economicamente estabelecidos.

d*\ Tensímetro para leitura de sensores instalados no campo –são dispositivos de maior valor agregado para aqueles que querem leitura contínua da tensão da água no solo em cada ponto do campo no qual os sensores Irrigas estão instalados. Ainda não existe produto deste tipo sendo comercializado (dez/2005).

e\ Tensímetro Irrigas de leitura instantânea – Tensíômetros com mini sensores Irrigas para a leitura “quase instantânea” da tensão de água de vasos, de sacos de substratos e de pequenas plantas cultivadas em solo fofo. Produto de valor maior valor agregado ainda não disponível comercialmente (jan/2005).

f*) Tensiostatos Irrigas para controle automático – Sistemas de leitura de sensores Irrigas especialmente designados para a automação da Irrigação. Instrumentos para agricultores bem estabelecidos e com melhor poder aquisitivo. MRI, MDI e Controlador Autônomo são tipos comerciais destes tensiostatos.

g*) Regador automático – Trata-se de um reservatório de água acoplado de alguma forma ao sensor Irrigas para regar vasos de plantas. Produto para uso doméstico e para aplicações específicas em casa-de-vegetação. Regadores automáticos podem ser fabricados com variável agregação de valor.

h) Irrigas sem fio – Irrigas com pressurizador interno e com identificador de radio frequência ativo com pilha com duração de 3 a 10 anos. Equipamento monobloco de valor agregado, para permanecer imerso no solo durante vários anos. A leitura é efetuada por equipamentos para agricultura de precisão. Produto em desenvolvimento que deverá ser utilizado por grandes agricultores.

i) Irrigas para tensiometria a gás em plantas – Produto em desenvolvimento para medição rápida das elevadas tensões de água que ocorrem em tecidos vegetais (0 a 2000 kPa). Produto com dispositivo de leitura de alto valor agregado para ser utilizado em aplicações florestais em árvores frutíferas e para pesquisa.

21# Haveria outras formas de segmentar o mercado de produtos Irrigas?

Sim. Como há vários tipos de sensores Irrigas, então uma segmentação de mercado tentativa poderia ser fundamentada nos próprios sensores Irrigas. Assim, uma segunda segmentação preliminar na qual os sensores Irrigas comercialmente disponíveis estão marcados com asterisco é:

a*) Sensor Irrigas mini para tubetes – Irrigas de baixa tensão crítica usualmente menos que 15 kPa, utilizado por produtores de mudas em tubetes, para produtores de plantas ornamentais. Sensores de baixo custo.

b*) Sensor Irrigas de tensões críticas variadas (ex. 10, 25 e 40 kPa) para aplicações de manejo de irrigação de várias culturas. Sensores de baixo custo para agricultores.

c) Sensor Irrigas com cápsula porosa mini de tensões críticas específicas para medição contínua da tensão de água em tensiômetros a gás. Produto com mais valor agregado.

d) Irrigas com cápsula porosa bifacial miniatura - sensor que não suja - de baixa tensão crítica (< 25 kPa) para aplicações em cultivos em substratos e em regadores automáticos. Produto de baixo custo para uso doméstico e em casa-de-vegetação.

e) Sensor Irrigas bifacial de tensão crítica elevada, Td entre 100 a 3000 kPa e desenhos especiais, ainda em desenvolvimento, para medições direta e contínua da tensão da água de plantas. Produto de maior valor agregado para

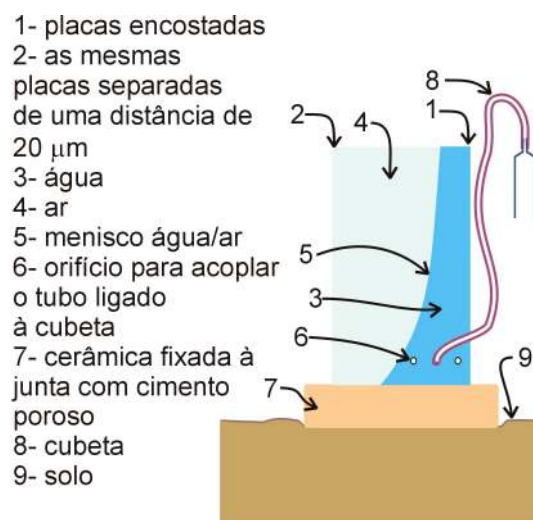


Figura 3.15- Visualizador de tensão de água no solo e ilustração física do papel da tensão superficial e do raio do menisco água/ar/substrato no funcionamento de sensores Irrigas.

uso em aplicações manejo de irrigação em florestas e para aplicações científicas.

22# É possível construir sensor Irrigas no qual os meniscos água/ar são visíveis?

Sim, e podem ser utilizados em demonstrações em feiras de ciência e também para testar hipóteses científicas a respeito de como funciona o sensor Irrigas e as suas aplicações de tensiometria a gás.

Na figura 3.15 ilustra-se um sistema Irrigas deste tipo, construído com duas placas de vidro fixadas em pequeno ângulo, uma contra a outra, com auxílio de uma resina de alta resistência, curada com auxílio de luz ultravioleta. Para determinar o ângulo e o gradiente de espaçamento entre as placas, no lado direito da figura as duas placas estão perfeitamente encostadas uma na outra e do lado esquerdo as placas estão separadas por uma distância de aproximadamente $50\text{ }\mu\text{m}$. Esta distância é obtida pela simples interposição de uma tira de papel AP 75 gramas. A placa de vidro frontal possui alguns orifícios produzidos com broca de vidro de 6 mm nos quais se pode encaixar o tubo e a cubeta de leitura de um Irrigas comum.

As duas placas de vidro por sua vez são fixadas com cimento poroso, cimento portland comum usado em construção civil, no centro de um disco de cerâmica porosa, que pode ser cortado de uma vela de filtro de água.

Este sistema Irrigas para ilustração de princípio de funcionamento pode ser utilizado sobre o substrato de vasos onde são cultivadas plantas.

O aumento da tensão de água neste sistema causa movimentação do menisco, curva hiperbólica, na direção da base no lado em que as placas estão encostadas uma na outra. Ao contrário, a diminuição da tensão da água faz com que o menisco curvo se afaste da base unida e se movimente para o lado oposto em direção ao topo, no lado em que as placas estão separadas pela distância de $50\text{ }\mu\text{m}$.

23# Quais os problemas de uso dos sensores Irrigas de placas transparentes?

O equilíbrio hídrico é lento, principalmente, quando utilizado para medir tensões mais elevadas. Outra dificuldade é que este somente se presta para estimar tensão de água em camadas superficiais de solo.

24# O aparelho da figura 3.15 é um novo tipo de tensiômetro de placa inclinada?

Sím. Neste tensiômetro de placa inclinada observa-se visualmente a água e a posição do menisco mesmo em camadas com espessura da ordem de $1\text{ }\mu\text{m}$. A potencialidade prática destes novos tensiômetros de placa inclinada ainda requer investigação. Imagina-se que estes novos tipos de equipamentos poderão, com auxílio de microscopia, ser utilizados até para medir as elevadas tensões de água que ocorrem nos tecidos das plantas.



Figura 3.16- Vaso com um visualizador de umidade de placa ranhurada sem o tubo de Irrigas.

25# Existem outros sistemas de visualização com que poderiam ser utilizados como sucedâneos do sensor Irrigas para o manejo de Irrigação?

Sim. Tem-se testado visualizadores de Umidade de placa ranhurada (Fig. 3.16), nos quais se observa quando o solo está ou não “úmido”. Estes sensores, apesar de funcionarem por muitos anos, ainda requerem desenvolvimento e avaliação experimental. Evidentemente, ao invés de simplesmente ver o fronte úmido nestas placas ranhuradas, estas podem ser utilizadas com tubo de entrada de ar, como no tipo de sensor Irrigas ilustrado nas figuras 3.2 e 3.15.

SUMÁRIO

Sensores Irrigas podem ser fabricados de diferentes modelos e dimensões, com materiais altamente molháveis, como o são as cerâmicas porosas e as placas de vidro com superfície perfeitamente limpa.

Modelos especiais de sensores Irrigas envolvem questões como:

a- desenho (Fig. 3.12);

b- a maneira como os sensores são ligados, por exemplo, é contrastante a diferença entre os sensores Irrigas de três profundidades (Fig. 3.5) e os sensores Irrigas unidos para amostras melhor uma dado volume de solo (Fig. 3.7);

c- o uso de enchimento interno, o que pode ser utilizado para melhorar o tempo de resposta do sensor para aplicações de tensiômetros a gás portáteis (Fig. 3.11);

d- a constituição interna pode ser variada, por exemplo, nos sensores Irrigas bifaciais a constituição interna é tal que assegura que não haja na impregnação do elemento poroso sensível com partículas de solo, que possam alterar a tensão crítica do sensor (Fig. 3.9, 3.10 e 3.14). A construção interna diferenciada pode também ser usada para o preparo de sensores Irrigas com duas ou mais tensões críticas (escalas) (Fig. 3.10);

e- a visibilidade dos fenômenos físicos envolvidos, o que é útil para demonstrações. Deste tipo são os sensores Irrigas de placas de vidro lisa (Fig. 3.15) e os de placa ranhurada (Fig. 3.16);

f- a miniaturização, como no sensor Irrigas miniatura para tubetes (Fig. 3.8) e no sensor Irrigas ultra miniatura, ou Irrigas monoporo, cujo sistema físico de medição ainda está sendo desenvolvido, e cujas aplicações em tensiometria a gás de leituras ultra rápidas serão inúmeras.

CAPÍTULO 4

PERGUNTAS FREQUENTES SOBRE O IRRIGAS

Adonai Gimenez Calbo & Washington L.C. Silva

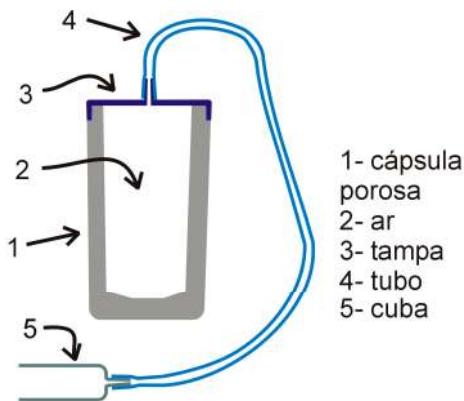


Figura 4.1- Esquema dos componentes de um sensor Irrigas de tubo flexível com uma cuba de imersão como dispositivo para avaliar a permeabilidade ao ar da cápsula porosa.

Neste capítulo são tratadas várias questões, principalmente sobre o uso do sistema Irrigas e outros sensores, para o manejo de irrigação no campo. A leitura destas perguntas e respostas, em geral de natureza simples, esclarece dúvidas frequentes, mesmo de profissionais com boa experiência no uso do sensor Irrigas e com noções corretas sobre manejo de irrigação

1# Resumidamente, como funciona o sensor Irrigas?

Para o uso do Irrigas em aplicações mais simples são consideradas apenas dois casos: "fechado" e "aberto". "Fechado" é quando o ar não passa através dos poros da cápsula porosa (Fig. 4.1) impregnados com água. Isto significa que o solo está úmido e não há necessidade de irrigar. "Aberto" é quando o solo está mais seco que o valor crítico, então os poros já estão parcialmente desobstruídos e o ar flui através da cápsula. Quando isto ocorre é o momento da irrigação.

2# Quantas vezes por dia é necessário fazer a leitura ou o teste de imersão ou de pressurização com o Irrigas?

Usualmente este teste é feito diariamente, pela manhã. No entanto, para culturas sensíveis ao déficit hídrico em solos arenosos ou substratos de vasos pode ser necessário uma leitura adicional, preferencialmente no início da tarde.

3# O Irrigas é um tensiômetro comum?

Não, o Irrigas não é um tensiômetro comum. Comparando-se as figuras 4.1 e 4.2, verifica-se que o Irrigas é um sensor de tensão de água que funciona com ar, ou gás na cavidade de sua cápsula porosa. Por esta simples razão, o Irrigas é um sensor tecnologicamente superior ao tensiômetro comum, no que tange a sua simplicidade, robustez, faixa de tensões e aplicabilidade.

4# O que é então um tensiômetro comum?

Tensiômetros são sensores da força ou tensão com que a água fica retida no solo. O tensiômetro comum opera com água na cavidade da cápsula porosa (Fig. 4.3) e tem resposta contínua. A maior dificuldade prática no uso do tensiômetro comum é o acúmulo de ar na cavidade, que precisa ser completada frequentemente com água destilada (manutenção). Esta dificuldade é maior quando a tensão



Figura 4.2- Leitura de sensores Irrigas com auxílio de um reservatório de água transparente.

utilizada se aproxima do limite prático de funcionamento destes instrumentos (80 kPa).

Observação: Há modernos tensiômetros com cavidade cheia de água, instáveis, é verdade, que medem tensões de água até superiores a 1000 kPa por algum tempo, algumas horas, antes que ocorra cavitação. Estes instrumentos de uso sofisticado, no entanto, não são práticos para o manejo de irrigação.

5# Qual a tensão da água no solo em que o sensor Irrigas torna-se permeável ao ar ?

Atualmente estão disponíveis no mercado sensores Irrigas de 10, 25 e 40 kPa. Os primeiros são recomendados para substratos de vasos e para solos muito arenosos; os de 25 kPa podem ser usados para uma ampla gama de solos e culturas; os de 40 kPa são para culturas mais tolerantes e solos argilosos. A tensão em que o Irrigas fica permeável ao ar depende do diâmetro dos poros da cerâmica empregada na fabricação. Assim, o Irrigas pode ser fabricado com sensores de qualquer tensão crítica especificada. Quando se usa Irrigas de 10 kPa, por exemplo, a cápsula torna-se permeável ao ar ("abre") quando a tensão da água no solo fica maior que 10 kPa. Da mesma forma, o Irrigas de 25kPa se abre em tensão de água superior a 25kPa e o de 40 kPa quando a tensão da água no solo supera 40 kPa.

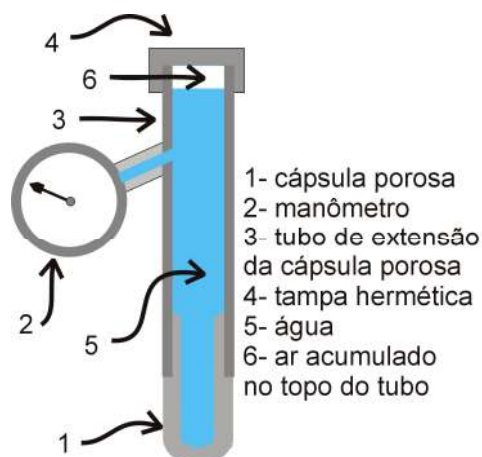


Figura 4.3- Diagrama de um tensiômetro comum com suas partes componentes.

6# Como ter certeza de que estamos instalando um sensor Irrigas que está em bom estado para utilização ?

É uma boa prática testar o Irrigas antes do uso. Para isto imerge-se o sensor Irrigas em água, completamente, por cerca de 30 segundos. Depois de bem umedecida, a cápsula porosa é removida da água. A seguir, imerge-se a cuba transparente em água. Se este molhamento deixou o sensor Irrigas impermeável ao ar, a água não entra na cuba (Fig. 1.1), então infere-se que o Irrigas está funcionando corretamente e pode ser instalado no campo.

Advertência: a cápsula do Irrigas não deve ficar mais que 60 segundos imersa em água porque isto causa enchimento da cavidade da cápsula com água. Caso isto ocorra, então deixa-se escorrer a água livre da cápsula porosa antes de fazer o teste.

7# As cápsulas porosas do Irrigas podem ser instaladas secas, no solo?

Sim. Poucas horas após a instalação a cápsula entra em equilíbrio com a umidade do solo. No entanto, é mais seguro fazer-se a instalação das cápsulas molhadas, após aplicar-se o teste de vazamento descrito.

8# O que acontece quando a água entra devagar na cuba?

Indica que o solo está só um pouco mais seco que o valor crítico, mas já é o momento da irrigação. Caso o solo

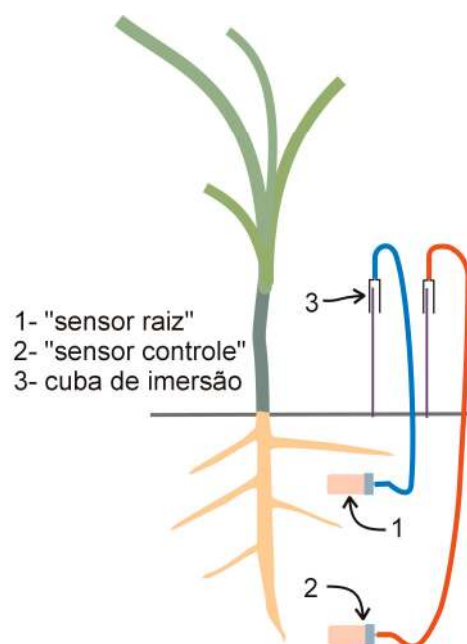


Figura 4.4- Esquema de sensores Irrigas instalados em duas profundidades.

seque mais ainda, a cápsula porosa vai tornar-se ainda mais permeável ao ar e a água vai entrar mais rápido na cuba.

9# A cápsula porosa e o tubo plástico devem ficar cheios de água?

Nunca. A cavidade da cápsula porosa e o tubo do Irrigas devem ficar sempre cheias de ar e livres de água (Fig. 4.1).

10# Em que profundidade a cápsula porosa do Irrigas deve ser instalada ?

A cápsula do Irrigas deve ser instalada na profundidade na qual ficam a maioria das raízes (profundidade efetiva). Para hortaliças e culturas anuais como o feijoeiro esta profundidade é usualmente entre 10 e 30 centímetros, sendo mais rasa para plantas mais novas. Sensores instalados desta forma, são frequentemente denominados de “sensores raiz”.

Para se evitar a irrigação excessiva, ou deficiente, é comum se instalar também os denominados “sensores de controle”, a uma profundidade um pouco maior, próxima à profundidade limite em que a maioria das raízes penetram (Fig. 4.4)

A irrigação é realizada sempre que se detectar solo “seco” com o uso dos “sensores raiz”. Os “sensores de controle” são utilizados para ajustar a lâmina de água aplicada. Na prática, deve-se aumentar a lâmina aplicada em cerca de 20% caso os sensores de controle ainda permaneçam secos (permeáveis). Ao contrário, deve-se diminuir cerca de 15% a lâmina aplicada se os sensores de controle ainda estiverem com resposta indicativa de solo “úmido”.

Estes valores de lâmina de água são ajustados de maneira interativa. Se a primeira estimativa de lâmina de água para um solo de textura média é de 14 mm, por exemplo, e ao se aplicar esta lâmina nota-se que os “sensores controle” se mantiverem secos, então a lâmina deve ser aumentada em 20% e sobe para 17,5 mm. Se isto for insuficiente, a lâmina será aumentada mais uma vez e irá para 21,9 mm (22 mm). Este processo se repete até que os “sensores controle” dêem resposta “úmido”. Se na próxima irrigação os sensores controle ainda estiverem úmidos, diminui-se a lâmina aplicada em 15%, o que reduziria a lâmina para 19 mm.

Assim, com este procedimento simples e prático se ajusta a lâmina de água para que não haja déficit nem desperdício de água, independentemente do sistema solo/planta e do exato posicionamento dos sensores.

11# A água pode ficar em um frasco para as próximas leituras?

Sim. De preferência em um frasco de boca larga e com tampa, para que não haja evaporação nem o desenvolvimento de mosquitos e algas. Adiciona-se hipoclorito de sódio (água sanitária) ou outro agente

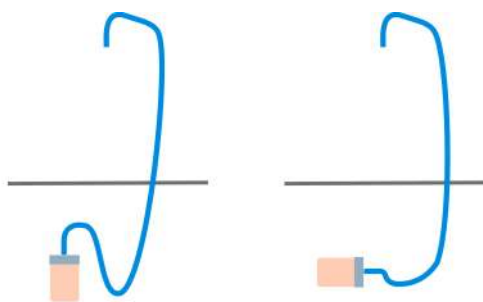


Figura 4.5- Detalhes dos tubos em sensores Irrigas instalados na vertical e na horizontal. A curvatura ilustrada nos tubos é para evitar que o escoamento na interface solo/tubo conduza água de chuva diretamente até a cápsula porosa.

sanitizante, que impeça o desenvolvimento desses organismos.

12# Pode-se instalar um único tensiômetro comum ou um único sensor Irrigas em um canteiro?

Não, porque o sistema solo/água/planta em geral é desuniforme e um ponto de amostragem apenas pode induzir a erros graves.

13# É vantajoso instalar varias cápsulas Irrigas em uma mesma área de solo?

Sim, na verdade isto é indispensável, pois a distribuição das raízes das plantas no solo é não uniforme. Sabe-se também que o solo seca mais rapidamente próximo às raízes e que seca muito mais lentamente nos locais de baixa densidade radicular. Assim, um sensor longe das raízes mantém a resposta “úmido” por longo tempo. Caso a irrigação seja baseada neste sensor, as plantas poderão sofrer estresse e perda de produtividade. Ao contrário, um sensor instalado em local com densidade excessiva de raízes seca muito rápido. Neste casos, a irrigação baseada neste sensor tenderia a ser excessiva.

Assim, recomenda-se o uso de pelo menos três sensores por canteiro ou área uniforme, preferivelmente arranjados na forma de uma estação de controle, que tenha uma estaca que facilite a localização dos sensores em uma área representativa. As estações de controle tipicamente tem de 4 a 12 sensores, sejam estes sensores Irrigas, tensiômetros comuns ou outros tipos de sensores como blocos de gesso ou TDR.

Adicionalmente, como se descreveu anteriormente, pode ser interessante adicionar também “sensores de controle”. Isto é, sensores Irrigas instalados em profundidade usualmente duas vezes, para se ajustar a lâmina de água aplicada de modo a prover crescimento irrestrito das raízes e evitar a lixiviação.

14# É melhor instalar as cápsulas porosas na vertical ou na horizontal?

A cápsula pode ser instalada das duas formas. Na posição horizontal a cápsula faz uma amostragem de uma camada menor do solo. Esta é a posição preferível quando se quer controlar a umidade em camadas próximas à superfície do solo, como no caso de canteiros de mudas, por exemplo. Na instalação horizontal, a lateral da cápsula porosa deve, preferencialmente, estar voltada para a planta na denominada disposição tangencial (Fig. 4.5).

Observação: Para vasos, tubetes e canteiros de mudas há sensores Irrigas mini, usualmente de tensão crítica baixa (ex. 10 kPa) para manter úmido o substrato.

15# O sensor Irrigas serve para qualquer tipo de solo?

Sim. O sensor Irrigas pode ser fabricado com qualquer tensão crítica necessária. São particularmente úteis os sensores Irrigas de 10 kPa, 25 kPa e de 40 kPa. O sensor Irrigas de 10 kPa é utilizado principalmente para

solos arenosos, para substratos e para plantas sensíveis à desidratação. O sensor Irrigas de 25 kPa é utilizado na maioria das aplicações, enquanto o Irrigas de 40 kPa é mais utilizado para solos argilosos e culturas nas quais se pode esperar um pouco mais para irrigar, sem com isto reduzir a produtividade das mesmas.

16# O sensor Irrigas não "abre" há mais de uma semana. O que fazer?

É comum que o sensor Irrigas fique vários dias "fechado" na época das chuvas, enquanto o solo permanece úmido. Isto também ocorre nos sensores instalados em áreas de baixa densidade de raízes ou quando instalado em profundidades maiores e nos seguintes casos adicionais: a) a cápsula porosa do Irrigas foi instalada perto de um vazamento do sistema de irrigação; b) a cápsula porosa do Irrigas sob uma área em que o cultivo foi sombreado; c) há um afloramento do lençol freático.

17# Quantas cápsulas porosas devo instalar por hectare?

Para cada talhão ou canteiro uniforme, com plantas no mesmo estágio de desenvolvimento, deve-se instalar pelo menos três sensores Irrigas. Preferivelmente deve-se instalar de 4 a 12 sensores em uma região representativa, em duas profundidades e com uma estaca que facilite a visualização do local no qual os sensores estão instalados. A este grupo de sensores em uma pequena região representativa do campo denomina-se estação de controle de irrigação.

18# O técnico indicou que deve-se fazer fertirrigação todos os dias, porém caso o sensor Irrigas se mantiver fechado vários dias o que se pode fazer?

Para hortaliças, a fertirrigação pode ser aplicada apenas uma vez por semana. Assim, basta controlar, proporcionalmente, a concentração dos fertilizantes, que serão assim aplicados quando a irrigação for necessária.

19# Que lâmina de água deve-se aplicar quando o Irrigas "abrir"?

Depende do tipo de solo. Na falta da curva de retenção de água no solo, utilize as seguintes relações:
Solo argiloso: 0,60 mm de lâmina de água por centímetro de profundidade do solo;
Solo médio: 0,45 mm de lâmina de água por centímetro de profundidade do solo;
Solo arenoso: 0,25 mm de lâmina de água por centímetro de profundidade do solo.

20# Como fazer as contas?

Para solo médio, por exemplo, se desejamos irrigar até a profundidade de 30 cm:

Lamina a aplicar = 30 cm X 0,45 mm / cm = 13,5 mm

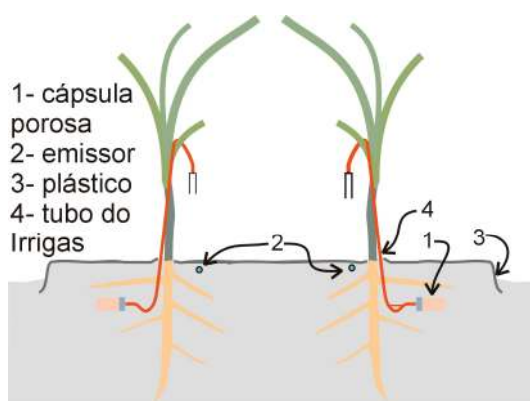


Figura 4.6- Ilustração de uma possível localização de sensores irrigas em sistema de irrigação por gotejamento sob plástico.

Observação: quando se dispõem da curva de retenção a lâmina deve ser calculada para elevar a umidade do solo do valor crítico da cápsula porosa até a capacidade de campo.

21# Como proceder para instalar o sensor Irrigas em solo recoberto com plástico?

Antes da aplicação do plástico, instalar um número suficiente de cápsulas porosas nas posições e profundidades adequadas para o cultura. Caso o plástico já esteja esticado no canteiro, então deve-se levantar uma lateral, para instalar o sensor Irrigas. O tubo plástico deve atravessar o orifício por onde passa o caule da planta. Não é recomendável furar o plástico para colocar o Irrigas, porém caso se faça isto, então é importante remendá-lo com fita adesiva, para que a água da chuva não penetre neste local e interfira no funcionamento do Irrigas.

22# A cuba do Irrigas pode ficar constantemente submersa no frasco com água?

Não. Caso a cuba permaneça imersa no frasco pode ocorrer a entrada da água no tubo plástico. Pior ainda, pode ocorrer que a água do frasco seja succionada para o interior da cápsula porosa do Irrigas. Tanto o tubo plástico quanto a cápsula porosa do Irrigas devem ficar sempre cheios de ar e livres de água, como se vê no esquema da figura 4.1.

Observação: Caso esta pergunta esteja sendo feita com vistas a diminuir o trabalho na leitura dos sensores Irrigas, então por favor leia o capítulo 6, sobre sinalizadores de irrigação, que foram desenvolvidos com esta finalidade específica.

23# Por que é importante que a cuba do Irrigas permaneça com a boca voltada para baixo?

Para evitar a entrada de água durante as chuvas ou durante a irrigação. É comum deixar a cuba do Irrigas inserida em uma estaca. Há também a opção de colocar uma tampa para evitar a entrada de água no tubo do Irrigas (Fig. 4.6).

Outra solução prática que tem sido utilizada é encaixar a cuba no tubo somente no momento da leitura. Este é o caso também quando se utilizam os instrumentos de leitura eletrônicos dos sensores Irrigas. Desse modo a ponta do tubo dobrada não possibilita a entrada de água durante as chuvas.

24# Pode-se utilizar uma única cuba para ler todos os sensores Irrigas distribuídos no campo?

Certamente. Assim não se deixa no campo cubas por onde pode entrar água no interior do sensor Irrigas. É só conectar a cuba ao tubo de cada sensor no campo e fazer a leitura.

25# Como se instala o Irrigas no caso de irrigação por gotejamento?

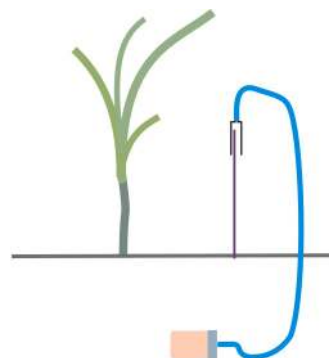


Figura 4.7- Ilustração de um sensor Irrigas com a cuba encaixada em uma haste para evitar a entrada de água.

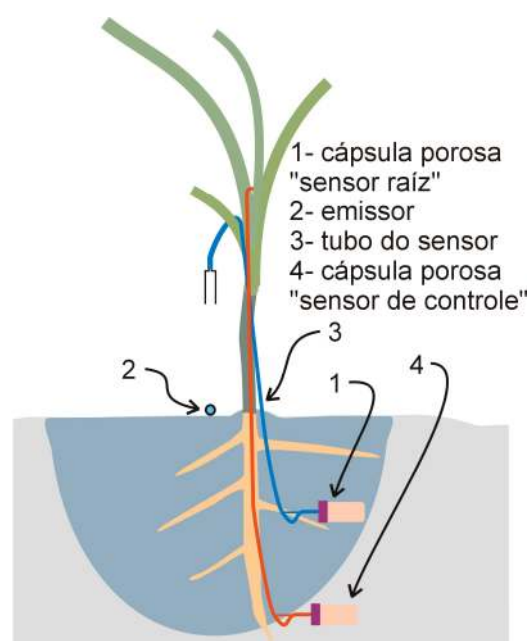


Figura 4.8- Ilustração de uma possível localização de sensores Irrigas para o manejo do gotejamento.

No caso de gotejamento, os sensores pontuais de irrigação (Irrigas, tensiômetro comum e outros) são utilizados, usualmente, para determinar a borda do bulbo molhado. Neste caso, a distância observada entre a cápsula porosa e o emissor (tubo de gotejamento) deverá ser suficiente para formar bulbo molhado de volume adequado, no qual as raízes atuem sem restrições. A irrigação neste caso deve ser terminada logo após o sensor Irrigas ter se tornado impermeável ao ar, quando a água já não entra na cuba. Após cessar o suprimento de água, o movimento desta (redistribuição) continua e a borda do bulbo molhado se expande no solo por mais algum tempo.

Também no caso de gotejamento é interessante instalar “sensores controle” em profundidade maior para verificar se a lâmina de irrigação aplicada foi suficiente ou está excessiva (Fig. 4.7).

26# Quando a posição do sensor Irrigas deve ser corrigida?

Um sensor Irrigas deve ser novamente instalado quando: a) estiver perto de plantas não representativas, sejam plantas mortas, plantas muito pequenas ou muito grandes; b) quando se percebe, a posteriori, que a cápsula ficou próxima de vazamentos, áreas sombreadas ou áreas marginais.

27# Qual a diferença entre a cuba de imersão comum e o sinalizador do irrigação Irrigas?

A cuba de imersão comum deve ser de volume menor que a cavidade da cápsula porosa do Irrigas utilizado. Isto propicia uma visualização do movimento da água, durante o teste de imersão, usado para determinar se a tensão da água no solo já superou o valor crítico.

O sinalizador (cap. 6) de irrigação, ao contrário, possui cuba “grande” (Fig. 4.9), isto é, com volume algumas vezes maior que o volume da cavidade da cápsula porosa do sensor Irrigas. O volume da cuba do sinalizador de irrigação deve ser tal que, a contração do ar na cavidade da cápsula porosa durante as horas mais frias da noite não cause a sucção da água do reservatório, o que, evidentemente, encheria a cavidade da cápsula porosa com água. O sinalizador de irrigação é pressurizado por imersão da cuba cheia de ar em água após a irrigação. Quando a tensão da água no solo se torna superior ao valor crítico a água sobe na cuba do sinalizador. Isso é a despressurização, que é utilizada como sinal do momento da irrigação. O sinalizador deve ser pressurizado após cada irrigação.

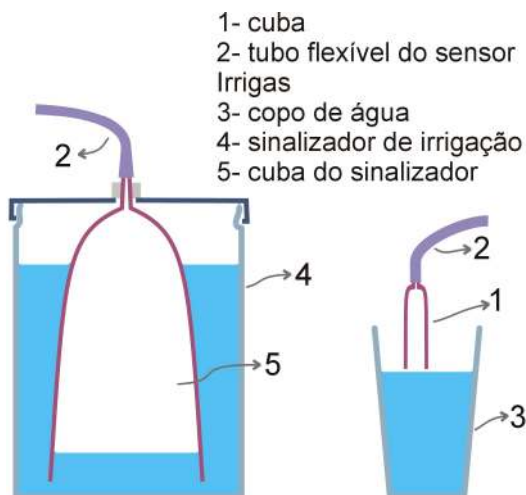


Figura 4.9- Esquemas e dimensões relativas aproximadas do sinalizador de irrigação e da cuba de imersão utilizadas para verificar se a cápsula porosa do Irrigas está ou não em solo úmido.

28# Qual o problema de se aplicar irrigação em lâminas pequenas e com alta frequência?

Isto pode causar a manutenção de um pequeno volume de solo úmido, o qual pode ser insuficiente para uma boa ancoragem da planta e para prover a absorção das quantidades necessárias dos elementos minerais essenciais ao desenvolvimento, que são extraídos da solução do solo e necessariamente envolve a exploração de volumes

adequados de solo, exceto quando se faz uso de fertirrigação. Para visualizar este aspecto interessante convém lembrar as noções sobre eficiência e eficácia de irrigação ilustradas na figura 4.10.

29# Há vantagem comparativa do manejo de irrigação com tensiômetro ou Irrigas em comparação com o manejo utilizando-se o tanque classe A?

Em primeiro lugar, é importante lembrar que utilizar um sistema de manejo de irrigação é fundamental. Dos métodos micro meteorológicos, aquele que faz uso do Tanque Classe A é um dos mais populares e mais efetivos, de modo que é uma referência nesta categoria de técnicas de manejo de irrigação, porque o tanque integra todos os fatores climáticos que afetam a evapotranspiração das culturas. Dentre os métodos de manejo de irrigação, os tensiométricos são aqueles que tem sido considerados os melhores. O Irrigas, o tensiômetro a gás e o tensiômetro comum são exemplos sensores para manejo de irrigação por tensiometria. Em comparações entre manejo de irrigação com Tanque Classe A e com tensiômetros comuns, os tensiômetros comuns tem se mostrado superiores, no sentido de causam economia de água entre 20% e 40%, dependendo do cultivo e das condições que os estudos foram realizados. Neste sentido, adicionalmente, entre os usuários de tanque classe A é comum o uso de sensores tensiometricos para se verificar a possibilidade de estar havendo aplicação excessiva ou deficitária de água.

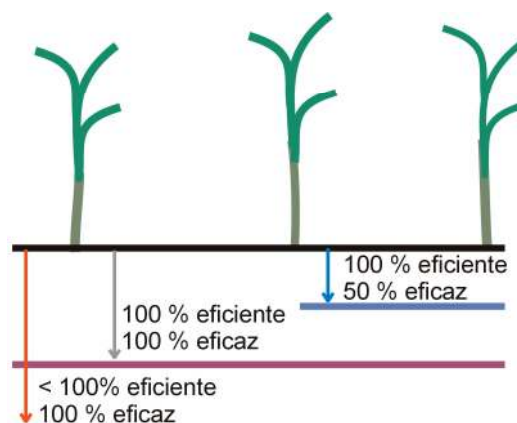


Figura 4.10- Ilustração sobre as noções de eficiência da aplicação da irrigação e eficácia da irrigação no atendimento à demanda das plantas. A linha roxa representa a profundidade efetiva do sistema radicular, os tamanhos das setas representam as lâminas de água aplicadas na irrigação.

SUMÁRIO

Neste capítulo se abordou as principais questões referentes a assuntos como: a natureza do sensor Irrigas, sua leitura, sua instalação em diferentes sistemas de irrigação, a determinação do momento de irrigar e a determinação da lâmina de irrigação, fatores fundamentais para se manejar a irrigação com este novo sistema.

TENSIÔMETROS A GÁS E APLICAÇÕES

Adonai Gimenez Calbo & Washington L.C. Silva

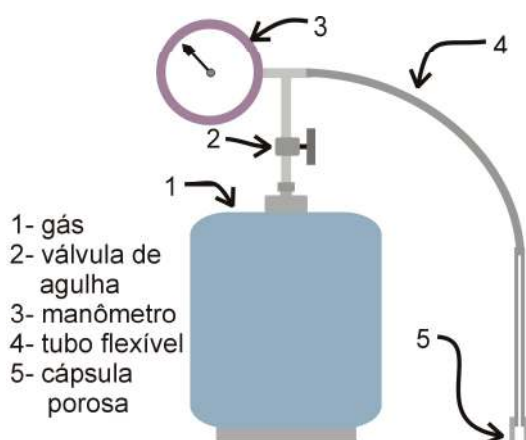


Figura 5.1- Tensiômetro a gás, mede tensão de água no solo com o uso de ar comprimido no interior de um sensor Irrigas com cápsula porosa de tensão crítica conhecida.

Tensiômetro a gás é um instrumento para medir tensão de água entre zero e a tensão crítica das cápsulas porosas do sensor Irrigas. As estimativas podem ser obtidas de acordo com a pressão necessária para iniciar a permeação destas cápsulas com gás (Fig. 5.1). A tensiometria a gás pode ser feita enquanto a cápsula porosa do Irrigas perde água empregando-se a expressão:

$$T = T_d - P$$

onde T é a tensão de água do solo, planta ou outro substrato sob medição, T_d é a tensão crítica de dessorção, ou secagem, da cápsula porosa.

Alternativamente a medida de tensão de água no solo pode ser feita empregando-se a tensão crítica de sorção T_s , ou tensão crítica de umedecimento, da cápsula porosa do Irrigas de acordo com a equação

$$T = T_s - P$$

onde T é a tensão de água do solo, planta ou outro substrato sob medição e T_s é a tensão crítica de sorção, ou umedecimento, da cápsula porosa.

Evidentemente a secagem do solo é o processo determinante para estabelecer o momento de irrigar, e a questão de se usar o tensiômetro a gás no modo secagem (dessorção) ou umedecimento (sorção), no entanto, é uma questão metodológica.

Comparativamente com o tensiômetro comum, o tensiômetro a gás tem as seguintes características superiores:

- a) não requer o periódico enchimento da cavidade da cápsula porosa e do tubo com água;
- b) pode ser fabricado para oferecer resposta rápida mesmo sob tensões de água elevadas (>100 kPa).

1# Quais são os pressupostos de uso de um tensiômetro a gás?

Os pressupostos de uso de um tensiômetro a gás são:

- a) equilíbrio de tensão de água entre o solo, ou substrato, e a cápsula porosa.
- b) pressurização suficientemente lenta de modo que o pressuposto de equilíbrio de tensão de água continue válido;
- c) a tensão da água sob medição é menor que T_d nos instrumentos que operam em dessorção, secagem da cápsula porosa;
- d) a tensão da água sob medição é menor que T_s nos instrumentos que operam em sorção, ou umidificação da

cápsula porosa.

2# Quais os modos de operação de um tensiômetro a gás?

Dentre outros modos, o tensiômetro a gás pode ser operado sob: pressão de gás constante, pressão de gás crescente, pressão de gás decrescente, fluxo laminar de gás aproximadamente constante através do elemento poroso e sob permeação, difusiva, constante de um gás marcador através do elemento poroso.

3# Como funciona um tensiômetro a gás de fluxo estacionário?

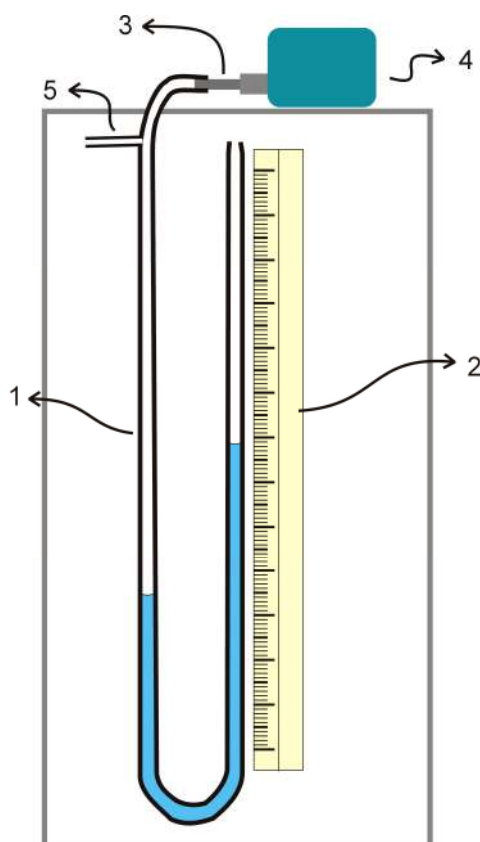
Um tensiômetro a gás deste tipo pode ser construído com um cilindro de gás comprimido, um registro e um manômetro ligados através de uma bifurcação, a um sensor Irrigas (Fig. 5.1, 5.2). Para operá-lo, inicialmente ajusta-se o fluxo de gás que irá atravessar a cápsula porosa entre 1 e 10 ml min⁻¹ de acordo com cápsula porosa utilizada.

A resposta do tensiômetro de fluxo estacionário à tensão da água é dada pela expressão $T = T_s - P$, onde T é a tensão da água, P é a pressão gasosa medida e T_s é a tensão crítica de sorção, ou de umedecimento, que é em módulo igual à pressão em que cessa o borbulhamento de uma cápsula porosa do Irrigas imersa em água. A faixa de trabalho do tensiômetro a gás de fluxo constante é limitada pela tensão crítica de sorção (T_s) da cápsula porosa que for empregada.

Na prática, este tipo de tensiômetro funciona melhor em tensões de água abaixo de 100 kPa, porém pode funcionar em tensões de até 400 kPa, ou mais. Em cápsulas porosas de T_s elevado, a baixa condutividade ao gás por fluxo laminar limita a aplicação deste método. Porém, cabe apontar que outras possibilidades tecnológicas estão sendo desenvolvidas para aplicar tensiometria a gás em tensões de água muito superiores a 400 kPa, que são úteis para o estudo de fisiologia vegetal, por exemplo.

4# Quais são os parâmetros mais importantes em um tensiômetro a gás de fluxo constante?

Primeiro na cápsula porosa são fundamentais a tensão crítica (T_s), o comprimento, o diâmetro, a espessura da parede e o volume morto de sua cavidade. Segundo, a regulação do fluxo de gás deve propiciar o maior fluxo de gás que cause um erro aceitável, na estimativa da tensão crítica de sorção (T_s). Terceiro, o volume morto total que é obtido somando-se os volumes mortos contidos nos tubos, na cápsula porosa e no manômetro, deve ser o menor possível, visto que o tempo de meia-resposta do instrumento é proporcional a este volume. Finalmente, a permeabilidade ao ar da cápsula porosa é tanto menor quanto maior for T_s .



- 1- Manômetro de coluna de água
- 2- régua
- 3- capilar de vidro ou cobre
- 4- micro compressor de ar
- 5- saída para o sensor Irrigas

Figura 5.2- Tensiômetro a gás para medir pequenas tensões de água em substrato para cultivo protegido, com manômetro de coluna de água e compressor portátil.

5# Como selecionar o compressor de ar?

O compressor de ar deve aplicar o fluxo de ar necessário à operação do tensiômetro a gás a uma pressão que seja pelo menos duas vezes maior que a tensão crítica da cápsula porosa dos sensor Irrigas empregado. Evidentemente, a potência do compressor de ar deve ser tão reduzida quanto possível, para que se evite desperdício de energia.

5# O erro no fluxo de gás em um tensiômetro a gás de fluxo constante é relevante?

Sim, veja que T_s deve ser determinado com o fluxo de gás diminuindo em direção a zero. Adicionalmente, para haver passagem de um fluxo de gás através de um elemento poroso cria-se um gradiente de pressão, de acordo com a equação de Poiseuille. Sabe-se que sob fluxo tendendo a zero, a resposta que relaciona a tensão da água estimada no solo e a pressão lida é dada por

$$T = T_s - P$$

Onde, T é a tensão da água, P é a pressão gasosa medida e T_s é a tensão de sorção da cápsula porosa do Irrigas. Sob fluxo de gás maior que zero, os valores de P e T_s estão aumentados. Felizmente, o erro na estimativa de P e de T_s tem sido crescentes, porém similares dentro de limites de fluxo aceitáveis, característicos para cada cápsula porosa empregada. Desse modo, a diferença entre as estimativas de P e T_s também continua sendo uma estimativa apropriada da tensão de água da amostra sob estudo. Por esta razão, leituras em tensiômetro a gás e em tensiômetros comuns de amostras com tensão de água ajustada em câmara de Richards tem sido similares mesmo quando se usam fluxos que variam de $0,5 \text{ ml min}^{-1}$ a mais de 50 ml min^{-1} em cápsulas de Irrigas comuns.

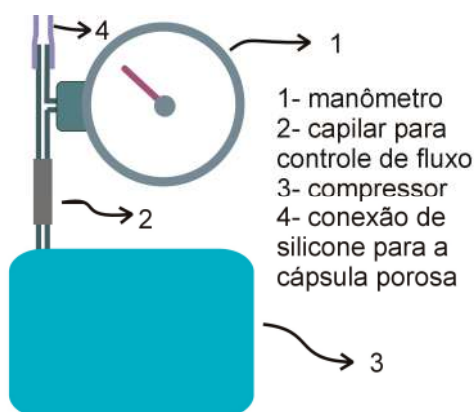


Figura 5.4- Tensiômetro a gás preparado com compressor portátil de gás.

6# Porque o fluxo de gás que atravessa um capilar permanece quase constante e independente da umidade do solo quanto a pressão de saída do compressor é pelo menos duas vezes maior que T_d ?

Considerando-se a compressibilidade dos gases, a equação Poiseuille para representar o fluxo laminar de um gás através de um capilar pode ser aproximada pela equação:

$$dV/dt = \pi (P_1^2 - P_2^2) R^4 / 16 L \eta P_0 \quad \text{Eq. 1}$$

onde, V é o volume de ar, t é o tempo, P_1 é pressão de entrada no capilar, P_2 é a pressão de saída no capilar e P_0 é a pressão em que medimos o fluxo de ar (usualmente a pressão local), π é o valor 3.1416, L é o comprimento do tubo capilar, e η é a viscosidade do ar (Moore, 1972),.

De acordo com esta expressão (Eq. 1), a diminuição de fluxo (F) através de um capilar ligado ao Irrigas em um tensiômetro a gás de "fluxo constante" é dado pela expressão:

$$F = (P_1^2 - P_2^2) / (P_1^2 - P_0^2) \quad \text{Eq. 2}$$

onde, P_1 é igual a pressão ambiente (P_0) mais a pressão adicional gerada pelo compressor e P_2 é a pressão local

mais a pressão de borbulhamento (T_d) da cápsula porosa utilizada. Evidentemente, o fluxo seria perfeitamente constante se a razão r fosse igual a 1 (um). Na prática, há sempre uma diminuição do fluxo através do sensor Irrigas conforme o solo seca.

Para verificar o efeito da pressurização gerada pelo compressor considera-se o caso de uma cápsula porosa Irrigas de 25 kPa e de compressores que gerem pressurizações de entrada no capilar de 2, 3 e 4 vezes este valor de T_d (25 kPa). A pressão ambiente considerada neste exemplo será de 100 kPa.

Neste exemplo, com a aplicação da equação 2, verifica-se que o fluxo diminui de 1 para 0,58 quando o solo umedece no caso do compressor que aumenta a pressão em $2 \times T_d$ ($P_1=150$ kPa), diminui de 1 para 0,75 ao umedecer no caso do compressor que aumenta a pressão em $3 \times T_d$ e ($P_1=175$ kPa) e diminui de 1 para 0,88 quando o solo umedece no caso de $4 \times T_d$ ($P_1=200$ kPa). Desse modo, verifica-se que caso o compressor gere uma pressão de entrada algumas vezes superior à tensão crítica (T_d) do Irrigas, então o fluxo de gás que passa através do sensor torna-se próximo a constante. Em outras palavras, com pressão elevada de entrada o capilar ajusta o fluxo de ar através do sensor Irrigas de modo a torná-lo praticamente independente da umidade do solo.

7# É possível fazer leitura direta de tensão de água com sensor Irrigas da mesma forma que se faz em um tensiômetro comum?

É possível, porém para isto é necessário o uso de um equipamento apropriado que tenha um ajuste de zero. Sem acessórios eletrônicos há pelo menos duas formas de obter leitura direta de tensão de água no solo por tensiometria gasosa de fluxo constante que podem ser realizadas com o equipamento exemplificado na figura 5.3, que contém um manômetro diferencial e duas entradas de ar com capilares idênticos, que usualmente não deixam passar fluxo de ar maior que $1,0 \text{ ml min}^{-1}$. A pressão de entrada de ar nestes capilares usualmente é ajustada em valor pelo menos 4 vezes maior que a pressão de borbulhamento das cápsulas porosas dos sensores Irrigas empregados.

A primeira forma de fazer leitura direta com este tensiômetro a gás é utilizando-se de dois micro sensores Irrigas idênticos, isto é, com a mesma tensão crítica de sorção T_s e, preferencialmente, de mesmo modelo. Neste uso, o mini sensor imerso em água é utilizado como referência e o segundo sensor é inserido no solo para fazer a leitura. Com o sensor de leitura também imerso, a leitura de tensão de água deve ser igual a zero. A seguir remove-se o sensor de medida da água e remove-se o excesso de água com uma toalha. Veja-se que ao passar a toalha já se estabelece uma diferença de tensão de água entre os dois sensores. A seguir, o sensor Irrigas de medida é imerso no solo e a leitura é tomada assim que haja estabilização de

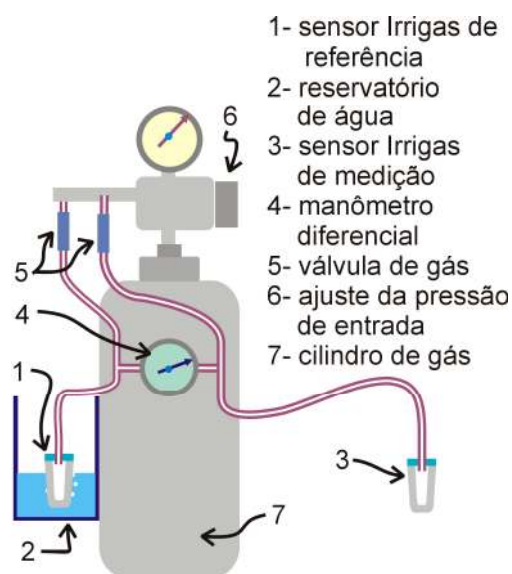


Figura 5.3- Tensiômetro a gás diferencial para a medição direta de tensão de água do solo.

seu valor. Utilizando-se sensores Irrigas mini com diâmetro da ordem de 0,7 mm a leitura é usualmente efetuada em cerca de 1 ou 2 minutos.

A segunda forma, possivelmente menos adequada, é substituir-se o Irrigas de referência por um registro. Para iniciar a medição insere-se o Irrigas de medição em água e regula-se o registro de modo que a diferença de pressão no manômetro seja zero. A seguir, enxuga-se a superfície do sensor Irrigas com uma toalha antes de inseri-lo no solo para fazer a leitura. Como no caso anterior, assim que a diferença de pressão estabilizar, a leitura é tomada.

A leitura efetuada por qualquer um destes procedimentos gera medições diretas da tensão de água que não requerem correções ou cálculos. Podem ser considerados métodos eudimétricos.

8# Qual é o limite superior de tensão de trabalho de um tensiômetro a fluxo constante?

Como a tensão de água de um tensiômetro a gás de fluxo constante é dado pela expressão:

$$T = T_s - P$$

onde, T é a tensão de água, T_s é a tensão crítica de sorção e P é a pressão de ar; então o limite superior de uma dada cápsula porosa é evidentemente dado pelo parâmetro T_s . Em tese poder-se-ia utilizar cápsulas porosas com quaisquer valores de T_s . No entanto, ainda não se definiu qual o maior valor de T_s que pode ser utilizado em um tensiômetro a gás de fluxo constante. Sabe-se que o fluxo laminar ou viscoso de um gás através de um elemento poroso, de acordo com a equação de Poiseuille é proporcional ao quadrado do diâmetro efetivo de seus poros interconectados. Em outras palavras, sabendo-se que a relação entre tensão crítica e diâmetro efetivo dos poros é uma relação linear inversa, então, conclui-se que o fluxo laminar diminui em função do inverso do quadrado da tensão de água crítica da cápsula porosa. Na prática, sabe-se que o tensiômetro a gás de fluxo constante funciona bem com cápsulas porosas de $T_s < 100$ kPa e que é difícil operar com cápsulas de $T_s > 400$ kPa, porque estas são pouco permeáveis a água e ao ar.

9# É possível medir-se as tensões de água elevadas que ocorrem em plantas por tensiometria a gás?

Sim, porém neste caso há necessidade de métodos de alta sensibilidade, visto que em cápsulas de elevadíssima tensão crítica o gás é transportado, mais lentamente, por difusão. Neste caso, o uso de despressurização é um mecanismo de operação muito lento, visto que o fluxo laminar de gás através da cápsula porosa é diminuto.

10# Um tensiômetro a gás de fluxo constante feito de um compressor de aquário e um sensor Irrigas funciona?

Sim, para baixas tensões de água, próprias no

manejo de irrigação de substratos. Neste caso, um sensor Irrigas de 10 kPa seria adequado. A construção poderia ser como as ilustradas nas figuras 5.2 e 5.4. Os componentes são um mini compressor, um capilar de cerca de 2 ml min^{-1} (fluxo máximo), um manômetro sensível, uma bifurcação e um sensor Irrigas de 10 kPa. Um compressor de ar de aquário de boa qualidade gera pressão da ordem de 20 kPa, de modo que pressurizado entre zero e 10 kPa o fluxo de gás através do capilar é diminuído em no máximo 50% conforme o Irrigas passa de seco (poros abertos) para encharcado, com poros tendendo a se fechar, quando a pressão de ar é menor que Ts. Adicionalmente, o fluxo de ar aqui recomendado é baixo, para que não se fuja muito das condições ideais de funcionamento deste tipo de tensiômetro a gás.

11# Como construir um tensiômetro a gás de fluxo constante portátil?

Empregando-se um pequeno cilindro de gás comprimido, nas aplicações gerais, ou compressor a pilha para pequenas pressões. Outros itens necessários são uma cápsula porosa pequena e um dispositivo de medição de pressão, conectados por tubos flexíveis com diâmetro interno de 1mm ou menor. O ajuste de fluxo pode ser feito diretamente em um capilar ou torneira (válvula de agulha), que dê passagem a um fluxo da ordem de $0,5 \text{ ml min}^{-1}$ (função da cápsula porosa).

12# O equilíbrio hídrico é importante para o funcionamento de um tensiômetro a gás?

Sim. As medidas precisam ser efetuadas dando-se tempo para obter leituras que se aproximem tanto quanto possível, do equilíbrio. Consequentemente seria ideal medir a tensão de água no solo de modo contínuo. Isto é prático em procedimentos de manejo de irrigação nos quais os sensores são instalados no solo. Porém, freqüentemente é interessante usar sensores portáteis de tensão de água para a medição “quase instantânea”. Para isto, o tensiômetro a gás precisa ser adequadamente dimensionado, tipicamente fazendo uso de micro cápsulas porosas e de sistemas de volume morto baixíssimo, que respondem rápido e que possibilitam a medição de tensão de água do solo um minuto ou menos após a inserção do sensor.

13# O manômetro do aparelho aneróide de medir pressão sanguínea pode ser utilizado para montar um tensiômetro a gás ?

É uma opção interessante (Fig. 5.5), visto que é um manômetro de baixo custo e que possui uma faixa de trabalho, aproximadamente, de zero a 40 kPa.

14# Como se constrói e se usa um tensiômetro a gás feito com uma pró-pipeta tipo pêra e um manômetro de aparelho aneróide de medir pressão arterial?

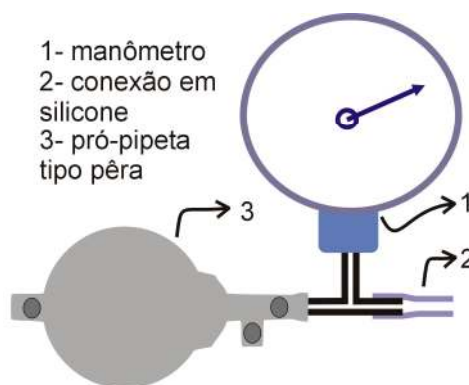


Figura 5.5- Tensiômetro a gás de pêra.

Um instrumento como o ilustrado na figura 5.5. Talvez esta seja a forma mais simples de fazer um tensiômetro a gás para leituras entre zero e 40 kPa.

Este aparelho pode ser utilizado de duas formas:

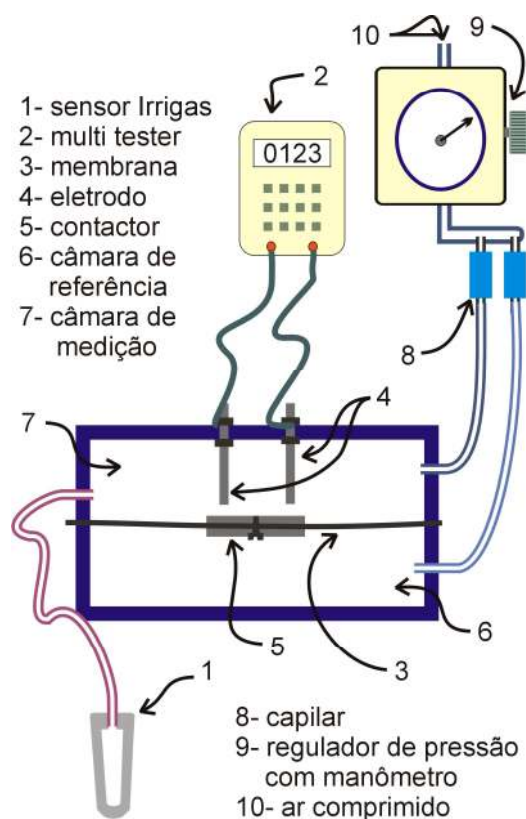


Figura 5.6- Esquema de funcionamento de um tensiômetro a gás com pressostato diferencial.

a) Para medir a tensão crítica de secamento de cápsulas porosas (T_d). Isto é feito através de medições de pressão de borbulhamento. Para fazer isto imerge-se parcialmente a cápsula porosa em água. Após o equilíbrio (10 a 15 minutos), conecta-se este aparelho à cápsula porosa e vai se aumentando a pressão em degraus. Aumenta-se a pressão e verifica-se se esta pressão se mantém. A menor pressão que causa perda da manutenção da pressão, por induzir vazamento, é uma estimativa da tensão crítica de dessorção (T_d);

b) Outra forma de usá-lo é para medir a tensão crítica (T_s) de sorção ou de umidificação. Para isto, continua-se o exercício iniciado no item anterior, e após a medição de T_d a pressão no sistema diminui até eventualmente estabilizar-se novamente em um valor T_s . Este valor T_s é a tensão crítica de sorção.

Com estes mesmos procedimentos aplicados à cápsulas em equilíbrio de tensão de água no solo, estima-se a tensão da água neste meio com da expressão $T=T_d-P$. O valor de P é determinado como foi descrito acima para a estimativa de T_d . A diferença é que P é determinado com a cápsula em equilíbrio de tensão de água no solo. Utilizando-se de cápsulas porosas de dimensões reduzidas pode-se fazer este aparato funcionar como um tipo de tensiômetro a gás portátil.

15# Um tensiômetro a gás tipo “de Pêra” pode ser utilizado simplesmente para verificar se o Irrigas está aberto ou fechado?

Sim. É uma forma eficaz de verificação com a qual em cada instante a resposta será mais informativa do que simples resposta “aberto” ou “fechado” de um teste de imersão. O erro principal que pode haver nesta medida é a falta de equilíbrio entre a tensão de água da cápsula porosa e do solo, visto que um pouco de água é expulsa para fora da cápsula porosa durante a medição.

Usando-se a expressão $T=T_d-P$, pode-se estimar a tensão da água do solo aumentando-se a pressão em passos e verificando se a pressão diminui após um novo aumento de pressão. Com um pouco de prática, rapidamente se determina a menor pressão (P) na qual a pressão diminui após um pequeno aumento de pressão. Para estimar T , evidentemente o usuário precisará saber o valor exato de T_d .

16# A tensão crítica de uma cápsula porosa pode ser medida diretamente no solo, após a introdução de água destilada?

Isto é uma possibilidade tentadora, no entanto, parece mais seguro medir a tensão crítica fora do solo. Este procedimento aproximado pode não aliviar perfeitamente a

influência da tensão da água do solo mesmo que, ao mesmo tempo, se regue copiosamente sobre o sensor.

17# Como se constrói um tensiômetro a gás diferencial com um pressostato diferencial elétrico?

Na figura 5.6 observa-se uma pressostato diferencial elétrico ligado a um multítester. Ambas as câmaras da válvula diferencial elétrica são alimentadas por capilares com fluxo de ar adequado ao sensor Irrigas em uso. A câmara superior é ligada ao Irrigas. Entre as duas câmaras, na membrana, há um contactor que liga a passagem de corrente elétrica entre os eletrodos sempre que ocorre vazamento de gás através do sensor Irrigas. No topo, à esquerda, está o registro de ajuste da pressão do gás. Este tensiômetro a gás diferencial pode ser operado no modo dessorção ou no modo sorção.

18# Como se usa o tensiômetro a gás diferencial (Fig. 5.6) com um pressostato diferencial elétrico no modo dessorção?

Para operar o tensiômetro a gás diferencial no modo dessorção aumenta-se a pressão (P) lentamente até que o contactor ligue os eletrodos. Nesta situação, a resistência elétrica medida no multítester diminui (de circuito aberto) para um valor de circuito fechado, com resistência tendendo a zero Ohms. Caso a cápsula esteja imersa e em equilíbrio com a água livre, então a leitura da pressão é uma estimativa da tensão crítica de secamento denominada tensão crítica de dessorção (Td). Caso a cápsula porosa esteja inserida em uma amostra de solo, ou outro substrato, então a leitura deve ser utilizada para estimar a tensão da água T com a fórmula:

$$T = T_d - P$$

Na equação T é a tensão da água, Td é a tensão crítica de dessorção, característica da cápsula porosa e P é a pressão lida.

19# Como se usa o tensiômetro a gás diferencial (Fig. 5.6) com um pressostato diferencial elétrico no modo sorção?

Para usar o tensiômetro a gás diferencial no modo sorção, primeiro eleva-se a pressão até exceder ligeiramente o valor da tensão crítica de dessorção (Td). Com esta pressão o circuito estará fechado e a leitura de resistência elétrica será zero. A seguir, diminui-se lentamente a pressão aplicada até que a resistência elétrica aumente abruptamente, abrindo o circuito elétrico. No Irrigas parcialmente imerso em água, então esta pressão é uma estimativa da tensão crítica de umedecimento (Ts). Se ao invés da cápsula porosa estar inserida em água esta estiver inserida no solo, neste caso a leitura de pressão é usada para calcular a tensão da água no solo com a fórmula.

$$T = T_s - p$$

que é muito similar a fórmula anterior, exceto pelo parâmetro T_s , a tensão crítica de sorção ou de umedecimento.

20# O que são o MRI e o MDI?

São linhas de tensiostatos a gás fabricados pela indústria especificamente desenvolvidos para manejo de Irrigação. Os instrumento da série MRI são analógicos e os MDI são digitais.

SUMÁRIO

As noções de tensiometria a gás apresentadas neste capítulo evidenciam que estes sistemas são valiosos para a fabricação de tensiômetros a gás com sensor Irrigas portátil ou não para o medições *in situ* da tensão da água em solos e outros substratos.

Deixou-se evidente que estes instrumentos podem medir a tensão da água, inclusive leitura direta, eudimétrica, como um tensiômetro comum, quando se faz uso de um sensor ou célula de referência, para o ajuste automático do zero.

Também se evidenciou que o procedimento de tensiometria a gás sob fluxo contínuo é muito prático e se presta para o desenvolvimento de instrumentos comerciais, inclusive para o manejo automatizado de irrigação de alta confiabilidade, graças à estabilidade dos sensores Irrigas.

SINALIZADORES DE IRRIGAÇÃO

Adonai Gimenez Calbo & Washington L.C. Silva

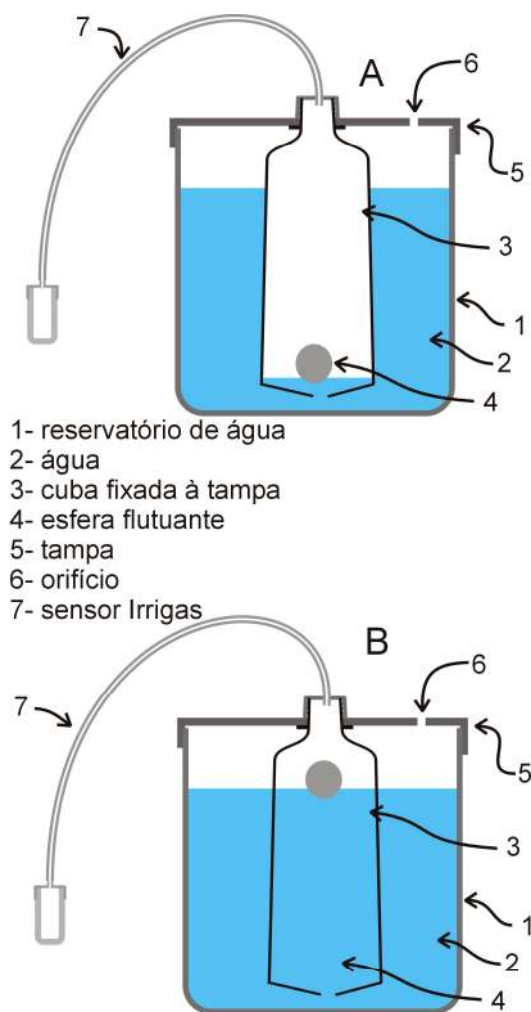


Figura 6.1- Sinalizador de irrigação de pressurização manual. No topo (A) o sinalizador pressurizado, o sensor Irrigas em solo úmido está impermeável ao ar. Na base (B) o sinalizador despressurizado, o ar escapou através dos poros do sensor Irrigas em solo seco.

O sinalizador de irrigação é um dispositivo no qual a observação visual da pressurização do ar é usada para determinar quando irrigar. O sinalizador de irrigação (Fig. 6.1) é constituído de um reservatório de água com tampa perfurada lateralmente, para a saída de ar na qual é fixada a uma cuba para pressurização. A pressurização manual do sinalizador é feita levantando-se a tampa de modo a encher a cuba de ar após a irrigação. Nesta situação, com o solo úmido e o sensor Irrigas impermeável ao ar, a pressurização é mantida até que o solo seque suficientemente para deixar a cápsula do Irrigas novamente permeável ao ar. Com o ar escapando pela cápsula, o nível da água na cuba sobe até equilibrar-se com o nível da água no reservatório. É o momento de irrigar. Após a irrigação o sinalizador precisa ser pressurizado, manualmente, outra vez.

Com o sinalizador de irrigação vê-se, à distância, quando chegou o momento de irrigar. Mais ainda, durante a irrigação pressurizando-o de tempos, em tempos, pode-se verificar se água já penetrou no solo até a profundidade na qual o sensor Irrigas está instalado. Desta forma, pode-se comprovar que a irrigação aplicada foi suficiente.

1# Como construir um sinalizador de irrigação de pressurização manual para o sensor Irrigas?

Um modelo simples pode ser feito com um frasco de vidro de conserva com tampa, uma bolinha de isopor e uma garrafa de refrigerante pequena (ex. 270 ml) e tubo flexível com diâmetro externo de 5 mm. Na tampa da garrafa de refrigerante faz-se um orifício e depois com o auxílio de um alicate puxa-se a ponta do tubo cortada em bisel, através do mesmo. Apertado no orifício, o tubo promove boa vedação. Com um furador de rolhas ou uma broca abre-se um orifício de 28 mm no centro da tampa do frasco de vidro. A ponta da garrafa plástica é inserida no orifício de 28 mm e a seguir a garrafa é fechada pela tampa, que contém o tubo flexível inserido. Com uma faca afiada corta-se o fundo da garrafa de refrigerante. Um segundo orifício é perfurado na tampa do frasco de vidro, lateralmente, para assegurar que o ar passe livremente para o interior do frasco de vidro. O sensor Irrigas é então conectado à cuba do sinalizador (Figura 6.1).

2# Há solução mais fácil do que preparar sinalizador de

irrigação com mini garrafa de refrigerante?

As cubas de bebedouro de aves vêm em vários tamanhos e podem ser utilizadas para esta finalidade. Esta cuba também é fixada a um furo na tampa do frasco de conserva. Os detalhes construtivos podem ser variados e a gosto do usuário. Se o frasco de conserva, por exemplo, tiver tampa de 85 mm, pode-se usar uma cuba transparente na qual caiba uma bolinha de pingue-pongue, como flutuador esférico.

3# Como funciona um sinalizador de irrigação a gás comprimido?

Com ar comprimido, a pressurização do sinalizador de irrigação é feita conforme esta ilustrado na figura 6.2, a qual a cuba é ligada por uma bifurcação, de um lado ao sensor Irrigas (1) e de outro à saída de um fluxo ajustado de ar (3). O fluxo de ar deve ser entre 2 e 10 ml por minuto, para o sensor Irrigas comum de 25 kPa. Um sistema típico de introduzir gás sob pressão faz uso de ar comprimido, de um regulador de pressão e de ajuste do fluxo ar em capilar ou em válvula de agulha (torneira para gases).

Observação: com uma boa regulação da pressão o ar não escapa por baixo da cuba do sinalizador de irrigação. Assim, economiza-se ar comprimido, que só é gasto durante os períodos em que o solo seca e o ar escapa pelo Irrigas, o que despressuriza o sinalizador.

4# Há modelos de sinalizadores em que a cuba não é presa na tampa?

Sim, veja-se o sinalizador feito de cilindros graduados transparentes (Fig. 6.3). Para pressurizar este sinalizador de irrigação basta levantar a cuba para introduzir ar sobre esta. A despressurização ocorrerá quando o solo secar, isto é, quando a tensão da água no solo se tornar maior que a tensão crítica da cápsula Irrigas empregada (5). Neste modelo, o ar pressurizado mantém a cuba levantada, enquanto o sinalizador estiver pressurizado.

5# Como é o esquema interno de um sinalizador de irrigação alimentado por compressor solar ou térmico?

Na figura 6.4 vê-se a foto de um sinalizador de irrigação que é pressurizado automaticamente pelas variações de temperatura, com auxílio de um termocompressor feito com uma garrafa de refrigerante pintada de preto e com óleo mineral de baixa viscosidade ao fundo.

Para que o sinalizador conserve a pressão enquanto o sensor Irrigas está em solo úmido, o ar proveniente do compressor é introduzido (borbulhado" abaixo da cuba do sinalizador de irrigação (Fig. 6.5).

6# Como se constrói um termo-compressor (solar)?

Um compressor simples para pressurizar o

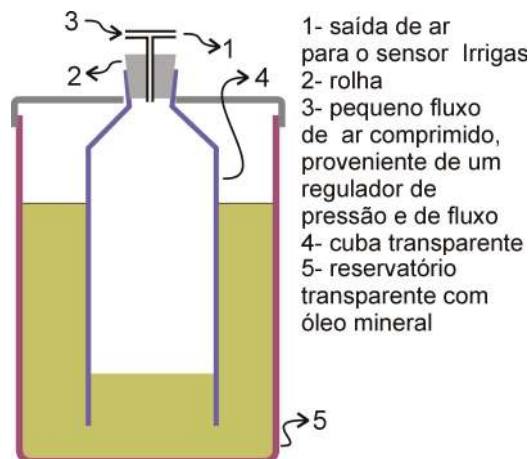


Figura 6.2- Sinalizador de irrigação de pressurização a gás.

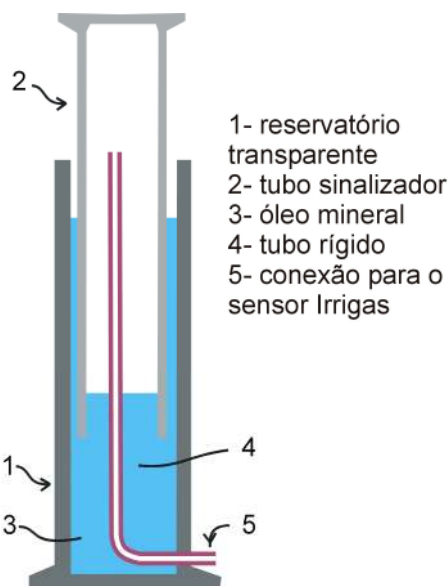


Figura 6.3- Sinalizador de irrigação de pressurização manual preparado com cilindros graduados transparentes.



Figura 6.4- Foto de um sinalizador de irrigação pressurizado com auxílio de um compressor térmico simples.

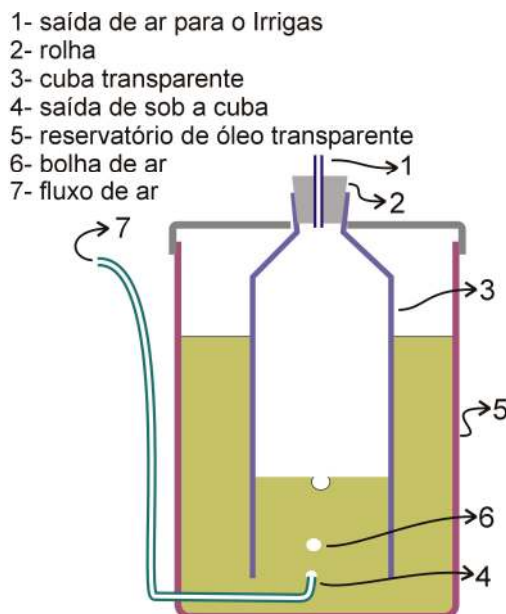


Figura 6.5- Sinalizador de irrigação com entrada de ar sob a cuba para a pressurização com compressor, que não insufla ar continuamente.

sinalizador de irrigação de acordo com a variação da temperatura ambiente está ilustrado na figura 6.6. O ar entra pelo tubo 1, aquele com a ponta imersa em óleo, quando a temperatura diminui. Este tubo funciona como uma válvula unidirecional que deixa o ar entrar com facilidade quando a temperatura diminui, porém impede que o ar escape pela mesma entrada quando a temperatura aumenta e a expansão térmica causa bombeamento de ar para fora do compressor. Isto é ilustrado na figura 6.7, onde se vê este compressor térmico insuflando ar em um sinalizador de irrigação com entrada de água em tubo imerso em água sob a cuba.

7# Como a variação da temperatura e da radiação solar causam compressão no termo-compressor (Fig. 6.6)?

Caso a temperatura ambiente esteja ao redor de 300 Kelvin (27 °C), então de acordo com a equação dos gases ideais um aumento de temperatura de 1 grau Célsius causa um aumento de pressão, a volume constante, de aproximadamente 1/300 vezes a pressão barométrica local, isto é, cerca de 3 cm de coluna de água. É uma pequena pressurização, porém um sinalizador de irrigação dificilmente tem altura de coluna de água maior que 10 cm, sendo assim, aumentos de temperatura de 15 ou de 20 graus pressurizam um sinalizador de irrigação com folga. Adicionalmente, o fluxo de ar gerado por um compressor deste tipo, feito com uma garrafa de 2 litros, é adequadamente pequeno, para permear rapidamente o sensor Irrigas, quando o solo está sob tensão de água superior à tensão crítica da cápsula porosa. Isto é importante, visto que a despressurização do sinalizador é utilizada como indicativo de que a irrigação deve ser aplicada.

8# O sinalizador de irrigação da figura 6.5 pode ser utilizado com bateria solar e compressor de aquário a pilha?

Sim. No entanto, o fluxo do compressor de bateria precisa ser reduzido com auxílio de um registro ou de um capilar para cerca de 1 a 10 ml min⁻¹. Desse modo, com um distribuidor de ar e capilares pode-se alimentar vários sinalizadores com um único compressor (de aquário). O desenho da figura 6.5 é interessante porque evita a perda de pressurização quando falta energia elétrica. Assim, cada tubo sinalizador se mantém pressurizado até que o solo seque e cause escoamento do ar através do sensor Irrigas.

9# O sinalizador de irrigação pode ser ligado a mais de um sensor Irrigas? Isto é prático?

Sim. Isto é feito porque o perfil do solo seca mais lentamente nos locais onde a densidade de raízes é menor. Deste modo pode-se fazer um tipo simplificado de estação de controle de irrigação de leitura fácil ligando-se 2 a 5 sensores Irrigas em um único sinalizador. Com isto assegura-se que as plantas não deixarão de ser irrigadas

simplesmente porque algum dos sensores Irrigas foi instalado em local inadequado.

10# Qual o melhor tipo de sinalizador de irrigação?

Isso depende da disponibilidade de recursos e do gosto do usuário. Certamente há alguns tipos de sinalizadores de irrigação muito simples e efetivos, de pressurização manual e outros mais sofisticados que tem pressurização automática a gás ou hidráulica. Porém, mais importante do que o modelo do sinalizador de irrigação, é a necessidade de se usar sensores Irrigas e sinalizadores em número adequado ao manejo de irrigação.

11# Como controlar a irrigação em substrato a 5 kPa se o Irrigas comercial de tensão mais baixa é, atualmente, de 10 kPa?

Para fazer isto, basta lembrar que a cápsula do Irrigas é o sensor do tensiômetro a gás. No tensiômetro a gás a tensão de irrigação é dada por: $T = T_d - P$, onde T é a tensão de água no solo, P é a pressão lida e T_d é a tensão crítica de desorção, que em módulo é igual à pressão borbulhamento, igual a 10 kPa no caso do Irrigas comercial desta questão. Assim, lembrando-se de que 1 kPa é 10 cm de coluna de água, e pressurizando-se com ar a uma pressão de 50 cm de coluna de água (5 kPa) sob baixo fluxo (ex. 2 ml min^{-1}) então, irrigar-se-á a 5 kPa quando houver despressurização causada por permeação de ar através da cápsula do Irrigas.

No campo, sem aparatos sofisticados, pode-se empregar o simples teste de imersão com pequenas modificações. O recipiente de água, neste caso seria um cilindro graduado de 2 litros (proveta com mais de 50 cm de altura) com água, além de hipoclorito de sódio para evitar a formação de algas. A cuba para imersão seria uma pipeta de 50 ml acoplada ao tubo do sensor Irrigas. Quando o solo seca e a tensão se torna maior que 5 kPa, a água começa a entrar na cuba mais e mais, quanto maior se tornar a tensão da água.

12# Como surgiu a idéia de fabricar sinalizadores de irrigação?

Pouco após o desenvolvimento do sensor Irrigas percebeu-se a necessidade de facilitar o processo construindo-se um sistema que possibilitasse a visualização de que o solo permanece úmido ou se já chegou o momento da irrigação, mesmo de longe. Os primeiros sinalizadores de irrigação empregados eram parecidos com os atuais regadores automáticos. Estes primeiros sinalizadores de irrigação funcionaram bem no campo, porém precisavam ser recarregados com água sempre que o solo secava.

No ano seguinte, foram desenvolvidas as denominadas “ampulhetas” para irrigação, que reversíveis, eram virados de ponta-cabeça depois que a água escorria (Fig. 6.8 e 6.9).

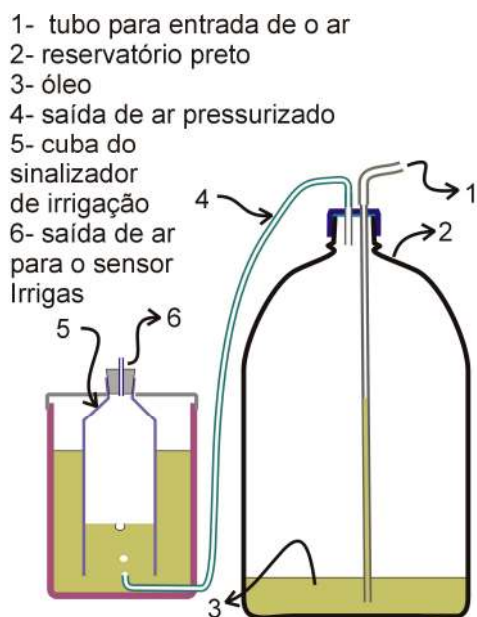


Figura 6.7- Termo-compressor pressurizando um sinalizador de Irrigação Irrigas.

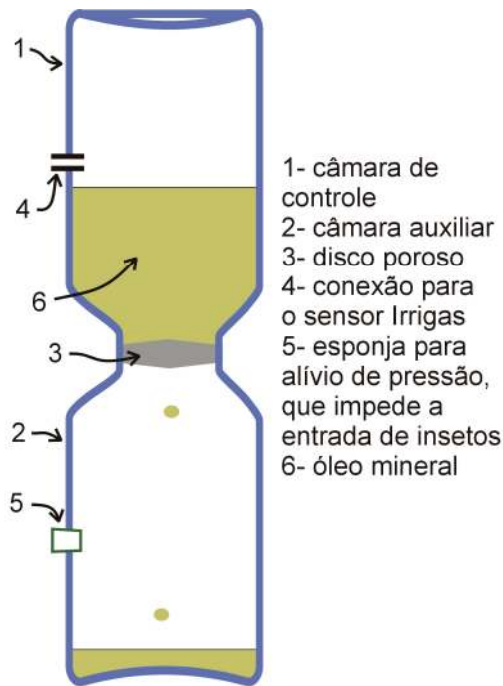


Figura 6.8- Sinalizador de irrigação ampulhiforme de disco cerâmico. A pressurização é feita virando-se a "ampulheta" de ponta-cabeça.

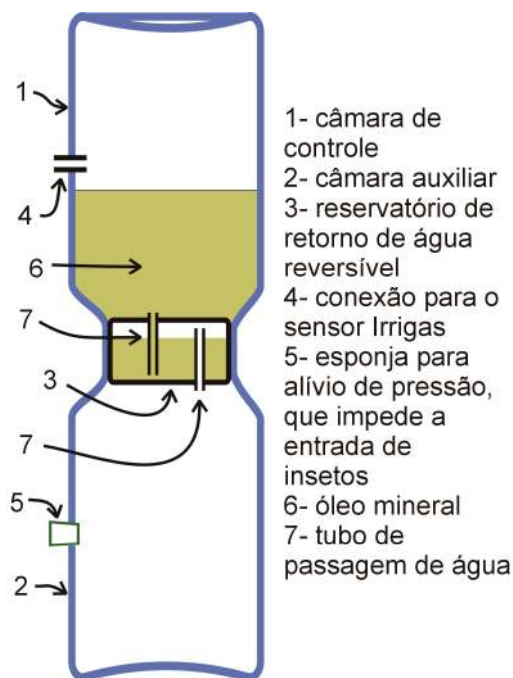


Figura 6.9- Sinalizador de irrigação ampulhiforme com reservatório de retorno de água reversível. A pressurização é feita virando-se a "ampulheta" de ponta-cabeça.

Um detalhe interessante nestes sinalizadores de irrigação ampulhiformes é que a câmara de controle ligada ao Irrigas ora opera sob pressão positiva, quando está na base, ora opera sob pressão negativa quando está no topo.

Os dois modelos ampulhiformes tem proteção térmica, para evitar que a água escoe inutilmente por causa das variações de temperatura. Na figura 6.8 a proteção térmica foi feita com um disco de cerâmica e na figura 6.9 foi feita com um reservatório de retorno de água reversível.

Detalhamento do significado e das funções dos protetores térmicos é apresentado no capítulo 7, que trata de regadores automáticos.

6.1- Estações de controle de irrigação

13# O que é uma estação de controle de irrigação?

É um grupo de sensores de tensão de água, ou de umidade, instalados no solo, em uma área representativa de um cultivo. A finalidade da estação de controle de irrigação, tipicamente com 4 a 12 sensores, é proporcionar uma estimativa segura da umidade do solo para fins de irrigação. O uso de vários sensores é importante, dada a variabilidade espacial da tensão da água no solo em função do tempo, da profundidade, da distância radial do sensor às plantas, do tamanho das plantas e da distribuição espacial das raízes. É comum utilizar-se uma estaca alta e visível para indicar a posição de cada estação de controle de irrigação no campo.

14# É útil instalar parte dos sensores de uma estação de controle de irrigação como "sensores raiz" e outra como "sensores controle" ?

"Sensores raiz" são aqueles instalados próximos à profundidade efetiva das raízes, camada que contém cerca de 80 % das raízes. "Sensores controle", por outro lado, são colocados a cerca do dobro desta profundidade, usualmente em uma posição que integra cerca de 90 a 95% das raízes, a partir da superfície do solo. Por exemplo, em uma determinada cultura os "sensores raiz" poderiam ser instalados entre 10 e 15 cm de profundidade, enquanto os "sensores controle" poderiam ser instalados entre 25 e 30 cm de profundidade.

Os "sensores raiz", são utilizados para determinar quando irrigar, enquanto os "sensores controle" são utilizados para verificar se a lâmina de irrigação aplicada é

adequada, insuficiente ou excessiva.

Usualmente, no início da cultura, a irrigação é aplicada até umedecer os “sensores controle”. Depois, aplicam-se lâminas de irrigação menores guiados pelos “sensores raiz”. Caso os “sensores controles” sequem então a lâmina de irrigação poderia ser aumentada em cerca de 20 % e, ao contrário, caso não sequem a lâmina de irrigação deve ser diminuída em cerca de 15 %. Desse modo, varia-se a lâmina de irrigação aplicada para atender adequadamente à necessidade das plantas, de acordo com a demanda evapo-transpirativa.

15# Como fazer uma estação de controle de irrigação com sensores Irrigas?

Uma forma simples de fazer uma estação de controle de irrigação é com o uso de alguns sinalizadores de irrigação Irrigas. Uma estação de controle de irrigação com 6 sinalizadores colocados em uma área representativa e de fácil acesso é uma amostragem suficiente da tensão da água no solo, para a maioria das aplicações de manejo de irrigação.

16# O que é uma estação de controle de irrigação a gás?

A estação de controle de irrigação a gás ilustrada na figura 6.10 é um dispositivo constituído de uma fonte de ar comprimido, ou gás, uma válvula de ajuste de pressão, um distribuidor com saídas de gás através de tubos capilares (fluxo menor que 10 ml min^{-1}), que são ligados de um lado a um tubo manométrico para leitura de pressurização, e de outro a um ou mais sensores Irrigas. Se o solo estiver “seco”, o gás escapa pelo sensor Irrigas o que causa depressurização no tubo manométrico correspondente e deste modo o nível do fluido no tubo manométrico torna-se igual ao nível do fluido do reservatório. Ao contrário, quando o sensor está em solo úmido o gás não permeia o sensor Irrigas e o tubo manométrico correspondente se mantém pressurizado.

Numa estação de controle de irrigação a gás com seis sensores Irrigas é comum definir-se que a irrigação deva ser feita logo após, aquele em que pelo menos, dois, dos seis sensores, se depressurizaram.

Para determinar quanto irrigar, durante a irrigação, acompanha-se a pressurização nos tubos manométricos. A irrigação, por outro lado, é aplicada até que cinco dos seis Irrigas sejam pressurizados, o que significa que o solo já foi umedecido até a profundidade dos sensores.

17# Seria possível preparar uma estação de controle de irrigação baseada em compressor térmico ou compressor portátil acionado por bateria solar?

Sim. Para este uso, no entanto, deve-se considerar que estes compressores não insuflam ar continuamente. Uma estação com estes compressores pode ser montada com vários sinalizadores de irrigação específicos, como já

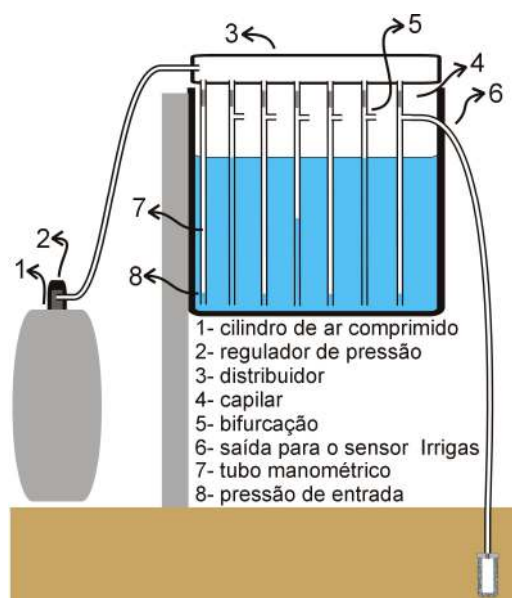


Figura 6.10- Estação de controle de irrigação a gás, com seis tubos de sinalização. Ilustra-se a ligação do Irrigas a um dos tubos manométricos de sinalização.

foi descrito (Fig. 6.4). Outra forma de aplicar a mesma idéia é fazer uma estação com todos os sinalizadores integrados como esta ilustrado na figura 6.11.

Numa estação de controle deste tipo, observa-se (Fig. 6.11) que o ar é introduzido por baixo e que cada cuba, no topo, é ligada a um (ou mais) sensores Irrigas. Adicionalmente, as cubas ou tubos precisam ter diâmetro maior que 9 mm ara que as bolhas de ar subam livremente e não arrastem água para o interior da cápsula porosa do Irrigas.

18# Pode-se construir uma estação de controle de irrigação com tensiômetros a gás de fluxo contínuo?

Sim. Basicamente poder-se-ia utilizar o mesmo esquema descrito para a estação de controle de irrigação, aumentar-se-ia a pressão de entrada do gás e os tubos manométricos seriam substituídos por manômetros. Em cada manômetro a tensão de água seria calculada com a expressão $T = T_s - p$, onde T é tensão de água no solo, T_s é a tensão crítica de sorção (umedecimento) da cápsula porosa e p é a pressão de gás lida no manômetro. Sistema de tensiometria a gás sob fluxo constante é detalhado no capítulo 5, sobre tensiômetros a gás.

Observação: Há tensiômetros a gás comerciais especificamente designados para manejo de irrigação em solo e em substrato.

19# Uma estação de controle de irrigação feita com tensiômetros a gás é superior as estações de irrigação descritas anteriormente?

Teoricamente sim, porém, na prática, ler e utilizar os resultados de uma estação de irrigação constituída de tensiômetros de leitura contínua certamente é mais difícil do que a leitura nas estações de controle de irrigação comuns.

As qualidades de uma estação de controle de irrigação feita com tensiômetros a gás são pelo menos duas: a) O sensor Irrigas é robusto e se a estação for bem montada em geral não requer manutenção. b) Nestas estações de controle de irrigação pode-se ajustar a irrigação na tensão de água desejada. Por exemplo, com o uso de Irrigas de tensão crítica de 40 kPa poder-se-ia irrigar, por exemplo, a uma tensão de água de 30 kPa.

20# Qual o melhor tipo de estação de controle de irrigação?

O nível de sofisticação e a possibilidade de ajustes são opções do usuário. Alguns consideram adequado as estações de controle preparadas com sinalizadores de irrigação de pressurização manual, muito simples e efetiva. Outros preferem a pressurização automática para determinar também o momento de suspender a irrigação. Alguns podem ter energia elétrica disponível, outros não. A facilidade das pessoas para construir e para adquirir

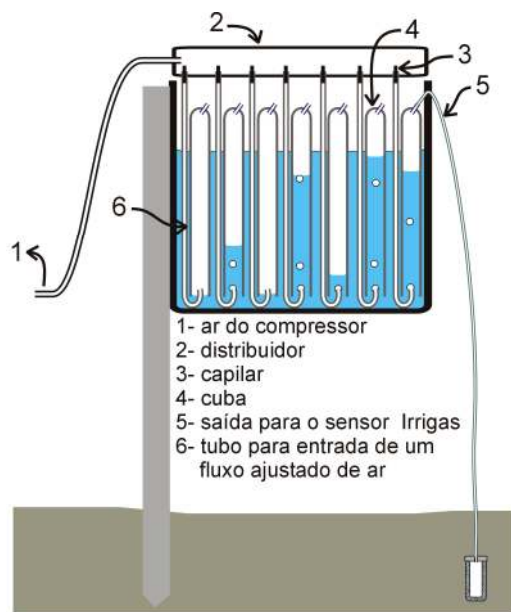


Figura 6.11- Esquema de uma estação de controle de irrigação a gás com introdução de ar sob as cubas (tubos manométricos) para uso com compressores de vazão de ar variável.

instrumentos relativamente complexos também é muito variável. Assim, o importante, mesmo, é manejar a irrigação adequadamente, e aplicar quantidades de água suficientes para obter uma boa produtividade, sem assumir os custos e os riscos associados com o uso de irrigação excessiva.

21# Há vantagem de colocar mais de um sensor Irrigas por sinalizador de irrigação da estação de controle de irrigação?

Há sim. Isto é particularmente importante quando a estação de controle contém sensores instalados em duas ou mais profundidades. Assim, com uma estação de controle com seis sinalizadores pode-se, por exemplo monitorar seis pontos em cada profundidade, considerando-se que em cada profundidade hajam dois Irrigas por sinalizador, ou tubo manométrico.

SUMÁRIO

Os sinalizadores de irrigação são instrumentos muito práticos para ajudar no manejo de irrigação com o uso de sensores Irrigas. Os sinalizadores de irrigação podem ser manuais, isto é, de pressurização manual, ou de pressurização automática, com ar comprimido, presente em cilindros, gerado por compressores elétricos ou gerados por compressores térmicos.

Elaborou-se sobre a importância de se utilizar boa amostragem da tensão da água no solo e como o uso de vários sinalizadores, em uma estação de controle de irrigação, podem ser valiosos para se fazer manejo de irrigação com alta qualidade.

Parte 2

AUTOMATIZAÇÃO

REGADORES AUTOMÁTICOS

Adonai Gimenez Calbo & Washington L.C. Silva

Regador automático ou “regavaso” é um dispositivo para realizar a rega de vasos de plantas e mudas no substrato sempre que este se tornar mais seco que a tensão crítica do sensor Irrigas empregado.

O funcionamento de regadores automáticos Irrigas (Fig. 7.1) é o seguinte: quando o substrato “seca”, atingindo a tensão crítica (T_d) do sensor, inicia-se o processo de entrada de ar através da cápsula porosa e, em consequência, o ar que entra no topo do regador causa aumento de pressão e provoca o escoamento de água na base do regador, enquanto o bulbo molhado cresce. Quando a umidade atinge o sensor Irrigas, este se torna novamente impermeável ao ar e em consequência, o escoamento de água é terminado. Este processo se repete indefinidamente, havendo necessidade de repor água sempre que o nível diminui.

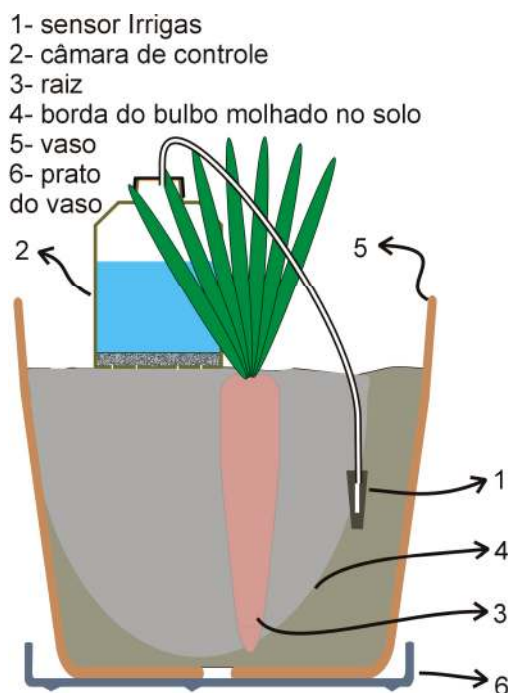


Figura 7.1- Ilustração de um regador automático no qual a borda do bulbo molhado em crescimento está umedecendo a cápsula porosa do Irrigas.

1# Quanto de água a planta do vaso consome (evapotranspiração) e qual o volume adequado para reservatório de água de um regador automático?

O consumo de água no vaso depende da área folhar, arquitetura da planta, ventilação, temperatura da planta, temperatura do ar e umidade relativa do ar. Sabe-se também que dentro de casa, com ventilação e radiação reduzidas, o consumo de água é várias vezes menor do que no campo. Para vasos em ambiente doméstico é comum o uso de regadores automáticos com volume de 100 a 2000 ml. Tipicamente, o volume do regador automático (regavaso) é da ordem de 10 a 30 % do volume do vaso.

2# Em que faixa de tensões de água a umidade do substrato do vaso é controlada com um regador automático?

Nos regadores automáticos a tensão da água no substrato é controlada entre a capacidade de campo deste vaso e a tensão crítica do sensor Irrigas. A tensão da água na capacidade de campo do substrato pode ser estimada como a própria profundidade do vaso expressa em kPa, como 10 cm é igual a 1 kPa, assim um vaso de 20 cm terá tensão de água na capacidade de campo de 2 kPa, na superfície. Neste vaso, todos os macroporos com diâmetro inferior a 0,15 mm estarão cheios de água. Por isto, na

prática de cultivo em vasos com menos de 30 cm de altura é comum se utilizar substratos de textura grossa ou misturas de substratos apropriadas, para que sempre haja macroporos cheios de ar dos quais as raízes possam retirar o oxigênio que elas precisam para respirar.

3# Qual a principal aplicação do regador automático?

A principal aplicação é para complementar a rega de vasos de plantas em ambiente doméstico. É útil em ausências em fins de semana e em viagens para se assegurar que a planta não sofra falta de água. Adicionalmente, com a cápsula porosa do Irrigas adequadamente instalada a água não se acumula no prato do vaso. A água no prato do vaso é o ambiente mais comum para a deposição de ovos e para o desenvolvimento das larvas de insetos, como o mosquito *Aedes aegypti*, transmissor do dengue, em ambiente doméstico.

4# Por que o regador automático reduz a possibilidade de acúmulo de água no prato do vaso?

Observa-se na figura 7.1 que a água não escorre para o prato do vaso (6) porque o regador, ao emitir água, forma um bulbo molhado que cresce até umedecer a cápsula porosa do sensor Irrigas (1). Em contato com o substrato úmido, o sensor Irrigas se torna impermeável ao ar e, sem esta entrada de ar no regador, o escoamento da água é interrompido até que a umidade no substrato diminua novamente.

Observação: após a água deixar de escoar do regador no substrato, a água ainda continua se movimentando enquanto a tensão da água no bulbo molhado em crescimento aumenta e se aproxima da capacidade de campo. Desse modo, o bulbo cresce até um volume máximo, dependente da posição em que o sensor foi instalado no vaso.

5# Há necessidade de se tratar vaso, substrato, planta e regador automático como um sistema ?

Sim, e isto é mais importante ainda quando se tem em vista a distribuição de produtos ornamentais. O resultado que se almeja nestes sistemas é que o regador automático promova o adequado umedecimento do vaso sem causar lixiviação, escoamento de água para o prato do vaso.

Para se obter uma boa distribuição da água, o vaso deve possuir desenho no qual predomine a dimensão vertical. A localização do sensor Irrigas é importante e em geral a sua instalação a cerca de 2/3 da profundidade do vaso é satisfatória. O substrato do vaso por outro lado deve favorecer a formação de um bulbo úmido uniforme, enquanto o regador automático deve também liberar água de maneira lenta, para auxiliar na formação de um bulbo úmido uniforme.

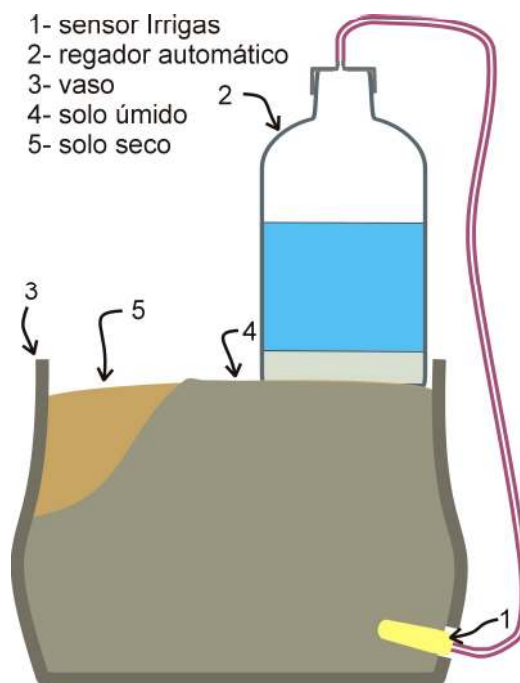


Figura 7.2- Sensor Irrigas inserido em orifício lateral na base do vaso para assegurar rega completa do solo do vaso sem ocorrência de escoamento.

Sobre as propriedades físicas do substrato do vaso, deve-se cuidar para que seja constituído por partículas com o menor diâmetro adequado à altura do vaso, de modo que retenha água e ao mesmo tempo mantenha, permanentemente, volumes mínimos de uma fase gasosa que possa suprir oxigênio para a respiração das raízes. Para assegurar a oxigenação sabe-se que o substrato deve ser de textura tanto mais grossa quanto menor for a altura do vaso. A razão física desta relação é que o teor de água que cada substrato pode reter à sua capacidade de campo (de vaso) é função inversa da altura do vaso.

Por outro lado, evidentemente, substratos de textura fina e que sejam pouco sujeitos a ocorrência de rachaduras são aqueles que favorecem a formação de bulbos úmidos mais uniformes. Na prática, porém, não se pode utilizar substratos de textura muito fina (ex. solo argiloso) em vasos de pouca altura.

5# É preciso deixar o regador automático sempre no vaso?

Não. O reservatório de água (câmara de controle) pode ser removido e guardado. O sensor Irrigas, no entanto, preferivelmente, não deve ser removido. Este procedimento é utilizado por aqueles que preferem regar do modo convencional, deixando o uso de regadores apenas durante ausências.

6# Convém regar o vaso do modo convencional ao se completar o volume do regador automático?

Sim. Deste modo aumenta-se a quantidade total de água disponível para as plantas. Adicionalmente, a rega comum periódica assegura que praticamente todo o volume do vaso seja umedecido.

7# Quais são os cuidados para instalar um regador automático?

O regador deve ser colocado próximo à planta, sobre o vaso. Um segundo cuidado é instalar o sensor Irrigas na profundidade das raízes, próximo à planta e não muito distante do regador. Caso o substrato seja pouco hidrofílico e/ou muito permeável à água, então o Irrigas deve ser localizado praticamente abaixo do regador, para que não haja escorrimento de água para fora do vaso.

8# Como umedecer todo o substrato do vaso de maneira segura?

Instalando o sensor Irrigas através de um orifício lateral na base do vaso (Fig. 7.2). Assim, se consegue umedecer a maior parte do substrato do vaso. Quando o substrato seca, o sensor Irrigas se torna permeável ao ar e a água escoa do regador até umedecer o substrato do vaso.

* Observação o furo central do vaso pode ser fechado, isto diminui o escorrimento de água e o espalhamento de partículas que sujam a superfície ao redor do vaso.

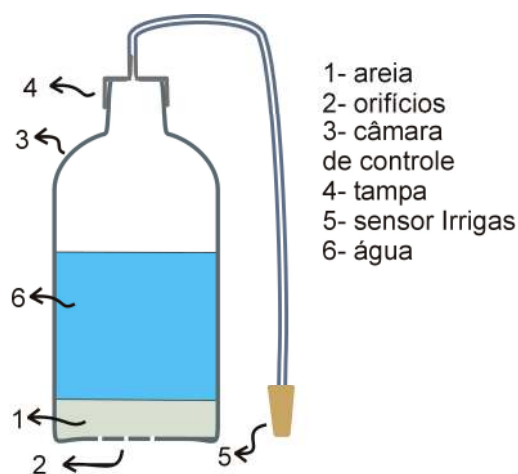


Figura 7.3- Ilustração de um regador automático com escoamento de água através de areia fina sobre o fundo furado da câmara de controle (garrafa). A areia fina no fundo do regador evita a entrada de ar nas horas mais frias.

9# Qual a melhor localização para instalar o sensor Irrigas no vaso?

As soluções contidas nas figuras 7.1 e 7.2 são interessantes, porém podem ser inadequadas em alguns casos, por exemplo, quando a planta estiver pouco enraizada. Nesta condição, o Irrigas instalado no fundo do vaso se mantém úmido mesmo quando o substrato próximo à superfície do vaso já esteja seco. Este, no entanto, é um problema particular de plantas em fase de estabelecimento.

Usado para definir a borda do bulbo molhado (Fig. 7.1), o sensor Irrigas pode inclusive ser instalado diretamente na superfície do substrato. Neste caso há dois riscos: a) Caso se instale o sensor Irrigas muito longe do regador, a água escoar antes que o bulbo molhado cresça e envolva o sensor Irrigas. b) Caso se instale o sensor Irrigas muito próximo do regador, então o volume de substrato umedecido no vaso poderá ser muito pequeno, o que prejudicará o desenvolvimento radicular e a absorção suficiente de nutrientes minerais pela planta.

Considerando-se estas possibilidades, então, em geral o melhor é localizar o sensor Irrigas na profundidade efetiva das raízes, usualmente a cerca de 2/3 da profundidade do vaso.

10# Quais são os tipos de regadores automáticos Irrigas?

Os regadores automáticos Irrigas são de dois tipos básicos: os que operam com pressão de ar negativa e os que operam com pressão positiva na câmara de controle. Os regadores de pressão positiva e negativa possuem funcionamento e desenhos variados, de acordo com o uso, a incorporação do sensor Irrigas, a forma de alimentação com água e do mecanismo de proteção para que expansão térmica do ar na câmara de controle não cause derramamento de água.

11# O que é câmara de controle do regador automático?

É o nome dado ao reservatório de água dos regadores automáticos, cuja pressurização é determinada pela obstrução à passagem de ar através do sensor Irrigas. A depressurização da câmara é causada pela entrada de ar através do sensor Irrigas, o que determina o escoamento da água para o substrato.

13# O que é um regador automático de pressão negativa?

Tipo de regador automático no qual a água é mantida na câmara de controle por vácuo parcial (pressão negativa) suportado no sensor Irrigas. Quando o substrato seca, entra ar pelo sensor Irrigas e a água escoar à medida que o ar permeia o Irrigas. Este escoamento causa a formação de um bulbo molhado, que cresce e ao umedecer a cápsula porosa torna o sensor Irrigas impermeável ao ar.

14# O que é proteção térmica de regador?



Figura 7.4- Regador automático instalado em um vaso com uma plântula de tomate Finestra.

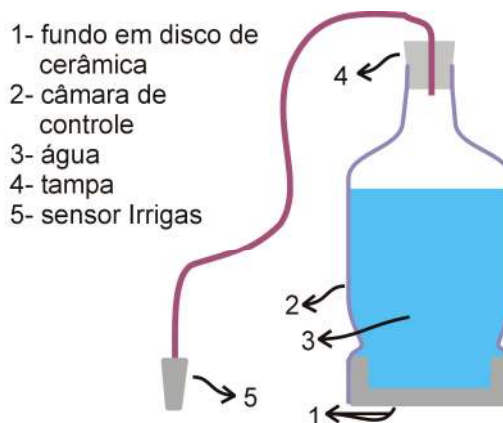


Figura 7.5- Regador automático Irrigas com escoamento através de um fundo formado por um disco de cerâmica porosa.

Os regadores automáticos de pressão negativa são formados por uma câmara de controle (reservatório de água) com escoadouro de água na base e conexão para o sensor Irrigas na parte mais alta. Como o ar varia de volume em função da temperatura, então o escoadouro na base precisa bloquear a entrada de ar para o interior da câmara de controle, nas horas mais frias, visto que isto posteriormente causa o escoamento de água, quando a temperatura aumenta. Os escoadouros que evitam a entrada de ar e o posterior escoamento da água do regador automático são denominados protetores térmicos.

15# Como a temperatura influi nos regadores automáticos de pressão negativa?

Para se observar o efeito que a temperatura produz fura-se lateralmente a base de uma garrafa de refrigerante de 600 ml com um agulha grossa. A seguir, coloca-se cerca de 6 cm de água na garrafa e fecha-se a mesma. Observa-se então, que a água deixa de escorrer, quase imediatamente. Depois, expondo-se o conjunto ao sol vê-se que a água começa a escorrer pelo furo. O escoamento ocorre porque a luz do sol aquece a garrafa e causa aumento do volume do ar. Empurrada pelo ar em expansão a água escoar. A seguir, volta-se o sistema para a sombra e após alguns instantes, observa-se que o ar ambiente com pressão maior, borbulha (entra) no interior da garrafa. O ciclo de aquecimento (escoamento) e resfriamento (borbulhamento) pode ser repetido até que toda a água da garrafa escorra. Finalmente, para verificar-se o efeito da proteção térmica, coloca-se cerca de 4 cm de areia fina na garrafa e repete-se o ensaio. Com a adição da areia, observa-se que durante o resfriamento as bolhas de ar entram em menor quantidade na garrafa.

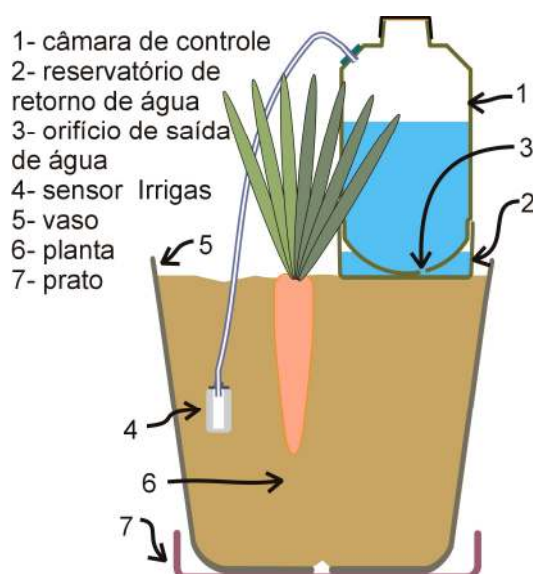


Figura 7.6- Regador automático com escoamento em reservatório de retorno de água.

16# Quais são os meios de proteção térmica dos regadores automáticos?

Os meios são: escoamento em areia, escoamento em um disco de cerâmica porosa, escoamento em reservatório de retorno de água, escoamento em junta ranhurada e escoamento através de válvula unidirecional.

17# Como se constrói um regador automático com escoamento em areia?

Para montar-se um regador do tipo ilustrado na figura 7.3 obtém-se a tampa e o mini sensor Irrigas. A seguir, faz-se pequenos orifícios no fundo da garrafa plástica com uma agulha grossa, coloca-se 4 cm de areia fina no fundo da garrafa, a mini cápsula porosa do Irrigas é umedecida, enche-se a garrafa de água. O mini sensor Irrigas é então conectado à tampa. Observa-se que a água deixa de escorrer alguns segundos após o fechamento. O regador automático com areia está pronto, o mini sensor Irrigas deve agora ser instalado no substrato próximo à planta e o regador ser acomodado sobre o vaso. Recarregue o regador sempre que a água estiver acabando.

18# Como é o regador automático de junta ranhurada?

É um regador cujo fundo do reservatório de água é um tubo ao qual se encaixa uma pequena tampa ranhurada, detalhe não apresentado. A tampa ranhurada, forma um gotejador cujos poros cheios de água impedem a entrada de bolhas de ar quando a temperatura diminui, causando redução da pressão do ar contido na câmara de controle. Periodicamente, a tampa ranhurada pode ser limpa para evitar entupimento com algas e outros resíduos que se acumulam neste regador transparente.

19# Como é um regador automático com escoamento em disco de cerâmica porosa?

É um regador cujo meio de escoamento é um disco de cerâmica na base da câmara de controle. O disco de cerâmica funciona como um gotejador limpável. Adicionalmente, impede o retorno de ar para a câmara de controle quando a temperatura diminui (Fig. 7.4 e 7.5).

Para usá-lo a primeira vez, o reservatório é cheio com água, o sensor Irrigas é molhado e a tampa é conectada ao topo do regador, fechando-o. Após isto, deixa-se a água gotejar por alguns instantes. A seguir, insere-se o sensor Irrigas no substrato, próximo à planta, e descansa-se o irrigador sobre o substrato do vaso, próximo à planta. O regador automático assim instalado é recarregado sempre que esvaziar.

20# Como se faz um regador automático com escoamento em reservatório de retorno de água?

Neste tipo de regador (Fig. 7.6), a entrada de ar através do sensor Irrigas empurra a água por meio de um orifício de saída (3) na base da câmara de controle e a água escoar por cima do reservatório de retorno (2). É importante que o reservatório de retorno se encaixe no corpo do regador, a câmara de controle, de modo que não haja a possibilidade de deposição de ovos de mosquitos. Quando a temperatura diminui, o volume de ar na câmara de controle diminui e parte da água contida no reservatório de retorno é succionada para a câmara de controle. Em suma, percebe-se que um regador automático com reservatório de retorno funciona de modo similar aos bebedouros para aves.

21# Os regadores automáticos podem estar incorporados aos vasos?

Sim. Veja-se por exemplo os modelos de regadores automáticos fabricados de cerâmica esquematizados na Figura 7.7. Este é um arranjo esteticamente agradável.

22# Como os regadores automáticos, podem ser acomodados longe do vaso? Como isto é feito?

Esta acomodação pode ser obtida utilizando-se de regadores com reservatório de retorno de água. Deste reservatório deriva-se água para o vaso através de um tubo. Assim, não se adiciona pressão hidrostática à câmara de

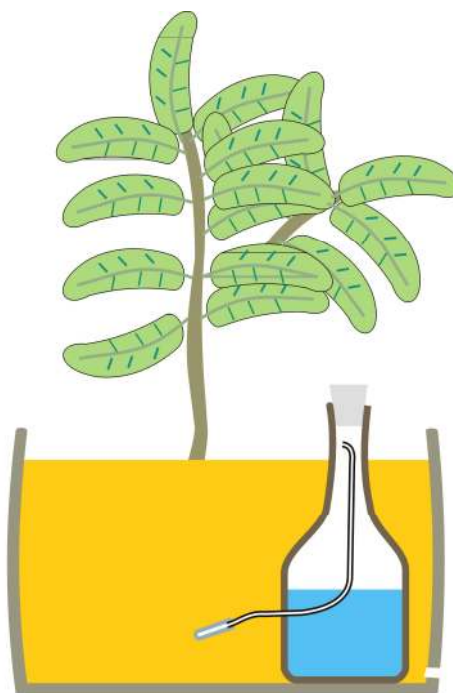


Figura 7.7- Regador automático com corpo de cerâmica bem porosa inserido no substrato do vaso.

controle do regador, porque o reservatório de retorno é aberto.

23# O sensor Irrigas pode ser incorporado ao corpo do regador automático?

O regador automático monobloco (Fig. 7.8) possui o sensor Irrigas e a proteção térmica incorporados. O sensor Irrigas colado na base da câmara de controle faz contato com a superfície do substrato de um lado, enquanto a água escoa através de discos de cerâmica porosa colados em orifícios largos do outro. A tensão da água na superfície da cerâmica impede o retorno de ar para a câmara de controle nas horas mais frias. Para usá-lo, adiciona-se água com cuidado para que não entre água na saída de ar do sensor Irrigas (2). Coloca-se o irrigador sobre o substrato do vaso, com a planta ao centro. E o mais importante, o sensor Irrigas (3) precisa ser bem apoiado sobre o substrato para entrar em equilíbrio de umidade.

Na figura 7.8 o sensor Irrigas é fixado lateralmente, na câmara de controle e a sua parte superior não entra em contato direto com o substrato. Desse modo a parte superior do Irrigas se mantém sempre limpa.

24# O regador monobloco com o Irrigas incorporado é vantajoso?

Como está ilustrado na figura 7.8 sob ponto de vista favorável trata-se de um sistema em que não requer a instalação do Irrigas. A desvantagem é ser um regador automático com um modo fixo de operação, o que limita a um usuário experiente a obtenção de um umedecimento mais adequado do vaso. O regador monobloco tende a manter um bulbo molhado pequeno, de modo que a aplicação de rega convencional periódica é indispensável para que o sistema radicular ocupe todo o vaso.

25# A evaporação direta da água na superfície da cápsula porosa (figuras 7.2 e 7.8) não afeta o funcionamento do sensor Irrigas?

Afeta muito pouco. A razão deste pequeno efeito é porque as cápsulas porosas dos sensores Irrigas utilizados em vasos são de baixa tensão crítica, usualmente 15 kPa ou menos. Estas cápsulas e o substratos umedecidos com tensão de água inferior a este valor conduzem água rapidamente e desse modo repõem as minúsculas quantidades de água evaporadas na superfície exposta do sensor Irrigas, sem causar substancial aumento na tensão da água no interior da cápsula porosa do Irrigas.

26# Por que ocorre entrada de água na cavidade da cápsula porosa dos regadores automáticos (de pressão negativa)?

Somente a água livre ou quase livre se movimenta no substrato de forma apreciável. Por exemplo, no substrato, próximo a um gotejador, a pressão da água pode ser positiva e a tensão de água em todo o bulbo molhado em formação tende a ser igual ou menor que a tensão da água na capacidade de campo. Assim, quando a água com

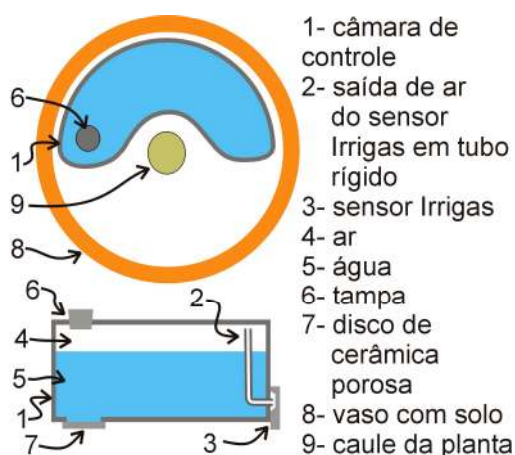


Figura 7.8- Vistas de topo e lateral de um regador automático monobloco, isto é, com o sensor Irrigas incorporado à câmara de controle.

tensão próxima a zero atinge o sensor Irrigas, então este umedece rapidamente. A seguir a água “livre” é succionada para a cavidade e para o interior do tubo do Irrigas por onde sobe até haver um equilíbrio hidrostático. Conforme o substrato seca a tensão da água aumenta e a água é succionada de volta contida na cápsula porosa do sensor Irrigas.

27# Os regadores automáticos (de pressão negativa) impregnam a superfície dos sensores Irrigas com impurezas?

Sim. O regador automático de pressão negativa pode succionar água para o interior do sensor Irrigas. Quando isto ocorre, então a cápsula suja por filtragem de água. Isto não é bom porque a obstrução dos poros causa um aumento nas tensões críticas T_d e T_s . Assim, a rega ocorre em tensões de água tanto mais elevadas quanto mais sujar as cápsulas porosas e, em consequência, ocorre estresse hídrico nas plantas caso o sensor não seja limpo ou substituído.

28# Um regador automático pode ser utilizado para irrigar diversos vasos?

Sim. Na figura 7.9 ilustra-se um vaso de referência com Irrigas ligado ao regador automático. O regador automático, deste exemplo, possui um reservatório de retorno e emissão de água através de gotejadores, colocados em nível, de modo que todos os vasos recebam irrigação igual a do vaso de referência. Por segurança, pode-se ligar a câmara de controle a mais de um sensor Irrigas, instalados em outros vasos de referência.

Neste sistema, a água que escoar da câmara de controle acumula-se no reservatório de retorno e quando o nível da água causa o enchimento do tubo do sifão, com diâmetro ao redor de 3 mm, e em consequência a água do reservatório de retorno é sifonada e ao mesmo tempo distribuída para cada um dos vasos. O sifão (8) é uma forma de assegurar pressão de água igual em todos os gotejadores conectados ao distribuidor (9).

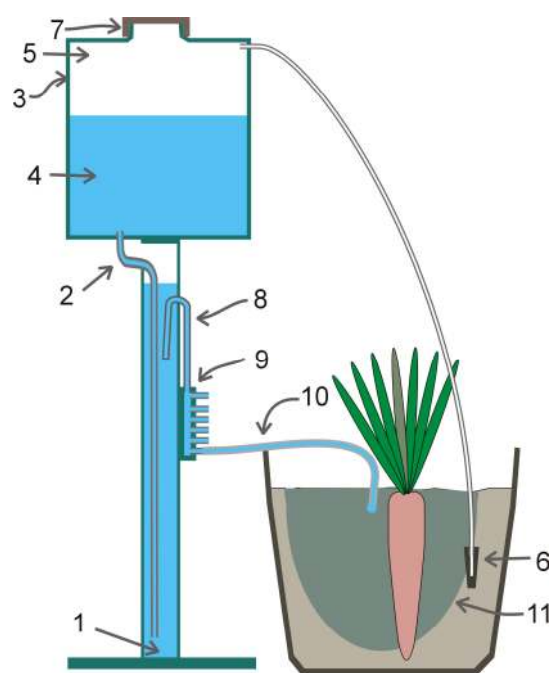
Observações:

#1- O diâmetro interno do tubo do sifão neste sistema não deve ser maior que 3 mm.

#2- Nesta aplicação é interessante o uso de gotejadores com haste de fixação.

29# Um regador automático pode regar um número indeterminado de vasos, com diferentes volumes?

É possível. Uma solução aproximada para este problema é colocar os vasos em nível e utilizar gotejadores com condutividades hidráulicas proporcionais ao presumido consumo de água dos vasos. Outra solução seria colocar os vasos em diferentes alturas, os vasos maiores mais abaixo e os menores mais acima. A noção envolvida é que o fluxo de água aumenta com a pressão. O gotejador para este uso seria do tipo fluxo viscoso, para ter fluxo de água



- 1- reservatório de retorno de água
- 2- tubo de saída e retorno de água
- 3- câmara de controle
- 4- água
- 5- ar
- 6- sensor Irrigas
- 7- tampa hermética
- 8- sifão
- 9- distribuidor
- 10- gotejador
- 11- borda do bulbo molhado

Figura 7.9- Regador automático com sifão inserido no reservatório de retorno de água para irrigar diversos vasos. O distribuidor na saída do sifão alimenta o escoamento de água através de gotejadores

proporcional à pressão de água aplicada.

30# Além do uso durante ausências, quais são outras aplicações para o sistema de rega para múltiplos vasos?

Pode ser utilizado para irrigar mudas canteiros (Fig. 7.10). Isto é possível porque o volume do bulbo molhado é determinado através das posições do emissor de água (gotejador) e da cápsula porosa do Irrigas. A máxima distância radial entre o emissor e o sensor Irrigas depende da profundidade na qual o sensor Irrigas foi instalado. O volume do bulbo úmido deve ser suficiente para irrigar as mudas até a profundidade normal das raízes das mudas.

SUMÁRIO

Uma variedade de tipos de regadores automáticos de recarga manual pode ser fabricado com o uso de sensores Irrigas. Nestes regadores automáticos, os fatores mais importantes para o funcionamento são a adequada instalação do sensor e o uso de um sistema para evitar que a água escoe para fora do regador quando a temperatura aumenta. Este sistema, que é colocado na base do regador automático é denominado “protetor térmico”.

Foram apresentados diversos modelos de regadores automáticos, alguns fáceis de preparar, outros mais sofisticados e destinados à manufatura industrial.

O principal uso do regadores automáticos sobre o vaso, embutido no substrato do vaso ou acomodado longe dos vasos é para auxiliar na rega dos vasos de plantas em ambiente doméstico.

ATIVADORES DE IRRIGAÇÃO

Adonai Gimenez Calbo & Washington L.C. Silva

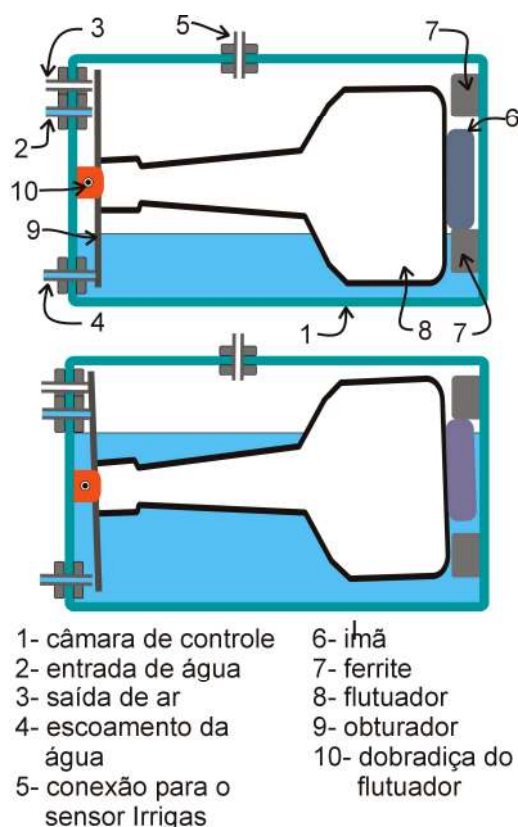


Figura 8.1- Ativador de irrigação horizontal de pressão negativa com ímã traseiro, em fase de enchimento no topo e em fase de rega na base.

Ativadores de irrigação são dispositivos com os quais se realiza a irrigação pontual de plantas em vasos, arbustos e árvores, utilizando-se apenas de uma fonte de água sob pressão (água encanada) e de sensores Irrigas. Funcionam sem o uso de energia elétrica ou de gás comprimido, como é comum em outros sistemas de irrigação com Irrigas.

Estes dispositivos aplicam água sempre que a tensão da mesma no substrato se torna superior à tensão (crítica) da água na cápsula porosa do sensor Irrigas.

1# Como funcionam os ativadores de irrigação Irrigas?

O funcionamento dos ativadores de irrigação é cíclico e envolve fases de carga e de rega (descarga), usualmente não simultâneas. Assim, no ativador de irrigação de pressão negativa da figura 8.1, na fase de enchimento o sistema de flutuador ímãs e ferrites fecha a saída inferior de água e deixa aberta a entrada de água e o tubo de alívio de pressão do ar, no topo. Depois de suficientemente “cheia” a câmara de controle, o flutuador solta-se do ímã inferior, sobe e atraca-se ao ímã superior. Assim, os tubos de entrada e de alívio são fechados e, então, a água passa a escoar no tubo inferior, à medida que o ar atravessa o sensor Irrigas. Caso o substrato esteja úmido, o sistema é pressurizado e a água não escoar.

Nos ativadores de irrigação de pressão positiva as fases de carga e rega são invertidas conforme é descrito ao final deste capítulo.

8.1- Ativadores de irrigação de pressão negativa

2# Quais são os tipos de ativadores de irrigação com ímã de pressão negativa?

De acordo com a disposição dos tubos de entrada e saída de água há **ativadores horizontais** (Fig. 8.2), com a entrada e a saída de água na frente do aparelho, e **ativadores verticais** (Fig. 8.4), nos quais o flutuador não é preso a um eixo.

Nos dois tipos, os flutuadores atuam abrindo e fechando tubos extravasores (aberturas) superiores e inferiores com um sistema de ferrites e ímãs.

3# Como funcionam os ativadores de irrigação

horizontais? Quais foram os modelos desenvolvidos?

Os ativadores de irrigação possuem pontos de atracação de imã/ferrite tanto para fechamento dos tubos extravasores superiores quanto para o fechamento do tubo extravasor inferior. Na figura 8.1 ilustra-se um ativador de irrigação com um imã traseiro entre dois ferrites (7). Quando o atracamento inferior ocorre a água entra pelo tubo 2 e acontece o alívio de pressão de ar pelo tubo 3. O enchimento ocorre até que seja atingido o nível máximo de água. Nesta situação, o flutuador forçado pelo empuxo da água sobe e se atraca ao ferrite superior, causando o fechamento dos tubos 2 e 3, e a água passa a escoar na base, pelo tubo 4, à medida que o ar permeia o sensor Irrigas e entra pelo orifício 5. O escoamento da água pelo tubo inferior (4) ocorre até que seja atingido o nível mínimo, quando o empuxo insuficiente possibilita a queda do flutuador que se atraca ao imã inferior.

Outros tipos de ativadores de irrigação horizontais que funcionam adequadamente são os ativadores de irrigação com imã frontal (Fig. 8.2 e 8.3) que contém todos os componentes funcionais agrupados na tampa, que é encaixada ou colada para formar a câmara de controle (1). O funcionamento é do mesmo tipo.

4# Há riscos de que fiquem abertas a entrada e a saída da água nos ativadores de irrigação com imã?

Estes ativadores de irrigação negativa devem possuir apenas duas posições estáveis: primeiro aberto para entrada de água e fechado para escoamento, e segundo, fechado para entrada de água e aberto para escoamento. Se o flutuador eventualmente flutuar solto entre os dois ferrites sem se atracar a nenhum deles, então o sistema deixa de funcionar, visto que nesta posição ocorre ao mesmo tempo a entrada e o escoamento de água, independentemente da permeabilidade do sensor Irrigas.

Este risco de mal funcionamento é superado utilizando-se folgas mínimas e dimensionamento adequado dos componentes.

5# Como funciona o ativador de irrigação vertical com imãs no topo e na base?

Na figura 8.4 vê-se que este ativador de irrigação tem dois tubos extravasores superiores no topo e somente um tubo extravasor na base. O flutuador atraca-se ao imã superior e fecha o tubo de entrada de água e o tubo de alívio da pressão de ar até que a câmara se esvazie. Ao atingir o nível mínimo, o flutuador cai e se atraca ao imã inferior, fechando o escoamento de água e abrindo os tubos superiores para enchimento. Nestes ativadores, para que não ocorra a saída de gotas de água juntamente com o ar através do tubo de alívio de ar, o desenho da borracha de vedação superior precisar ser em cone. Alternativamente, usa-se um tubo de alívio de pressão como substituição ao tubo de saída de ar (Fig. 8.5), que também impede o

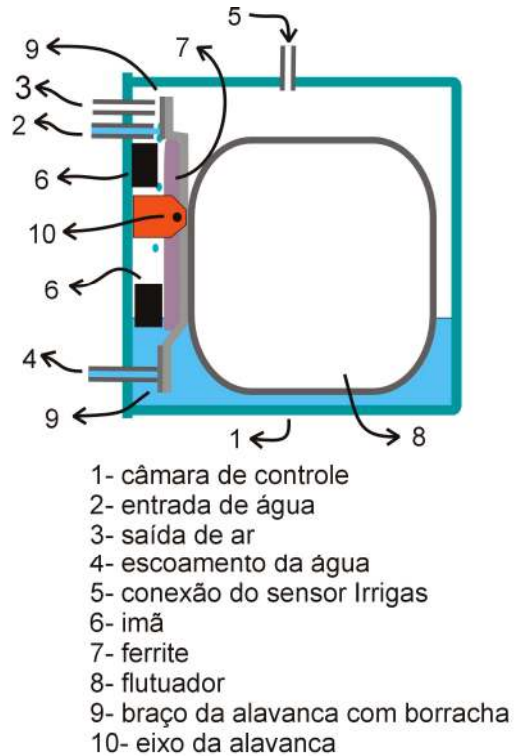


Figura 8.2- Ativador de irrigação de pressão negativa horizontal com imã frontal.

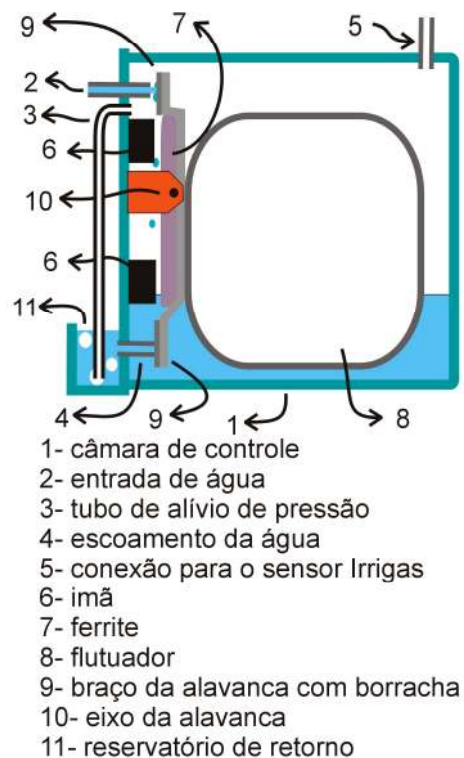


Figura 8.3- Ativador de irrigação de pressão negativa horizontal com imã frontal e tubo de alívio de pressão.

aumento de pressão porque o ar escapa pelo tubo de alívio no reservatório de retorno de água, no fundo (9).

6# Como é construído o ativador de irrigação de válvula magnética?

Este ativador de irrigação vertical é construído com um ímã na base de um flutuador (Fig. 8.6). O escoamento da água ocorre através dos orifícios 10 e 11. A entrada da água sob pressão é feita através da válvula magnética, que se abre quando o nível da água diminui e o ímã se mantém atracado ao ferrite 3 da base da câmara. Com o flutuador suspenso, como está ilustrado, a água não entra no ativador e o escoamento da água (11) é controlado pelo ar que permeia o sensor Irrigas e que entra na câmara de controle através do tubo 6. O alívio de pressão, enquanto a água entra rapidamente na câmara de controle, ocorre por expulsão de ar através do tubo de alívio imerso (8) na base do reservatório de retorno de água (9). Logo que o empuxo levanta o flutuador superior, a entrada de água na câmara de controle é fechada (9) e a pressão na câmara de controle diminui rapidamente, conforme se nota pela elevação do nível da água no tubo de alívio (8).

O tubo de alívio de pressão gasosa (8) neste modelo pode ser substituído por uma válvula unidirecional, caso haja interesse de miniaturizar o sistema.

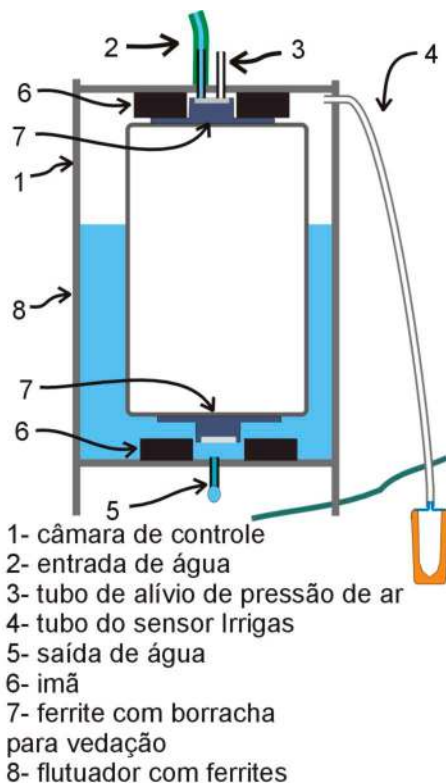


Figura 8.4- Ativador de irrigação de pressão negativa vertical.

7# Seria vantajosa a construção horizontal do ativador de irrigação de válvula magnética?

Conforme se vê na figura 8.7, o ativador horizontal de válvula magnética seria igualmente confiável, de menor altura e estruturalmente mais simples.

8# A dificuldade de alinhar os dois tubos superiores pode ser eliminada substituindo o tubo extravasor de ar por uma válvula unidirecional, ou por um tubo de alívio de pressão?

Sim. No caso de se utilizar válvula unidirecional esta deve ser colocada na parte superior, de modo que deixe escapar ar sempre que a entrada de água sob pressão na câmara de controle torne a pressão interna maior que a pressão ambiente. Porém, como é difícil de se obter válvula unidirecional suficientemente confiável, as vezes prefere-se usar um tubo de alívio em um reservatório de retorno de água acoplado, como ilustrados nas figuras 8.3 e 8.5.

O fato de se utilizar apenas um tubo no topo torna a vedação muito mais fácil, visto que dispensa um alinhamento de dois tubos e duas borrachas de vedação que precisam ser fechadas simultaneamente. Adicionalmente, o reservatório de retorno de água é um

mecanismo de proteção térmica, para evitar o escorrimento de água, que é causado pelas variações da temperatura.

9# Os ativadores de irrigação de pressão negativa sujam os sensores Irrigas?

Sim. Porém para o problema de sujar o sensor Irrigas há algumas soluções eficazes como:

- a- Sensor Irrigas parcialmente inserido através de um furo lateral na base do vaso.
- b- Uso de sensores Irrigas bifaciais que não se impregnam com partículas de substrato e que por consequência não perdem desempenho por longo tempo.

10# Qual é o melhor modelo de ativador de irrigação de pressão negativa?

Dentre os ativadores de irrigação de pressão negativa dois modelos são particularmente interessantes:

- a- O ativador de irrigação horizontal com imã frontal (Fig. 8.2) é interessante porque é um modelo de fabricação simples. A razão disto é que os componentes funcionais estão fixados na tampa frontal.
- b- O ativador de válvula magnética (Fig. 8.6) porque é fácil de construir. A vazão com a qual a água no reservatório de retorno é ajustada de acordo com a altura do orifício de escoamento (11).

8.2- Ativadores de irrigação de pressão positiva

11# O que são os ativadores de irrigação de pressão positiva?

São ativadores de irrigação (Fig. 8.8) nos quais o aumento da pressão de ar em uma câmara de controle bloqueia a entrada de água sob pressão ajustada, para o seu interior, enquanto o substrato está úmido e o sensor Irrigas impermeável ao ar. Nestes ativadores o escoamento da água da câmara de controle para o substrato tem sido efetuada pelo menos de duas formas: através de um sifão; através da elevação de um flutuador com ferrite, que abre a passagem através de um tubo extravasor.

12# Qual a principal característica dos ativadores de irrigação pressão positiva?

Nos ativadores de irrigação de pressão positiva o ar forçado para fora “limpa” a superfície externa da cápsula porosa do Irrigas. Ao contrário, nos ativadores de irrigação e regadores de pressão negativa a sucção da solução do substrato através da cápsula porosa “suja” a superfície do sensor Irrigas e aumenta a sua tensão crítica.

13# Como funciona o ativador de sifão?

O ativador de irrigação de pressão positiva com sifão (Fig. 8.8) é um dispositivo no qual a entrada de água,

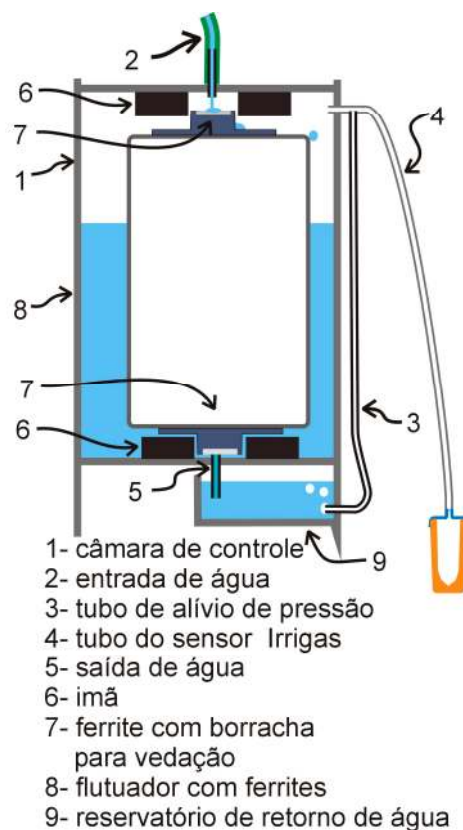


Figura 8.5- Ativador de irrigação de pressão negativa vertical, com reservatório de retorno e tubo de alívio de pressão.

de uma fonte com pressão ajustada com flutuador ou outro mecanismo (5), é modulada pelo sensor Irrigas (ligado à saída 7), de acordo com a pressão do ar na câmara de controle com sifão. Quando o substrato está “seco”, a pressão na câmara de controle é dissipada através do sensor Irrigas e, em consequência, a água entra na câmara de controle, até que ocorra o sifonamento. Quando o substrato volta a umedecer, então o sensor Irrigas torna-se novamente impermeável ao ar, e a câmara de controle é pressurizada novamente e bloqueia a entrada de água.

14# Qual a função do tubo com diâmetro alargado na saída do sifão no ativador de irrigação de sifão ?

É para retirar (puxar) a água do sifão até que fique livre de gotas de água que o tubo alargado (10) é fixado em posição quase horizontal.

15# Como pode ser feita a base do ativador de irrigação de sifão?

O modo mais comum é a ponta alongada inserida no substrato que mantém o ativador em pé. Alternativamente, a base pode ser um disco poroso que é colocado ao lado da planta.

16# Por que o ativador de irrigação de pressão positiva com imã (Fig. 8.9) pode ter altura menor?

A saída do ativador de irrigação de pressão positiva com imã se mantém fechada até que se acumule uma quantidade de água suficiente para levantar o flutuador, desatracando o imã do ferrite. Desta forma, a câmara de controle pode ter altura apenas suficiente para acomodar um flutuador, ferrite, imã e o tubo extravasor.

17# O ativador de irrigação de pressão positiva com imã serve para que se ajuste qualquer tensão de água no substrato dos vasos?

Sim. Considerando-se as variações de tensão crítica entre as cápsulas, em geral é seguro empregar pressão de água na entrada entre 0 e 1/2 da pressão de borbulhamento das cápsulas empregadas. A tensão da água ajustada no vaso então será dada por: $T = T_d - p$, onde T é a tensão da água no substrato, ajustada no vaso, p é a pressão de entrada da água no ativador de irrigação de pressão positiva com imã e T_d é a tensão crítica de dessorção (secagem) da cápsula porosa do Irrigas.

18# Como se faria a proteção térmica em ativadores de irrigação de pressão positiva de sifão?

Nos ativadores de irrigação de pressão positiva a proteção térmica pode ser feita com uma válvula unidirecional na entrada da água.

19# Como é determinada a pressão no interior de um ativador de irrigação de pressão positiva de sifão?

A pressão no ativador de irrigação é usualmente menor ou igual à pressão com que a água entra na câmara

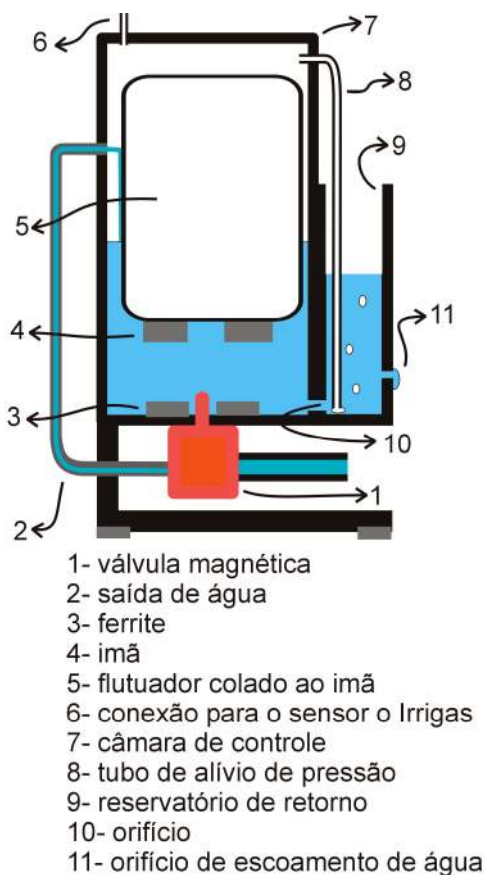


Figura 8.6- Ativador de irrigação hidráulico vertical de pressão negativa de válvula magnética e com tubo de alívio de pressão em reservatório de retorno de água.

de controle. Assim, caso a pressão na entrada for de 200 mm de coluna de água (2 kPa), então esta é pressão de trabalho, que impede a entrada de água na câmara de controle. Como esta pressão é suportada no sifão de controle (7), então, recomenda-se que o tubo do sifão tenha uma altura, contada a partir da entrada de ar na câmara de controle, de pelo menos 50 % maior que a pressão de trabalho. Este fator de segurança é para acomodar as variações na pressão de trabalho e a perda de pressão causada pela permanência de segmentos com água aderida no sifão após o sifonamento.

Além desses detalhes, a pressão máxima de trabalho de um regador deste tipo depende da tensão crítica do sensor Irrigas. Um sensor Irrigas de 10 kPa, por exemplo, no máximo, suportaria uma coluna de água 1 metro e por segurança tem-se usado com pressurização de no máximo 50 % da tensão crítica do Irrigas.

Outro efeito técnico importante da pressurização do ar que se deve ter em mente é a diminuição da tensão de água em que ocorre a irrigação, de acordo com a expressão $T=T_d-p$, onde T_d é a tensão crítica de desorção da cápsula porosa do Irrigas.

20# Qual o volume e a altura da saída de água do sifão neste ativador?

A saída do sifão deve localizar-se cerca de 5 cm abaixo do tubo de entrada de ar.

O volume de água a cada sifonamento é determinante para certas aplicações. Para pequenos vasos, por exemplo, cada sifonamento deve ser de volume menor que 5 ml de água, para diminuir o risco de encharcar o substrato do vaso.

21# A temperatura ambiente influi no funcionamento dos ativadores de irrigação de pressão positiva?

Nos regadores de pressão positiva o volume de ar pressurizado na câmara de controle é usualmente pequeno, e esta pressurização, igual à coluna de água do reservatório superior, ocorre sempre que o substrato próximo ao sensor Irrigas esteja úmido. Nesta situação, se a temperatura aumentar, então o ar na câmara de controle se expande e pode vazar para o reservatório superior onde borbulha. A seguir, a água escoar inutilmente para a câmara de controle quando a temperatura diminui.

22# Qual a vantagem de se utilizar uma válvula unidirecional ao invés do tubo de entrada de ar nos ativadores de pressão positiva?

A válvula unidirecional é um componente um pouco mais oneroso e mais sujeito a falhas do que o tubo de entrada de ar. A válvula unidirecional no entanto favorece a miniaturização. Os irrigadores de pressão positiva com imã e válvula unidirecional podem ser pequenos e operados com pressão de entrada de água elevada, o que exigiria um tubo de saída de ar com um ou mais metros de altura. Na irrigação de vasos em casas de vegetação e em jardins, o

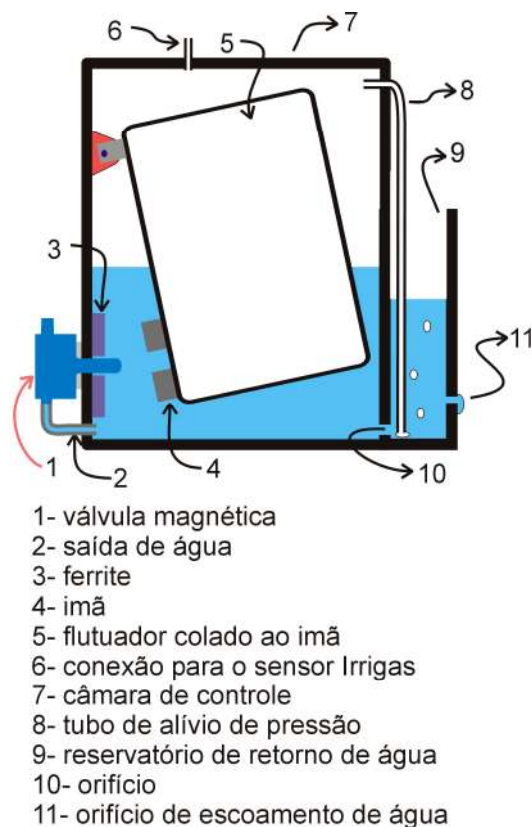


Figura 8.7- Ativador de irrigação hidráulico vertical de pressão negativa de válvula magnética e com tubo de alívio de pressão em reservatório de retorno de água.

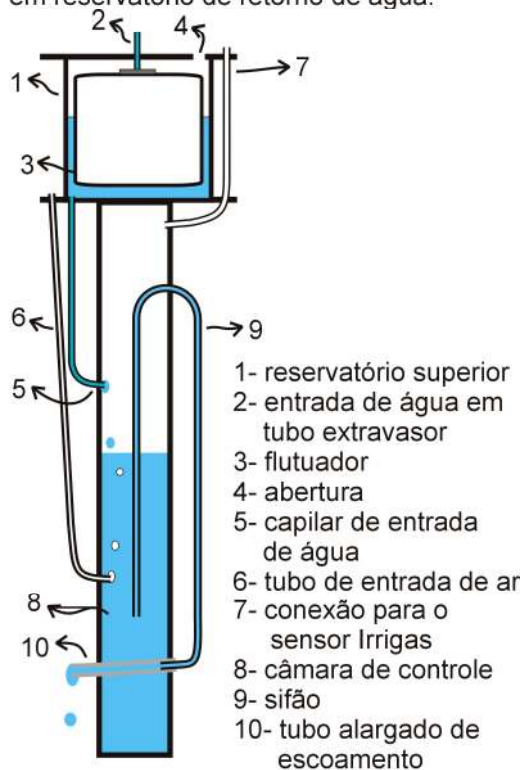


Figura 8.8- Esquema de um ativador de irrigação de pressão positiva de sifão alimentado por água sob pressão.

uso de pressão de entrada elevada (>1 m de coluna de água) pode ser útil.

23# Qual o limite da miniaturização nos regadores automáticos de pressão positiva com sifão (Fig. 8.9)?

Em primeiro lugar, os tubos empregados no sistema, devem ter diâmetro interno entre 2 e 34 mm para que a possibilidade de entupimento seja negligível. Segundo, a altura do sifão deve ser cerca de duas vezes à altura de coluna de água entre o nível da entrada de água na câmara de controle e a superfície da água no reservatório superior. Há também três diferenças de nível necessárias: o tubo do Irrigas (4) no alto da câmara de controle, deve localizar-se a pelo menos 30 mm acima do topo do sifão; o tubo de entrada de ar para o esvaziamento do sifão deve ser posicionado a pelo menos 10 mm acima da entrada de água no tubo do sifão; e a saída de água do sifão deve ser posicionada pelo menos 30 mm abaixo do tubo de entrada de ar (3) na câmara de controle. Somando-se estas alturas indispensáveis percebe-se que é difícil construir ativadores de irrigação de sifão com altura menor do que 15 cm.

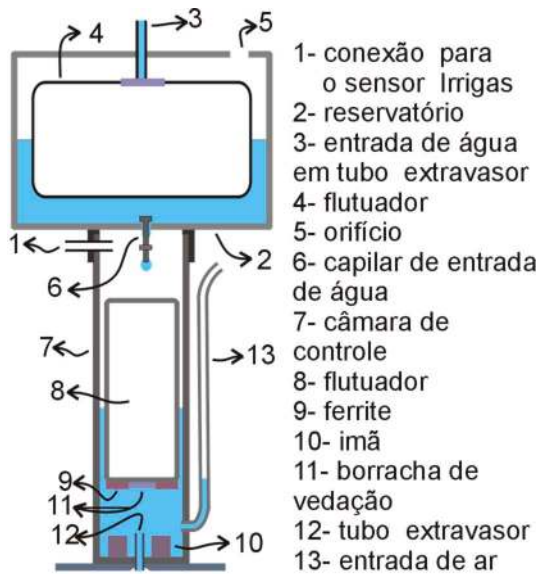


Figura 8.9- Esquema de um ativador de irrigação de pressão positiva de ímã, alimentado por água sob pressão.

24# Os ativadores de irrigação de pressão positiva são tão confiáveis quanto os ativadores de pressão negativa?

Alguns ativadores de irrigação de pressão positiva podem ser designados para funcionar com alta confiabilidade, por exemplo os de ímã. Porém, por enquanto os protótipos de ativadores de irrigação de pressão negativa ainda são os mais confiáveis.

25# Qual a vantagem dos ativadores de irrigação de pressão negativa sobre os de pressão positiva?

Os ativadores de irrigação de pressão negativa com ímã podem ser alimentados diretamente com água sob pressão (encanada), enquanto os ativadores de irrigação de pressão positiva com sifão e com ímã requerem o uso de sistema de regulação da pressão de água na entrada.

SUMÁRIO

Os ativadores de irrigação são dispositivos alimentados com água sob pressão (encanada), automáticos, que não requerem fonte externa de energia e que irrigam quando a tensão de água supera a tensão de água crítica do sensor Irrigas.

Os ativadores de irrigação podem reter o escoamento de água aumentando a pressão do ar na câmara de controle nos sistemas de pressão positiva ou reduzindo a pressão na câmara de controle nos sistemas de pressão negativa. Os modelos de ativadores de irrigação de pressão negativa funcionam de modo similar aos regadores automáticos e apresentam desempenho correto e confiável. Tanto os ativadores de irrigação de pressão negativa quanto os de pressão positiva podem ser substancialmente miniaturizados.

AUTOMATIZAÇÃO COM ATIVADORES

Adonai Gimenez Calbo & Washington L.C. Silva

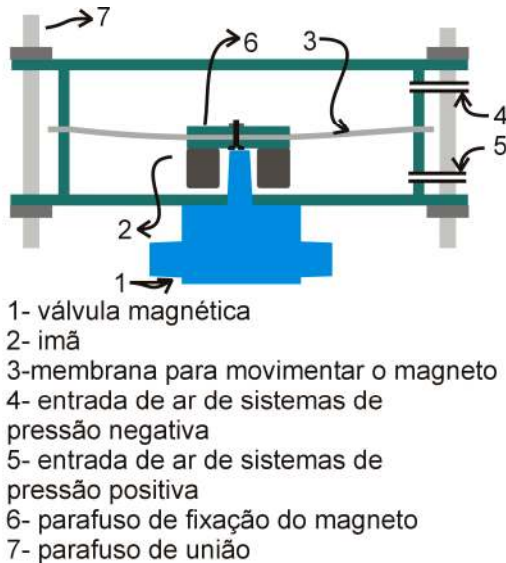


Figura 9.1- Válvula magnética para manejo de irrigação com ativadores de irrigação de pressão positiva ou de pressão negativa.

Os ativadores de irrigação permanecem pressurizados com ar, enquanto a água do solo se mantém com tensão de água menor que a tensão crítica do sensor Irrigas. Evidentemente que esta pressurização pode ser utilizada para automatizar irrigação sem o uso de energia elétrica. Assim, com acessórios apropriados os ativadores de irrigação podem ser utilizados para disparar a aplicação de água, provendo vazão e pressão de água apropriadas à aplicação que se tenha em vista. Diferentes alternativas de automação a partir da resposta dos sensores Irrigas são descritas neste capítulo, onde se introduz o uso conjunto de ativadores de irrigação acoplados a válvulas magnéticas e outros acessórios.

1# Um único ativador de irrigação pode ser utilizado para irrigar vários vasos?

Sim. O ativador de irrigação é mais apropriado para irrigar vários vasos do que um regador automático porque é alimentado com água pressurizada. O sistema mais adequado é utilizar a pressurização no ativador de irrigação para ativar uma válvula magnética que abre a passagem de água para gotejadores colocados em cada vaso.

O ativador de irrigação também pode utilizar um reservatório de retorno de água e um sifão para igualar a pressão de água aplicada a diferentes vasos, como já foi descrito para os regadores automáticos comuns. Esta solução simples, no entanto, é de qualidade inferior.

2# Como um ativador de irrigação pode ser utilizado para o manejo automático da irrigação de cultivos?

A despressurização em ativadores de pressão positiva ou negativa pode acionar a irrigação através de atuadores pneumáticos, como os conjuntos pressostato/válvula solenóide, pressostato/relê ou de uma válvula pressostática mecânica, como a válvula pressostática magnética.

3# Como construir uma válvula pressostática magnética?

Uma válvula pressostática magnética experimental pode ser montada com dois segmentos de tubo de PVC com diâmetro 100 mm e altura de 30 mm, uma válvula solenóide de máquina de lavar roupas, um ímã, uma lâmina de borracha, alguns parafusos, cola de PVC e pedaços de tubo flexível com diâmetro de 5mm. As partes mencionadas podem ser coladas e parafusadas de modo a produzir uma

válvula semelhante à que se ilustra na figura 9.1.

Nota-se que foram colocadas duas conexões para ar, uma na câmara superior e outra na câmara inferior. Liga-se uma bifurcação à entrada de ar inferior, quando a válvula magnética vai ser modulada por um ativador de irrigação de pressão positiva. A bifurcação é ligada de um lado ao sensor Irrigas, e de outro ao ativador de irrigação de pressão positiva. Enquanto o solo estiver “úmido”, a válvula mantém pressurizada, isto é, com o ímã levantado, posição que fecha a passagem de água através da válvula magnética. Quando o solo “seca”, o sensor Irrigas torna-se permeável, ocorre a depressurização, o ímã desce e a irrigação é iniciada.

Observação: a válvula magnética é adequada para irrigação com regadores automáticos de pressão positiva ou negativa, alimentados pela mesma fonte de água pressurizada utilizada para a irrigação.

4# Como automatizar a irrigação, sem energia elétrica, com um ativador de irrigação de pressão negativa?

Para automatizar a irrigação com um ativador de irrigação de pressão negativa (Fig. 9.1), observa-se que na válvula magnética há dois tubos, dos quais um permanece aberto para o ar e o outro é ligado ao sensor Irrigas. A entrada do sensor Irrigas do ativador de irrigação de pressão negativa é ligada por uma bifurcação ao tubo superior da válvula magnética de um lado, e ao sensor Irrigas do outro. Com a irrigação, o sensor Irrigas é umedecido e se torna impermeável, fazendo com que a pressão diminua, o que causa o afastamento entre o ímã e a válvula. Desse modo, a válvula fecha a passagem de água e termina a irrigação.

5# Como é ajustada a pressão do ativador de irrigação de pressão negativa, para a automação com válvula pressostática magnética?

Na ilustração de um ativador de irrigação de pressão negativa vertical com ímã (Fig. 9.2), marca-se a altura H entre a superfície da água e a saída no tubo de escoamento, marca-se também a altura máxima (H_{max}) na câmara logo após o seu enchimento e a altura mínima (H_{min}) antes do flutuador se soltar do ímã superior para se atracar ao ímã inferior. H_{min} deve ser suficiente para pressurizar a válvula pressostática magnética.

O dimensionamento das pressões de trabalho depende das características da válvula pressostática. É o caso, por exemplo, quando a válvula pressostática se fecha com uma tensão maior que 1,0 kPa (10 cm de coluna de água) e se abra com tensão menor 0,8 kPa (8 cm de coluna de água). Nesta situação, o valor mínimo de tensão de ar para fechar a irrigação é 10 cm (1,0 kPa). Por segurança, lembrando que o acionamento da válvula envolve variação de volume e de pressão, pode-se utilizar um valor de 15 cm (1,5 kPa) para se ter certeza que a válvula vai fechar em

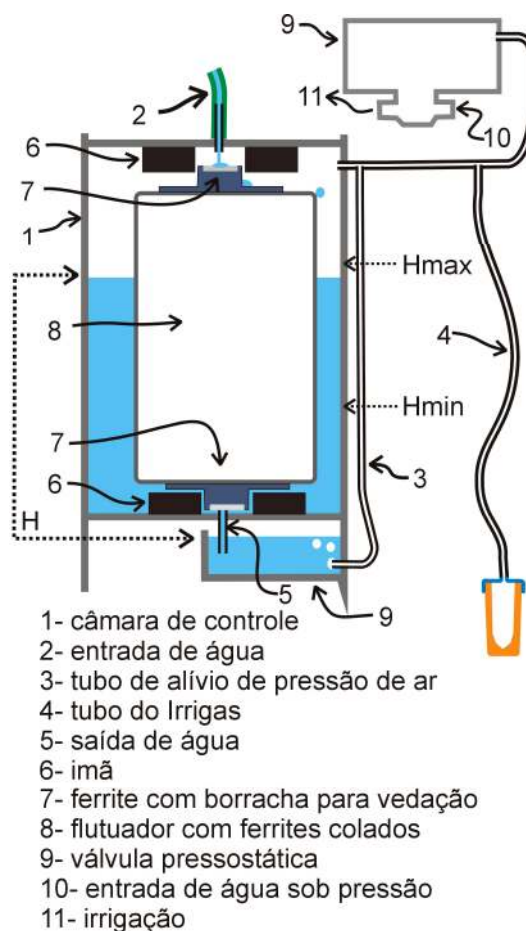
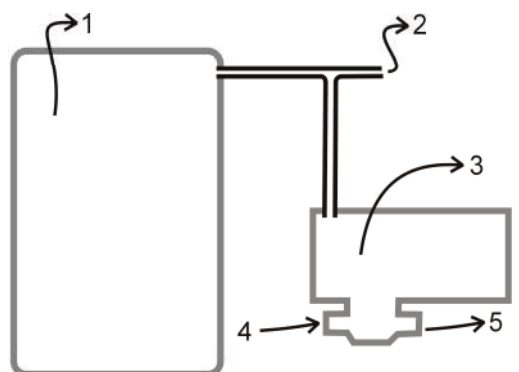


Figura 9.2- Detalhes para o acoplamento de uma válvula magnética para o manejo de irrigação com um ativador de irrigação de pressão negativa.

solo úmido. Isto determina o parâmetro Hmin do ativador de irrigação de pressão negativa, que portanto será de 15 cm. O valor de Hmin pode ser ajustado de acordo com o comprimento do tubo de escoamento (Fig. 8.6).



- 1- ativador de irrigação de pressão positiva
- 2- tubo de saída para o Irrigas
- 3- válvula magnética
- 4- água sob pressão
- 5- irrigação automática sem eletricidade

Figura 9.3- Arranjo para fazer manejo de irrigação com uma válvula magnética acoplada a um ativador de irrigação.

6# Como aproveitar a pressurização do sensor Irrigas para automatizar a Irrigação?

Para a irrigação localizada de vasos e arbustos, individuais por gotejamento sem uso de eletricidade, pode-se utilizar os ativadores de irrigação com água sob pressão. A irrigação será feita automaticamente sempre que a tensão da água no solo superar o valor especificado do(s) sensor(es) Irrigas utilizado(s).

O esquema da figura 9.3 é utilizado para automação sem eletricidade. Os ativadores de irrigação funcionam como compressores de ar, aumentando e diminuindo a pressão conforme o solo “seca” e “umedece”. Com os ativadores de irrigação, a água sob pressão, uma válvula pressostática magnética e o sensor Irrigas, pode-se acionar a irrigação automatizada por gotejamento, aspersão ou microaspersão.

A irrigação é efetuada durante o período de carga dos ativadores de irrigação. Desse modo, a velocidade de enchimento do ativador de irrigação é a variável que precisa ser dimensionada de acordo com a aplicação que se tenha em vista. Por exemplo, o tempo de enchimento poderia ser ajustado em 30 min.

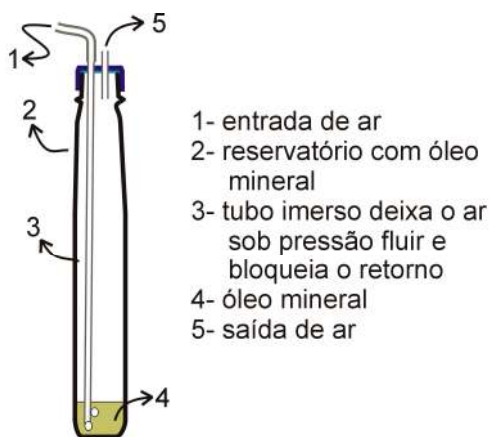


Figura 9.4- Válvula unidirecional confiável para aplicação como tubo de entrada de ar em ativadores de irrigação

9.1- Válvulas pressostatos e controle de irrigação

7# Quais são os usos e como se constrói uma válvula pressostática magnética?

Uma válvula pressostática magnética é útil pelo menos para acionamento pneumático da irrigação (Fig. 91) usando ar comprimido em situações em que é preferível, ou não é possível, utilizar energia elétrica.

Para a construção, remove-se da válvula solenóide o próprio solenóide, nome dado ao enrolamento de fio elétrico ou bobina, que é um eletro-ímã. A seguir escolhe-se um ímã permanente, que ao se aproximar do ferrite da válvula, consiga comprimir a mola interna de modo a causar a abertura da válvula, para a passagem da água. Para conferir que a válvula se abre quando o ímã é aproximado, liga-se a rede de água ou simplesmente insufla-se ar através da válvula no lado de aplicar pressão e observa-se que nesta condição abre-se o fluxo do fluido.

Neste protótipo os componentes são dois anéis de PVC com diâmetro 100 mm e altura de 30 mm, placas de PVC, na mencionada válvula pressostática magnética, o ímã permanente, uma lâmina de borracha, alguns parafusos, cola de PVC e pedaços de tubo de PVC flexível de 5 mm.

Estas partes são coladas, parafusadas e encaixadas de modo a produzir a válvula esquematizada nas figura 9.1.

8# Que pressão é necessária para abrir e para fechar um pressostato?

Depende do pressostato. Há pressostatos mecânicos e eletrônicos, sendo que alguns possuem um ajuste da pressão de acionamento. Em um pressostato mecânico simples, de membrana, como o ilustrado na figura 9.1, a sensibilidade depende do diâmetro da câmara e do peso do ímã empregado, quando houver. Quanto maior for a sua área de seção transversal, maior será a sensibilidade. Pressostatos comuns de máquina de lavar roupas, tipicamente desligam o circuito elétrico em pressão da ordem de 3,5 kPa e ligam novamente com pressão menor, da ordem de 1,0 kPa. A válvula magnética descrita neste capítulo desliga a irrigação quando a diferença de pressão torna-se maior que 1,0 kPa e volta a ligar quando a diferença de pressão torna-se menor que 0,8 kPa.

9# Como obter uma boa válvula unidirecional para ar?

Há no mercado vários tipos de válvulas unidirecionais para ar. No entanto, a maioria não é adequada para operar em baixa frequência e sob pequenas pressões de ar.

Nas figuras 8.11, 9.4, 9.5 e 9.6 encontram-se esquemas de algumas válvulas unidirecionais simples para ar que funcionam nessas condições. A mais simples consiste (Fig. 9.4) de um tubo de ensaio longo, com tampa, tubos e um pouco de óleo mineral, onde o tubo de entrada é imerso. Uma segunda (Fig. 9.5) tem mola para assegurar a vedação, quando a pressão na saída torna-se igual ou menor que a pressão na entrada. Uma terceira é uma válvula (Fig. 9.6) em que a câmara superior contém uma pequena lâmina de óleo, cujo peso assegura vedação sempre que a pressão de entrada se torna igual ou menor que a pressão na saída. Nessas válvulas, o ar flui quando a pressão de entrada se torna um pouco maior do que a pressão de saída. Para que o fluxo ocorra, tipicamente, a pressão de entrada deve ser pelo menos 0,3 kPa maior que a pressão na saída.

10# Qual a diferença do uso de válvulas pressostáticas com compressores de ar e com ativadores?

Os ativadores de irrigação, de certa forma são compressores hidráulicos de ar de baixo fluxo. Para automação, as diferenças básicas entre os mini compressores elétricos e os ativadores de irrigação são o fluxo de ar e a frequência de bombeamento.

Os ativadores de irrigação pressurizam ou não de acordo com a permeabilidade do sensor Irrigas. Sua pressão depende da coluna de água interna e o volume de ar que pode ser movimentado depende do volume da câmara de controle. Os mini compressores elétricos, por outro lado, são pressurizados em frações de segundo de

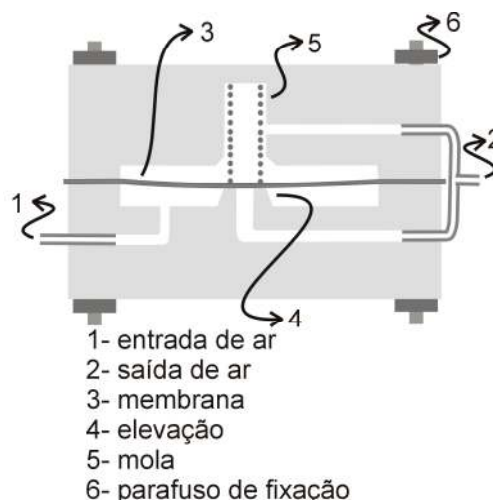


Figura 9.5- Válvula pressostática diferencial de mola adaptada para funcionar como válvula unidirecional.

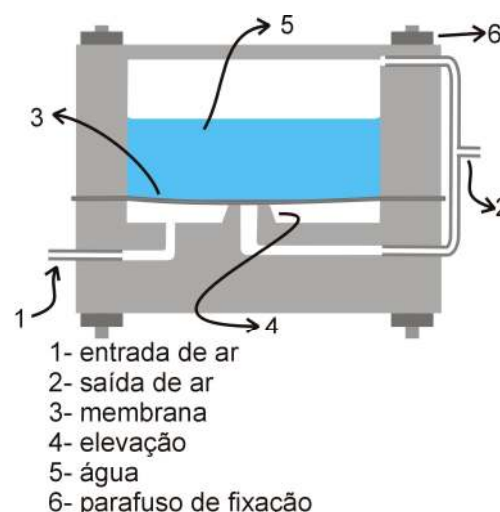


Figura 9.6- Válvula pressostática diferencial de coluna de água adaptada para funcionar como válvula unidirecional.

acordo com a frequência da corrente alternada (AC) ou de acordo com a rotação de motores de corrente contínua (DC).

11# Que fatores devem ser considerados para usar um ativador de irrigação de pressão negativa com a válvula pressostática?

São dois os fatores principais: O primeiro é o volume de água contido no ativador, entre o nível máximo e o mínimo. Esta diferença de nível corresponde a um volume que deve ser algumas vezes superior à variação de volume de ar necessário para o acionamento da válvula pressostática magnética; O segundo fator é que o ativador forneça ar sob tensão suficiente para desligar a válvula pressostática, enquanto o sensor Irrigas estiver em solo úmido. Esta segunda condição é bem fácil de ser atingida nestes ativadores de irrigação de pressão negativa, visto que o ajuste da pressão é obtido através da determinação do nível da saída de água (Fig. 9.3).

12# Somente se descreveu automação com válvula magnética utilizando-se ativadores de irrigação de pressão negativa. É possível fazer isto também com ativadores de irrigação de pressão positiva?

Sim, porém não com a mesma simplicidade dos sistemas descritos com ativadores de irrigação de pressão negativa. A razão da dificuldade um pouco maior para utilizar os ativadores de irrigação de pressão positiva é que na fase de carga nesses ativadores de irrigação a pressão de ar só precisa se tornar um pouco mais baixa do que a pressão de entrada da água. Diferentemente do que ocorre com os ativadores de irrigação de pressão negativa (N), nos quais a pressão passa de valor negativo N para zero ou de N para $-2xN$.

SUMÁRIO

A ação de ativadores de irrigação, que foram inicialmente desenvolvidos para controle automático e pontual de irrigação, pode ser estendida para controle automático de irrigação de áreas maiores, com o acionamento, por exemplo de válvulas pressostáticas magnéticas que abram a passagem de água com vazão e com pressão adequadas à aplicação que se tenha em vista.

Nestes usos, a câmara de controle do ativador de irrigação é conectada por uma bifurcação de um lado a uma válvula pressostática magnética e de outro ao(s) sensor(es) Irrigas. A irrigação neste arranjo é feita sempre durante a fase de enchimento do ativador de irrigação. Um sistema de controle com ativadores de irrigação é seguro, envolve componentes de baixo custo e experimentalmente tem funcionado bem. Deste modo, considera-se que automação de irrigação com Irrigas e ativadores de irrigação é uma solução promissora para futuras aplicações em áreas remotas nas quais o acesso a energia elétrica seja limitado.

CONTROLADORES PONTUAIS DE IRRIGAÇÃO

Adonai Gimenez Calbo & Washington L.C. Silva

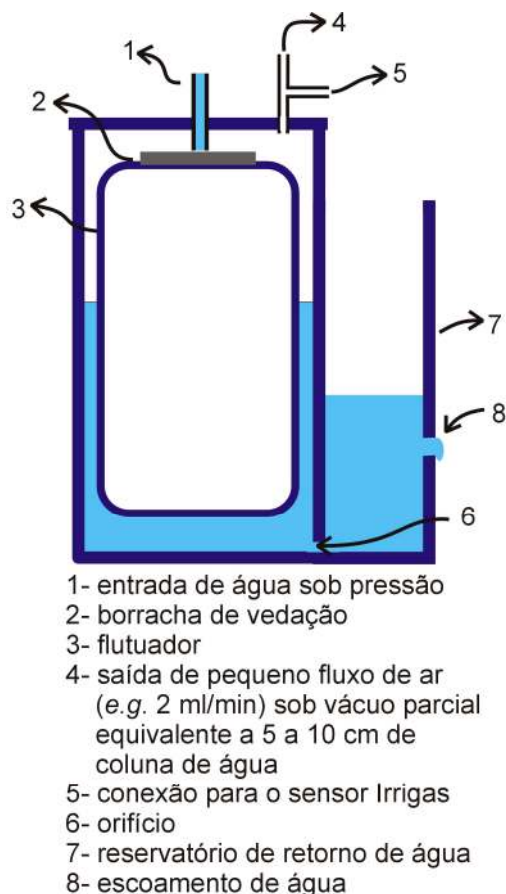


Figura 10.1- Controlador de irrigação de pressão negativa com flutuador. Pode ser acionado por um termo-compressor ou por um mini compressor com capilar, alimentado pela eletricidade gerada em um painel solar.

Controladores de irrigação Irrigas são dispositivos pneumáticos que usam ar comprimido para acionar a aplicação de água assim que a tensão da água se tornar maior que um determinado valor crítico. O termo controlador de irrigação também tem sido utilizado como sinônimo de temporizador, um acessório que é freqüentemente utilizado para o manejo de irrigação, especialmente sob cultivo protegido

Neste capítulo são descritos diversos tipos de controladores de irrigação acionados por Irrigas para aplicações em gotejamento. Cuidado especial é dado aos detalhes de uso de compressores de ar alimentados por painel solar, compressores térmicos e por cilindros de gás comprimido.

1# Que compressores de ar podem ser utilizados para o acionamento de válvulas pressostáticas?

Os compressores para uso com Irrigas podem ser de baixíssimo fluxo, 20 ml min^{-1} e pressão de gás da ordem de 10 kPa ou 1 metro de coluna de água, para os usos comuns do Irrigas. Para aplicações especiais, com baixíssimo consumo de energia, em conexão com o uso de pressostatos e válvulas pressostáticas muito sensíveis, compressores ainda menores que gerem apenas 2 kPa ou 20 cm de coluna de água são suficientes. Em adição ao compressor, usa-se um ajuste de fluxo de ar, com capilar de vidro, de cobre, ou de fio elétrico flexível (multifio).

Postos os atributos dos compressores, pode-se obtê-los no mercado, ou construí-los para aplicações específicas. Em geral mini-compressores elétricos de aquário, acionados com pilha, ou painel solar atendem às aplicações de automatização da irrigação com o sensor Irrigas.

Em locais sem energia elétrica o botijão de ar comprimido com regulador de pressão e o botijão de GLP são também alternativas apropriadas.

2# O termo compressor e o compressor de ar acionado por um painel solar não pressurizam o ar continuamente. O que pode ser feito?

Este é um problema para o qual há várias soluções de boa qualidade. Uma das soluções gerais envolve o condicionamento da irrigação à existência de pressão de gás. Uma forma de fazer isto é com uma válvula pressostática, para fechar a saída de água ou desligar uma bomba, por exemplo, enquanto faltar pressão de ar na linha.

Uma solução de deste tipo é obtida com o uso da válvula pressostática magnética (Fig. 7.9) operada no modo tensiometria a gás, como está descrito em detalhes no capítulo 11.

3# Como funciona o controlador de irrigação com flutuador e compressor de pressão negativa ?

O controlador de irrigação da figura 10.1 pode ser acionado por termo-compressor ou por mini-compressor com ajuste de vácuo parcial entre 5 e 10 cm de coluna de água. Com os poros do sensor Irrigas abertos este instrumento libera fluxo de água ajustado de seu reservatório de retorno de água (7). O flutuador fecha a entrada de água (1) quando o nível da água no reservatório supera determinado valor. Em solo úmido e sob ação da sucção do compressor de ar o nível da água no recipiente hermético do flutuador torna-se mais alto que o nível necessário para o fechamento. Assim, a entrada de água mantém-se obstruída até que o solo seque e o sensor Irrigas se torne permeável à passagem do ar. Assim, a água escoar (8) até que o bulbo molhado no solo cresça e umedeça o sensor Irrigas. Após isto, o sensor Irrigas novamente umedecido torna-se impermeável ao ar. Com o sensor Irrigas impermeável, quando o compressor remove ar da câmara de controle, o nível da água aumenta e o flutuador, pressionado contra o tubo extravasador (1), fecha a entrada de água. Este é o ciclo de funcionamento deste controlador de irrigação de pressão negativa com flutuador.

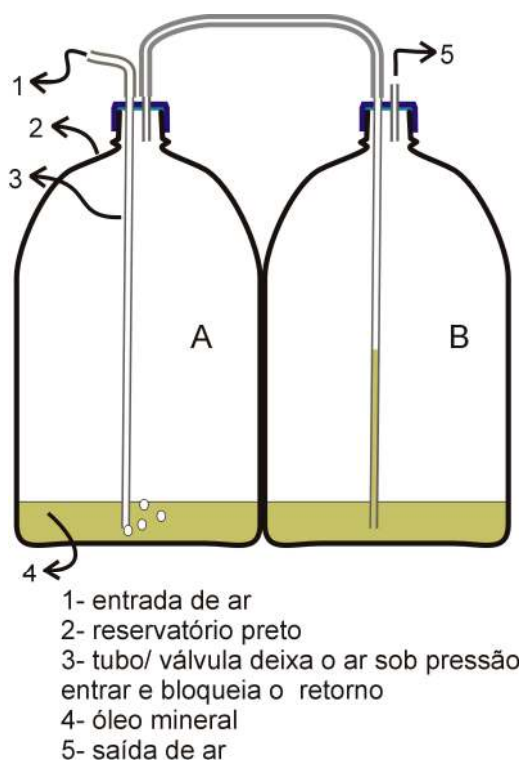


Figura 10.2- Termo-compressor preparado com garrafas tipo PET pintadas de preto e tubos imersos em óleo.

4# O controlador de irrigação de pressão negativa com flutuador funciona bem com um termo-compressor ?

Sim. A sua maior limitação usando o termo-compressor (solar) é o tempo de resposta ou o tempo necessário para ocorrer uma diminuição de temperatura da ordem de 3 °C. Isto, no entanto, é uma variação de temperatura pequena em condições de campo, principalmente considerando-se que o termo compressor é de cor preta e que sua temperatura varia intensamente durante o dia. Na prática, dificilmente o instrumento demora mais que 60 minutos para fechar, e sua vazão pode ser ajustada (altura do orifício) de modo que um atraso de algumas horas na resposta não cause desperdício de água.

Observação: o termo-compressor não deve ser utilizado em ambientes internos, nos quais as variações de temperatura são lentas e diminutas.

5# Como funciona o termo-compressor?

O termo-compressor (Fig. 10.2) possui câmaras pintadas de preto para ampliar as variações de temperatura. As câmaras podem ser simples garrafas de plástico tipo Pet (Polietileno Tereftalato). Quando a temperatura diminui, a pressão diminui no reservatório à esquerda (A) e não varia no reservatório à direita (B), porque este é aberto. Com esta diminuição de pressão o ar entra (1) no reservatório A, como

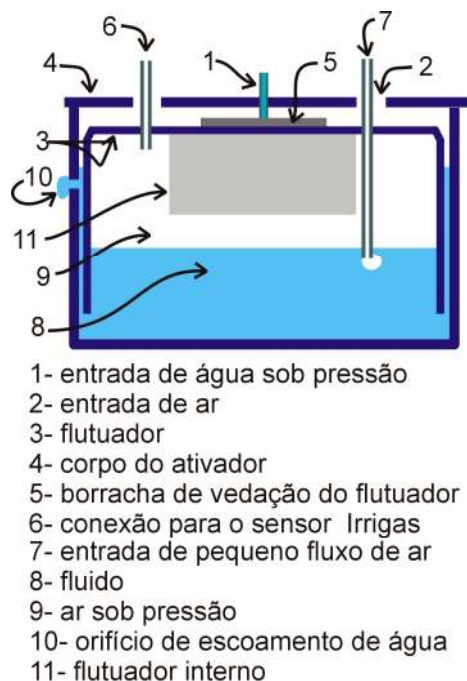


Figura 10.3- Controlador de irrigação acionado por um termo-compressor. Fecha a entrada de água pelo levantamento do flutuador, quando o solo está úmido.

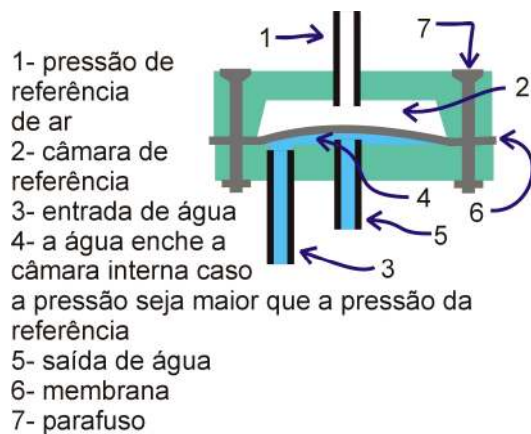


Figura 10.4- Válvula diferencial básica para controle do escoamento de água com sensor Irrigas e compressor de ar.

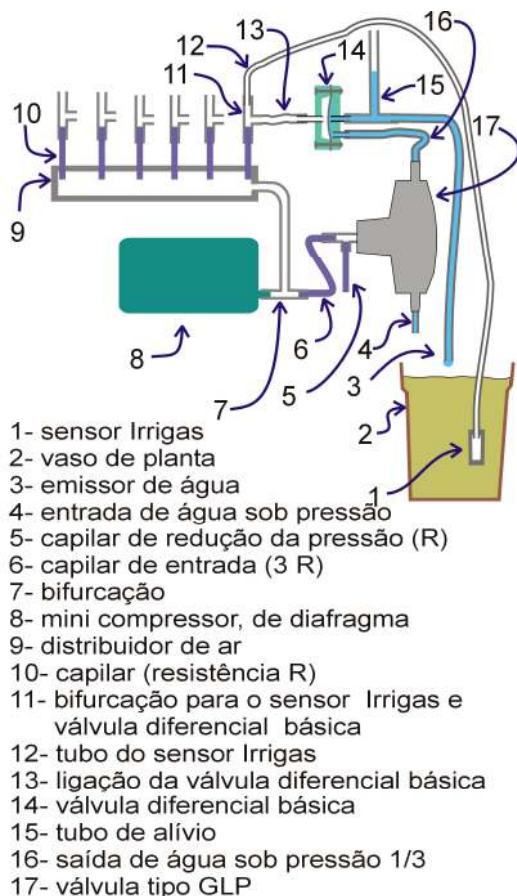


Figura 10.5- Sistema de controle de irrigação com Irrigas e válvulas diferenciais acionado por compressor de ar e com mecanismo de segurança para terminar o escoamento de água quando faltar energia elétrica.

ilustram as bolhas. Nota-se que no reservatório B o óleo subiu no tubo, que funciona como uma válvula unidirecional. Quando a temperatura aumenta, a pressão aumenta no reservatório A e nesta condição o ar borbulha no reservatório B e escapa (5). Nota-se que este tipo de compressor pode ser utilizado para gerar vácuo parcial na entrada (1) ou para gerar pressão na saída (5).

No termo-compressor os tubos e o óleo mineral formam válvulas unidirecionais quase perfeitas, com pressão de trabalho máxima determinada pela altura do tubo com a ponta imersa. A conversão energética é baixíssima, porém trata-se de um instrumento simples e durável.

6# O controlador de irrigação com flutuador pode ser fabricado para operar com pressão positiva?

Em uma inspeção da figura 10.3 verifica-se que este sistema funciona da maneira similar ao aparelho da figura 10.1 e apresenta a vantagem de ser um sistema mais compacto e de operar em pressão de ar positiva.

7# Um sistema de controle de irrigação de vasos baseado apenas em válvulas de gás diferenciais poderia ser seguro?

Sistemas confiáveis certamente podem ser construídos com válvulas. Válvulas diferenciais simples (Fig. 10.4), nas quais a passagem de água por uma câmara interna é fechada pela aplicação ou não de pressão de ar (2 a 4 kPa) na câmara de referência podem ser utilizadas. A câmara interna e a câmara de referência são separadas por um diafragma flexível. Com esta válvula diferencial básica pode-se montar um sistema para irrigar um número indeterminado de vasos, basta, adicionalmente, empregar-se uma válvula de regular pressão de água. O ajuste de pressão do ar pode ser obtido diretamente de um compressor de diafragma (bomba de aquário), que usualmente gera entre 10 e 20 kPa.

Na figura 10.5, o ajuste da pressão da água é feito em uma válvula diferencial (17), cuja pressão de saída da água é igual a pressão do ar na sua referência. Desse modo quando falta eletricidade a irrigação é interrompida. Neste caso, a pressão do ar na referência da válvula de água foi dada por divisão, com o uso de dois capilares, o primeiro de entrada com resistência aproximadamente 3 vezes maior do que a do segundo, em capilar de escape. Isto corresponde a uma pressão de referência 3 vezes menor que a pressão de entrada na válvula (17) e no sensor Irrigas. No distribuidor de ar que vai para a válvula diferencial básica e para o Irrigas utilizou-se de capilares de 10 a 20 ml min⁻¹, quando ligados diretamente ao mini compressor. Desta forma a água também entra na válvula diferencial básica (14) com cerca de 1/3 da pressão que o ar sai do compressor para o distribuidor. Com o sensor Irrigas impermeável, em solo úmido, então, a pressão no lado da referência aumenta e fecha a passagem da água para irrigação. Quando o solo

seca, a pressão é dissipada e a irrigação é iniciada.

A segurança deste sistema é o acionamento da válvula diferencial básica de água diretamente com 1/3 da pressão do compressor de ar. Desta forma, a interrupção do funcionamento do compressor de ar zera a pressão de água para a irrigação. Um detalhe menor, é que no tubo de alívio de pressão pode haver acúmulo de água em alguns instantes e entrada de ar em outros. Com o tubo de alívio de pressão o fluxo de água para a irrigação dos vasos torna-se independente da altura dos vasos, que são colocados sempre abaixo deste sistema de controle de irrigação.

8# Como fazer um regulador de pressão ajustável e sensível para gases?

Pode-se usar uma mola, um parafuso usinado em torno mecânico e uma válvula comum de gás de cozinha conforme está ilustrado na figura 10.6. O ajuste é feito apertando-se mais ou menos a mola com auxílio do parafuso.

Esta válvula tem sensibilidade dependente da mola utilizada. Por exemplo: é comum utilizar-se mola apropriada para controlar pressão entre zero e 30 kPa.

*Observação: a válvula de GLP é diferencial e a referência deve ser mantida à pressão ambiente. Para isto, basta não colocar veda-rosca no parafuso de ajuste, para dar passagem do ar ambiente até membrana de referência da válvula.

9# O regulador de pressão ajustável da figura 10.6 é adequado para regular a saída de pressão de um compressor?

Em geral não. Este regulador de pressão é adequado para cilindros de gás ou de ar comprimido, que evidentemente não devem ser desperdiçados. Colocados na saída de um compressor estes reguladores tendem a fazer com que o compressor opere em sua pressão máxima. Isto, dependendo do compressor, pode causar dano ou ao menos desgaste prematuro e consumo elevado de energia.

10# Como fazer um regulador de pressão com escape de gases para não forçar o compressor?

Para compressores, em geral é conveniente empregar regulador de pressão com escape de gases. No capítulo 9 as figuras 9.5 e 9.6 são esquemas de reguladores diferenciais que poderiam ser utilizados com um compressor, porém há sistemas mais simples e mais ajustáveis como se ilustra na figura 10.7.

9# Como funciona o “gotejador” Irrigas?

Na figura 10.8 observa-se o esquema de um gotejador Irrigas. Trata-se de um emissor que só libera água para o solo quando o sensor Irrigas torna-se permeável ao ar. Estes “gotejadores” podem ser miniaturizados, para



Figura 10.6- Detalhes de uma válvula para controle de pressão montada no topo para evidenciar o parafuso e as molas utilizadas.

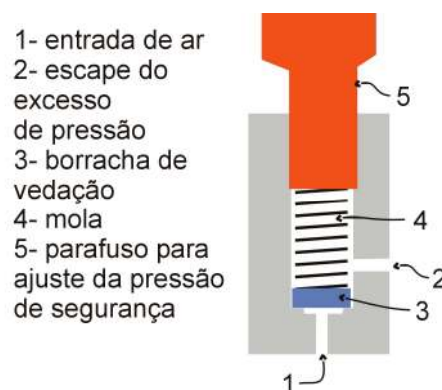


Figura 10.7- Esquema de uma válvula, ou pressostato do tipo "high pass" para ajuste de pressão por alívio ou escape.

serem utilizados com água de alta qualidade.

O gotejador Irrigas é ideal para irrigação pontual, como no caso das plantas em vaso.

10# Qual o fluxo de ar deve se aplicar a este tipo de gotejador?

Tipicamente os fluxos de ar utilizados para os gotejadores Irrigas variam entre zero e 10 ml min^{-1} .

11# Como é a relação entre vazão de água e a pressão de ar neste “gotejador” Irrigas?

Na figura 10.9 observa-se que, conforme a pressão de ar aumenta, o fluxo de água através do gotejador diminui de maneira linear. A pressão de ar no flutuador modulada pelo Irrigas controla a pressão da água na saída do tubo extravasor. Sendo um sistema de fluxo viscoso, o fluxo de saída é proporcional à diferença de pressão.

Por outro lado, neste sistema a vazão de gotejamento é determinada pela diferença entre o nível de água interno no “gotejador” e o nível da ponta (7) no mesmo.

12# Com que pressão o ar deve ser introduzido no flutuador do “gotejador” Irrigas?

Em tese poderia ser qualquer pressão superior à pressão correspondente à altura máxima de coluna de água do “gotejador”. Por exemplo, se o flutuador possuir uma altura máxima de coluna de água de 5 cm, então a menor pressão que se poderia aplicar seria de 5 cm, no entanto, na prática convém aplicar-se pressão 2 a 10 vezes maior, para que o fluxo seja controlado em um capilar, por exemplo de segmentos de capilar de fio elétrico flexível, no qual o ar escoa entre os filamentos de cobre.

13# Como se conduz o ar até os “gotejadores”?

O tubo de ar é passado em paralelo com o tubo que conduz a água aos “gotejadores” e em cada ponto onde um gotejador é inserido, toma-se um tubo de água e outro de ar. O tubo de ar pode ser de diâmetro inferior ao diâmetro do tubo que conduz água, porque a viscosidade do ar é bem menor do que a viscosidade da água.

14# O sensor Irrigas pode ser incorporado ao “gotejador”?

Na figura 10.10 é ilustrado um “gotejador” Irrigas diretamente acoplado ao sensor Irrigas. Esta é uma construção que pode ser útil quando se deseja fazer a rega de vasos.

15# Quais as dimensões mínimas de um gotejador Irrigas?

Como uma aproximação, pode-se assumir que o volume de um “gotejador” Irrigas é da ordem de cinco vezes o volume do seu flutuador. Assim, um “gotejador” com flutuador de 10 ml possui um volume total da ordem 50 ml e poderia ter comprimento de 7 cm e diâmetro de 3 cm.

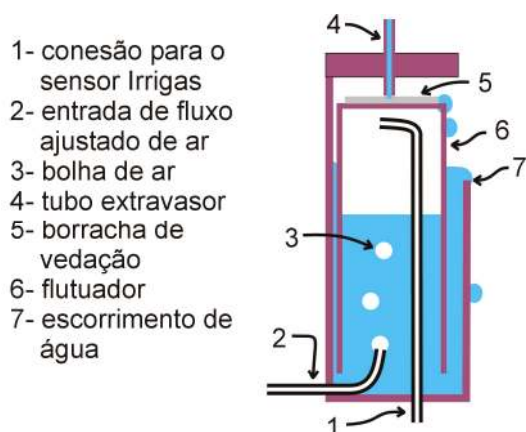


Figura 10.8- Gotejador Irrigas para irrigação pontual em vasos e no campo.

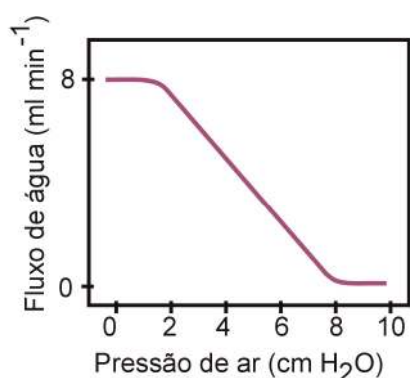


Figura 10.9- Curva típica de vazão de um gotejador Irrigas em função da pressão de ar aplicada no flutuador.

O diâmetro interno do “gotejador” deve também ser pelo menos 3 mm maior que o diâmetro do externo do flutuador, visto que o ar precisa escapar entre o flutuador e o corpo do “gotejador”. Observa-se que o escape de ar em “gotejadores” Irrigas miniatura deve ocorrer pelo topo (Fig. 10.8), para possibilitar a quebra das bolhas de ar para que a água não escoe pelo orifício de escape de ar.

16# Qual seria o menor volume do flutuador em “gotejador” Irrigas?

O volume do flutuador deve ser suficiente para fechar a saída da água através do tubo extravasor, por onde entra a água no “gotejador” Irrigas. Consequentemente, caso a água utilizada seja livre de impurezas, então o flutuador poderá ser de volume diminuto.

Por exemplo, se o empuxo que o flutuador aplica contra a ponta do tubo extravasor for de 10 grama-força e se a pressão máxima da água for de $0,2 \text{ kg cm}^{-2}$ (2 metros de coluna de água), então a seção transversal da ponta do tubo extravasor deverá ser menor que

$$\text{Área} = 0,01 \text{ kgf} / 0,2 \text{ kgf cm}^{-2} = 0,05 \text{ cm}^2$$

O que corresponde a um diâmetro de 2,5 mm. Um flutuador dez vezes menor iria requerer um tubo extravasor de diâmetro 0,8 mm. Os diâmetros internos destes tubos poderiam ser respectivamente, de 1,5 mm e 0,4 mm. Evidentemente, quanto menor for o flutuador menor será o diâmetro do tubo extravasor. O limite prático, para operar com baixo risco de entupimento, possivelmente seja tubo extravasor com 1,0 mm de diâmetro interno.

17# Qual a possibilidade do “gotejador” Irrigas entupir?

A possibilidade de entupimento aumenta com a diminuição do diâmetro interno do tubo extravasor. Com tubos extravasores de diâmetro maior que 1 mm a possibilidade de entupimento é mínima. O uso de água filtrada de boa qualidade é importante neste tipo de “gotejador” como em outros tipos de gotejadores.

18# Como se impede que a água escoe através dos “gotejadores” quando faltar eletricidade?

A solução é simples: a água deve ser fornecida através de um válvula solenóide, ligada à mesma fonte de energia elétrica a qual foi ligado o mini-compressor de ar. Deste modo, quando houver falta de ar comprimido o suprimento de água também será cortado.

19# Como são os distribuidores de ar e água para “gotejadores” Irrigas?

Um distribuidor para esta finalidade pode ser feito com dois tubos (Fig. 10.11). O primeiro é para distribuição de água e o segundo para distribuição de ar. O tubo de distribuição de água é preto e o tubo de distribuição de ar é branco. Cada tubo de distribuição possui uma série de orifícios aos quais se encaixam os tubos capilares de saída de água e de ar. Estes tubos podem ser duplos para que um

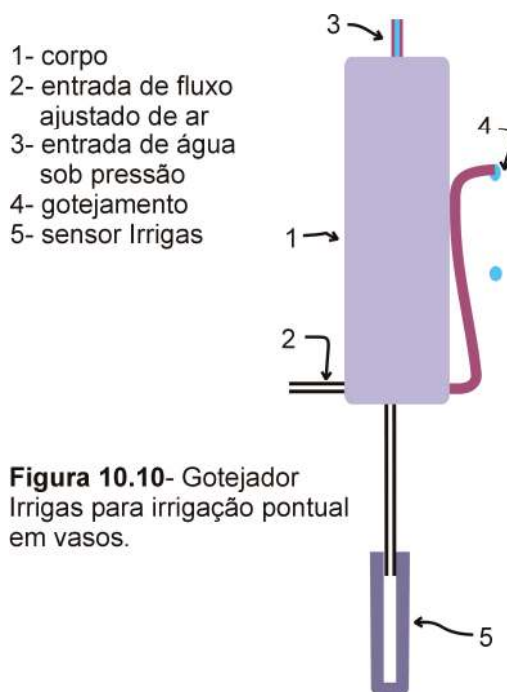


Figura 10.10- Gotejador Irrigas para irrigação pontual em vasos.

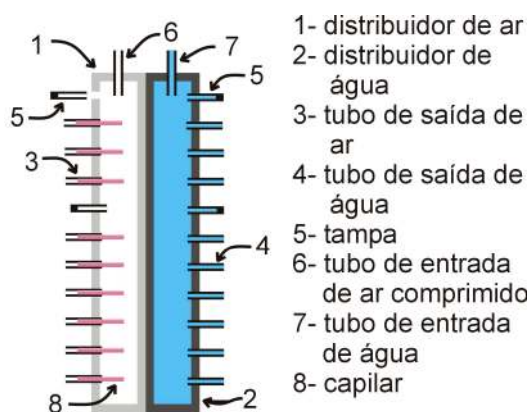


Figura 10.11- Distribuidor de ar com capilar de saída e distribuidor de água para a alimentação de gotejadores Irrigas.

único fio conduza água e ar entre o distribuidor e o gotejador.

20# Os “gotejadores” são superiores aos ativadores de Irrigação?

Não. O fato de requerer uma entrada separada de ar para cada “gotejador” torna este sistema menos promissor. Ativadores de irrigação também podem ser miniaturados da mesma forma e não requerem entrada de ar separada.

SUMÁRIO

Neste capítulo foram introduzidos alguns controladores pontuais de irrigação de pressão positiva e apenas um controlador de pressão negativa. Os controladores de irrigação pontuais que operam com auxílio de flutuadores podem ser grandemente miniaturizados, sendo que o principal limite na tarefa de miniaturização é o diâmetro do tubo extravasor, que se torna mais propenso ao entupimento quando o diâmetro é menor que 1 mm.

Todos os controladores de irrigação pontuais apresentados neste capítulo podem ser utilizados com sistemas de bombeamento não constante de ar, o que é apropriado para o uso com compressores térmicos, compressores acionados por painel solar e por termo compressores. O controlador de irrigação de pressão negativa, adicionalmente, possui um sistema eficaz e ajustável da vazão com que a água escoar para o solo, quando o sensor Irrigas está em solo seco. Dois controladores de irrigação pontuais de pressão positiva também possuem a característica de prover vazão de água ajustada de gotejamento na condição de substrato mais seco que a tensão crítica do sensor Irrigas.

Os controladores de irrigação mais miniaturizados foram tratados como tipos especiais de gotejadores, cujo fluxo é modulado pela umidade do solo através do sensor Irrigas.

SISTEMAS SELECIONADOS DE AUTOMATIZAÇÃO

Adonai Gimenez Calbo & Washington L.C. Silva

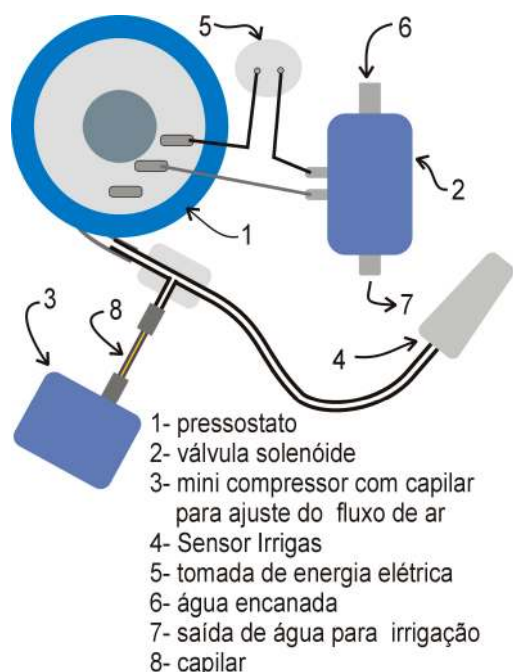


Figura 11.1- Sistema para automatizar irrigação com sensor Irrigas, compressor de ar, um capilar, um pressostato e uma válvula solenóide que se abre a passagem de água quando o solo seca fazendo com que o sensor Irrigas se torne permeável ao ar. Condição que causa a despressurização e as correspondentes atuação do pressostato e da válvula solenóide.

Neste capítulo são apresentados alguns sistemas de controle automático da irrigação muito interessantes, nos quais o sensor Irrigas é utilizado com e sem o uso de eletricidade. Todos os sistemas descritos neste capítulo usam ar comprimido e válvulas apropriadas para prover água sob pressão e vazão apropriadas a cada aplicação de manejo de irrigação.

1# Como se automatiza com o Irrigas?

O Irrigas é um sensor estável, preciso e robusto com o qual se faz irrigação automatizada, usando-se gás comprimido com o uso de energia elétrica ou por fontes alternativas.

Com eletricidade pode-se automatizar a irrigação utilizando-se um mini-compressor (ex. compressor de aquário), um pressostato, uma válvula solenóide e água sob pressão (Fig. 11.1). O acionamento de compressores de água para irrigação, por outro lado, é obtido mediante a ação de um relê que também é acionado pelo pressostato.

Sem uso de eletricidade, o controle da irrigação pode ser feito com ar comprimido e válvulas mecânicas apropriadas.

2# Como é a automatização da irrigação com válvula solenóide e o sensor Irrigas?

Em um sistema automatizado com um ou mais sensores Irrigas (em paralelo), a perda de água do solo causa permeação de ar através da cápsula porosa do sensor Irrigas. Em consequência, ocorre uma diminuição da pressão na linha de transmissão de ar, alimentada pelo mini-compressor (Fig. 11.1) e ajustada por um capilar. Sob esta despressurização, o pressostato fecha o circuito e energiza a válvula solenóide que abre a passagem da água. A irrigação, então, perdura até que o solo volte a umedecer e a obstruir os poros do sensor Irrigas. Neste novo estado, sem vazamentos, o fluxo de ar causa aumento de pressão, fazendo com que o pressostato desligue a válvula solenóide e termine a irrigação.

O capilar deve ajustar um fluxo adequado de gás. Tipicamente fluxos da ordem de 10 a 20 ml min⁻¹ funcionam bem para o sensor Irrigas comum com Td entre 10 e 40

kPa. Sob fluxo muito elevado pode ocorrer que não haja depressurização suficiente antes que o solo atinja tensões de água muito mais altas que Td.

Para montagens experimentais de baixo custo, pressostatos com limites de pressão inferior e superior entre 0,1 e 1,0 m de coluna de água são adequados para a aplicação ilustrada. Para pequenos fluxos de irrigação válvulas solenóides usadas em máquinas de lavar roupas podem ser empregadas. Para fluxos maiores há válvulas solenóides de uso agrícola apropriadas no mercado.

3# Que fluxo de ar pode ser empregado nas pressurizações do Irrigas para fins de automatização?

O fluxo de ar que pode ser utilizado depende da cápsula ou sensor Irrigas empregada. Quanto maior a cápsula e quanto menor a tensão crítica de dessorção (Td) maior o fluxo de ar que pode ser empregado. Para aplicações com sensor Irrigas comum (diâmetro 50 mm, comprimento 100 mm, parede 10 mm) de 25 kPa de tensão crítica, o uso de fluxos de ar de até 20 ml min^{-1} não causa aumento substancial da tensão da água em que a irrigação é iniciada. O efeito exato do fluxo de ar sobre a tensão de água estimada com o sensor Irrigas é representado por uma curva não linear de pressão de gás aplicada versus fluxo através da cápsula porosa. Este comportamento descrito nos capítulos 2 e 5, apesar de pontencialmente útil, não tem sido empregado, visto que requer calibração individualizada de sensores em faixa não linear, o que é trabalhoso e pouco prático.

4# A irrigação pode ser acionada com ar ou gás comprimido e sem o uso de eletricidade?

Sim, ar comprimido é uma fonte de energia conveniente para automatizar a irrigação com Irrigas. Neste caso a irrigação automatizada pode ser acionada por válvulas pressostáticas magnéticas. Precisa-se simplesmente tomar cuidado de não deixar faltar gás. Para isto, o botijão de gás comprimido deve conter uma válvula de regulação de pressão adequada. Outro ponto importante é o capilar (ou registro) de ajuste de fluxo. Para o sensor Irrigas comum de 25 kPa, o fluxo deve ser ajustado entre 10 e 20 ml min^{-1} .

5# Como utilizar o ar comprimido para acionar irrigação por aspersão ou gotejamento sem uso de eletricidade?

O ar comprimido pode ser utilizado para acionar uma válvula pressostática magnética, através de um flutuador que levanta um ímã e desta forma termina a irrigação conforme está ilustrado nas figuras 9.1, 11.2 e 11.3. A válvula que se usa neste caso é uma simples válvula solenóide, da qual a ação magnética do solenóide, ou eletroímã, é substituída pela atração magnética de um ímã permanente.

A água que escoar sob pressão através da válvula magnética pode ser utilizada para acionar a irrigação por gotejamento ou por aspersão.

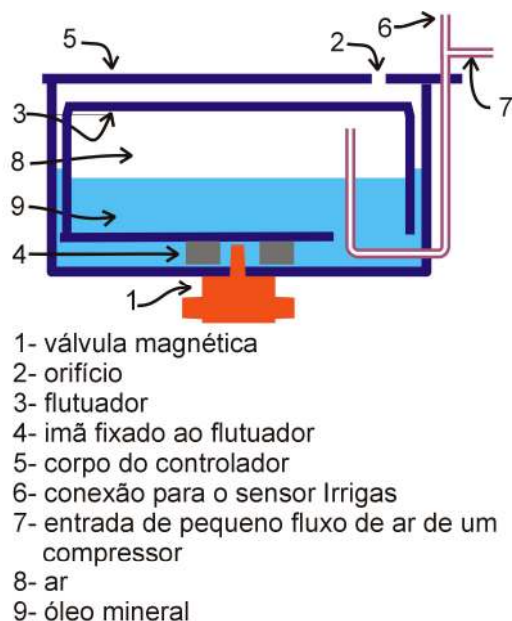


Figura 11.2- Controlador de irrigação para operação com ar comprimido ou outro gás. Opera com um flutuador que ao levantar fecha a irrigação na válvula magnética. Quando o solo seca o sensor Irrigas se torna permeável, o flutuador afunda e a irrigação ocorre novamente.

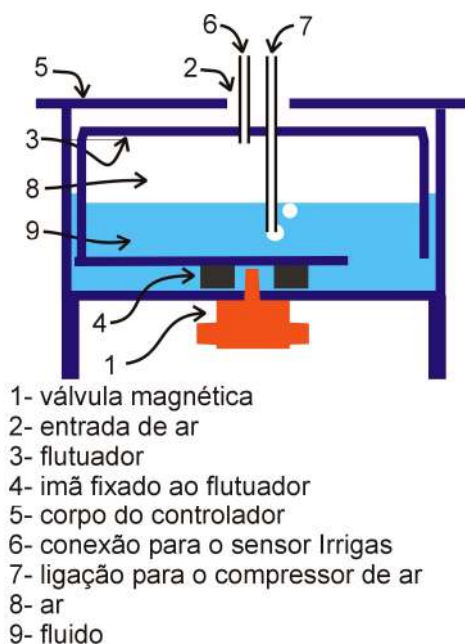


Figura 11.3- Controlador de irrigação acionado por compressor de ar. A flutuação causada pela pressurização do sensor Irrigas em solo umedecido desliga a irrigação.

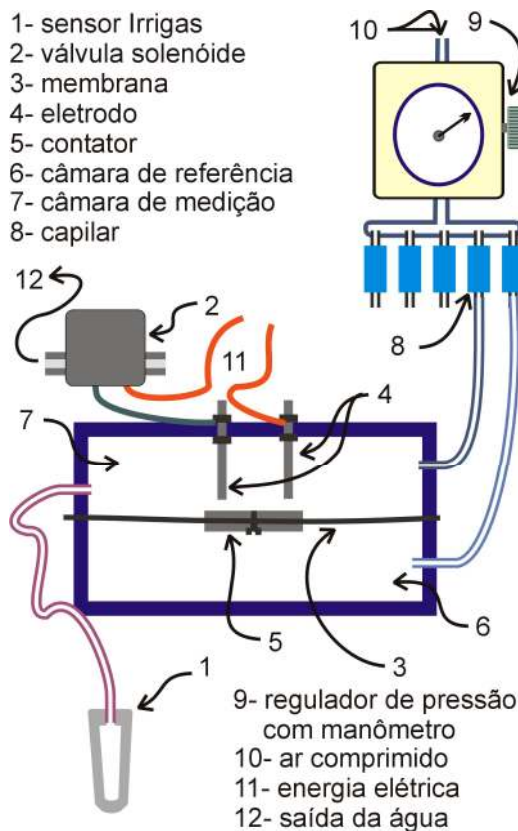


Figura 11.4- Automatização de irrigação com sensor Irrigas por tensiometria a gás com uma válvula pressostática elétrica, um regulador de pressão e capilares e o sensor Irrigas.

Observação:

a- Não pode faltar pressão de gás no cilindro, visto que sem pressão a aplicação de água continuará indefinidamente.

b- O ajuste da pressão de entrada deve ser feito de modo a assegurar que o gás só escapa através do sensor Irrigas quando o solo estiver seco. Deste modo nunca haverá perda de gás causada por borbulhamento em baixo do flutuador.

8# Como se usa um tensiômetro a gás com válvula pressostática diferencial elétrica para o controle automático da irrigação?

Observa-se na figura 11.4 que a válvula diferencial elétrica possui duas câmaras separadas por uma membrana com um contator elétrico. As duas câmaras são alimentadas por ar proveniente de um regulador de pressão de gás, através de tubos capilares idênticos. Enquanto o solo ainda contém reserva de umidade suficiente, isto é, o sensor Irrigas se mantém impermeável ao ar, as duas câmaras se encontram com pressão de ar iguais. Assim, não há passagem de corrente elétrica na válvula solenóide, porque o contator permanece afastado dos eletrodos. Nesta situação, a irrigação não ocorre. Quando o solo seca, ao contrário, o sensor Irrigas se torna permeável ao ar e a pressão na câmara superior diminui, fazendo com que o contator encoste nos eletrodos, dê passagem de corrente e dê início à irrigação.

Quando a umidade atinge o sensor Irrigas este novamente se torna impermeável ao ar, as pressões nas câmaras superior e inferior se igualam, o contator se desprende dos eletrodos e a irrigação é terminada.

9# Como se usa tensiometria a gás no modo diferencial para o manejo de irrigação com gás comprimido e sem energia elétrica ?

É muito similar ao que foi descrito para o manejo de irrigação com energia elétrica. Na figura 11.5, nota-se que a válvula solenóide, com a remoção do eletro-ímã (solenóide) foi fixada ao corpo da válvula diferencial. Neste caso, a irrigação durante a despressurização no(s) sensor(es) Irrigas é induzida pela aproximação do ímã fixado à membrana central da válvula magnética. Vê-se que o ímã permanente substitui o eletroímã também denominado solenóide.

O regulador de pressão é alimentado diretamente por um cilindro de ar ou gás comprimido. A segurança deste sistema é tamanha que pode, inclusive, ser acionado com compressor de ar alimentado por pilha solar. A irrigação só ocorre, quando, ao mesmo tempo, houver solo seco e energia solar para acionar o compressor.

SUMÁRIO

Neste capítulo foram apresentadas diversas possibilidades de automatização com pressostato comum, e com válvulas pressostáticas magnéticas com e sem o uso de flutuador. Os sistemas mais simples acionam a aplicação de água quando a tensão da água no solo se torna maior que o valor da tensão crítica do sensor Irrigas utilizado, enquanto os mais sofisticados fazem uso de princípios de tensiometria a gás e possibilitam o ajuste da tensão da água na qual a irrigação ocorre entre zero e a tensão crítica de dessorção do sensor Irrigas.

Todos os sistemas experimentais apresentados são soluções que podem ser utilizadas dependendo das necessidades e das disponibilidades de recursos locais. Para a escolha do sistema mais apropriado, a simplicidade, o custo, a disponibilidade de energia elétrica e o interesse de usar um ajuste de tensão de água contínuo são fatores que foram considerados para selecionar sistemas de manejo de irrigação descritos.

Assim, os sistemas com flutuadores (Fig. 11.1) podem ser fabricados com sensibilidade para operarem com minúsculas diferenças de pressão de ar, da ordem de poucos centímetros de coluna de água, geradas por sistemas, como o termo-compressor.

A operação dos sistemas com pressostato comum e válvula solenóide (Fig. 11.1) requer eletricidade, porém é eficaz e muito fácil de implementar. É importante que o compressor e a válvula solenóide sejam alimentados pela mesma rede elétrica, para que a passagem de água seja interrompida quando faltar energia elétrica. É um sistema que pode ser utilizado no campo e em casa-de-vegetação

O sistema com válvula pressostática magnética é conveniente para uso sem energia elétrica, basta a disponibilidade de ar comprimido. Com a válvula magnética de membrana (Fig. 11.5) pode-se utilizar manejo de irrigação por tensiometria a gás. A tensão de água na qual a irrigação é aplicada é ajustada com perfeição. Se faltar ar comprimido, a irrigação é simplesmente interrompida. Nesse modo pode também ser operado com compressores acionados por painel solar.

Com termo-compressores, a válvula magnética opera adequadamente sob pequenas diferenças de pressão, da ordem de 5 cm no máximo. Neste caso, a irrigação irá ocorrer quando a tensão da água no solo tiver se tornado maior que a tensão crítica do sensor Irrigas (Td).

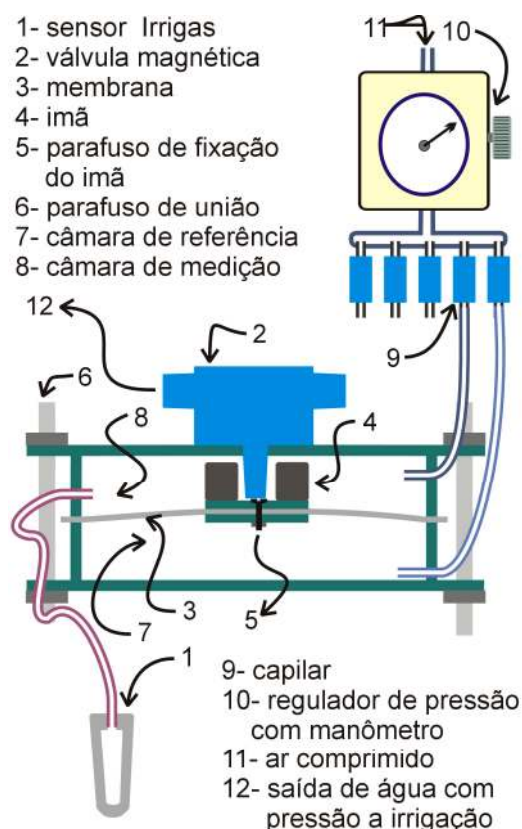


Figura 11.5- Automatização de irrigação por tensiometria a gás com uma válvula pressostática magnética, um regulador de pressão de ar, capilares e um sensor Irrigas. Sistema que opera sem uso de energia elétrica.

Parte 3

USOS AVANÇADOS

ESTADO DA ÁGUA NO SOLO E NA PLANTA

Adonai Gimenez Calbo

ÁGUA NO SOLO

É comum fazer-se o manejo de irrigação com base na relação entre o teor volumétrico de água e a tensão da água no solo. Determinações de teor de água e de tensão de água na planta também podem ser utilizadas para o manejo de irrigação. Estas determinações nas plantas, no entanto, envolvem dificuldades tecnológicas ainda não plenamente superadas, como a necessidade de medir tensões de água elevadas em órgãos com baixa relação superfície/volume, para cuja medição não há instrumentos práticos para uso no campo.

Dentre os sensores da umidade volumétrica do solo que têm sido considerados confiáveis estão o TDR ("time domain reflectometry") e a sonda de neutrons. Há também uma variedade de outros instrumentos, que se fundamentam na condutividade elétrica e na resposta de capacitores (US PI 4683904). Entre outras dificuldades, as medidas de umidade volumétrica requerem ajustes específicos para cada solo, visto que a relação entre teor volumétrico de água e tensão de água varia de acordo fatores como a composição granulométrica e o teor de matéria orgânica do solo ou do substrato.

A variável tensão de água é de uso mais geral do que umidade porque a tensão é uma medida direta da energia que a planta despende para absorver cada volume de água. Já o teor de água, ou umidade, também é uma variável muito importante, porém o seu valor crítico abaixo do qual o desenvolvimento das plantas é prejudicado precisa ser conhecido para o conjunto solo/planta. Como isto é difícil de fazer, na prática, estes valores críticos são estimados a partir das curvas de retenção de água, nas quais o teor de água (θ) e a tensão de água (T) são relacionadas para um dado solo sob estudo. Os valores críticos de tensão de água são os parâmetros mais seguros para o manejo de irrigação já desenvolvidos, porém mesmo a tensão crítica é um parâmetro que é influenciado pelas interações planta/solo/atmosfera. Assim, em tese, as tensões críticas de água nas quais as plantas começam a ter dificuldades para absorver as quantidades necessárias de água devem ser menores quando o ambiente é propício a uma maior taxa de evapotranspiração. Este é um fator que raramente tem sido considerado para recomendações de manejo de irrigação pelo método tensiométrico. Em solos de textura mais grossa, as plantas também começam a ter dificuldades para absorver as quantidades de água necessárias em tensões de água mais baixas, visto que a condutividade hidráulica não saturada do solo diminui muito mais rapidamente em solos de textura mais grossa. Este

fator é frequentemente considerado nos valores críticos de tensão de água recomendados para manejo de irrigação.

Sensores típicos de tensão de água no solo são os blocos de resistência elétrica, como os blocos de gesso, o tensiômetro, o sensor de condutividade térmica e o Irrigas.

Blocos de resistência elétrica

Os blocos de resistência elétrica, geralmente fabricados de gesso, são elementos porosos com eletrodos inseridos. A passagem de corrente elétrica entre estes eletrodos, causada principalmente pela solubilização em água dos seus eletrólitos componentes (Ca^{2+} e SO_4^{2-}), é função não linear da tensão da água no solo. Os blocos de gesso requerem calibração individual periódica, visto que a sua resposta deteriora no tempo, principalmente em solos com tensão de água baixa, que causem importante solubilização e movimentação do cálcio e do sulfato. As características deste sensor são o baixo custo, a facilidade de fabricação e uma ampla faixa de resposta (50 a 1500 kPa). Suas limitações são a deterioração da resposta no tempo, a necessidade de calibração individualizada dos sensores, a baixa sensibilidade em tensões de água inferiores a 50 kPa, grande influência da temperatura nas leituras que costumam ser corrigidas para a temperatura de referência (25 °C) e a grande sensibilidade destes blocos aos sais de alta solubilidade do solo, que aumentam a condutividade elétrica. O revestimento dos eletrodos com gesso promove um “predomínio” da solução saturada em CaSO_4 , o que diminui o efeito dos demais sais (íons) da solução do solo. Provavelmente, a limitação mais grave dos blocos de gesso é a faixa de tensão de água em que opera com segurança, visto que modernamente tem se recomendado a irrigação em tensões de água no solo que variam, tipicamente, de 10 a 50 kPa, para a maioria das hortaliças, flores, fruteiras e em várias das culturas anuais.

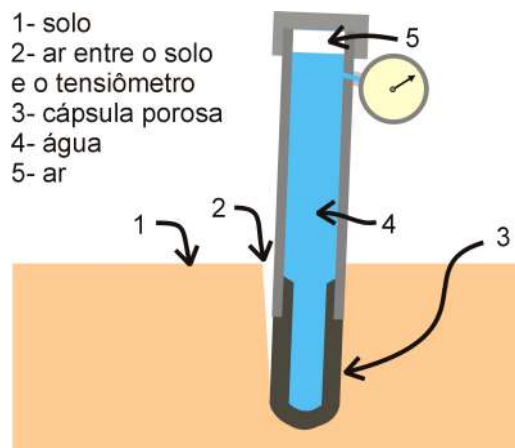


Figura 12.1- Diagrama de um tensiômetro comum no qual a tensão da água interna segue a tensão da água no solo.

Tensiômetros

O tensiômetro com cápsula porosa contendo água em sua cavidade (Fig. 12.1), denominado aqui de tensiômetro comum, é um dispositivo de medição de tensão ou sucção que é mantido em contato com a superfície do solo, ou neste inserido. Em equilíbrio, sua leitura é diretamente a tensão da água no solo, em unidade de energia dividida por volume (pressão). O tensiômetro não requer calibração, é um instrumento eudimétrico. Quando se refere a calibração de tensiômetro, porém, em geral, o que se está calibrando, na verdade, é o manômetro deste instrumento. O tensiômetro pode ser miniaturizado para oferecer resposta rápida, necessária em instrumentos portáteis. Sua faixa de trabalho teórica é um assunto discutível, porém, nos usos de campo os tensiômetros funcionam bem entre zero e 70 kPa, apesar de poderem medir tensões mais elevadas, que se aproximam e até superam o módulo da pressão barométrica por curtos intervalos de tempo.

As principais características do tensiômetro comum são a resposta eudimétrica, a facilidade de construção e a faixa de operação adequada à maioria das aplicações de manejo de irrigação de fruteiras, hortaliças e de culturas anuais. Sua limitação principal é o acúmulo de ar na cavidade da cápsula porosa, o que ocorre com velocidade crescente, sempre que a tensão da água no solo supera 30 kPa. Por esta razão, o tensiômetro comum requer manutenção freqüente, não sendo, portanto, um sensor adequado para a automatização de sistemas não assistidos.

Outras limitações do tensiômetro comum são o contato precário com o solo, na sua construção como haste cilíndrica rígida (Fig. 12.1). O mau contato diminui imensamente a condução de água entre o solo e a cápsula porosa. Nessa condição a resposta pode desenvolver-se com inaceitável atraso. Este problema é mais grave quando os tensiômetros são instalados à baixas profundidades, e mais ainda quando instalados em substratos soltos e de baixa densidade, situações nas quais, tipicamente, se descreve a ocorrência de uma camada gasosa entre o solo e a cápsula porosa do tensiômetro. Uma solução técnica, as vezes aceitável, para resolver o problema das medições em baixa profundidade é o uso de tensiômetro de superfície, cuja base plana é simplesmente apoiada sobre o solo. Outra limitação do tensiômetro, relatada com menos freqüência, é a perda de condutividade hidráulica por impregnação superficial externa e interna da cápsula porosa.

Para medir tensões de água muito mais elevadas, até 1500 kPa, atualmente existe o tensiômetro de Ridley & Burland (1993), que em princípio é muito similar ao tensiômetro comum, exceto por sua construção mais sofisticada. O desenvolvimento deste equipamento era previsível a partir dos resultados obtidos com o aparelho de Askenase (Otis, 1930), desenvolvido mais de 100 anos antes, utilizando cápsulas porosas de atmômetro para subsidiar hipóteses sobre a ascensão da seiva em plantas. É interessante notar que estes tensiômetros mais antigos, por não serem da área de solos, aparentemente não chegaram ao conhecimento de Or (2001), que fez uma revisão sobre a história de quem teria inventado o tensiômetro comum.

Tarantino & Mangiòvi (2001), estudando o tensiômetro de Ridley & Burland (1993) explicam que este instrumento requer uma fase de pré-hidratação de 24 horas em câmara de alta pressão (4000 kPa) para dissolver as bolhas de ar na cápsula porosa. Depois disto, este tensiômetro funciona adequadamente por até algumas horas e deixa de funcionar assim que ocorre cavitação. Apesar de instável, o tensiômetro de Ridley & Burland (1993) é uma importante ferramenta, nova, que está sendo utilizada por engenheiros mecânicos e geofísicos, porém é certamente um sistema trabalhoso e que não é apropriado para automatização de irrigação. Adicionalmente, o tensiômetro de Ridley & Burland (1993) parece continuar sendo uma ferramenta desconhecida entre os fisiologistas

vegetais, que certamente poderiam utilizá-los para avaliar o estresse de falta de água em plantas.

Condutividade térmica

Um método confiável de se estimar a tensão da água no solo é através do acompanhamento da condutividade térmica de cápsulas porosas de acordo com sua impregnação com água. Neste caso, a variação da massa de água na cápsula porosa é acompanhada através dos seus efeitos diretos sobre a condutividade térmica. O sensor de tensão de água por condutividade térmica é constituído de uma fonte de calor, com dissipação térmica ajustada e estável, usualmente uma resistência elétrica centralizada, e de um sensor para acompanhar a diferença de temperatura entre dois pontos, ao longo do raio de cápsulas porosas cilíndricas. Neste sistema, cada cápsula porosa precisa ser calibrada, individualmente, e a relação entre a tensão de água e a diferença de temperatura medida não é linear (Oliveira, 1999) e aumenta conforme o solo seca. Apesar de requerer calibração individualizada, trata-se de um sistema estável que se presta para automação de sistemas não-assistidos. No sensor de condutividade térmica, a faixa de tensões de água de trabalho depende da porosidade e da distribuição das dimensões dos poros na cápsula porosa. Desse modo, o sensor de condutividade térmica, com cápsulas porosas adequadas, pode operar tanto em tensões inferiores a 100 kPa, como também em tensões muito superiores a este valor.

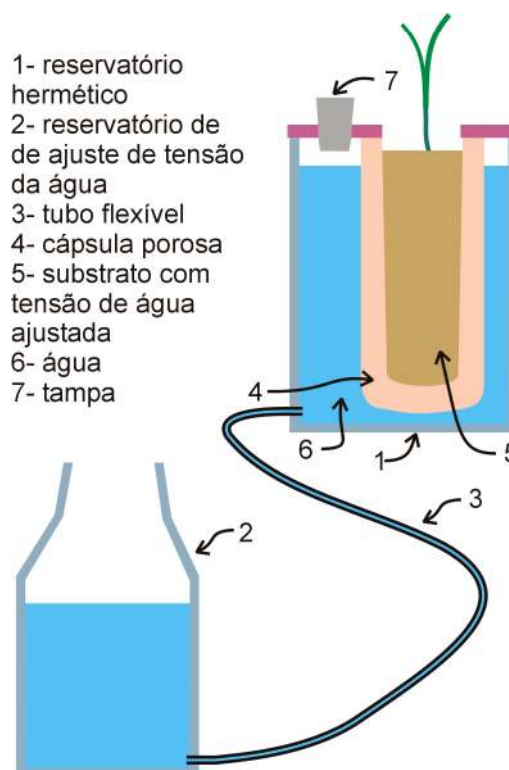


Figura 12.2- Esquema de um sistema de controle de tensão de água do substrato modificado da patente PI US 50097626).

O Irrigas

Descrito no documento BR 0004264-1, o Irrigas é fabricado com cápsulas porosas de tensão crítica de água apropriada a cada cultivo. Estas cápsulas porosas, hidrofílicas, entram em equilíbrio de tensão de água com o solo. Assim, quando o solo seca, acima da denominada tensão crítica, alguns poros se esvaziam o que torna o sensor permeável à passagem de gás. A tensão crítica do Irrigas é determinada com a aplicação de pressão até iniciar-se o borbulhamento de cápsulas imersas em água, ou com o auxílio da câmara de Richards, descrita para o preparo de curvas de retenção de água de solos. O Irrigas, como foi descrito nos capítulos anteriores, pode ser utilizado de diferentes maneiras para o manejo automático, ou não, de irrigação com gás comprimido e/ou com o uso de energia elétrica. O sensor Irrigas, além de servir para manejo de irrigação, também se presta para a construção de diferentes tipos de tensiômetros a gás.

A tensão crítica é o parâmetro necessário para o uso do Irrigas, de modo que o manejo da irrigação com este sensor é efetuado, automaticamente ou não, com o uso de

leituras da passagem do gás através da cápsula porosa. As principais características do Irrigas são a simplicidade de fabricação e uso, o baixo custo, a pequena troca de água com o solo, a linearidade de resposta nas medições de tensão de água em função da pressão de gás aplicadas e o fato de praticamente não requerer manutenção em suas aplicações sob pressão positiva, em solos minerais. Como limitações, sua superfície porosa pode sofrer impregnação com partículas finas de argila e matéria orgânica, se utilizado com pressão negativa. Uma solução parcial para este problema é a lavagem da superfície externa com material abrasivo após cada ciclo da cultura. Também tem sido difícil, com a tecnologia atual, a fabricação de cápsulas porosas para tensão inferior a 10 kPa, para uso em substratos de vasos, porque estas cápsulas tem ficado quebradiças.

Outros elementos porosos

Elementos porosos não tem sido utilizados apenas como sensores de tensão de água. Potes com água, de porosidade adequada, por exemplo, são ao mesmo tempo reservatórios e emissores de água para a irrigação de frutas e hortaliças. A irrigação com potes enterrados foi popular no império Romano e entre os povos Maias, na América Central. No Brasil, a irrigação com potes enterrados, na região Nordeste, recebeu o nome de potejamento (Silva et al., 1981). Considera-se que os potes são caros, que se quebram com facilidade e que perdem condutividade hidráulica no tempo. Como os potes operam sob pressão de água positiva, a deposição de partículas ocorre, praticamente, só na superfície interna. Assim, se o pote tiver um bom desenho, então, este poderá ser lavado com agente abrasivo (ex. areia), de modo que o seu desempenho como emissor de água é restaurado. O potejamento, apesar de suas qualidades, tem sido considerado um sistema caro, de instalação difícil e pouco compatível com o uso de mecanização.

Há também pequenos irrigadores de vaso de diferentes modelos, que possuem uma cápsula porosa cheia de água inserida no solo, e ligada a um reservatório de água, externo, através de um tubo e uma tampa hermética. Através da cápsula porosa, o solo succiona sendo que água do reservatório. O acúmulo de sujeira também é um problema neste tipo de irrigador. A lavagem interna pode ser feita como nos potes, descritos anteriormente, para restaurar o desempenho.

No documento PI US 50097626 descreve-se um irrigador tensiométrico no qual o aumento da tensão da água no solo é usado para abrir (descomprimir) a passagem de água para o solo, através de um tubo flexível de pequeno diâmetro. Equipamentos deste tipo e outros com diferentes desenhos são denominados de tensiostatos e são utilizados para manejo de irrigação, com os problemas de cavitação, enchimento de ar, já descritos em vários capítulos.

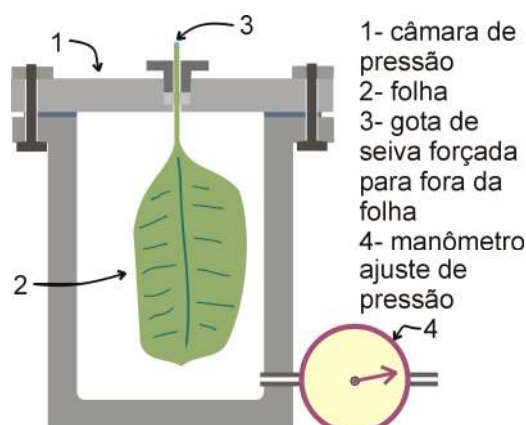


Figura 12.3- Esquema de uma câmara de pressão tipo Scholander com uma folha fixada à tampa.

Há casos, no entanto, em que a função da cápsula porosa é ao mesmo tempo de emissão de água e de controle da tensão de água, como se descreve no documento PI US 4561294 (Fig. 12.2). Neste sistema, controla-se a tensão de água do substrato, contido no interior de uma cápsula porosa aberta para a atmosfera com auxílio de um frasco de controle de tensão de água com tampa hermética. O recipiente hermético, por sua vez, é ligado por um tubo cheio de água a um segundo recipiente com água, cuja altura é regulada, de modo a se ajustar a tensão da água do frasco hermético. Evidentemente, a cápsula porosa deste sistema pode perder condutividade hidráulica no tempo, e o modo de restaurar a sua condutividade é a lavagem da sua superfície interna com agente abrasivo.

Uma outra forma de fazer manejo de irrigação baseado na tensão da água é apresentada no documento US 3874590. Este sistema aplica a propriedade de expansão e retração de um material absorvente de água, sensível à tensão da água, posto em contato com o solo. Este sensor expande-se completamente em solo muito úmido e se contrai conforme a tensão da água no solo aumenta. A irrigação é iniciada quando o sensor se contrai e é encerrada quando este se expande. A contração, no entanto, é um mecanismo de acionamento que causa mau contato, deslocamento entre o do sensor e o solo, o que diminui a condução de água e atrasa a resposta. Adicionalmente, dependendo do material do sensor (e.g. madeira) pode haver deterioração da resposta à tensão da água no decorrer do tempo.

Sensores pontuais

Todos os sensores de umidade e de tensão de água considerados aqui para manejo de irrigação são “pontuais” e devem, preferencialmente, ser instalados no solo entre as raízes das plantas. Como a distribuição de raízes no perfil do solo é sempre variável, estes sensores devem ser utilizados em número suficiente para que a estimativa da umidade ou da tensão da água no solo seja adequada aos propósitos de manejo da irrigação.

ÁGUA NA PLANTA

Idealmente, a irrigação deveria ser feita um pouco antes das plantas sofrerem estresse hídrico prejudicial a produção. Simples, em tese, o ato de medir o estresse diretamente na planta tem sido difícil de realizar e não está bem resolvido, apesar do enorme número de pesquisas realizadas sobre este tema. O único sistema prático e de qualidade disponível para estimar a tensão de água nas paredes celulares (apoplasma) das plantas, no campo, é a câmara de Sholander (Fig. 12.3), também denominada de câmara de pressão (Scholander et al., 1964). Este instrumento, no entanto, é adequado quase que exclusivamente para determinar a tensão da água em folhas e em ramos. Em estruturas de elevada razão

superfície/volume, a tensão da água altera-se substancialmente em minutos, em função do vento, da radiação e de outras variáveis meteorológicas. Na planta, usualmente, há outras estruturas com menor razão superfície/volume do que folhas, onde estas medidas de tensão de água são sujeitas a variações mais lentas e estão mais relacionadas com o estresse médio. Para estas estruturas de maior capacitância, no entanto, os instrumentos disponíveis ainda não são práticos para uso rotineiro no campo.

Na câmara de Scholander, um problema, que alguns consideram muito relevante, são os seus pressupostos de funcionamento. Autores como Canny (1995) consideram que a câmara de pressão gera valores de tensão de água demasiadamente elevados, e que na verdade tensões de água de magnitude superior a 1000 kPa simplesmente não ocorreriam, de maneira estável, ao menos nos vasos do xilema das plantas. Razão pela qual o autor sugere que os resultados obtidos com a câmara de Scholander seriam, em geral, super estimados.

Para atacar este problema, uma sonda de pressão inicialmente utilizada para medir a pressão no interior das células (Husken et al., 1978) passou a ser inserida no interior dos vasos do xilema para estimar a tensão da água. Apesar das enormes dificuldades tecnológicas causadas pela necessidade de inserir tubos capilares no interior de vasos de xilema, sem causar cavitação, conseguiu-se medir tensões de água na planta de até cerca de 600 kPa (Weis & Steudle, 1999). Os métodos de aplicação desta sonda de pressão ou da sonda termoelástica, descrita no documento BR PI 9906212, no entanto, são trabalhosos e quase que exclusivamente laboratoriais.

A tensão da água e o transporte de água em plantas tem sido modelados e interpretados de acordo com a capilaridade em elementos porosos (Scholander, 1955). Apesar de útil como modelo, elementos porosos não tem sido relatados como sensores de tensão de água para plantas. Possivelmente, a razão disto é a analogia implícita com o tensiômetro comum de cápsula porosa cheia de água que mede uma faixa de tensão de água muito pequena (0 a 70 kPa) e, usualmente, o faz requerendo uma “enorme” troca de água com o solo, da ordem de mililitros.

Como explicado anteriormente, o sistema Irrigas superou a maioria das dificuldades relatadas para os dispositivos para medir tensão de água no solo. Adicionalmente, agora se sabe que este sistema também poderá ser utilizado para medir a tensão de água de tecidos vegetais de acordo com procedimentos especiais para cápsulas porosas de elevada tensão crítica, que serão descritos em detalhe no capítulo sobre sensores bifaciais. E neste sentido, adianta-se que estes novos sensores de tensão de água terão vantagens sobre outros sistemas utilizados pelos fisiologistas vegetais atualmente. Sobre a câmara de Sholander, este sistema terá a vantagem de ser caracterizável com procedimentos análogos aos já descritos

no capítulo 2. Sobre a sonda de pressão terá a vantagem de ser um sistema estável e portátil.

SUMÁRIO

Apesar da importância para as plantas o componente osmótico do potencial da água foi praticamente ignorado e o componente de pressão positiva no interior das células, denominado de turgescência, foi abordado somente de passagem neste capítulo. Isto foi feito tendo-se em vista dois fatores: primeiro há extensa literatura disponível sobre pressão osmótica e turgescência e em segundo lugar porque não é objetivo deste livro abordar as relações de causa que relacionam a pressão osmótica, a turgescência e tensão da água nas paredes celulares e nos vasos do xilema da planta.

Assim, neste capítulo procurou-se apenas descrever brevemente os métodos disponíveis para medir a tensão da água no solo e na planta. Isto foi feito, tendo-se em vista que a tensão da água, em geral, é a parte principal do potencial da água no solo, nos vasos do xilema e na água contida entre as fibrilas nas paredes celulares. Para cada método procurou-se deixar claras as principais potencialidades e as suas limitações.

Para medição em plantas os principais métodos descritos foram o tensiômetro de Ridley & Burland (1993), que realmente mede tensão de água, mas aparentemente ainda não foi descoberto pelos fisiologistas vegetais. A câmara de Scholander, que é um instrumento muito prático e popular, porém há dúvidas se realmente mede tensão da água na planta (Canny, 1995). E por último, o sistema Irrigas, que realmente mede tensão de água e que poderá ser aplicado em estudos de fisiologia vegetal e ecofisiologia em breve.

CARACTERIZAÇÃO E TESTES

Adonai Gimenez Calbo & Washington L.C. Silva

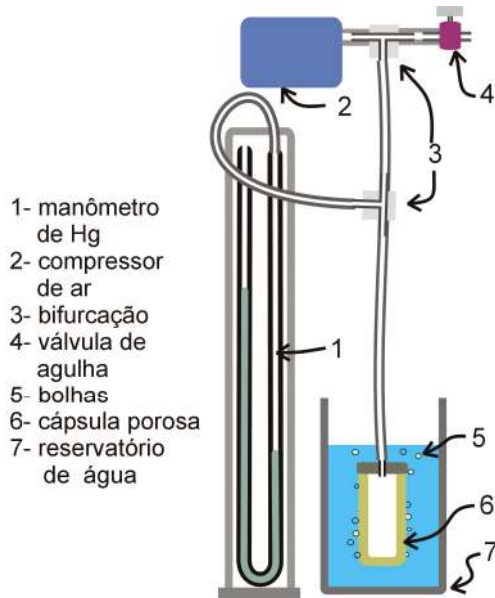


Figura 13.1- Dispositivo para medir pressão de borbulhamento.

Neste capítulo são descritos métodos para caracterizar e testar os sensores Irrigas quanto a sua integridade e suas principais propriedades físicas, isto é, as tensões críticas de sorção (T_s) e de dessorção (T_d). Adicionalmente, trata-se de sistemas acessórios importantes para o controle e a medição de fluxo de ar que são necessários em aplicações de tensiometria a gás. Estes assuntos são um complemento necessário ao tratamento dado à tecnologia Irrigas nos demais capítulos.

1# Qual o melhor método para caracterizar um sensor Irrigas?

Há vários métodos adequados para se caracterizar os sensores Irrigas, através de seus parâmetros característicos a tensão crítica de dessorção (T_d) e a tensão crítica de sorção (T_s).

Os métodos que fazem uso da câmara de Richards são bem aceitos, porém, em geral, são métodos demorados. Assim, são preferíveis os métodos de caracterização com as cápsulas imersas em água e que fazem uso de pressão de borbulhamento, pois isto é um processo mais rápido e que gera estimativas de T_d e T_s muito similares àquelas que se obtém com auxílio de câmaras de Richards.

2# A tensão crítica de uma cápsula ou sensor Irrigas pode ser determinada diretamente no solo, comparando com a leitura de tensiômetros comuns?

Não. Este é um procedimento de baixíssima precisão, e seria o equivalente a aferir um tensiômetro comum utilizando-se de um outro tensiômetro comum instalado no solo como controle. A razão para a baixa precisão deste procedimento é a grande dificuldade para se manter homogênea a tensão da água no perfil do solo. Isto é ainda mais difícil quando se considera que o solo é explorado por raízes. Adicionalmente, há uma impossibilidade física de se instalar dois sensores, tensiômetro e Irrigas, exatamente no mesmo lugar. Por

estas razões, os procedimentos utilizados para a aferição de tensiômetros comuns e do Irrigas fundamentam-se em medidas diretas, de ajuste de tensão de água, como é, por exemplo, na Câmara de Richards.

3# Como fazer estimativas de tensões críticas por pressão de borbulhamento?

Uma forma clássica de medir pressão de borbulhamento é imergir a cápsula porosa em água, o que causa parcial saturação dos poros com água livre. A seguir, aumenta-se lentamente a pressão até que comece a ocorrer borbulhamento na superfície da cápsula porosa. A pressão na qual ocorre o início do borbulhamento é a chamada “pressão de borbulhamento”. Para o Irrigas, a “pressão de borbulhamento” é uma estimativa, com sinal trocado, da tensão crítica de secamento ou de dessorção (Td), na qual a cápsula porosa instalada no solo se torna permeável à passagem de ar.

Na figura 13.1 ilustra-se um arranjo experimental simples, constituído de manômetro, bifurcações, compressor de ar e válvula de agulha para fazer a medição clássica da pressão de borbulhamento.

Por outro lado, para estimar a tensão crítica de umidificação ou de sorção por borbulhamento, diminui-se lentamente a pressão até que o borbulhamento cesse. Este valor de pressão em que cessa o borbulhamento é a tensão crítica de umidificação ou de sorção (Ts). A diferença entre os valores (módulos) da pressão para iniciar o borbulhamento e para cessar o borbulhamento é um tipo de histerese.

O Irrigas em suas aplicações mais comuns faz uso da tensão crítica de dessorção (Td). Os tensiômetros a gás, dependendo do modo de operação, fazem uso desta tensão crítica (Td) ou então da tensão crítica de sorção (Ts). O tensiômetro a gás de fluxo contínuo, por exemplo, é um instrumento que determina a tensão da água no solo de acordo com o uso do parâmetro tensão crítica de sorção Ts.

4# Como se obtém curvas de fluxo de ar em função da pressão gasosa aplicada às cápsulas porosas?

Na figura 13.2 observa-se uma curva típica de fluxo de ar que atravessa uma cápsula porosa do sensor Irrigas imersa em água, como função da pressão de ar aplicada.

Para medir o fluxo de ar nestes ensaios pode-se utilizar um fluxímetro de capilar (Fig. 13.3). Alternativamente, o fluxímetro de capilar (5) poderia ser removido e a medição seria feita em uma pipeta graduada, através da cronometragem do movimento de “bolhas” em uma pipeta graduada, que foi inicialmente imersa em água com sabão. O fluxo, de acordo com a movimentação de um menisco, pode também ser obtido com bolhômetros e outros fluxímetros comerciais.

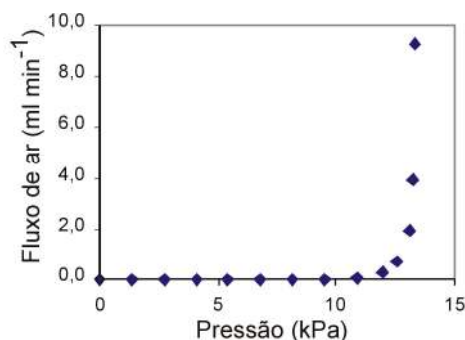


Figura 13.2- Curva de pressão aplicada versus fluxo de ar através de uma cápsula porosa imersa em água.

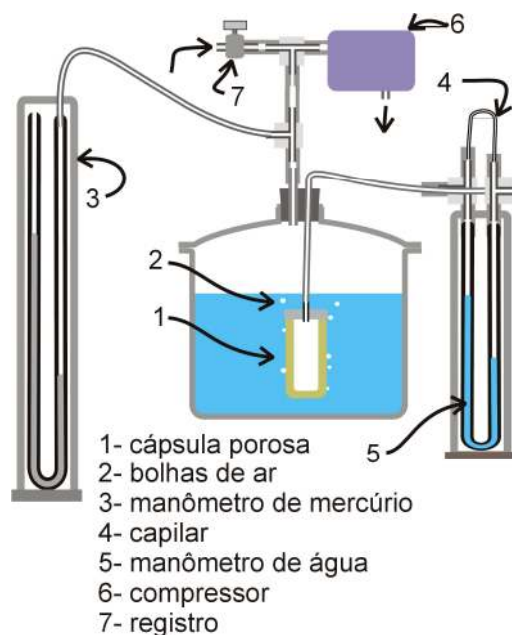


Figura 13.3- Dispositivo para determinar tensão crítica e fluxo de ar através de cápsulas porosas do sensor Irrigas.

Rotômetro, um tipo de fluxímetro no qual a posição de uma esfera flutuadora se relaciona com o fluxo de gás, também poderia ser aplicado em demonstrações, porém estes são dispositivos menos precisos.

O bolhometro, em geral, tem sido empregado como um método de referência. As fontes de erro do bolhometro são de cronometria, de aumento de volume gasoso, causado pela evaporação da água e da diminuição do volume gasoso por pressurização, visto que a “bolha” precisa ser empurrada através da pipeta graduada. Para o uso do bolhometro, costuma-se molhar a face interna da pipeta com água e sabão e após o escoamento da solução a pipeta é encaixada no tubo para medir o fluxo de ar. O fluxo é obtido como a razão entre o volume percorrido pela “bolha” e o tempo despendido.

O fluxímetro de capilar pode ser feito com um manômetro de coluna de água (tubo de vidro em “U” contendo água), duas conexões em “T” e um capilar de referência. A transdução do fluxo em leitura de pressão é feita no capilar, e é medida como diferença de altura de coluna de água entre saída e a entrada do capilar.

O arranjo da figura 13.3 é conveniente porque se mede o fluxo de ar que entra na cápsula porosa na pressão barométrica local. No entanto, com este sistema, no máximo, se obtém curvas de fluxo versus pressão aplicada até cerca de 1 atm (100 kPa). Evidentemente que, quando se deseja trabalhar com cápsulas porosas Irrigas de tensões mais elevadas, então pode-se empregar o sistema ilustrado na figura 13.4 para medir o fluxo de entrada na cápsula porosa. No entanto, precisa-se ter em mente que o ar é um fluido compressível e aplicar as correções, para calcular o fluxo de ar que borbulha na cápsula porosa e escapa para a atmosfera.

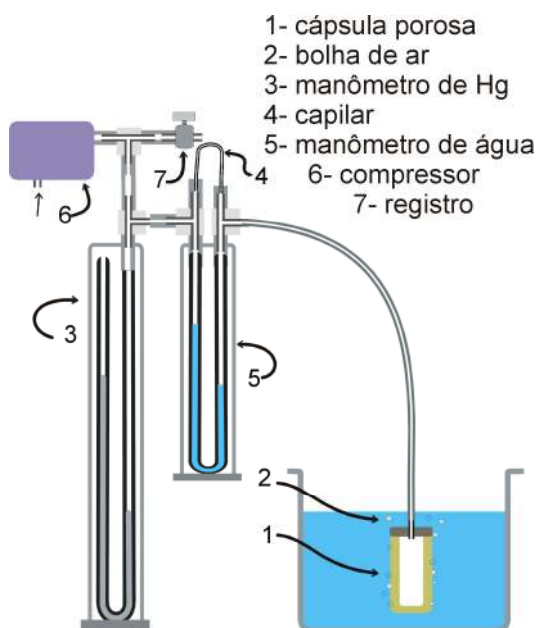


Figura 13.4- Dispositivo para determinar pressão de borbulhamento e fluxo de ar através de cápsulas porosas do sensor Irrigas.

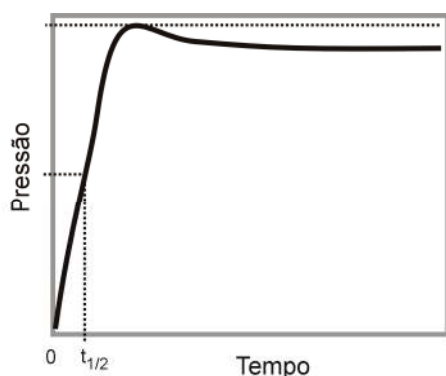


Figura 13.5- Curva típica de pressurização de sensores Irrigas submetido à entrada de um fluxo constante de ar.

5# Sob qual fluxo deve-se medir a tensão crítica das cápsulas porosas utilizadas em tensiômetros e tensiostatos de fluxo contínuo?

Na maioria das aplicações comuns do Irrigas a tensão crítica útil e correta é a que se obtém pelo método comum de medir pressão de borbulhamento, isto é, obtida por aumento de pressão até que comecem as primeiras bolhas, ainda com fluxo de gás próximo a zero.

Em tensiometro a gás de fluxo contínuo, no entanto, a tensão crítica medida por imersão em água é sempre feita com a cápsula sendo atravessada por um pequeno fluxo de ar que por razões óbvias não é zero, porém se encontra usualmente entre 1,0 e 10 ml min⁻¹, dependendo da cápsula porosa empregada. Usualmente, cápsulas porosas maiores e com tensão crítica menor podem ser trabalhadas com o uso de fluxos maiores, que proporcionam respostas mais rápidas.

Assim, na prática, para um sistema de tensiometro a gás com passagem de fluxo contínuo de ar através da cápsula porosa deve-se utilizar a estimativa de tensão crítica

obtida com o fluxo de trabalho do aparelho. A questão da tensão crítica crescer em função do fluxo de gás aplicado, como se observa na figura (13.2), usualmente não causa erro nas estimativas da tensão de água no solo, dentro de uma ampla faixa de fluxos, visto que este valor é obtido por diferença.

6# Como se obtém tensões críticas T_d e T_s com um tensiômetro a gás de fluxo contínuo?

Para estas observações, a cápsula porosa é equilibrada com água livre e mantida neste ambiente parcialmente imersa. O ensaio é iniciado acoplando-se à entrada do tensiômetro a gás e acompanhando-se a evolução da pressão no tempo. Inicialmente, a pressão aumenta e passa por um ponto de máximo e depois diminui ligeiramente e se estabiliza (Fig. 13.5). O valor máximo é uma estimativa da tensão crítica de secamento ou de dessorção (T_d). O valor da pressão já estabilizada é, por outro lado, uma estimativa de tensão crítica de sorção (T_s), que é o parâmetro de uso mais importante para a aplicação deste tensiômetro gasoso de fluxo estacionário.

7# Como se monta uma câmara de Richards com pressão negativa ?

Na Fig. 13.6 observa-se uma câmara de Richards de pressão negativa, na qual se ajusta a tensão da água no solo com a aplicação de vácuo parcial. Este tipo de câmara pode ser preparado com uma placa porosa de tensão crítica apropriada, fixada sobre um recipiente hermético.

No interior da amostra de solo ilustra-se uma cápsula porosa de Irrigas, mas poderia também ser um outro sensor cuja resposta se queira aferir. Tipicamente, neste sistema, a leitura obtida com o uso de tensiômetros a gás (Irrigas) e de tensiômetros comuns são iguais ao vácuo parcial com o qual se ajusta a tensão da água do solo.

8# Como se modifica uma câmara de Richards de pressão positiva para se aferir sensores Irrigas sem a necessidade de despressurizar o sistema?

Isto é feito com a adição de tubos de entrada e de saída na tampa da câmara de Richards, ao qual se conecta um sistema para fazer o teste de pressurização do Irrigas, com auxílio de um "by pass" (Fig. 13.7), cujo registro fica aberto enquanto a pressão está sendo aumentada na câmara de Richards. O teste de pressurização na câmara de Richards é feito assim que houver equilíbrio de tensão de água. Deste modo, caracteriza-se sensores Irrigas com a mesma facilidade, e com procedimento similar ao que é usado para caracterizar os blocos de resistência elétrica de gesso.

9# Quais testes podem ser utilizados para verificar vazamentos na cápsula porosa do Irrigas?

Antes de instalar o sensor Irrigas no campo é recomendável verificar se o mesmo está bom estado, isto é,

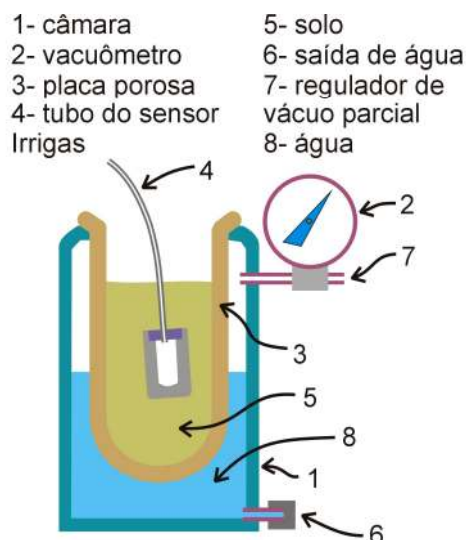


Figura 13.6- Câmara de Richards simples para operar em pressão negativa que é ajustada com um regulador de vácuo parcial.

sem avarias, como rachaduras. Para uma verificação rápida, imerge-se a cápsula do Irrigas em um reservatório com água por cerca de 30 segundos para umedecê-la. A seguir, imerge-se a cuba transparente em água (Fig. 1.1). Caso este molhamento tenha tornado o sensor Irrigas impermeável ao ar, então a água não entra na cuba durante o teste de imersão e o sensor Irrigas pode ser considerado bom.

Um teste de vazamento mais rigoroso é feito colocando as cápsulas porosas, em pé, dentro de um balde com água por cerca de duas horas, tendo o cuidado de deixar a ponta dos tubos plásticos do lado de fora (Fig. 13.8 A). Após algum tempo, a cavidade e parte do tubo plástico são cheios de água (Fig. 13.8 B). Retira-se, então, a cápsula porosa do balde e segura-se a mesma com o tubo pendurado, como se observa na figura 11.8 C. Em frações de segundo, a superfície da cápsula passa de brilhante (“mais molhada”) para opaca (“mais seca”), ao mesmo tempo que a água deixa de escorrer. Quando se obtém esta resposta, a cápsula do sensor Irrigas é considerada sem vazamento.

Este teste de vazamento além de eficaz e de bom rendimento, ainda é instrutivo. Com este teste percebe-se a importância da tensão superficial da água em cápsulas porosas. É interessante ver a superfície da cápsula porosa passar de brilhante (“molhada”) para opaca (“seca”), ainda mais que este fenômeno pode ser revertido inúmeras vezes, simplesmente levantando e abaixando o tubo flexível. Quando o tubo flexível é levantado, a cápsula primeiro torna-se brilhante, e em seguida formam-se gotas de água na superfície, cujo escorrimento pode ser evitado abaixando-se o nível da cuba com água.

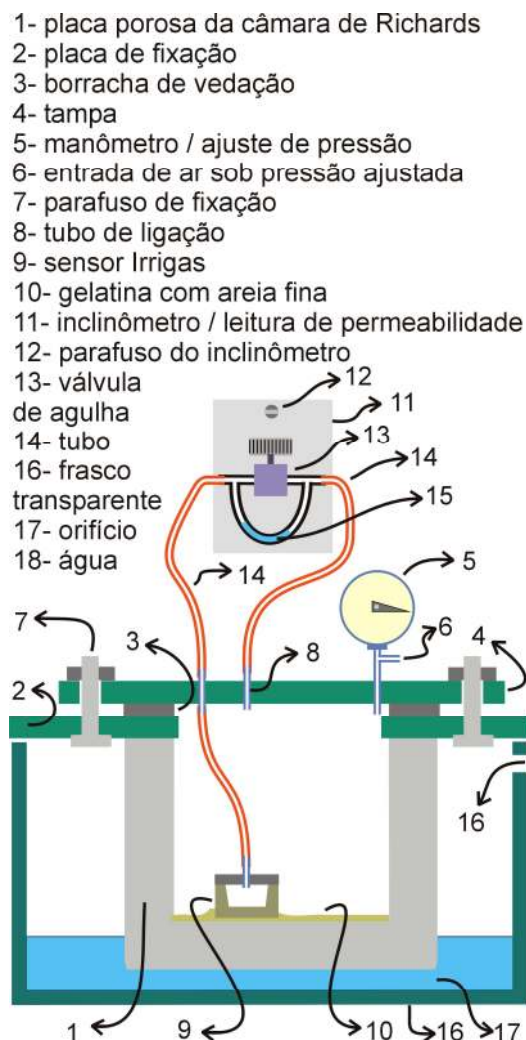


Figura 13.7- Câmara de Richards estilizada com conexões e sistema de inclinômetro para a aferição das tensões críticas de sensores Irrigas. No inclinômetro a água volta ao nível livremente assim que a tensão de água torna o sensor Irrigas permeável à passagem de ar.

10# Como saber se a mangueira do Irrigas instalado no solo foi danificada por um roedor?

Pode-se injetar com uma seringa comum de 10 a 20 ml de água através do tubo do Irrigas. Caso o Irrigas, assim molhado, se tornar impermeável à passagem do ar no teste de imersão da cuba (por exemplo), então o tubo não está danificado. Caso contrário, pode-se presumir que o tubo foi danificado e que deva ser substituído.

11# Como Kemper & Amemiya calibravam seu sistema não linear de medir tensões de água superiores às tensões críticas das cápsulas porosas (T_d)?

Inicialmente, deve-se lembrar que Kemper & Amemya (1958) mediam condutividade ao ar das cápsulas porosas, o que não é usado no sistema Irrigas. Por isso, somente tensões de água no solo superiores a T_d eram avaliadas por esses autores. Como a condutividade ao ar das cápsulas porosas é uma função extremamente não linear da tensão de água no solo, então, cada cápsula porosa requeria calibração individual com o uso de uma câmara de Richards.

Para a calibração, Kemper & Amemiya (1958) colocavam suas cápsulas porosas em uma camada de solo acomodada no interior de uma câmara de Richards. A água deste solo inicialmente encharcado era então removida lentamente com aplicação de pressão. Quando o equilíbrio de tensão de água era atingido, a câmara de Richards era aberta e a condutividade da cápsula porosa à passagem de ar era medida. Entre tensão de água zero a tensão equivalente à pressão de borbulhamento, que aqui denominou-se de tensão crítica de dessorção, a condutividade ao ar da cápsula porosa era sempre nula. Quando a tensão da água no solo se tornava maior que T_d , então havia uma condutividade ao ar que era medida. A seguir, aumentava-se mais a tensão da água no solo e media-se novamente a condutividade. Assim se obtinha uma curva não-linear entre a tensão de água e a condutividade ao ar da cápsula porosa. Uma dificuldade adicional nesta curva não-linear é a ocorrência de saturação. A partir de uma certa tensão de água no solo um novo incremento da tensão da água não causa mais um aumento detectável na condutividade da cápsula porosa ao ar.

O uso do método de Kemper & Amemiya (1958) para medir tensão de água no campo é muito complicado. O procedimento de calibração destes sensores, no entanto, era correto e havia poucos problemas técnicos porque a câmara de Richards utilizada era de membrana, de modo que o retorno de água para o solo após a despressurização era negligível. Atualmente muitas câmaras de Richards são fabricadas com uma placa cerâmica, que ao ser despressurizada retorna água para o solo, o que causa um erro denominado “rebound”.

12# Como evitar “rebound” ou retorno de água da placa porosa de uma câmara de Richards durante a aferição do sensor Irrigas?

Há pelo menos dois modos práticos de fazer isto. Primeiro, utilizando-se de uma câmara de Richards de pressão negativa, com a qual se pode ajustar a tensão de água entre zero e 80 kPa. Segundo, modificando-se a câmara de Richards de modo que o teste comum de pressurização (Fig. 13.7). Nestas duas situações a aferição é efetuada sem necessidade de despressurização da câmara de Richards.

13# Como preparar capilares para o ajuste do fluxo de ar?

Há várias formas de preparo de capilares para montar a automação com mini compressor de ar, pressostato, válvula solenóide e o sensor Irrigas. Os capilares de cobre disponíveis nas casas de refrigeração são fáceis de manipular e o fluxo viscoso de ar pode ser determinado pelo comprimento, e até mesmo por amassamento do tubo de cobre. Um tipo de capilar mais difícil de preparar, porém de alta qualidade são os capilares

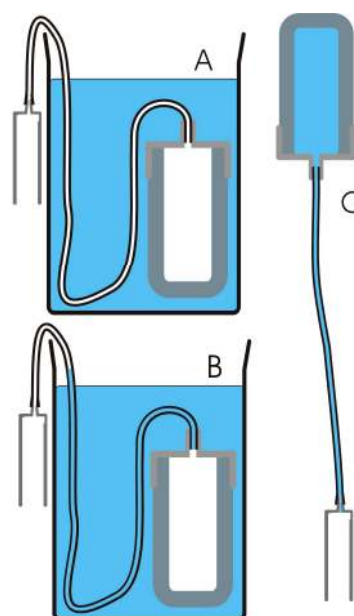


Figura 13.8- Teste de vazamento para o sensor Irrigas. A- Cápsula imersa sendo infiltrada com água. B- Cápsula imersa e já cheia de água. C- Posição de teste de vazamento, em sensor Irrigas em bom estado o escoamento deixa de ocorrer em poucos segundos.

de vidro. Uma terceira opção, mais fácil, são os segmentos de fio elétrico flexível (multifio), nos quais há volumes gasosos capilares entre os filamentos metálicos. Estes segmentos de fio, no entanto, são confiáveis apenas sob pressões inferiores a 40 kPa. Adicionalmente, os fios devem ser de cor branca para não sofrerem substancial aquecimento quando expostos diretamente à radiação solar. Evidentemente, quanto mais fino e mais longo o segmento de fio, maior será a resistência ao fluxo viscoso do ar.

14# O capilar de fio elétrico pode ser utilizado em pressões mais elevadas que 20 kPa?

Para isto os capilares preferencialmente devem ser estabilizados, por exemplo, incluindo o fio em um bloco de resina rígida de epoxi. Com este tratamento estes capilares podem ser utilizados com pressões de entrada de até 200 kPa.

15# Como se mede o fluxo de ar através dos capilares?

Para medir o fluxo de ar que atravessa um capilar preparado com fio (multifio) de 10 cm de comprimento, por exemplo, o procedimento empregado pode ser o seguinte: acopla-se o capilar de um lado ao mini compressor e do outro a um pedaço de aproximadamente 50 cm de tubo de PVC flexível. Liga-se o compressor de ar e, para conferir que o ar está fluindo, imerge-se o tubo de PVC flexível em uma proveta de 50 ml, contendo 2 ml de água e sabão. Assim, vê-se que as bolhas formadas preenchem o volume da proveta. Isto é feito depois de umedecer a parede interna da proveta, para que as bolhas não se desidratem e estourem. Para esta calibração aproximada deve-se marcar o tempo para formar um dado volume de bolhas, por exemplo, 20 ml. Se o tempo foi de 45 segundos, então, o fluxo por minuto será:

Fluxo = $(20\text{ml} / 45 \text{ segundos}) \times 60 \text{ segundos/minuto} = 26,7$ ml por minuto.

Por outro lado, caso o fluxo desejado fosse de 8 ml min^{-1} , então o comprimento do segmento de fio multifio necessário seria obtido com a seguinte proporção inversa.

Comprimento = $26,7 \text{ ml/min} \times 10 \text{ cm} / 8 \text{ ml/min} = 33,4 \text{ cm}$.

SUMÁRIO

Neste capítulo sobre caracterização e testes, deu-se ênfase aos métodos de caracterização do sensor Irrigas através dos seus parâmetros principais, as tensões críticas de secamento ou dessorção (T_d) e da tensão crítica de umidificação ou sorção (T_s). Outras variáveis relacionadas como a condutividade hidráulica da cápsula porosa, em geral, são menos importantes nos sensores Irrigas do que o são nos tensiômetros comuns, e por esta razão métodos para medir este parâmetro não foram tratados aqui.

No sensor Irrigas o fluxo de ar que permeia a cápsula porosa é muito importante, especialmente nas aplicações em tensiometria a gás e por esta razão as medições de fluxo de ar através da cápsula porosa e as formas de se ajustar o fluxo de gás para tensiometria gasosa foram bem detalhados.

IRRIGAS BIFACIAL

Adonai Gimenez Calbo

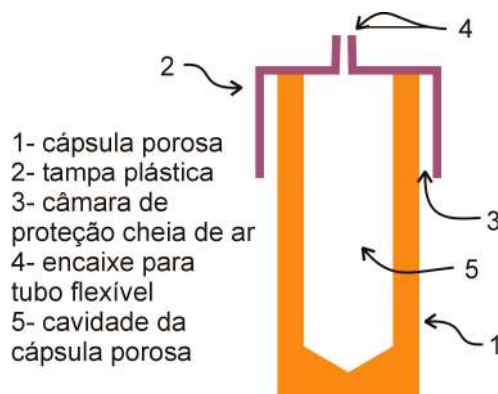


Figura 14.1- Irrigas bifacial com anel ou de proteção na tampa

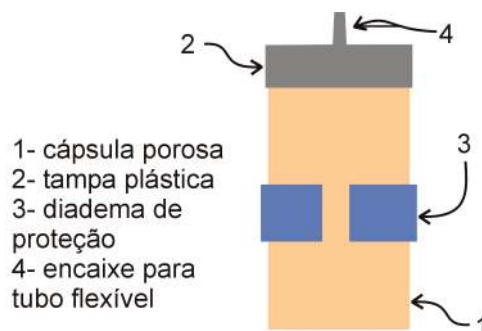


Figura 14.2- Irrigas bifacial com proteção em forma de diadema acoplável.

Neste capítulo, após a definição e a apresentação de alguns modelos típicos de sensores Irrigas bifaciais, serão descritos novos métodos de uso. Alguns destes métodos são úteis em tensiômetros a gás para plantas, cujos tecidos e órgãos possuem propriedades hidráulicas bem distintas das consideradas para os solos e outros substratos cultivo.

A ocupação parcial dos poros superficiais com micro partículas do solo pode causar um gradual aumento da tensão crítica, o que define uma perda de desempenho das cápsulas porosas. Para que isto não ocorra, os sensores Irrigas bifaciais possuem uma câmara de proteção cuja forma pode ser de uma aba (Fig. 14.1), de um diadema (Fig. 14.2) ou mais elaborada como se ilustra nas figuras 14.3 e 14.4. Com estas câmaras de proteção, o elemento poroso sensível é mantido, com sua face interna e parte de sua face externa contatando apenas a fase gasosa. Assim, os sensores Irrigas bifaciais se mantêm livres da impregnação com partículas de solo ou de planta, o que é importante para manter a tensão crítica de água do sensor Irrigas estável através dos ciclos de irrigação. A denominação sensor Irrigas bifacial, evidentemente, é oposta a denominação Irrigas monofacial, do sensor Irrigas comum, no qual apenas a face interna da cápsula porosa do sensor é preenchida com gás e protegida contra a impregnação com micro partículas do solo. No Irrigas comum a limpeza externa do sensor é a forma de devolvê-lo à tensão crítica inicial após cada cultivo.

Alguns usos interessantes dos sensores Irrigas bifaciais são:

- 1- para instalação permanente no solo e em plantas;
- 2- para uso em tensiômetros a gás portáteis nos quais a superfície do Irrigas monofacial, comum, se sujaria muito rapidamente;
- 3- para a construção de sensores Irrigas com duas ou mais escalas de trabalho, graças ao uso de camadas de elementos porosos com diferentes tensões críticas de água, para a obtenção de resultados precisos em uma ampla faixa de tensões de água;
- 4- Para medir tensões de água elevadas com rapidez em estudos de fisiologia vegetal, utilizando-se de gases marcadores.

Descrição e tipos

Os sensores Irrigas bifaciais além de manterem uma camada com as faces interna e externa livres do contato com o solo ou a planta, ainda provêem equilíbrio de tensão de água com a amostra suficientemente rápido, para cada aplicação, graças ao uso de dimensionamento e desenhos apropriados que asseguram proteção sem causar intolerável atraso na velocidade de resposta.

A entrada de água no interior do elemento poroso ocorre após uma filtragem, nos poros externos, em contato com a água do solo. Assim, uma camada sensível do elemento poroso se mantém livre da impregnação de partículas, e desse modo a tensão da água, na qual alguns destes poros se encham de gás não aumenta ao longo do tempo. Estes sensores Irrigas bifaciais podem ser utilizados, com vantagem, em substituição aos sensores Irrigas comuns, monofaciais, e podem ser utilizados em aplicações especiais para as quais o Irrigas comum simplesmente não é adequado.

O arranjo, o desenho, o número de elementos porosos e o número das câmaras dos sensores Irrigas bifaciais podem ser variados para servir a finalidades como:

- 1- alta velocidade de resposta através de sensores diminutos;
- 2- alta tensão crítica para medições em plantas, com auxílio de gás marcador;
- 3- capacidade para avaliar a tensão da água em uma profundidade específica do solo;
- 4- possibilidade para estimar a tensão de água em uma camada espessa de solo;
- 5- sensor estável, de baixo custo e de fabricação simples;
- 6- preparo de sensor composto para atuar em mais de uma tensão crítica de resposta, para obter escalas crescentes de tensão de água;
- 7- sensor com elemento poroso planar para medir a tensão da água na superfície do solo ou na superfície de órgãos volumosos (Fig. 14.12).

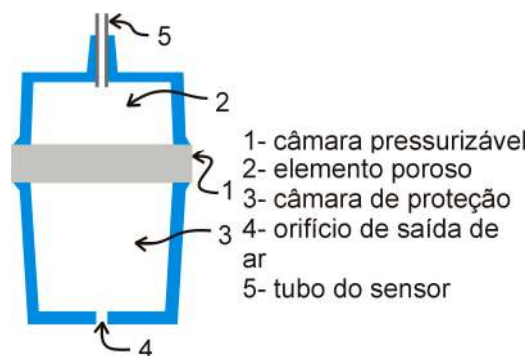


Figura 14.3- Irrigas bifacial com câmara de proteção..

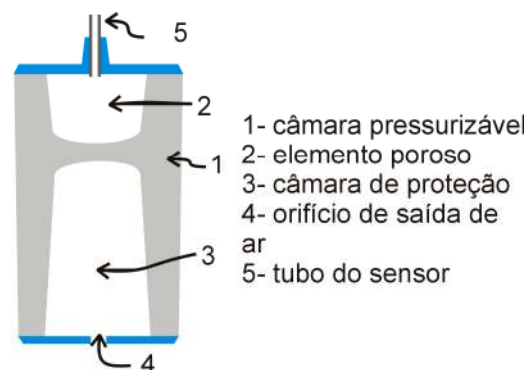


Figura 14.4- Irrigas bifacial com câmara de proteção em corpo alongado de cerâmica.

Detalhes de fabricação

Sensores Irrigas bifaciais muito simples são fabricados com estruturas anelares como nas figuras 14.1 e 14.5. No modelo da figura 14.1, a parte protegida, espécie de câmara de proteção cheia de ar fica diretamente sob a tampa. Este é certamente o Irrigas bifacial mais simples. Este modelo de Irrigas preferencialmente deve ser instalado na posição vertical para assegurar que a aba cumpra a sua finalidade da maneira mais efetiva.

Diadema (Fig. 14.2) é um acessório para fazer com que um Irrigas comum venha a funcionar como um Irrigas bifacial de alto desempenho. O diadema usualmente possui largura maior que 10 mm.

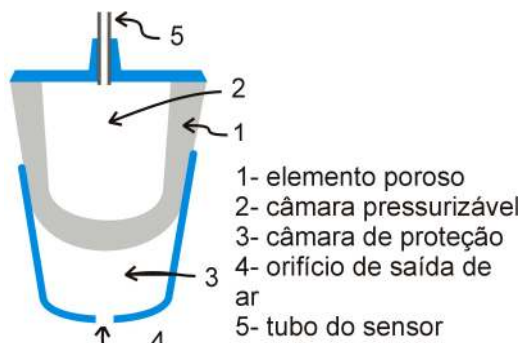


Figura 14.5- Irrigas bifacial com câmara de proteção de encaixar.

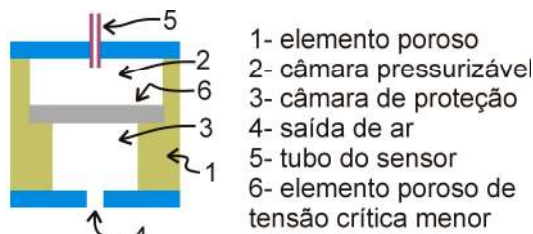


Figura 14.6- Irrigas bifacial com elemento poroso de tensão crítica menor fixado em corpo de cerâmica de tensão crítica maior.

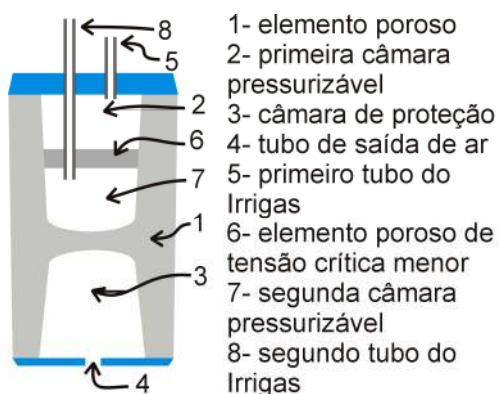


Figura 14.7- Irrigas bifacial com dois elementos porosos para a determinação de duas escalas de tensão de água.

A maioria dos sensores Irrigas bifaciais possuem uma ou mais câmaras de proteção que podem ser de plástico, como no modelo da figura 14.3, ou de cerâmica porosa como nas figuras 14.4 e 14.6. No modelo da figura 14.3 o elemento poroso é um disco que troca água nas bordas. A parte protegida do elemento poroso localiza-se entre a câmara pressurizável de um lado e a câmara não pressurizável do outro.

O sensor Irrigas bifacial da figura 14.4 também é muito simples de ser fabricado, visto que é um corpo em cerâmica homogênea e cuja parte protegida, bifacial, gás nos dois lados, é central, entre a câmara pressurizável e a câmara de proteção.

Elementos porosos diferentes podem ser agrupados em sensores Irrigas bifaciais. Assim, por exemplo, na figura 14.6 ilustra-se um elemento poroso de baixa tensão crítica, que é muito frágil, montado no interior de um elemento poroso de maior resistência e de maior tensão crítica de água.

Na figura 14.7 um sensor Irrigas bifacial para ser utilizado com duas escalas. Vê-se neste sensor Irrigas 3 câmaras e elementos porosos de duas tensões críticas diferentes. Primeiro, um elemento interno de tensão crítica menor e depois um elemento externo com tensão crítica maior.

Na figura 14.8 ilustra-se um modelo de Irrigas bifacial que pode ser utilizado para automatização de irrigação de acordo com o fluxo de ar na saída. A pressurização é feita através do tubo 4 e a observação ou controle de fluxo é através do tubo 5. Este tipo de sensor pode ser utilizado em tipos de automatização de irrigação com pressão positiva interessantes que precisarão ser estudados e detalhados.

Nota-se na figura 14.7 que a adição de um ou mais elementos porosos internos envolve um acoplamento hidráulico com o elemento poroso externo, visto que o elemento poroso interno precisa entrar em equilíbrio de tensão de água com a amostra, rapidamente. Um bom acoplamento hidráulico entre os elementos porosos pode ser obtido por sinterização direta destes elementos, após processos seqüenciais de prensagem e sinterização ou, alternativamente, preparado por colagem das partes com cimento poroso.

Irrigas bifacial de duas ou mais tensões críticas serve para o estabelecimento de duas ou mais escalas de tensão de água a um único sensor. Em tensiômetros a gás, a primeira escala funciona entre zero e a primeira (menor) tensão crítica de água, enquanto a segunda escala funciona entre a primeira e a segunda (maior) tensão crítica de água. O elemento poroso mais interno (Fig. 14.7), de menor tensão crítica, determina a escala mais sensível, enquanto o elemento poroso mais externo, determina a escala maior. Esta noção pode ser estendida, para sensores de três ou mais faixas de tensão de água. Na operação deste sensor

de duas escalas, o tubo (8) é mantido aberto, até que os poros do elemento poroso (6) se abram à passagem do gás. Em seguida usa-se a segunda escala e para isto a saída (8) é fechada, para a leitura na faixa de tensão de água maior.

Métodos de uso

Os instrumentos que usam sensores Irrigas bifaciais operam pelo menos dos seguintes modos:

- 1- sob pressão de gás constante ou aproximadamente constante;
- 2- sob pressão de gás crescente;
- 3- sob pressão de gás decrescente;
- 4- sob fluxo de gás aproximadamente constante (estacionário) através do elemento poroso;
- 5- sob permeação constante de um gás marcador através do elemento poroso.

A operação do sensor Irrigas sob pressão de gás constante, ou aproximadamente constante, costuma ser feita a uma pressão ligeiramente superior à pressão ambiente (pressão barométrica) ou a uma pressão igual ou menor que a tensão crítica da água do elemento poroso, utilizando-se os modelos ilustrados nas figuras 14.1, 14.2, 14.3, 14.4, 14.5, 14.6 e 14.9. Primeiro, operado a uma pressão ligeiramente superior à pressão ambiente, o fluxo de gás através do elemento poroso mantém-se nulo, até que a tensão da água no solo ou na planta, torne-se maior que a tensão de água crítica de dessorção (T_d). Após isto, a permeabilidade e o fluxo do gás através do sensor aumentam, de modo não linear, em função da tensão da água no solo. Segundo, operado sob uma pressão, em módulo, igual à tensão crítica de dessorção (T_d), o fluxo de ar através do elemento poroso aumenta não linearmente, a partir de pouco mais que zero, na tensão de água zero.

Casos de manutenção de pressões intermediárias também são importantes para aplicações de tensiometria a gás ao manejo de irrigação, quando se quer irrigar em tensões de água entre zero e a tensão crítica de dessorção (T_d), por exemplo, empregando-se válvulas pressostáticas diferenciais com duas câmaras, uma de referência na pressão ajustada, e outra alimentada, por fonte à mesma pressão, através de um capilar e ligado ao sensor poroso de tensão de água. Quando $T > T_d - P_r$, onde P_r é a pressão de referência, então, ocorre uma diferença de pressão entre estas duas câmaras o que é utilizado para acionamento de irrigação automatizada, igual ao já descrito no capítulo 5, sobre automação.

No uso do Irrigas bifacial para medir tensão de água sob pressão crescente a medição é iniciada aumentando-se

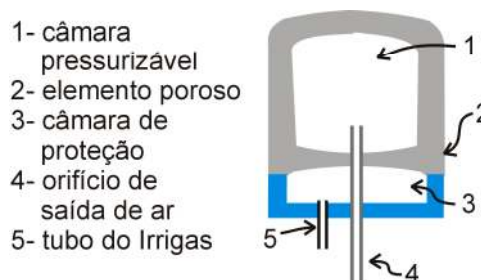


Figura 14.8- Irrigas bifacial com tubo de saída na câmara de proteção.

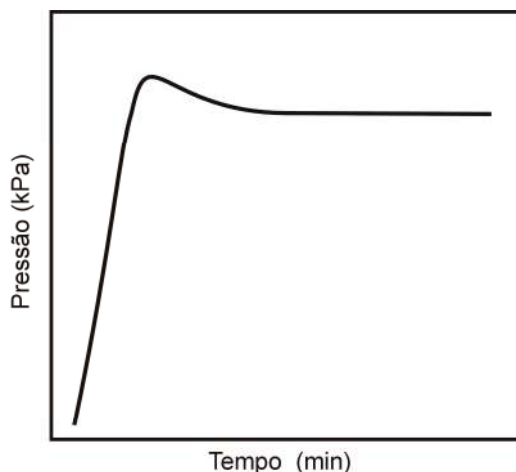


Figura 14.9- Curva de pressurização de um sensor poroso (Irrigas) de tensão de água, cuja câmara pressurizável (2) recebe um fluxo de gás constante, nota-se que a pressão aumenta até atingir um valor máximo e depois diminui até um valor de estabilização.

a pressão de gás, lentamente, a partir de zero até que o transporte do gás através do elemento poroso seja detectado como início da permeação. Esta é uma medição por secamento do elemento poroso (1), dessorção, na qual a tensão da água (T) é estimada com a expressão $T = T_d - p$, onde T_d é a tensão crítica de dessorção e p é a pressão do gás que causou o início de transporte de gás, entre a câmara pressurizável e a câmara de proteção.

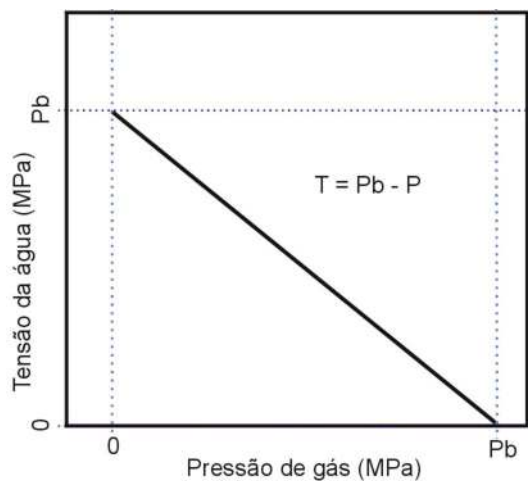


Figura 12.10- Curva típica entre a tensão de água no solo (ou na planta) em função da pressão de ar aplicada, para causar permeação de gás através do sensor Irrigas.

Para medir tensão de água sob fluxo quase constante (estacionário) com sensor Irrigas bifacial aplica-se um pequeno fluxo de gás proveniente de um regulador de fluxo e acompanha-se, no tempo, a evolução da pressão, na câmara pressurizável. Os sensores ilustrados nas figuras 14.1, 14.2, 14.3, 14.5, 14.6 e 14.14 poderiam ser utilizados neste modo de operação. No caso particular do sensor estar imerso em água, tipicamente como se ilustra na figura 14.9, a pressão aumenta até atingir (e superar) o módulo de T_d e a seguir diminui e se estabiliza próximo ao valor T_s . A leitura do sensor imerso em água ou inserido nas amostras, então, é feita após a pressão se estabilizar (Fig. 14.9). Neste método, sensores porosos simples, como os ilustrados nas figuras 14.1, 14.2, 14.3, 14.4 e 14.5 podem ser utilizados, sendo que a tensão da água (T) é calculada com a expressão $T = T_s - p$. Este método, que já vem sendo utilizado com cápsulas porosas comuns de Irrigas, parece o mais simples para a fabricação de tensiômetros gás que funcionam bem abaixo de 200 kPa. A resposta neste tipo de uso é tipicamente linear (Fig. 14.10).

Um aspecto importante referente à operação sob fluxo de gás quase constante (estacionário) é que, na verdade, é difícil manter o fluxo de gás constante, através de toda a camada do elemento poroso, e a razão disto é a compressibilidade dos gases. Se o fluxo de gás for ajustado na entrada da câmara pressurizável, com uma válvula que ajuste a diferença de pressão através de um capilar, então o fluxo deste gás, que sai do elemento poroso para a câmara de proteção, é tanto maior que o fluxo de entrada, quanto maior for a pressão na câmara pressurizável.

Na operação do sensor Irrigas bifacial para medir tensão de água sob pressões decrescentes inicia-se o ensaio com uma pressão gasosa ligeiramente superior a tensão crítica de dessorção do elemento poroso (T_d) e a seguir diminui-se a pressão lentamente, até que o transporte de gás através do elemento poroso reduza-se a praticamente zero. Este também é um método de medição por umidificação do elemento poroso e a tensão da água é calculada com a expressão $T = T_s - p$.

Nos sensores com elementos porosos de elevada tensão crítica, a despressurização da cavidade da cápsula porosa torna-se um procedimento muito lento, de modo que a rotina de teste utilizada para o Irrigas comum, ainda que válida, deixa de ser prática. Nestas aplicações especiais muito importantes para o estudo de estresse de falta de

água em plantas, os sensores Irrigas bifaciais são especialmente indicados e são operados com auxílio de gases marcadores.

O método de medir tensão de água mais sensível é sob a permeação constante de um gás marcador. Com este método pode-se medir de tensões de água mesmo em elementos porosos de tensão crítica muito elevadas. Para a operação neste modo, aumenta-se lentamente a pressão do gás marcador na câmara pressurizável, enquanto se monitora a concentração do gás marcador no gás de arraste, proveniente do cilindro 10, a fluxo constante, no detetor de gás (11) (Fig. 14.13). A concentração monitorada é nula se a amostra estiver inicialmente úmida e a concentração detectada aumenta quando a diferença da tensão de água da amostra mais a pressão de gás aplicada torna-se suficiente para o gás marcador permear o elemento poroso (1,6). A partir desta leitura, a pressão é mantida, caso a permeação estiver com o valor preestabelecido, é ajustada em valores menores se estiver com permeação elevada ou é ajustada em valores maiores caso a permeação estiver baixa. O ajuste de permeação deve ser feito variando-se lentamente a pressão do gás marcador.

Fundamentos físicos

Conforme seca, a tensão da água, eventualmente, supera a diferença entre a sua tensão crítica de dessorção (T_d) e a pressão de gás aplicada, de modo que o elemento poroso deixa o gás permear, da câmara pressurizável para a câmara de proteção e para o solo. Caso a pressurização esteja sendo feita por um pequeno fluxo ajustado de ar, então, esta permeação através do elemento poroso é detectável como diminuição da pressão na câmara pressurizável. Neste tipo de detecção, a tensão da água no solo (T) e a pressão de gás aplicada (p) em que iniciou-se a permeação estão relacionadas com a tensão crítica de dessorção (T_d) do elemento poroso pela expressão:

$$T = T_d - p$$

Fig. 1

A figura 14.10 contém uma curva ilustrativa linear, relacionando a resposta à pressão de gás necessária para causar permeação de um dado elemento poroso e a tensão de água em amostras de solo.

Em aplicações nas quais o elemento poroso do sensor é permeado continuamente por um fluxo ajustado de gás, tendendo a zero, o valor de tensão crítica obtido no processo de umedecimento (T_s), é aquele que deve ser utilizado. A equação que relaciona a tensão e a pressão nos ensaios de umedecimento ou sorção, no entanto, é do mesmo tipo, com a simples substituição de T_d por T_s .

$$T = T_s - p$$

Fig. 2

Nos usos do sensor Irrigas bifacial para a medição da tensão de água, algumas relações físicas úteis para o dimensionamento em aplicações instrumentais são:

1- a velocidade de resposta é inversamente proporcional ao

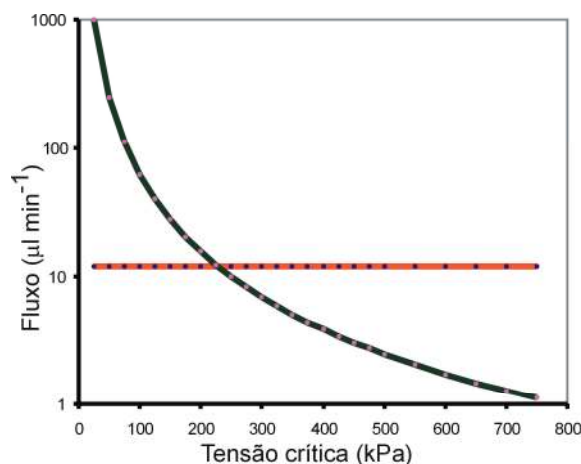


Figura 14.11- Fluxo de gás permeado em função da tensão crítica do elemento poroso. Para fluxo laminar (curva descendente), o cálculo foi feito com a equação de Poiseuille e para fluxo difusivo (linha) com a primeira lei de Fick.

quadrado do diâmetro da espessura do elemento poroso;

2- a velocidade de resposta é dependente do meio sob mensuração através da condutividade hidráulica. No solo a condutividade hidráulica diminui extremamente rápido com o aumento da tensão da água. Diferentemente, em plantas, excetuando-se os vasos do xilema onde a ocorrência de cavitação pode ser freqüente, a permeabilidade à água é praticamente independente da tensão da água até valores elevados (>1000 kPa);

3- os volumes de água trocados pelo sensor Irrigas entre zero e a tensão crítica de água são, no mínimo, proporcionais ao inverso do cubo da tensão crítica do elemento poroso deste sensor;

4- os volumes de água trocados por unidade de variação da tensão de água diminuem com o aumento da tensão de água aplicada, até atingir-se a tensão crítica (T_d) do elemento poroso;

5- o fluxo difusivo de gás através do elemento poroso está relacionado com o volume gasoso interconectado no elemento poroso;

6- o fluxo viscoso ou laminar é proporcional ao diâmetro ao quadrado dos poros vazios e interconectados, de acordo com a equação de Poiseuille, adaptada para gases (Moore, 1972).

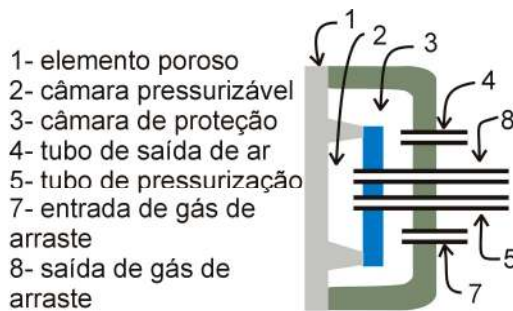


Figura 14.12- Irrigas bifacial com entrada de gás de arraste (7,8) na câmara de proteção e um tubo de saída (8) de gás na câmara pressurizável (2).

Na figura 14.11 ilustra-se o fluxo de gás por difusão e por fluxo laminar entre a câmara pressurizável e a câmara de proteção, em função da tensão crítica do elemento poroso. Nota-se que em elementos porosos de baixas tensões críticas o fluxo laminar é dominante, e esse fluxo diminui proporcionalmente ao diâmetro ao quadrado dos poros vazios, conforme a equação de Poiseuille modificada para gases (Moore, 1972). Assim, em elementos porosos de tensões críticas maiores, o transporte ocorre predominantemente por difusão, cujo fluxo é proporcional ao volume de poros vazios e interconectados, no interior do elemento poroso. A difusão dos gases na fase líquida, sendo cerca de 10^5 vezes mais lenta do que na fase gasosa, foi desconsiderada, na figura 14.11, porém apesar de reduzido este fluxo em meio líquido, pode ser uma importante via de transporte de gases entre volumes gasosos mal interconectados, ou não interconectados, no interior da cerâmica.

Nos solos, em geral, o aumento da fração gasosa entre as partículas, em função do aumento da tensão de água causa uma forte diminuição, não linear, da condutividade hidráulica e sob tensões de água ainda diminutas, que pouco superam a 10 kPa, a condutividade hidráulica no solo já se torna quase nula.

Em solos irrigados, o fluxo viscoso de água é o processo de transporte dominante, inclusive para conduzir a água até o sensor. Apesar disso, estes movimentos de água tem sido razoavelmente representados por equações de "difusão", difusão aparente, para ser mais preciso. Dessas equações infere-se que a velocidade de resposta à tensão

de água do sensor Irrigas é uma função do quadrado do diâmetro do sensor.

Todos os tipos de sensores Irrigas funcionam utilizando-se da adesão da água às partículas do elemento poroso e da tensão superficial da água. O valor da tensão crítica, para aplicações de precisão requer correção de temperatura, que felizmente é pequena porque a tensão da água diminui lentamente de maneira linear de $0,0756 \text{ N m}^{-1}$ a 0°C em função do aumento da temperatura até anular-se a 374°C (Sears, 1950). Na escolha das colas, materiais das tampas e do próprio elemento poroso, portanto, devem ser usadas substâncias nas quais a água a aderência seja forte. A força de adesão precisa ser maior que a própria força de coesão da água para que o ângulo de contato da água seja sempre próximo a zero. Em outras palavras, o elemento poroso do sensor deve molhar-se, como é molhada a superfície de um vidro, limpo, ao contato com uma gota de água.

Nas aplicações dos sensores porosos de tensão de água sob fluxo estacionário de gás o aumento da viscosidade dos gases ocorre, em proporção, um pouco maior que a raiz quadrada da temperatura absoluta (Moore, 1972). Desse modo utilizando-se de gases com comportamento quase ideal, como é o caso do ar, os erros de temperatura sob o fluxo de gases permeados na cápsula porosa é pequeno. Nos elementos porosos de tensão crítica de água muito elevada o transporte de gás depende da difusão dos gases e, neste caso, sabe-se que o coeficiente de difusão aumenta na proporção da raiz quadrada da temperatura absoluta.

Outro fator que afeta o transporte de gases no elemento poroso é a pressão absoluta do gás, que é proporcional ao inverso do caminho livre médio das moléculas no meio, ou em outras palavras, a pressão está inversamente relacionada ao coeficiente de difusão gasoso e simplesmente não influencia a velocidade do fluxo viscoso, em unidade de volume dividido por tempo e por área. Correções para estes efeitos da temperatura, e da própria pressão do gases, podem ser necessárias para aplicações de precisão de tensiometria a gás.

Nas plantas, a condutividade hidráulica nos tecidos parenquimatosos é freqüentemente elevada e quase independente da tensão da água, em uma ampla faixa. Nestes tecidos, o movimento de água envolve fluxo viscoso, mas também pode ser representado por equações de difusão aparente. Nestes sensores em efetivo contato com tecidos de elevada condutividade hidráulica, a velocidade de troca de água se mantém suficiente para medições rápidas em uma ampla faixa de tensões de água.

Leitura sob permeação constante

A determinação de tensões de água elevadas pode ser feita com o sensor ilustrado na figura 14.12, ligado ao equipamento da figura 14.13. Esse sistema contém câmara de proteção (3) com tubos de entrada (7) e de saída (4),



Figura 14.13- Esquema de um tensiômetro a gás montado com um sensor Irrigas bifacial para medir tensão de água, alimentado por gás marcador (9), sob pressão ajustável, e no qual o gás permeado para a câmara de proteção (3) é carreado para o detector de gás (11), por um fluxo ajustado do gás de arraste (10).

para passar um gás de arraste. O gás de arraste, inerte, como o ar ou o N_2 , é aplicado sob baixo fluxo, e umidificado, para não causar perda de água no elemento poroso (1, 6). As pequenas quantidades do gás marcador que eventualmente atravessam o elemento poroso (1,6), emergem na câmara de proteção (3), de onde é conduzido ao detector de gás (11) pelo gás de arraste (9). O gás marcador, preferencialmente, deve ser uma substância simples, não tóxica, não poluente e que apresente baixa solubilidade em todas as substâncias que constituem o sensor Irrigas bifacial.



Figura 14.14- Irrigas bifacial com todos os tubos fixadas na câmara de proteção, para facilitar a inserção do sensor em amostras de solo ou de planta.

No método de leitura sob permeação constante a linha de base, concentração zero de gás marcador, é mantida no tempo, enquanto a tensão de água, no solo ou na planta, estiver menor que a diferença entre a tensão crítica do elemento poroso e a pressão de gás aplicada. Quando a tensão de água se torna superior a esta diferença, então, os poros do elemento poroso se esvaziam, parcialmente, e o gás marcador atravessa a camada de permeação, fazendo com que a concentração lida se torne maior que a linha de base. A seguir, ajusta-se lentamente a pressão de modo a se obter uma permeação preestabelecida. Com leitura sob permeação constante pode-se detectar fluxos de gás marcador inferiores a um micro litro por minuto. A tensão de água é então calculada com a equação 2.

O método do gás marcador usado com elementos porosos de tensões críticas elevadas possibilita a medição de tensões de água que ocorrem em estudos comuns de fisiologia vegetal. Com o uso de outros métodos a cavitação, ou formação de uma bolha de ar no capilar de medição, tem limitado a alguns minutos a duração das medições de tensão de água (Husken et al., 1978; Calbo & Pessoa, 1999). Assim, segurança e estabilidade de leitura são qualidades diferenciais deste sensor poroso de tensão de água, que deverá vir a ser uma ferramenta valiosa para o estudo de estresse hídrico em plantas.

Na figura 14.12 observa-se ainda que o elemento poroso (1) é praticamente planar, exceto por uma pequena elevação interna em anel, que é utilizada para dar a dimensão altura para a câmara de proteção (3). Esta pequena espessura do sensor é importante pois possibilita medidas rápidas de tensão de água, ao se contatar o sensor com as superfícies de amostras de plantas, como raízes ou de solo. Um sensor de tensão de água muito semelhante ao da figura 14.12, no modo de operação, porém feito para ser inserido no tecido vegetal ou no solo é aquele ilustrado na figura 14.14.

A operação do sensor Irrigas bifacial como sensor poroso de tensão de água à permeação constante pode ser efetuado automaticamente, através da adição da complexidade necessária para se modular a pressão de gás na câmara pressurizável, através de um regulador de pressão acionado pela leitura de permeação do gás

marcador. Com o sensor Irrigas bifacial usado como sensor poroso de tensão de água, na forma aqui descrita, pode-se fabricar tensiômetros de gás marcador com suficientemente simplicidade e portabilidade para usos de campo. Para os fisiologistas vegetais este poderá ser um instrumento prático, que supera algumas das limitações da câmara de Scholander e das sondas de pressão com ponta capilar (Husken et al., 1978; Calbo & Pessoa, 1999) ou mesmo o moderno tensiômetro de ponta cerâmica de Ridley & Burland (1993), visto que possibilita medições em órgãos volumosos e medidas ao longo do tempo na mesma amostra.

No tensiômetro à permeação constante, a medição em tecido vegetal intacto é feita após o sensor ser previamente umedecido por imersão em substrato úmido e depois limpo com papel toalha. A medição é feita colocando-se o sensor Irrigas bifacial (Fig. 14.12) em contato com tecidos dermais de alta condutividade hidráulica, raízes por exemplo. A concentração de solutos orgânicos nas paredes celulares destes tecidos intactos é usualmente baixa, de modo que há pouca probabilidade de que o sensor seja impregnado, por substâncias de baixa massa molecular, que possam vir a se polimerizar no interior do elemento poroso. A possibilidade de alteração em Td ou Ts nos sensores com este desenho, consequentemente, é remota.

A medição de tensão de água em tecidos de plantas furados, cortados ou escarificados, por outro lado, requer que o tecido tenha sido lavado com água destilada, para remover as substâncias solúveis depositadas sobre as paredes celulares rompidas. Esta lavagem é importante porque a ação osmótica destas substâncias causa erro na estimativa da tensão da água;

Para a conservação após o uso, os sensores Irrigas bifaciais de tensão de água devem ser lavados com água destilada, superficialmente secos com toalha e armazenados em ambiente seco. A imersão em água para calibração deve ser feita durante intervalos de tempo curtos e sem uso o de vácuo.

Sensor a gás para silvicultura

Para o manejo de irrigação baseado na resposta de espécies florestais, o sensor Irrigas bifacial pode ser inserido no tronco em um orifício furado com uma broca. Após alguns dias, o sensor fica firmemente preso graças ao crescimento dos tecidos adjacentes. O sensor Irrigas para este uso pode ser como ilustrado na figura 14.15. O diadema, neste caso, deve ser de material grossamente poroso e resistente, para que a compressão causada pela pressão de turgescência das células não venha a obstruir a passagem de ar entre a face externa da cápsula porosa e o diadema.

Para simplificar a medição pode-se abdicar da aplicação de pressão, de modo que a irrigação seja aplicada

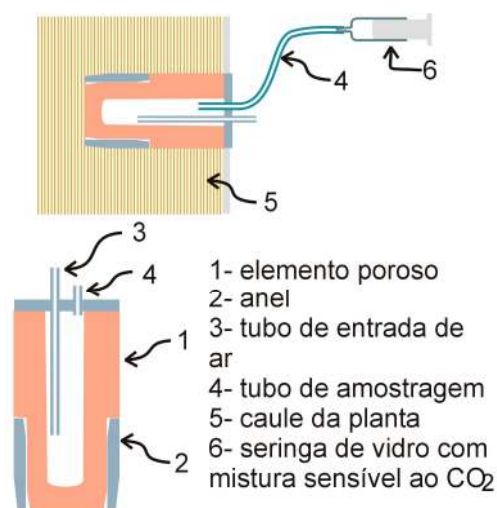


Figura 14.15- Irrigas bifacial simples para manejo de irrigação em silvicultura.

quando a concentração de CO_2 na câmara de proteção (3) torna-se detectável. É como o método de imersão da cubeta (Fig. 1.1), porém em aplicação direta às plantas. A concentração de CO_2 torna-se detectável após a condição $T > T_d$ ter sido satisfeita. Neste sistema simplificado o gás marcador é o próprio CO_2 , que após ser produzido pela respiração no interior das células é liberado nos volumes intercelulares dos tecidos do caule, de onde permeia o elemento poroso, caso em que seus poros estejam parcialmente esvaziados, na condição $T > T_d$.

Uma modificação colorimétrica do método de Calbo & Martins (1979) talvez seja a forma mais simples e econômica de fazer esta medição. No caso, a leitura de CO_2 é visual e colorimétrica, ao invés de ser uma leitura tensiométrica. A solução utilizada no método potenciométrico de Calbo & Martins (1979) é uma mistura de bicarbonato de sódio a 10 mili molar em cloreto de potássio a 0,1 molar. A seringa para este tipo de medição pode ser de vidro ou então uma seringa descartável com êmbolo especial, sem borracha. O volume da seringa pode ser de 3 a 20 ml e o volume de solução de bicarbonato com KCl e indicador é da ordem de 0,7 a 2 ml. O indicador usado é o bromotimol azul (Keipool & Keefer, (1937). A leitura é feita logo após a retirada da amostra. Para isto a ponta da seringa é fechada com uma tampa e fortemente agitada batendo-se a seringa contra um anteparo (ex. braço) por cerca de 30 a 60 segundos. O CO_2 acidifica a solução de bicarbonato e faz com que a intensidade da cor azul diminua.

Nota-se na figura 14.15 que o CO_2 difunde-se para fora do sensor Irrigas bifacial pelo mesmo tubo através do qual se retira a amostra para a leitura (Fig. 14.15). O comprimento e o diâmetro deste tubo devem ser ajustados. Sensor Irrigas com tensão de água crítica maior requer tubo mais longo. Usualmente o mais fácil é utilizar-se de um tubo plástico com diâmetro interno de 1 mm e ajustar o comprimento de tal modo que a leitura seja facilmente efetuada quando a tensão da água no órgão vegetal se tornar maior que o valor crítico da cápsula porosa.

SUMÁRIO

1- A construção bifacial assegura a manutenção de uma camada de permeação sempre protegida e livre da deposição de partículas, durante a troca de água entre a amostra e o sensor, que conduz água filtrada nas camadas até essa camada de permeação sensível e protegida.

2- Com sistemas a fluxo aproximadamente constante (estacionário) pode-se utilizar o sensor Irrigas bifacial para tensiômetros a gás de leitura rápida para tensões de água no solo entre zero e 200 kPa.

3- O sensor Irrigas bifacial pode ser construído com duas ou mais escalas de tensão crítica de água diferente, o que é útil em tensiômetros a gás portáteis;

4- Com o uso de gás marcador o sensor Irrigas bifacial pode ser operado em tensões de água elevadas para aplicações em fisiologia vegetal e no manejo de irrigação de árvores.

APLICAÇÕES INSTRUMENTAIS

Adonai Gimenez Calbo & Washington L.C. Silva

Neste capítulo as propriedades de robustez e confiabilidade do sensor Irrigas são consideradas para futuras aplicações de campo e de laboratório. No campo, dentre outros aspectos, trata-se dos sensores Irrigas sem fio para agricultura de precisão. Para laboratório, dentre outros usos, trata-se da aplicação dos sensores Irrigas para a obtenção de curvas de retenção de água em substratos.

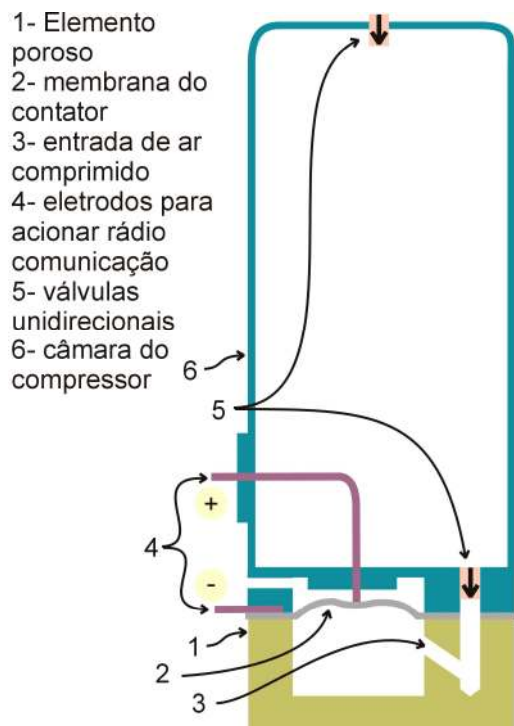


Figura 15.1- Irrigas com contator acionado por compressor térmico para agricultura de precisão e outras aplicações. O contator é acoplado a sistema de rádio comunicação.

1# Seria o termo-compressor um acessório útil para aplicar pressurização térmica ao Irrigas em agricultura de precisão?

Para agricultura de precisão o uso de sensores robustos, duráveis e que não requeiram manutenção, instalados diretamente no solo poderá ser o caminho para a aplicação correta de água. O sensor Irrigas é robusto e pode permanecer instalado no solo durante anos, mantendo as suas propriedades inalteradas. Para que a resposta de sensores Irrigas (sem fio) no solo seja utilizada em sistemas automatizados há necessidade de comunicação com baixíssimo consumo de energia elétrica. Em adição à comunicação há necessidade de pressurização, que pode ser aplicada com micro compressor que só seria ligado no momento da leitura. Mais econômico ainda são os cilindros de gás comprimido e os compressores térmicos. Esta é uma linha de pesquisa de futuro, que precisará ser trilhada para que a irrigação de precisão se transforme em uma realidade a médio prazo.

2# Irrigas sem fio pode ser viável ? Para quê?

Sim. A utilidade principal deste tipo de sensor Irrigas é para a irrigação de precisão. O sensor Irrigas determinaria a lâmina de irrigação a ser aplicada em cada posição do terreno cultivado.

Aqui pensa-se no uso do sensor Irrigas (Fig. 15.1) com um identificador de rádio frequência passivo (sem pilha) ou ativo (com pilha). Neste sistema, o identificador ao receber o sinal de rádio frequência do leitor emite a resposta de umidade conforme haja ou não circuito fechado no sensor Irrigas (Fig. 15.1). Estes identificadores de rádio frequência são de baixo custo e fazem uso de bateria de alta durabilidade.

3# Como se pode abrir e fechar um circuito elétrico, sem uso de energia elétrica para a aplicação da tecnologia RFID (“Radio frequency identification”) ao manejo de irrigação de precisão com sensores Irrigas?

Na figura 15.2 ilustra-se uma maneira prática com a qual o sensor Irrigas aciona circuitos elétricos sem consumir eletricidade. O controlador de irrigação desta figura gera resposta circuito elétrico fechado em solo úmido e resposta circuito elétrico aberto em solo seco. A construção envolve apenas um compressor térmico com duas válvulas unidirecionais, uma cápsula porosa com tensão crítica apropriada (Irrigas), dois eletrodos e um contator elétrico inflável. Variações de temperatura do solo de 4°C são suficientes para acionar o sistema. Com solo úmido o compressor térmico infla o contator, que fecha o circuito elétrico. Ao contrário, em solo seco a despressurização causada pela permeação de ar através da cápsula porosa faz o contator desinflar e desta forma abre o circuito elétrico.

Circuito elétrico aberto e circuito fechado seriam as mais simples informações sobre a umidade do solo que o identificador RFID pode transmitir ao leitor por ondas de rádio.

Evidentemente, o sistema poderá receber complexidade adicional, no futuro, para que o identificador eletrônico instalado no sensor Irrigas envie a tensão da água no solo, estimada por tensiometria a gás, para o sistema de irrigação de precisão.

4# Como seria a especificação técnica do termocompressor para esta aplicação?

O esquema de um protótipo de termocompressor poderia ser com está ilustrado na figura 15.2. Neste esquema os tubos de entrada e de saída do termocompressor, por estarem imersos em um líquido como um óleo mineral de baixa viscosidade, funcionariam como válvulas unidirecionais quase ideais.

Especificações técnicas para um compressor deste tipo poderiam ser do tipo:

- a- Altura da câmara: 25 cm
- b- Volume da câmara: 300 ml
- c- Volume de pressurização para ligar o sistema: 2 ml
- d- Variação de temperatura necessária para obter a resposta: 4 °C
- e- Duração da resposta fechado, permanente, ou até o sensor Irrigas se tornar novamente permeável ao ar.
- f- Tempo de resposta depende das variações da temperatura ambiente no campo. A resposta é mais lenta se o dispositivo estiver imerso no solo e mais rápida se for instalado na superfície.

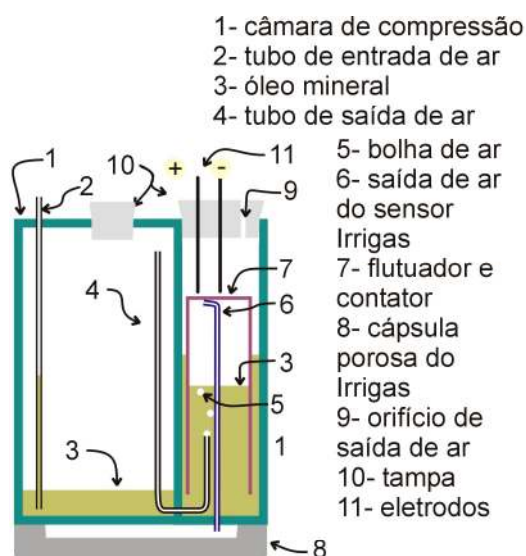


Figura 15.2- Irrigas com contator elétrico para acionar sistema de radio comunicação, acionado por compressor térmico. Tubos imersos em óleo mineral são utilizados como válvulas unidirecionais. Sistema para ser instalado no solo e enviar sinais de radio frequência manejo de irrigação em agricultura de precisão.

g- Sensor Irrigas com volume morto total inferior a 10 ml pode ser fixado diretamente ao aparelho (Fig. 15.2) ou então, ligado a este pelo tubo flexível.

5# As ondas de radiofrequência podem atravessar uma camada de solo de 20 a 40 cm?

Este é uma assunto que precisará ser estudado. No entanto, nada impede que o sistema que o sinalizador de irrigação com RFID para uso em agricultura de precisão seja colocado na superfície do solo, enquanto o sensor Irrigas é instalado normalmente. Neste caso no entanto, precisará haver alguns cuidados no momento de fazer os tratos culturais. O uso de antena e termo-compressor fora do solo é um alternativa viável, tendo-se em vista que o solo talvez seja um absorvedor por demais efetivo da rádio frequência.

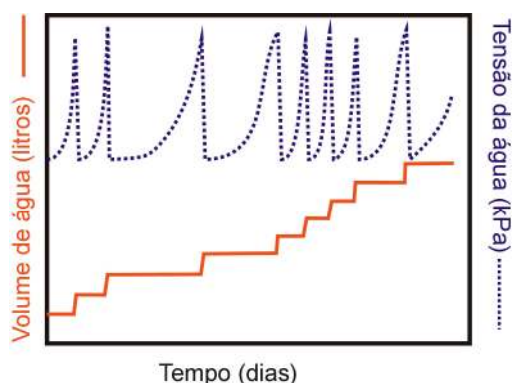


Figura 15.3- Volume de água aplicado, e tensão de água (tracejado) no vaso em função do tempo, por um regador automático.

6# Além de manejo de irrigação o Irrigas se presta para outras aplicações?

Sim. O sensor Irrigas também pode ser utilizado para:

- a- monitorar a água no subsolo;
- b- controlar a umidade de substrato;
- c- servir de elemento sensor do tensiômetro a gás;
- d- servir de elemento sensor de evaporímetros ou atmômetros automáticos a gás;
- e- preparar curvas de retenção de água de solos e substratos, especialmente quando utilizado em tensiômetro a gás.

7# Regadores automáticos podem ser utilizados para acompanhar a evapotranspiração aproximada de plantas?

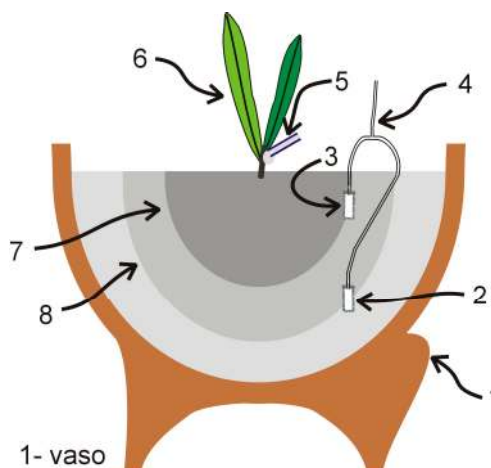
Sim. Tanto os regadores automáticos quanto outros sistemas de automatização da irrigação acionados por Irrigas podem ser utilizados para esta finalidade. No entanto, para que sejam utilizados com segurança há de se lembrar de que nestes sistema a água é liberada de modo intermitente. A aplicação de água só é iniciada quando a tensão de água no substrato, marcada com uma linha tracejada na figura 15.3, tornar-se maior do que a tensão crítica de dessorção da cápsula porosa do Irrigas. Nesta fase a água escoar até umedecer o sensor Irrigas, com água sob uma tensão inferior à da capacidade de campo. Depois a evapotranspiração seca o solo e aumenta a tensão da água lentamente até que uma nova irrigação ocorra.

Se este sistema de monitoramento da evapotranspiração for utilizado para medições em intervalos de tempo grandes, de modo que a irrigação ocorra várias vezes, então esta aplicação descontínua da água ilustrada

na curva inferior em vermelho (Fig. 15.3), não é um problema, visto que a razão entre o volume de água aplicado e tempo será uma aproximação da evapotranspiração média, tanto melhor quanto maior for o número de irrigações aplicadas no intervalo de tempo.

8# O perfil de um bulbo molhado pode ser mantido praticamente estável com o uso de dois ou mais Irrigas ligados em paralelo?

Não. Porém, pode-se diminuir um pouco as variações temporais de tensão de água no bulbo molhado. Por exemplo, com o uso de sensores Irrigas de diferentes tensões críticas, posicionados adequadamente, de modo que, em média, a tensão da água no bulbo molhado varie menos, enquanto a irrigação ocorre ora controlada pelo sensor Irrigas interno de menor tensão crítica, ora pelo Irrigas externo de tensão crítica mais elevada. Por exemplo, com sensores Irrigas de 10 kPa e de 25 kPa pode-se manter o perfil do bulbo molhado mais estável utilizando-se o esquema do vaso de raio unitário (Fig. 15.4), no qual o bulbo molhado foi aproximado por semi-esferas concêntricas. Evidentemente, a ação da aceleração da gravidade faz com que os bulbos molhados sejam, dentro de certos limites, tanto mais alongados quanto maior a velocidade de emissão de água. Nesta aproximação, a semi-esfera interior até o sensor Irrigas de 10 kPa tem raio 0,48 e 1/9 do volume do vaso, enquanto a semi-esfera maior até o Irrigas de 25 kPa tem raio de 0,69 e volume de 1/3 do volume do vaso. A figura ilustra o sistema logo após a irrigação controlada pelo sensor Irrigas de 10 kPa e antes de ter sido atingido o nível crítico de 25 kPa, que tornaria o sensor Irrigas externo permeável ao ar. O emissor de água ilustrado poderia ser um regador automático.



- 1- vaso
- 2- Irrigas de 25 kPa
- 3- Irrigas de 10 kPa
- 4- bifurcação
- 5- emissor de água
- 6- planta
- 7- borda da parte mais úmida até o Irrigas 10 kPa
- 8- borda externa do bulbo úmido no Irrigas de 25 kPa

Figura 15.4- Perfil de bulbos molhados formados pelo manejo de irrigação em um regador automático acionado por dois sensores Irrigas.

9# Seria possível monitorar a evapotranspiração de áreas de qualquer tamanho com o uso de Irrigas?

Em tese sim. As medidas seriam feitas em hidrômetro(s) e o acionamento automático da irrigação seria através de pressostatos e válvulas solenóides. Nos sistemas maiores poder-se-ia obter estimativas de evapotranspiração até diárias. A implementação poderia ser na forma de automatização em subparcelas. Assim, a cada dia a quantidade de água aplicada seria uma estimativa aproximada da quantidade de água evapotranspirada. Estimativas mais exatas seriam obtidas de períodos maiores, uma semana, por exemplo, e o sistema funcionaria como um lisímetro.

10# Como se construiria um atmômetro automático com o uso do sensor Irrigas?

Com gotejador, compressor de ar, pressostato, solenóide e um hidrômetro sensível. Sempre que o sensor Irrigas se tornar permeável, o pressostato abre a válvula solenóide por 2 segundos a cada cinco minutos. Desta forma, com um gotejador de $0,5 \text{ litros hora}^{-1}$, aplicar-se-á

sobre a superfície da cápsula porosa do Irrigas volumes de água entre zero e 3,3 ml de água por hora de acordo com a evaporação que ocorra no atmômetro/sensor Irrigas.

11# O sensor Irrigas pode ser empregado para levantar curvas de retenção de água?

É um sensor muito apropriado para se estabelecer curvas características ou curvas de retenção. Para isto o modo de operação usualmente mais apropriado é a tensiometria a gás. Para esta finalidade sensores Irrigas diminutos e/ou com formato apropriado, cônicos, e ou planares são apropriados.

12# Como se obtém a curva característica de retenção de um substrato de vaso, utilizando-se o sensor Irrigas?

Na figura 15.5 ilustra-se um aparato simples para determinar a curva característica de substratos para vasos por secagem ao ar. Consta de uma caixa cuja altura (comprimento) é igual a altura do vaso em consideração. A espessura é de 20 mm e possui uma tampa presa com parafusos. Quatro orifícios nas pontas são utilizados para escoamento de água, entrada de ar e para inserção do sensor Irrigas.

O procedimento para obter a curva característica é:

- Coloca-se um sensor Irrigas com cápsula porosa miniatura de tensão crítica apropriada (ex. 15 kPa) conforme ilustrado;
- Adiciona-se o substrato à caixa e irriga-se copiosamente;
- Coloca-se o aparato na posição vertical durante uma hora, para que o excesso de água esorra. Isto é, para fazer o substrato aproximar-se da capacidade de campo do vaso.
- O aparato é retornado à posição horizontal e remove-se a tampa;
- O aparato é colocado então sobre uma balança e a tensão da água e a massa são acompanhadas no tempo.

Por exemplo, imagina-se que os vasos a serem irrigados possuem uma altura de 15 cm de altura. O aparato para estudar estes vasos poderia ter dimensões de 15 cm X 5 cm X 2 cm. O volume total de substrato contido seria de 150 ml. Imagine-se ainda que a massa da caixa após o escoamento da água tenha sido de 320 g e que a massa da caixa logo que o Irrigas se tornou permeável ao ar tenha sido de 297 g.

Deste exemplo, fica evidente que 320 g menos 297 g, isto é, 23 g é a massa de água que seria necessária se o vaso de planta fosse de 150 ml, como é a caixa do aparato. Porém, caso o vaso possua um volume, por exemplo, 1,0 litro, então, utilizando-se de proporção calcula-se que a quantidade de irrigação que se deve aplicar assim que o Irrigas se abre. Este volume de água seria 153 ml por vaso.

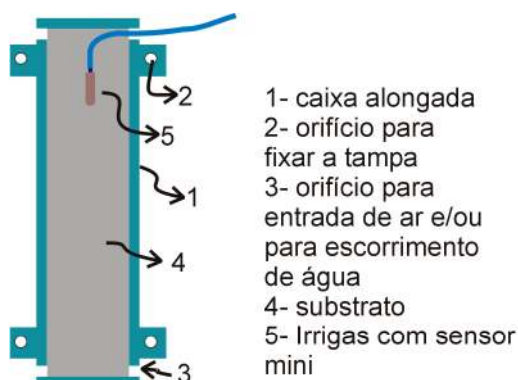


Figura 15.5- Dispositivo para determinar a curva característica de substratos para vaso. Altura é igual a aquela do vaso utilizado. A espessura é de 20 mm. A curva característica é obtida com o aparelho na posição horizontal após remover a tampa com o substrato à capacidade de campo.

Com este procedimento pode-se obter uma curva de retenção de umidade, com vários pontos com pares de dados de tensão de água e de umidade do substrato em algumas horas. Os resultados de umidade podem ser apresentados por unidade de volume ou por unidade de matéria seca.

13# A determinação de curvas características por secagem ao ar pode ser efetuada em amostras de solo não deformado?

Sim. Neste caso a secagem do solo é realizada diretamente nos anéis de metal, nas quais as amostras de solo não deformado foram removidas.

Mini sensor Irrigas, como o da figura 10.4, de superfície plana, pode ser utilizados para fazer as medidas de tensão de água. O procedimento periódico de medição de tensão de água e de pesagem é idêntico ao que já foi descrito.

Curvas de retenção realizadas com este procedimento, evidentemente, podem ser efetuadas ao mesmo tempo para uma bateria de amostras, visto que sensores Irrigas são de custo muito mais baixo do que as câmaras de Richards.

14# O método de secagem das amostras ao ar não tornaria a determinação da curva característica muito lenta?

Não. Usualmente com este procedimento pode-se operar com rapidez maior do que com uma câmara de Richards operada no modo tradicional. Adicionalmente, aumentando-se a velocidade do vento acelera-se a velocidade de secagem do solo.

Uma camada de solo de 3 cm de espessura pode ter sua curva característica levantada em cerca de 24 horas. Alternativamente, para suspender temporariamente uma medição basta cobrir a amostra de modo a se reduzir substancialmente a evaporação.

15# A altura da caixa / anel de secagem é importante no estabelecimento de curvas de retenção de água por secagem ao ar?

Sim. Como se sabe a condutividade hidráulica diminui rapidamente conforme a tensão da água no solo aumenta. Assim, apesar da secagem ao ar ser um processo lento, caso as espessuras sejam muito maiores que 20 mm, poderá ocorrer importante falta de equilíbrio de tensão de água no interior da amostra, que poderá ficar muito mais seca na superfície.

Para tensões de água modestas e dependendo do substrato, ex. argila, caixas ou anéis com até 30 mm de altura poderão ser utilizados neste procedimento, sem grande preocupação com a velocidade do vento em tensões de água inferiores a 50 kPa.

Adicionalmente, por segurança, deve-se conferir se a operação está sendo feita próximo ao equilíbrio hídrico. Para isto, tampa-se o anel para anular a evaporação caso a tensão da água se mantenha estável, então, o equilíbrio hídrico presumido pode ser aceito como aproximação razoável.

16# Por que não irrigar o vaso, esperar uma hora e depois tirar a amostra para o estabelecimento da curva de retenção?

É uma idéia viável, visto que desta forma deixa-se o substrato atingir a capacidade de campo e a seguir, após a transferência da amostra para a caixa de medição, dá-se início as medições de massa do solo versus tensão de água por tensiometria gasosa.

SUMÁRIO

O uso instrumental dos sensores Irrigas é muito variado no laboratório, com plantas ornamentais e em aplicações agrícolas sob cultivo protegido e no campo. Em laboratório se presta desde aplicações puramente demonstrativas até usos quantitativos, como por exemplo o estabelecimento de curvas de retenção de água em substratos.

Com plantas ornamentais em uso doméstico o sensor Irrigas é fundamental em dispositivos como os regadores automáticos e os ativadores de irrigação descritos em detalhes nos capítulos 7 e 8.

No campo, os usos instrumentais do sensor Irrigas são os mais importantes e estão descritos ao longo de todos os capítulos deste livro. Neste capítulo, para campo a ênfase foi em algumas aplicações do sensor Irrigas sem fio para aplicações em agricultura de precisão.

Parte 4

PESQUISA E TRANSFERÊNCIA DE TECNOLOGIA

REALIDADE NO MANEJO DE IRRIGAÇÃO NO BRASIL E NO EXTERIOR

Adonai Gimenez Calbo & Washington L.C. Silva



Figura 16.1- Em solo com tensão de água maior que a tensão crítica do sensor Irrigas, torna os poros deste sensor permeáveis ao ar e assim, em solo seco a água entra na cuba durante o teste de imersão, ao contrário do que ocorre quando o solo está úmido. O teste de imersão é uma forma de utilizar o sensor Irrigas para determinar o momento da irrigação.



Figura 16.2- Acima: um sensor Irrigas com cuba transparente para verificar se o solo está com tensão de água maior ou menor que a tensão crítica do Irrigas pelo teste de imersão em um frasco com água. Abaixo: sensores Irrigas sendo lidos com um aparelho MPI-03.

Irrigas é a denominação do sistema gasoso de manejo de irrigação desenvolvido e patenteado pela Embrapa. A marca inclui sensores de cápsulas porosas com desenhos e propriedades variadas, acessórios e até mesmo sistemas completos de manejo de irrigação agrícola e doméstico, com variada sofisticação.

No campo, sensores Irrigas de tensões críticas de água de 25 kPa e 40 kPa têm sido utilizados para o manejo de irrigação por gotejamento, aspersão e em sulcos. Nestes usos agrícolas, em áreas maiores, os sensores Irrigas geralmente são utilizados na forma de estações de controle de irrigação, à semelhança das baterias de tensiômetros.

A leitura dos sensores Irrigas pode se feita de diferentes maneiras. A forma mais simples e barata é o tradicional teste de imersão da cuba para verificar se a cápsula porosa do Irrigas continua impermeável ao ar (Fig. 1.1 e 16.1). Este mesmo teste também pode ser feito com facilidade ainda maior utilizando-se de sinalizadores de irrigação (Calbo & Silva, 2003) conforme se descreve no capítulo 6 ou com o leitor MPI-03 (Pozzani, 2005) (Fig. 16.2). Alternativamente, o sensor Irrigas é adequado para manejo automático da irrigação associado, por exemplo, com os sistemas MRI e MDI (Pozzani, 2005), que utilizam o princípio da tensiometria a gás tratado no capítulo 5 deste livro .

Quando o sensor Irrigas é usado para determinar o momento da irrigação e ou para ajustar a lâmina de irrigação aplicada, é comum agrupar vários sensores em estações de controle (Fig. 16.3), geralmente com 3 a 5 pares de sensores Irrigas, instalados em duas profundidades (Fig. 16.4). Os sensores denominados “raiz” devem ser instalados na porção intermediária da profundidade efetiva do sistema radicular, e são aqueles empregados para determinar o momento da irrigação Os sensores “controle”, instalados à uma profundidade duas a três vezes maior, são utilizados para ajustar a lâmina de irrigação e não devem permanecer sempre “secos”, visto que isso é indicativo de lâmina de irrigação insuficiente. Por outro lado, os mesmos também não devem permanecer todos e sempre “úmidos” visto que isso é indicativo de lâmina de irrigação excessiva (Pozzani, 2005).

Os sensores Irrigas são robustos, duráveis e praticamente não requerem manutenção. Por estas razões são de uso prático em manejo manual de irrigação, e mais

ainda em irrigação automatizada, onde são sensores de tensão de água quase ideais (Calbo & Silva, 2003, 2005a,b; Calbo et al., 2004).

As propriedades físicas principais dos sensores Irrigas são, respectivamente, as pressões de início (Td) e fim (Ts) de borbulhamento. Td corresponde à tensão crítica da água no solo acima da qual o sensor Irrigas se torna permeável ao ar. A propriedade Ts, por outro lado, é de magnitude um pouco menor que Td, sendo muito valiosa em tensiômetros e tensiostatos a gás (Calbo & Silva, 2003 e 2005b) como no sistema MRI e MDI (Pozzani, 2005). Do ponto de vista de manejo de irrigação, os sensores Irrigas são comercializados em diferentes dimensões e cada um com especificação da tensão crítica (Td).

A variedade de aplicações de sistemas Irrigas depende da adaptação a cada necessidade específica de manejo de irrigação. Além das características já descritas, os sensores Irrigas, em geral, custam de 5 a 25 % do valor do tensiômetro comum e são muito mais simples de usar, principalmente pelo fato de sua cápsula porosa ser cheia de ar.

Realidade no Brasil

No Brasil, sensores Irrigas vêm sendo usados para o manejo de irrigação de culturas as mais variadas abrangendo fruteiras, hortaliças, grãos, pastagens, jardins e plantas em vasos. Pesquisadores de diversas instituições tem trabalhado na avaliação desses sensores em comparação com outros métodos e instrumentos para manejo de irrigação. Algumas linhas de trabalho desenvolvidas e em desenvolvimento são:

- 1- Na UNESP em Jaboticabal trabalhos de caracterização de cápsulas porosas de sensores Irrigas (Molina & Pavani, 2002) e estudos de manejo de mudas de citrus com sensores Irrigas tem sido efetuados, com resultados positivos (Oliveira & Pavani, 2003);
- 2- Na Universidade de Brasília (UnB), estudos de manejo de irrigação do cafeeiro utilizando o sensor Irrigas foram conduzidos com resultados favoráveis, em comparação com o manejo de irrigação com tensiômetros (Santana, 2003; Viana, 2004);
- 3- Na Embrapa Hortaliças, desenvolvimento de novos produtos (Calbo & Silva, 2003), uso de sensores Irrigas para o manejo de irrigação de hortaliças em substratos (Marouelli et al, 2003, 2005) e transferência de tecnologia (Mendonça, 2004).
- 4- Na indústria, o desenvolvimento de novos sensores para fins específicos e novos produtos tem possibilitado a comercialização de sensores Irrigas com diferentes tensões críticas e com dimensões apropriadas para usos variados, regadores automáticos, leitores de Irrigas e sistemas de automatização da irrigação (Elite Monte Alto, 2004; Pozzani, 2005).



Figura 16.3- Estação de controle de irrigação com sensores Irrigas instalados em duas profundidades.

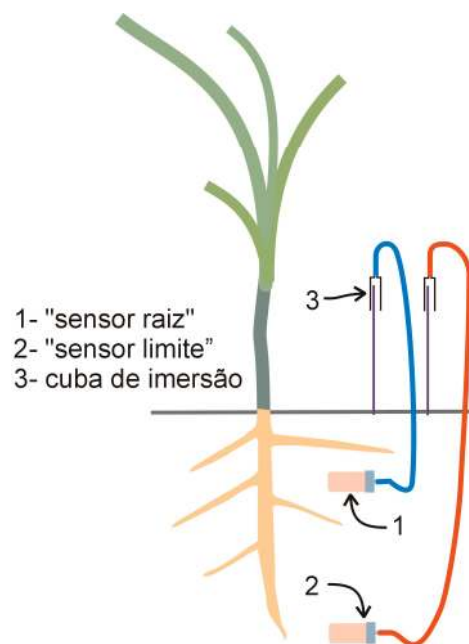


Figura 16.4- Esquema de sensores Irrigas instalados em duas profundidades.

Realidade no exterior

No exterior o sistema Irrigas começou a ser pesquisado primeiro na Alemanha em 2002. Foi verificado que o sensor Irrigas de 25 kPa controla a Irrigação do tomateiro da mesma forma que o tensiômetro comum ajustado a igual tensão de água crítica (Paschold & Mohamed, 2003). Plantas manejadas dessas duas formas tiveram altura, número de frutos, número de flores e número de frutos similares. Adicionalmente, os autores constataram que o sensor Irrigas é eficiente, muito mais barato e mais simples de usar.

Paschold et al. (2003) apresentaram resultados de trabalho em congresso de irrigação nos Estados Unidos e publicaram artigo na revista *Acta Horticulturae* (Paschold et al., 2004) sobre manejo de irrigação com o sensor Irrigas. Os citados autores também avaliaram o sensor Irrigas em outras hortaliças e colaboraram para que o sensor Irrigas viesse a ser disponibilizado para os agricultores europeus através da empresa Tensio-Technik (www.tensio.de e www.blumat-shop.de). Essa empresa tem comercializado na Alemanha sensores Irrigas de 10, 25 e 40 kPa, para serem usados com o método da imersão manual da cubeta ou com o MPI-03 fabricados pela Hidrosense, uma empresa brasileira.

Nos Estados Unidos, o Irrigas começou a ser estudado na Estação Experimental de Malheur, da Oregon State University, em 2004, com manejo de irrigação de hortaliças. Em cebola, o sensor Irrigas funcionou de maneira confiável através dos ciclos de umedecimento e de secagem, em comparação com tensiômetros, com o “granular matrix sensors” (GSM) e com os sensores ECH2 (Pereira et al., 2004 e 2005). Na Estação Experimental de Malheur novos estudos sobre o uso do Irrigas estão em desenvolvimento desta vez com a cultura da batata, com e sem o uso de mulching.

SUMÁRIO

Diferentemente dos tensiômetros comuns, a cavidade da cápsula porosa do Irrigas é cheia de ar. Esta característica é importante porque este sensor não requer enchimento com água e tampouco manutenção freqüente. Dessa forma, o sensor Irrigas possui propriedades ideais para o manejo de irrigação com equipamentos modernos e automação. Resultados promissores de pesquisa com o uso do Irrigas para o manejo da irrigação do cafeeiro foram apresentados por Santana (2003) e por Viana (2004), para tomate de mesa por Paschold et al. (2003), para pimentão em substrato por Marouelli et al., (2003, 2005) e para cebola por (Pereira et al., 2004 e 2005).

Finalmente, para o manejo de irrigação os produtores podem se basear nas tensões críticas de água para as plantas e então, selecionar os sensores e sistemas tensiométricos Irrigas comerciais mais adequados para suas necessidades.

PRODUTOS IRRIGAS COMERCIALIZADOS

Adonai Gimenez Calbo & Washington L.C. Silva



Figura 17.1- Alguns sensores tipos de sensores Irrigas. No topo, dois sensores com cápsula miniatura para regadores automáticos, no meio um sensor mini para tubetes; e na base sensores Irrigas sem e com cuba para o teste de imersão para uso no campo.

Sensores Irrigas com diferentes desenhos, dimensões (Fig. 17.1) e tensões críticas estão disponíveis no Brasil e na Europa, tanto em lojas tradicionais quanto pela Internet. Estes sensores, para o manejo de irrigação, podem ser utilizados independentemente ou com o auxílio de diferentes sistemas comerciais para a leitura simples e a automatização da irrigação.

Presentemente, a variedade de sensores Irrigas e de acessórios para manejo de irrigação vem sendo desenvolvidos para atender número cada vez maior de aplicações. Neste capítulo procurou-se incluir informações sobre produtos Irrigas atualmente comercializados e de alguns que deverão, em breve, estar disponíveis para os interessados em manejo de irrigação de forma geral.

1# Há instrumentos elétricos para leitura de sensores Irrigas?

O MPI-03, por exemplo, é um tipo de instrumento de leitura dos sensores Irrigas produzido pela empresa Hidrosense (Fig. 17.2). Usa um micro compressor de ar e acende a luz verde em solo úmido quando a pressão aumenta por causa da impermeabilidade do sensor Irrigas à passagem do ar. Em solo seco o ar escoia pelos poros do sensor Irrigas, não ocorre pressurização e acende-se uma luz vermelha.

2# Há equipamentos disponíveis para a automatização da irrigação com sensores Irrigas?

O primeiro equipamento de automatização de irrigação acionada pelo sensor Irrigas foi o Controlador Autônomo produzido pela empresa E-design (Fig. 17.3), atual Hidrosense. O Controlador Autônomo funciona nos modos sinalizador, automação temporizada e no modo autônomo. Em adição, apresenta um ajuste avançado de pressão para que a irrigação seja feita em tensão de água do solo ajustada entre zero e a tensão crítica do sensor Irrigas empregado.

Atualmente a Hidrosense vem produzindo tensiostatos analógicos da linha MRI (Fig. 17.4) e em breve estará colocando no mercado tensiostatos digitais da linha MDI (Fig. 17.5) para o manejo de irrigação com sensores Irrigas.

3# Quais sensores Irrigas estão disponíveis comercialmente?

Há sensores Irrigas de diferentes modelos no mercado com tensões críticas, como 10, 15, 25 e 40 kPa. Sensores de quaisquer outras tensões críticas poderão ser fabricados caso haja significativa demanda comercial por sensores com especificações diferenciadas.

4# Quais são os formatos e tamanhos dos sensores Irrigas disponíveis?

Cada fabricante tem produzido o sensor Irrigas com cápsulas porosas de diferentes dimensões, que variam entre os sensores Irrigas cônico de cápsula porosa mini, com cerca de 2,5 a 3 cm de comprimento e diâmetro entre 0,6 a 1,1 cm, até as maiores cápsulas porosas atuais com comprimento total de 10 cm e diâmetro de 5,5 cm. O formato tem variado entre cônico no tamanho mini a cilíndrico nas outras dimensões.

5# Há vantagens de se utilizar sensores Irrigas de tamanho maior?

A priori o sensor Irrigas é considerado um sensor de irrigação pontual, no entanto, a cápsula porosa do Irrigas amostra uma região do solo ao seu redor. Sendo assim, Irrigas com cápsulas porosas maiores na verdade amostram um maior volume de solo, do qual tem-se uma resposta média. Sob este ponto de vista, o uso de sensores Irrigas de maiores dimensões possui um valor técnico adicional.

Do ponto de vista de comercialização, no entanto, os sensores maiores requerem melhores embalagens e tem custo de fabricação e de frete mais elevado. Tendo em vista estes fatores, tem se priorizado o comprimento do sensor dentro de limites que não prejudiquem a resistência mecânica.

Para uma adequada amostragem da umidade no perfil do solo é comum utilizar-se de 3 a 5 sensores ligados em paralelo. Estes sensores, em conjunto, funcionam como se fosse um único sensor Irrigas de dimensões maiores determinadas pelas posições destes sensores individuais.

6# Quantos sensores Irrigas devo utilizar ?

Para compreender os fatores envolvidos na determinação do número de sensores é útil considerar os seguintes fundamentos:

- O sensor Irrigas é similar a outros sensores pontuais de irrigação, como o tensiômetro e o TDR, nos quais se define a aplicação de irrigação quando a leitura fica maior que um valor crítico, ex. 25 kPa.
- As raízes não ocupam o solo uniformemente.
- Em cada volume de controle no solo, a quantidade de água removida, por unidade de tempo, é função da quantidade de raízes.

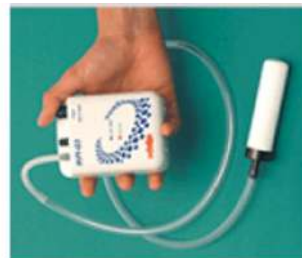


Figura 17.2- Leitor de sensores Irrigas MPI-03. Foto: Cortesia Hidrosense.



Figura 17.3- Controlador Autônomo de irrigação Hidrosense. Tensiostato que opera com sensores Irrigas nos modos sinalizador de irrigação, automação temporizada e no modo autônomo. Foto: cortesia Hidrosense.

Destas premissas, infere-se que há uma elevada chance de se instalar um sensor em região com baixa densidade de raízes, na qual o solo seca mais lentamente, mais provável, ou em região com densidade de raízes excessiva, na qual o solo seca rapidamente, menos provável.

Para superar esta dificuldade utilizam-se de estações de controle com vários sensores. De acordo com a aplicação, as estações de controle de irrigação são preparadas com 4 a 12 sensores. Os sensores da estação de controle devem ficar em local representativo, bem marcado e de fácil acesso.



Figura 17.4- MRI um tensiostato a gás para manejo de irrigação com sensores Irrigas, fabricado Hidrosense.
Foto: cortesia Hidrosense.

A irrigação deverá ser aplicada quando uma dada fração dos sensores atingir a tensão crítica. Na prática é comum irrigar-se quando metade ou mais dos sensores Irrigas estiverem com resposta “aberto” (“seco”). Para maior facilidade, estações de controle de irrigação tem sido montadas com sensores Irrigas ligados a sinalizadores de irrigação ou a tensiostatos comerciais.

7# Como obter regadores automáticos de vasos?

Para os que gostam de plantas em ambiente doméstico e de fazer equipamentos, no capítulo de regadores automáticos há descrições de diferentes modelos relativamente fáceis de montar com garrafas plásticas e sensores Irrigas mini. Espera-se também que produtos pré-industriais, como os regadores automáticos completos, fabricados pela cerâmica Stéfani e o kit de baixíssimo custo do tipo “faça voce mesmo”, produzido pioneiramente pela Elite Monte Alto, se tornem populares.

8# Quais são os usos dos regadores automáticos?

As aplicações são inúmeras. Em residências, os dois usos principais são: proporcionar uma forma segura de irrigar, útil quando se viaja, e em segundo lugar é uma ferramenta para evitar que a água escorra para o prato do vaso. A água no prato do vaso é o meio mais comum no qual se desenvolvem as larvas dos mosquitos, como aqueles que tem causado a dengue em ambiente urbano.

9# Há tensiostatos a gás comerciais especificamente designados para o manejo de irrigação?

Sim. Há instrumentos analógicos como os controladores autônomo e os tensiostatos da série MRI (Fig. 17.4) e em breve a Hidrosense estará fabricando novos tensiostatos digitais (Fig. 17.5). Tanto os instrumentos da série MRI quanto da série MDI fazem uso de sensores Irrigas e de um procedimento de tensiometria gasosa a fluxo estacionário, cujos fundamentos foram apresentados nos capítulos 2 e 5.

10# Há tensiômetros a gás de leitura instantânea comerciais baseados no sensor Irrigas?

Ainda não, porém, como foi apresentado no capítulo 5, isto é tecnicamente viável. Adicionalmente, há uma demanda potencial para este tipo de instrumento especialmente em aplicações para plantas ornamentais e para cultivo protegido. Neste contexto, espera-se que tensiômetros portáteis de leitura rápida com tecnologia Irrigas se tornem uma realidade comercial em breve.

10# Em que tensão de água é iniciada a irrigação quando se usa um sistema MRI de manejo de irrigação?

A tensão em que a irrigação é iniciada é ajustada em uma escala entre 1 e 10, onde 1 é mais seco e 10 mais úmido. O valor da tensão de água em cada ajuste vem tabelada de fábrica. Os tensiostatos da série MRI vem especificamente designados seja para operar com sensores Irrigas de 10, 25 e 40 kPa.

11# O MRI tipicamente faz uso de 3 a 5 sensores ligados em paralelo funcionando como um único Irrigas. Todos os sensores Irrigas ligados em paralelo estarão nesta tensão?

Não. Cada sensor estará em equilíbrio com o solo em sua vizinhança imediata. Os sensores em conjunto formam uma amostragem melhorada da tensão de água, uma “média”. Para obter este efeito o fabricante usa um fluxo apropriado de ar através dos sensores. Por isto, a resposta de vários sensores Irrigas ligados a um aparelho da série MRI ou MDI possui resposta superior à que se obteria ligando-os a um simples sinalizador de irrigação, no qual a resposta solo seco ocorreria logo que o solo ao redor do primeiro sensor Irrigas tivesse superado a tensão crítica.

12# Quais produtos Irrigas a Tensio-Technik vem comercializando a partir da Alemanha?

A empresa alemã Tensio-Technik, que é especializada em instrumentos para manejo de irrigação fundamentados em medições de tensão de água no solo, vem comercializando produtos com tecnologia Irrigas fabricada pela Hidrosense Comércio de Sistemas para Irrigação Ltda do Brasil. Presentemente, a Tensio-Technik vem comercializando sensores Irrigas de 10, 25 e 40 kPa com cuba para o teste de imersão e com leitores MPI-03. A empresa Tensio-Technik, assim como a Natural Rural no Brasil, também fazem vendas de produtos Irrigas através da Internet.

SUMÁRIO

Neste capítulo foram apresentados alguns dos sensores Irrigas e alguns acessórios comercialmente disponíveis para o manejo de irrigação com sensores Irrigas. Estes produtos podem ser obtidos contatando diretamente os fabricantes ou os distribuidores destes produtos no Brasil e no exterior.

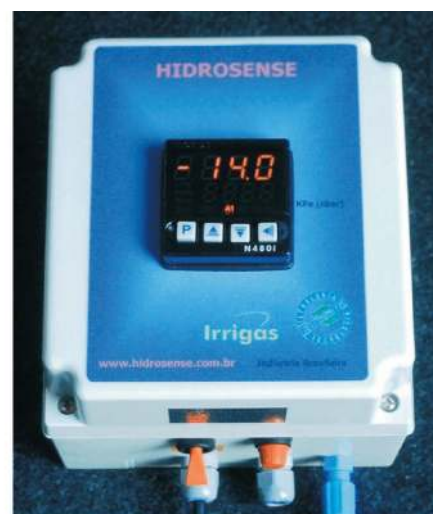


Figura 17.5- Tensiostato digital MDI para manejo de irrigação fabricado pela Hidrosense.

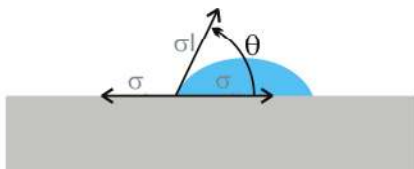
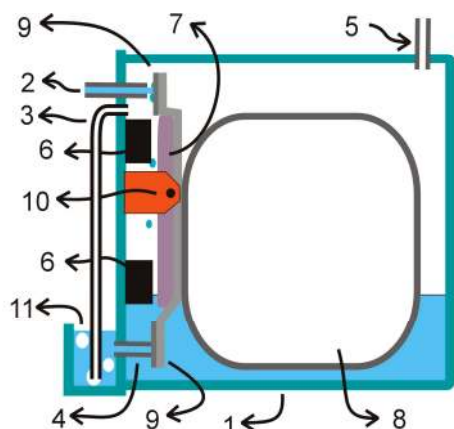


Figura 18.1- Ângulo (θ) de contato de um líquido sobre um sólido. σ_s - tensão superficial do sólido, σ_l - tensão superficial do líquido e σ_{sl} - tensão interfacial sólido-líquido.



1- câmara de controle
2- orifício de entrada de água
3- tubo de alívio
4- orifício de escoamento da água
5- conexão para o sensor Irrigas
6- ímã
7- Ferrite
8- flutuador
9- braço da alavanca com borracha
10- eixo da alavanca
11- reservatório de retorno

Figura 18.2- Ativador de irrigação de pressão negativa horizontal com ímã frontal e tubo de alívio de pressão.

GLOSSÁRIO

Adonai Gimenez Calbo & Washington L.C. Silva

Com a introdução do Irrigas, novos instrumentos e metodologias estão sendo desenvolvidas, de modo que a escolha e a formação de palavras para transmitir estes novos significados é indispensável. A terminologia em desenvolvimento listada neste glossário é em sua maioria derivada dos usos correntes em física de solos, irrigação e em fisiologia vegetal.

Absorção. Fixação de um gás ou líquido no interior de um objeto ou um organismo. Embebição de um corpo poroso.

Acionamento pneumático. Aproveitamento de variações da pressão do ar ou de outros gases para iniciar e terminar processos. Acionamento causado por pressurização ou despressurização do ar. Os acionamentos de irrigação com o uso do sensor Irrigas são de natureza pneumática.

Adesão. Força que une corpos sólidos, plásticos ou até líquidos de diferentes naturezas, como por exemplo, a água presa à superfície das partículas sólidas de uma cápsula porosa.

Aneróide. Instrumento de medida que opera sem a intervenção de um fluido.

Ângulo de contato. Ângulo entre uma gota de líquido e a superfície sólida (Fig. 18.1). É menor que 90 graus quando a adesão é mais forte que a coesão, é igual a 90 graus quando adesão e coesão são de magnitude igual e é maior que 90 graus quando a coesão é mais forte que a adesão. Por exemplo, o ângulo de contato da água em uma superfície limpa de vidro é próxima a zero, no caso o líquido molha a superfície. O ângulo de contato da água sobre uma superfície de prata é de aproximadamente 90 graus e o ângulo entre uma superfície de vidro limpa e uma gota de mercúrio é de aproximadamente 140 graus.

Ângulo de molhamento. Ver ângulo de contato.

Aparelho de Askenasy. Instrumento do século XIX derivado do atmômetro, que era operado com a cavidade de sua cápsula porosa cheia de água. Foi um dos antigos aparatos que precederam o atual tensiômetro comum e o moderno tensiômetro de Ridley & Burland (1993). Este aparato funcionou como um

modelo físico para suportar a hipótese de que as plantas poderiam succionar água, diretamente, até alturas muito maiores que 10 m (100 kPa).

Apoplasma. Sistema aproximadamente contínuo de paredes celulares e vasos cheios de água, no corpo da planta. É através deste sistema que as raízes das plantas absorvem a água do solo.

Ativador de irrigação. Tipo de regador automático que é alimentado diretamente com água sob pressão, água encanada.

Ativador de irrigação de pressão negativa. Regador automático alimentado com água pressurizada (água encanada), que retém a liberação da água para o solo por redução da pressão do ar em sua câmara de controle, quando a cápsula porosa do Irrigas se torna impermeável ao ar, em solo úmido (Fig. 18.2).

Ativador de irrigação pressão positiva. Regador alimentado com água sob pressão (água encanada) que retém a liberação da água na câmara de controle, e a sua posterior liberação para o solo, por aumento da pressão do ar na câmara de controle, quando o sensor Irrigas se torna impermeável ao ar, em solo úmido (Fig. 18.3)

Ativador de irrigação de pressão positiva de imã. Regador automático de pressão positiva alimentado com água sob pressão (água encanada) através de um regulador de pressão, no qual a entrada de água na câmara de controle e o seu conseqüente escoamento para o solo é controlada por um sistema com flutuador e imãs.

Ativador de irrigação de sifão. Regador automático de pressão positiva alimentado com água sob pressão (água encanada), através de um regulador de pressão, no qual a pressão do ar que determina a paralisação do enchimento da câmara de controle, e da irrigação, é suportada como coluna de água em um tubo de sifão de altura apropriada (Fig. 18.3).

Atracar. Prender uma peça à outra. No caso dos ativadores de irrigação, prender um imã permanente ao um ferrite.

Atmômetro. Tipo de evaporímetro em que se mede a taxa de evaporação através de meios porosos embebidos, como cápsulas porosas e folhas de papel de filtro. Instrumento que serviu como inspiração para o desenvolvimento do aparelho de Askenasy e dos modernos tensiômetros de solo.

Barômetro. Instrumento utilizado para medir a pressão atmosférica.

Barostato. Ver pressostato.

Blumat. Nome de empresa, que fabrica um tipo de irrigador de vasos alimentado por água sob pressão (água encanada), através de um regulador de pressão, de mesmo nome. O "blumat" tem uma válvula de

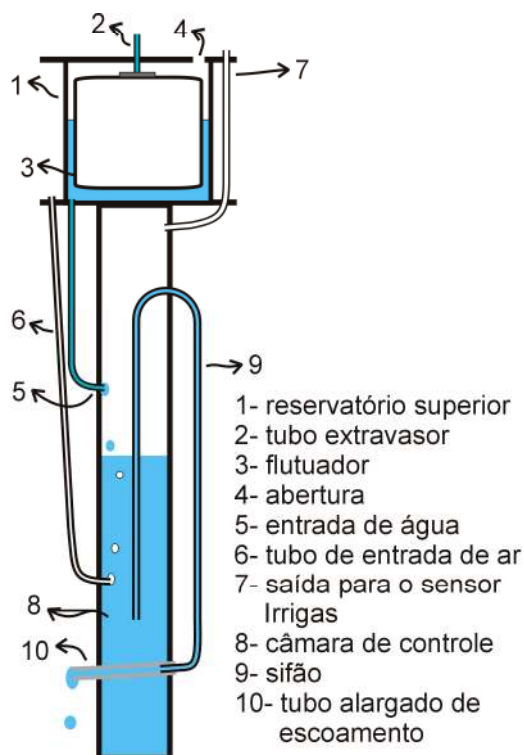


Figura 18.3- Esquema de um ativador de irrigação de pressão positiva de sifão com água sob pressão.

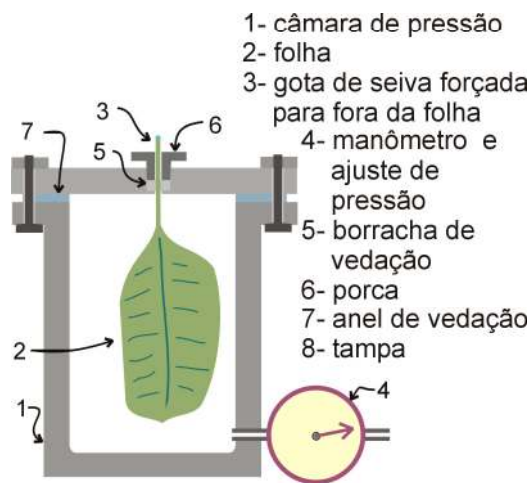


Figura 18.4- Esquema de uma câmara de pressão tipo Scholander com uma folha fixada à borracha tampa.

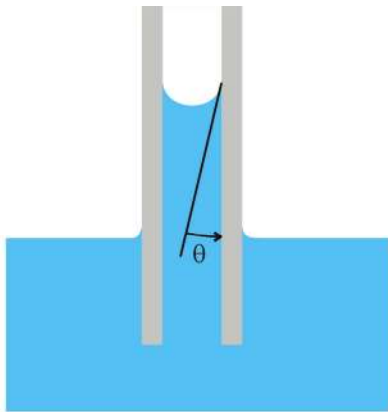


Figura 18.5- Capilaridade, ascensão capilar da água em um capilar de vidro. Onde θ é o ângulo de contato da água no vidro.

membrana ou diafragma que abre o escoamento de água quando a tensão da água contida na cavidade de sua cápsula porosa torna-se maior que um determinado valor crítico. É um tipo de tensiostato.

Bóia. Flutuador, aparato para vedar a passagem de um fluido através de um tubo extravasor.

Bulbo molhado. Volume de solo umedecido a partir de um emissor de irrigação pontual. Em corte transversal a movimentação da água tem forma de bulbo, tipicamente mais alongado em solos arenosos e mais esféricos em solos argilosos. A forma do bulbo molhado é função da vazão de água e das propriedades do substrato.

Bolhômetro. Dispositivo utilizado para medir a velocidade de fluxo do ar de acordo com a movimentação, cronometrada, de bolhas de sabão no interior de cilindros graduados.

Câmara de controle Irrigas. Recipiente hermético no qual a variação da pressão do ar, determinada pela permeação do ar através do sensor Irrigas controla a entrada de água e o escoamento de água em equipamentos como os regadores automáticos e ativadores de irrigação. Há câmaras de controle de pressão positiva e câmaras de controle de pressão negativa. Sob despressurização através do sensor Irrigas, quando o solo seca, a câmara de controle inicia a irrigação.

Câmara de pressão. Instrumento para medir tensão de água na planta constituído de uma câmara hermética e robusta na qual amostras de planta são colocadas, deixando para fora o pecíolo cortado, que atravessa tampa. Aumenta-se a pressão de gás na câmara até que a primeira gota da seiva da planta seja forçada para fora, através dos vasos do xilema. As vezes é utilizada como dispositivo de manejo de irrigação. Instrumento utilizado desde o início do século XX, conhecido também como câmara de Scholander em homenagem ao famoso fisiologista vegetal que popularizou o uso deste equipamento a partir de 1964 (Fig. 18.4).

Câmara de Richards. Tipo de câmara de pressão com disco poroso impregnado de água, que é utilizada para medir a retenção de água em amostras removidas do solo. É usada para fazer curvas características de tensão de água versus umidade do solo, a também denominada curva de retenção da água no solo.

Câmara de Scholander. Ver câmara de pressão.

Capilar. Tubo com diâmetro pequeno, parecido com um fio de cabelo. Termo que tem sido utilizado para denominar orifícios tubulares de pequeno diâmetro. Tubos capilares são utilizados para o ajuste de fluxo de ar e gases. Este fluxo é necessário no funcionamento de alguns instrumentos acionados por sensor Irrigas

como o são os controladores de irrigação e os tensiômetros a gás.

Capilaridade. Quando um tubo é imerso em um fluido o menisco pode curvar-se para cima quando a dominância da coesão causa diminuição do nível do fluido no capilar, ou curvar-se para baixo quando o nível do fluido no capilar aumentar com a dominância das forças de adesão. No caso da água em um capilar de vidro esta sobe, fenômeno que é denominado ascensão capilar. A ascensão capilar é positiva quando o ângulo de contato é menor que 90 graus e é negativa, o fluido desce no tubo, quando é maior que 90 graus. A capilaridade, é um fenômeno de superfície que envolve a coesão no interior do fluido e a adesão deste ao suporte ou matriz (Fig. 18.5).

Cápsula porosa. Objeto poroso fechado com um orifício ao qual são ligados dispositivos de medição de ar ou água. Tem sido usada em instrumentos como o sensor Irrigas, o tensiômetro e em filtros de água. Cápsulas porosas tem sido produzidas de cerâmica e de resina plástica porosa. Termo as vezes usado como sinônimo de sensor.

Cavitação. Ruptura da coluna de água sob tensão no interior de cavidades como, por exemplo, nos vasos do xilema. Ocorre mais freqüentemente sob tensões superiores à magnitude da pressão barométrica, quando a água “ferve” e o vapor de água ocupa todo o volume do tubo.

Coeficiente de cultura. Relação entre a evapotranspiração da cultura e a evapotranspiração potencial (ou de referência).

Coesão. Força que mantém unidas moléculas semelhantes de um fluido, como a água.

Compressibilidade. Coeficiente entre a diminuição relativa do volume e o aumento de pressão sobre um corpo em determinada condição de ensaio. A compressibilidade dos gases aproximada por modelo de gás ideal é elevada, visto que o volume é inversamente relacionado com a pressão. A compressibilidade de líquidos e sólidos é muito menor do que a dos gases. Cada líquido e sólido tem compressibilidade diferente, que é variável em função da temperatura e outras condições.

Controlador de irrigação – Dispositivo no qual o ar comprimido é usado para o acionamento de irrigação de acordo com a resposta de pressurização do sensor Irrigas. Na linguagem comum também é usual denominar-se de controlador de irrigação aos temporizadores utilizados para o manejo de irrigação (Fig. 18.6).

Controlador autônomo de irrigação – Dispositivo para automatização da Irrigação com sensores Irrigas fabricado pela Hidrosense Comércio de Sistemas para

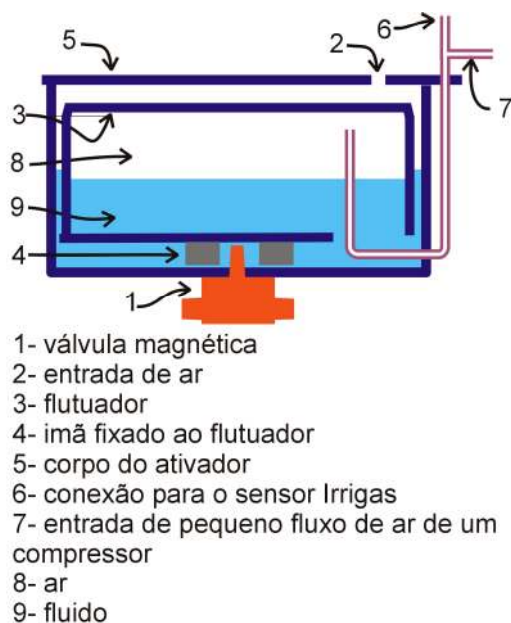


Figura 18.6- Controlador de irrigação para operação com ar comprimido ou outro gás. Opera com um flutuador que ao levantar fecha a saída de água na válvula magnética. Quando o solo seca o sensor Irrigas e o torna permeável, o flutuador afunda e a aplicação de água ocorre.

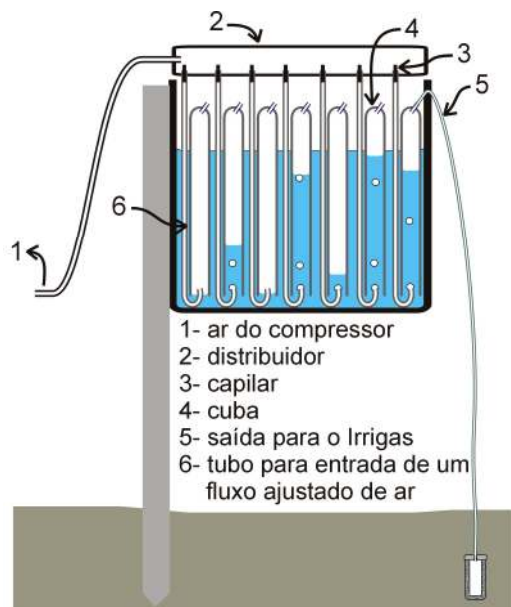


Figura 18.7- Esquema de uma estação de controle de irrigação a gás com introdução inferior de ar, com dispositivo manual, termo-compressor ou compressor com vazão de ar da ordem de 10 ml min^{-1} .

Irrigação Ltda, opera nos modo sinalizador, semi-automático e autônomo.

Controlador pneumático de irrigação. Ver controlador de irrigação.

Cuba de imersão. Tubo transparente ligado por uma mangueira flexível à cápsula porosa do sensor Irrigas. É utilizada para determinar se o Irrigas está ou não permeável ao ar. Em solo úmido o sensor Irrigas torna-se impermeável ao ar e, então, a água não entra na cuba quando esta é imersa na água (Fig. 1.1).

Cubeta de imersão. Ver cuba de imersão.

Curva característica. Denominação utilizada para definir a umidade em função da tensão da água de um solo ou substrato.

Curva de retenção. Ver curva característica.

Curva de pressão-volume. Curva que relaciona o teor relativo de água de plantas em função da tensão da água nos tecidos. Equivalente a curva característica de solos, tem sido freqüentemente determinada com auxílio de uma câmara de pressão.

Dessorção. Secagem.

Despressurização. Perda de pressão, nos sinalizadores de irrigação e nas estações de controle de irrigação. Sistema despressurizado significa sensor Irrigas permeável ao ar, em solo insuficientemente úmido.

Difusão. Processo de transporte de massa que depende da movimentação térmica das moléculas e segundo o qual estas se misturam causando a dissipação dos gradientes de concentração.

Difusão aparente. Movimento de fluidos e de propriedades cujo comportamento é aproximado pelo ajuste matemático de parâmetros de funções originalmente desenvolvidas para representar as variações de concentração governadas pela difusão molecular. Com parâmetros de difusão aparente são feitas inferências sobre processos como a transmissão de umidade no solo e a propagação da pressão de turgescência em vegetais.

Distribuidor. Dispositivos para repartir uma vazão de entrada de um fluido através de duas ou mais saídas.

Embolia. Obliteração do fluxo através de tubos por entrada de ar ou por cavitação. Embolia ocorre nos tubos de tensiômetros comuns e nos vasos do xilema.

Emissor. Dispositivo para aplicação de água. Gotejadores e aspersores são exemplos de emissores.

Empuxo. Força gravitacional proporcional ao volume de um corpo imerso em um fluido. Este sentido Arquimedeano da palavra Empuxo foi utilizado principalmente para as aplicações dos flutuadores à fabricação de ativadores de irrigação.

Estação de controle de irrigação. É um grupo de sensores de tensão de água, ou de umidade, instalados no solo

em uma área representativa de um cultivo. A finalidade da estação de controle de irrigação, tipicamente com 4 a 12 sensores, é proporcionar uma leitura representativa da necessidade de irrigação. A média de vários sensores é importante, dada a enorme variabilidade espacial da tensão da água em solo sob cultivo, o que é causado, entre outros fatores, pela dinâmica da colonização radicular.

Estação de controle de irrigação a gás. É um tipo de estação de controle de irrigação constituído de uma fonte de ar comprimido, ou gás, uma válvula de ajuste de pressão, um distribuidor com saídas de gás através de tubos capilares, que são ligados de um lado a um manômetro, para leitura de pressurização, e de outro ao sensor Irrigas (Fig. 18.7). Em solo seco, o gás escapa pela cápsula porosa do Irrigas, o que causa despressurização do respectivo manômetro.

Estação de controle de irrigação hidráulica. Tipo de estação de controle de irrigação constituída por um grupo de ativadores de irrigação de pressão positiva com manômetro, cada um dos quais ligado a um sensor Irrigas instalado no solo na profundidade das raízes, próximo à planta. Em solo úmido a pressurização de cada sensor Irrigas é observada no respectivo manômetro. Assim que o solo seca acima do valor crítico ocorre despressurização do Irrigas desta posição.

ET₀. Evapotranspiração de referência, ou potencial.

ET_c. Ver evapotranspiração de cultura.

Evaporímetro. Dispositivo para medir a taxa de evaporação. Atmômetro e Tanque Classe A são exemplos de evaporímetros utilizados para o manejo de irrigação.

Evaporação. Fenômeno físico através do qual uma substância passa do estado líquido para o estado gasoso.

Evapotranspiração. Transferência de água de uma superfície com cobertura vegetal, envolve a evaporação no solo e a transpiração do estrato vegetal.

Evapotranspiração de cultura. É a evapotranspiração de uma cultura (ET_c) em qualquer fase de seu desenvolvimento.

Evapotranspiração potencial. É a evapotranspiração de um cultivo crescendo em solo sem restrição hídrica (ET₀) para o desenvolvimento das plantas.

Evapotranspiração potencial de referência. Ver evapotranspiração potencial (ET₀).

Evapotranspirômetro. Dispositivo para medir a evapotranspiração potencial de uma cultura. Muito similar ao lisímetro, diferindo por manter no solo a

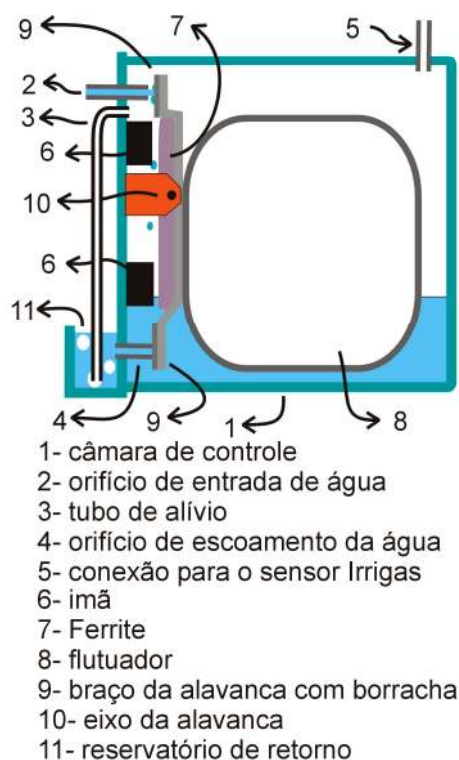


Figura 18.2- Ativador de irrigação de pressão negativa horizontal com ímã frontal e tubo de alívio de pressão.



Figura 18.9- Tensiostato digital MDI para manejo de irrigação fabricado pela Hidrosense.



Figura 18.10- MPI-03 um instrumento para ler sensores Irrigas. Foto: cortesia Hidrosense.

tensão de água próximo a zero, para que a cultura se desenvolva sem restrições.

Expansibilidade térmica. Coeficiente entre o aumento relativo de volume com o aumento da temperatura. A expansibilidade térmica dos gases ideais à pressão constante é diretamente proporcional à temperatura absoluta em graus Kelvin. A expansibilidade térmica de líquidos e sólidos é centenas de vezes menor do que a dos gases. Cada líquido e sólido possui expansibilidade térmica diferente, que é variável em função da pressão, da própria temperatura e de outros fatores.

Ferrite. Também denominado de ferrita, é um material ferromagnético de altíssima resistência à passagem de corrente elétrica, utilizado para aplicações de eletromagnetismo.

Fertirrigação. É o processo usado para aplicar fertilizantes solúveis às culturas por meio da água de irrigação.

Flutuador. Bóia flutuadora utilizada juntamente com tubo obturador para determinar os níveis máximo e/ou mínimo da água na câmara de controle em ativadores de irrigação.

Fluxímetro. Dispositivo para medir fluxo, ou volume de fluido que atravessa uma secção transversal por unidade de tempo.

Fluxímetro de capilar. Tipo de fluxímetro que aproveita a linearidade entre o fluxo de um fluido e a diferença de pressão observada. No fluxímetro de capilar, o fluxo através de capilares sob regime de transporte laminar, é calculado de acordo com a diferença de pressão lida em um manômetro.

Forças de London-van der Waals. Forças moleculares de coesão, que atuam em uma diminuta esfera de ação com raio da ordem de 0,5 nm.

Gotejador Irrigas. Tipo de emissor de baixa vazão acionado diretamente por mini sensores Irrigas com mini cápsula porosa.

Hermético. Inteiramente fechado, de maneira que não deixa penetrar ar.

Histerese. Atraso. Propriedade apresentada por um sistema em um dado instante como resultado de sua evolução anterior.

Histerese de umidade. Refere-se a possibilidade de um mesmo objeto poroso (e.g. solo) com a mesma quantidade total de água apresentar diferentes tensões de água, dependendo do ciclo de umidificação ou de secagem a que tenha sido anteriormente sujeito.

Irrigação. Processo de aplicação de água às plantas, visando suprir suas necessidades hídricas, total ou parcialmente, dependendo do regime de chuvas. A irrigação, quando for o caso, também pode ser empregada para outros fins tais como: facilitar a

germinação de sementes, proteção contra geadas, resfriamento ambiental e remoção de excesso de sais solúveis do solo.

Irrigador. Que irriga, vaso para irrigar, dispositivo de construção variada para irrigar plantas, particularmente em vasos.

Irrigador recarregável. Irrigador de enchimento manual para controle da umidade do substrato de vasos de plantas. Ver regador automático.

Irrigas. Sistema para avaliar a umidade do solo, constituído de uma cápsula porosa, unida por um tubo a um dispositivo para forçar a permeação de ar através da cápsula porosa (Fig. 18.8). No Irrigas, diferentemente do tensiômetro a cavidade da cápsula porosa e o tubo permanecem sempre cheias de ar e livre de água. O sensor Irrigas se torna impermeável ao ar em solo com tensão de água menor que um valor crítico, característico da cápsula porosa do Irrigas (Fig. 18.22).

Irrigas aberto. Equivalente à cápsula porosa do Irrigas permeável ao ar. No teste de imersão, a água entra na cuba indicando que o solo está mais seco que a tensão crítica do Irrigas.

Irrigas comum. Ver Irrigas monofacial.

Irrigas bifacial. Tipo de sensor Irrigas com gás na face interna, ou cavidade, e em pelo menos uma parte da face externa, sob um anel, um diadema ou uma câmara de proteção. É às vezes denominado de Irrigas protegido ou Irrigas de alto desempenho, visto que sua tensão crítica não é aumentada no tempo pela deposição de partículas microscópicas do solo.

Irrigas fechado. Sensor Irrigas com os poros da cápsula porosa impregnados de água em solo com umidade superior a um valor crítico de tensão de água. Equivalente a Irrigas impermeável ao ar. No teste de imersão a água não entra na cuba (Fig. 18.22).

Irrigas monofacial. Sensor Irrigas no qual a face interna se mantém em contato com o gás da cavidade de uma cápsula porosa e a face externa é totalmente em volta pelo solo com o qual faz contato.

Irrigas monoporo. Sensor Irrigas constituído por um simples capilar de vidro de desenho especial, para conferir robustez. Possui um único poro. Potencialmente é útil para tensiometria a gás.

Junta ranhurada. Junção firme entre duas placas hidrofílicas das quais pelo menos uma é ranhurada. Junta ranhurada adequadamente dimensionada pode funcionar como gotejador, como protetor térmico e até como sensor para o tensiômetro a gás.

Kc. Relação entre a evapotranspiração da cultura e a evapotranspiração referência (ver coeficiente de cultura)



Figura 18.11- MRI um tipo de tensiômetro a gás para manejo de irrigação fabricado pela Hidrosense. Foto: cortesia Hidrosense.

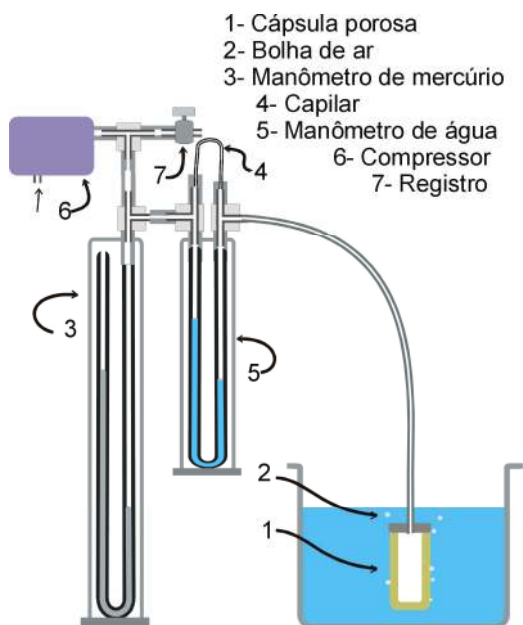


Figura 18.12- Dispositivo para determinar pressão de borbulhamento e fluxo de ar através de cápsulas porosas do sensor Irrigas.

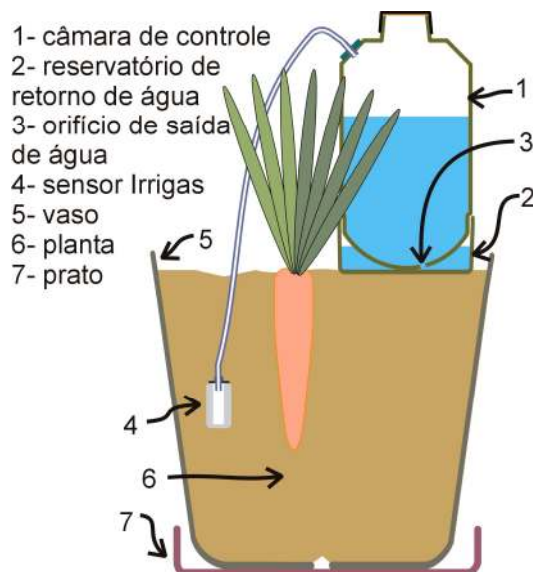


Figura 18.13- Regador automático com escoamento em reservatório de retorno de água.

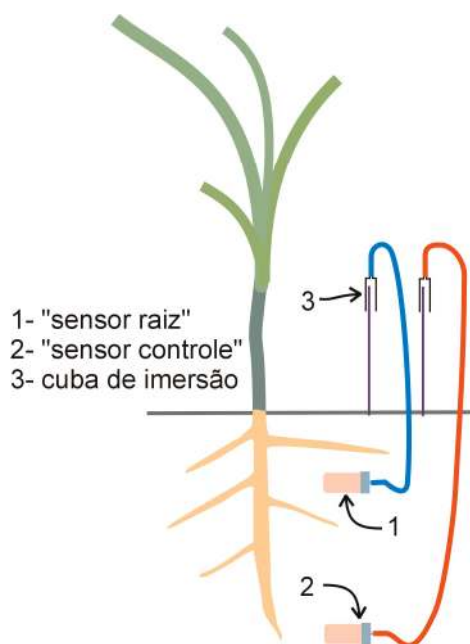


Figura 18.14- Esquema de sensores Irrigas instalados em duas profundidades.

Lisímetro. Dispositivo para medir a evapotranspiração de uma cultura. No manejo da cultura o potencial da água do solo no lisímetro é mantido semelhante ao potencial da água no resto da área cultivada na qual está inserido.

Manejo de irrigação. Procedimentos e decisões sobre quando, quanto e como irrigar.

Manômetro. Instrumento para medir pressão de fluidos como o são, por exemplo, o manômetro de Bourdon e o manômetro de mercúrio.

Manostato. Ver pressostato.

MDI. Tensiostato digital para manejo de irrigação com sensores Irrigas fabricado pela Hidrosense Comércio de Sistemas para Irrigação Ltda (Fig. 18.9).

Menisco. Superfície curva de um líquido, côncava ou convexa mantida por forças moleculares de coesão, as denominadas forças de London van-der-Walls, que atuam em uma diminuta esfera com raio da ordem de 0,5 nm.

Molhamento. Cobrir de líquido, umedecer.

MPI-03. Dispositivo eletrônico fabricado pela Hidrosense Comércio de Sistemas para Irrigação Ltda para a leitura de sensores Irrigas do tipo Irrigas Pro (Fig. 18.10).

MRI. Tipo de tensiômetro a gás fabricado pela Hidrosense Comércio de Sistemas para Irrigação Ltda, para manejo de irrigação. Faz uso da leitura de sensores Irrigas instalados em duas profundidades. Possui ajuste analógico de umidade e de lâmina de irrigação (Fig. 18.11).

Permeabilidade. Medida da penetração e passagem de um gás ou líquido através de um volume de controle por unidade de área de acordo com gradientes de pressão ou de concentração.

Pluviômetro. Instrumento para medir a quantidade de chuvas em um local. É um instrumento valioso em manejo de irrigação.

Potencial de água. Medida da energia livre por unidade de volume, ou de massa. Quando dividido por uma unidade de volume o potencial de água é equivalente a uma tensão interna que mantém as moléculas de água agregadas, envolve forças componentes decorrentes da temperatura e forças de van der Walls, dentre outras. No solo o potencial da água é composto, basicamente, de um componente de pressão, a tensão da água (forças de van der Walls), da pressão osmótica causada pelos sais e moléculas na solução do solo e do potencial gravitacional. Na planta os principais componentes do potencial da água também são de pressão e osmótico. Na planta a causa do componente de pressão esta associada a localização, é a pressão de turgescência, uma pressão positiva no interior das células (simplasma) ou é a tensão da água

no apoplasma, uma pressão negativa no xilema e na matriz das paredes celulares.

Porosidade. Razão entre o volume de espaços vazios e o volume total do objeto, que pode ser solo ou tecido de planta.

Potencial capilar. Ver potencial mátrico, tensão da água e sucção.

Potencial gravitacional. Parte do potencial da água, uma medida da energia livre por unidade de volume ou de massa dependente da altura relativa.

Potencial osmótico. Medida de variação da energia livre por unidade de volume ou de massa causada pela concentração de solutos na solução do solo ou da planta.

Potencial de parede. Veja pressão de turgescência.

Potencial de pressão. Componente do potencial de água. No apoplasma da planta pode ser a tensão de água no xilema, no simplasma é a pressão de turgescência do interior das células, no solo é denominado sucção ou tensão da água.

Potencial mátrico. Tensão da água no solo e tensão da água na matriz das paredes celulares, no apoplasma das plantas.

Potencial matricial. Ver potencial mátrico.

Pressão de borbulhamento. A menor pressão de ar que introduzida em um elemento poroso, preliminarmente equilibrado e imerso em água ou em outro fluido, cause borbulhamento (Fig. 18.11).

Pressão capilar. Ver pressão de poro.

Pressão de permeação. É a pressão de ar necessária para fazer o ar permear uma cápsula porosa sob tensão de água menor que a tensão crítica de dessorção.

Pressão de poro. Equivalente a tensão de água em meios porosos, potencial mátrico, pressão positiva ou negativa em meios porosos. Terminologia mais usada em geologia e em engenharia civil.

Pressão hidrostática. A pressão causada por uma coluna de fluido.

Pressão osmótica. Veja potencial osmótico.

Pressostato. Dispositivo de construção variada utilizado para ajustar, manter constante, ou detectar ocorrência de pressão. Em irrigação pressostatos são utilizados para abrir válvulas e ligar bombas quando a pressão se torna maior, ou menor, que determinado valor crítico atingido com auxílio de sensores de tensão de água como o Irrigas. Em alguns pressostatos a pressão limiar é ajustável.

Pressostato diferencial. Dispositivo de construção variada utilizado para ajustar manter, ou detectar, a diferença de pressão com relação a uma pressão de referência.

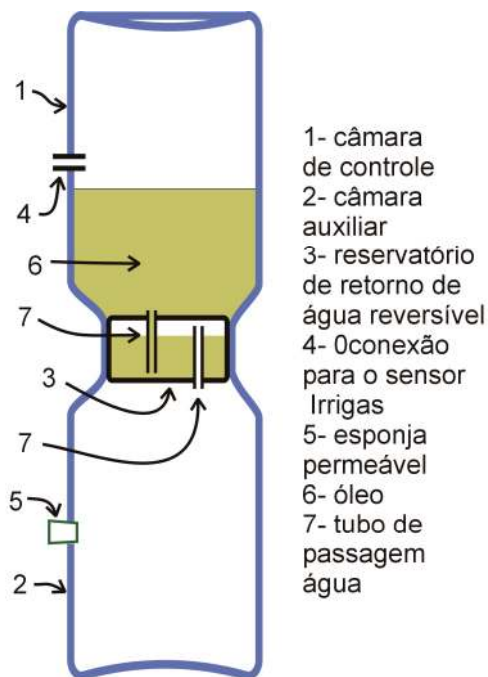


Figura 18.15- Sinalizador de irrigação ampulhiforme com reservatório de retorno de água reversível. A pressurização é feita virando-se a “ampulheta” de ponta-cabeça.

- 1- conexão para sensor o Irrigas
- 2- rolha
- 3- cuba transparente
- 4- saída de sob a cuba
- 5- reservatório de óleo transparente
- 6- bolha de ar
- 7- fluxo de ar

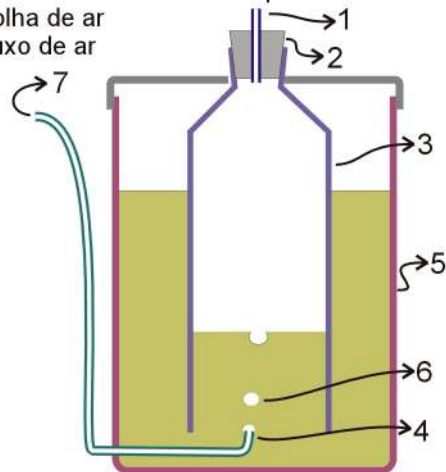


Figura 18.16- Sinalizador de irrigação com entrada de ar inferior para pressurização com compressor que não insufla ar continuamente uma vazão de ar da ordem de 5 ml min⁻¹.

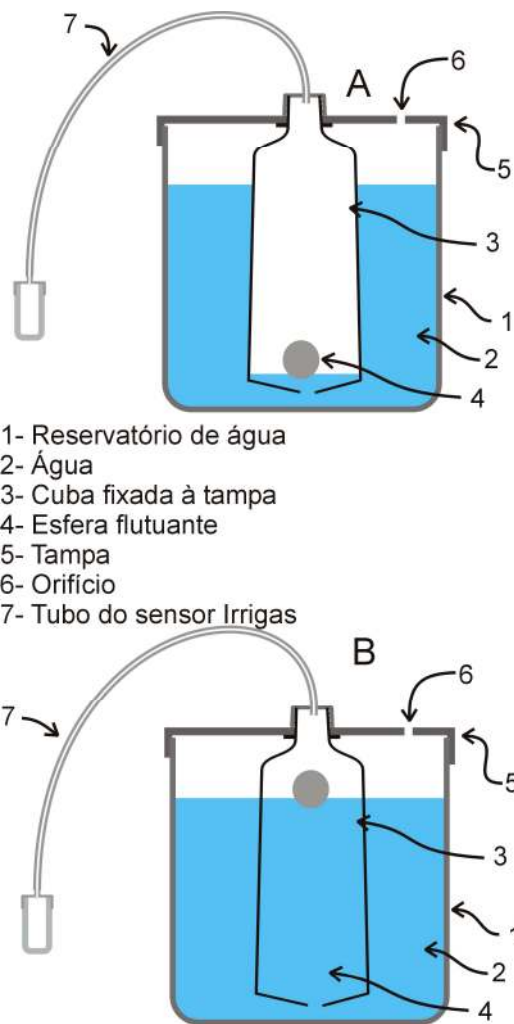


Figura 18.17- Sinalizador de irrigação de pressurização manual. No topo (A) o sinalizador pressurizado, o sensor Irrigas em solo úmido está impermeável ao ar. Na base (B) o sinalizador despressurizado, o ar escapou através dos poros do sensor Irrigas em solo seco.

Pressurização. Ato ou efeito de pressurizar. Com pressão. Nos sinalizadores de irrigação e nas estações de controle de irrigação Irrigas, sistema pressurizado significa solo úmido no qual a água é retida com tensão inferior à tensão crítica do sensor Irrigas.

Pressurizar. Manter pressão normal por processo mecânico em ambientes herméticos.

Protetor térmico Irrigas. Escoadouro de regadores automáticos acionados por sensores Irrigas, cuja função é evitar que as variações de temperatura causem escoamento de água para o solo. São utilizados como protetores térmicos válvulas unidirecionais, reservatórios de retorno de água e meios porosos.

Rebound. Nome dado para o retorno de água de uma placa porosa para o solo quando a pressão é removida em uma Câmara de Richards. Tipo de efeito elástico que causa erro nas determinações de curvas de retenção de água de solos e substratos.

Regador. Veja irrigador.

Regador automático. Irrigador de enchimento manual do qual a água escoar para o solo quando o ar permeia cápsula porosa do Irrigas, sempre que o solo torna-se mais seco que um valor crítico de tensão de água. Este ar que entra na câmara de controle e causa escoamento da água para o solo, até que este umedeça e torne o sensor Irrigas novamente impermeável ao ar.

Regador monobloco. Regador automático Irrigas com a cápsula porosa do sensor Irrigas, incorporada ao corpo do regador, através de colagem à câmara de controle.

Regador automático de pressão negativa. Irrigador de enchimento manual, que libera água para o solo quando a tensão da água no solo supera a tensão crítica acima da qual o sensor Irrigas torna-se permeável ao ar (Fig. 18.12). Neste irrigador a pressão na câmara torna-se negativa depois que o sensor Irrigas torna-se impermeável ao ar. Nesta condição a água é retida por pressão negativa e não escoar para o solo antes que este se torne suficientemente seco.

Regador automático de pressão positiva. Irrigador de enchimento manual que libera água para o solo quando este fica mais seco que a tensão de água crítica, que torna a cápsula porosa do Irrigas permeável ao ar. Nestes irrigadores a pressão na câmara de controle se torna máxima, enquanto a cápsula porosa do Irrigas está impermeável ao ar, isto é, em solo com umidade suficiente. Nesta condição a água não escoar para o solo.

Regavaso. Ver regador automático.

Registro. Chave em torneira ou outro dispositivo para regular o fluxo de um fluido.

Regulador de pressão. Dispositivo para ajustar a pressão de saída de um fluido.

Reservatório de retorno. Dispositivo de escoamento de água, que retorna água para a câmara de controle quando a temperatura diminui causando redução do volume do ar. Por este mecanismo assegura-se a entrada de ar na câmara de controle ocorre apenas através do sensor Irrigas (18.13).

Reservatório de retorno reversível. Tipo de reservatório de retorno de água, que pode ser virado de ponta cabeça e é utilizado para o escoamento de água em sinalizadores de irrigação ampulhiformes (Fig. 18.15).

RFID. “Radio frequency identification”, tecnologia de identificadores ativos e passivos e leitores de radio frequência com os quais se pode utilizar o sensor Irrigas em sistemas de agricultura de precisão sem o uso de fios elétricos e tubos no campo.

Seco. Substrato com tensão de água superior à tensão crítica do sensor Irrigas utilizado.

Sensor. Dispositivo de percepção e/ou de medida da intensidade de variáveis físicas ou químicas.

Sensor controle. Ver sensor limite.

Sensor Irrigas. Parte sensível do sistema Irrigas, usualmente é uma cápsula porosa que se torna impermeável ao ar em solo com tensão de água maior que um valor crítico, característico do mesmo.

Sensor limite. Também denominado de sensor controle é instalado em profundidade que abriga 95% das raízes. É uma instalação profunda a cerca de duas vezes a profundidade dos sensores raiz. Os sensores limite são utilizados para ajustar a lâmina de irrigação (Fig. 15.14).

Sensor raiz. Sensor Irrigas instalado entre as raízes é utilizado para determinar o momento da Irrigação. Usualmente instalado à metade ou à um terço da profundidade dos sensores limite (Fig. 18.13).

Sifão. Tubo para aspirar a água de um nível mais alto para um nível mais baixo, passando por uma elevação. Nos ativadores de irrigação de pressão positiva de sifão, por exemplo, o sifão tem forma de U invertido que é utilizado para succionar a água para fora da câmara de controle, quando o sensor Irrigas se tornar permeável ao ar, e deixa a água entrar na mesma.

Simplasma. Sistema mais ou menos contínuo de protoplasmas de células conectadas por plasmodesmos.

Sinalizador de irrigação. Dispositivo para monitorar visualmente a resposta do sensor Irrigas à umidade do solo. Há diversos tipos de sinalizadores de irrigação para serem utilizados com Irrigas e com outros

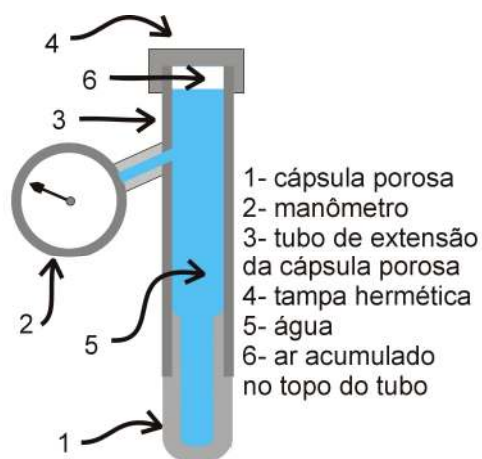


Figura 18.18- Diagrama de um tensiômetro comum com suas partes componentes.

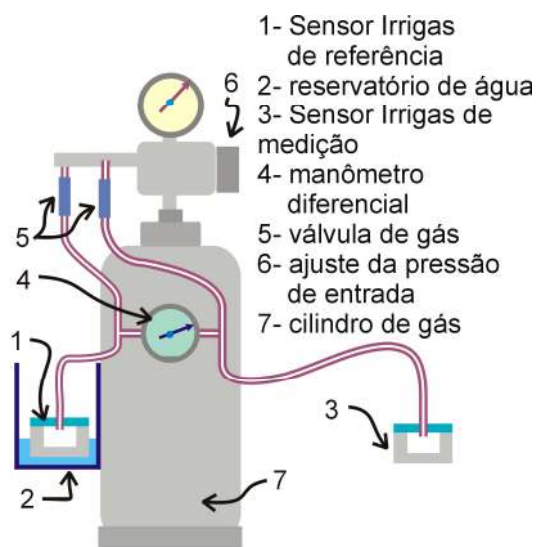


Figura 18.19- Tensiômetro irrigas para medição direta da tensão de água do solo por leitura diferencial.

sensores. Os sinalizadores de irrigação, em geral, são utilizados em grupos, nas denominadas estações de controle de irrigação

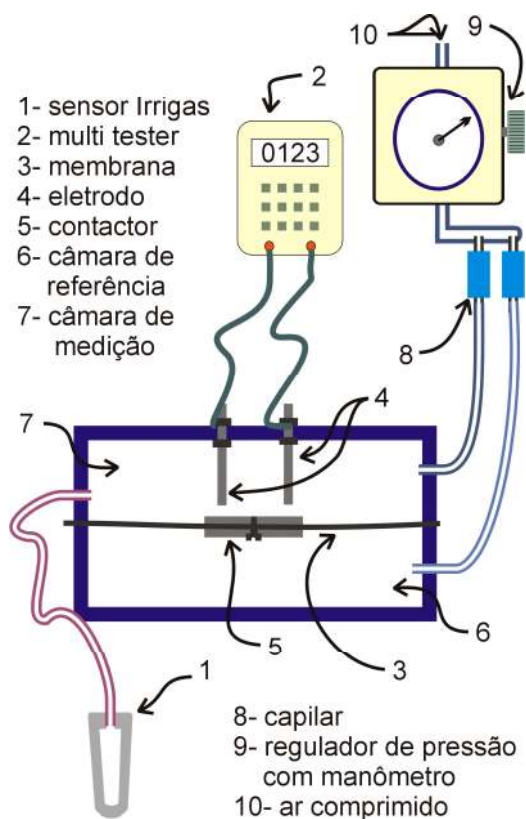


Figura 18.20- Tensiômetro a gás de válvula diferencial, para medir a tensão da água no solo com sensor Irrigas.

Sinalizador de irrigação ampulhiforme. Sinalizador de irrigação Irrigas com proteção térmica em cerâmica porosa ou em um reservatório de retorno reversível. A pressurização dos sinalizadores ampulhiformes é feita virando-se o dispositivo de ponta-cabeça (Fig. 18.15).

Sinalizador de irrigação a gás. É um sinalizador no qual a pressurização na cuba de monitoração é feita pela entrada de um pequeno fluxo de ar. O sistema se despressuriza quando no solo a tensão de água se torna superior ao valor crítico. A despressurização é tomada como indicativo da necessidade de irrigação. Após a irrigação, o sensor Irrigas volta a se tornar impermeável ao ar, e sem vazamento o ar se acumula no sistema, pressurizando-o. Como no sinalizador manual pode-se saber se chegou a hora da irrigação lendo-se a pressurização, como diferença de nível de água, na cuba de monitoramento (Fig. 18.16).

Sinalizador de irrigação de cuba. Tipo de sinalizador de irrigação no qual o ar é pressurizado com auxílio de uma cuba que fica parcialmente imersa em um reservatório de água transparente. A pressurização é mantida enquanto o solo estiver suficientemente úmido e o sensor impermeável ao ar (Fig. 18.17).

Sinalizador de irrigação hidráulico. Sinalizador construído com ativadores de irrigação. Observa-se pressurização sempre que o solo ao redor do sensor Irrigas estiver com umidade superior ao valor crítico. A falta de pressurização é indicativo de necessidade de irrigação.

Sinalizador de irrigação manual. Sinalizador de irrigação em que a pressurização do ar é feita manualmente. Por exemplo o sinalizador ampulhiforme e o sinalizador de cuba (Fig. 18.17).

Sinterização. Processo de aglutinação de partículas sólidas em temperatura inferior à de fusão. Este processo é usado na fabricação de potes, vasos e cápsulas porosas. Processo popularmente denominado de queima da cerâmica.

Sistema gasoso de controle de irrigação. Denominação para os sistemas de manejo de Irrigação fundamentados na permeação gás de cápsulas porosas de sensores Irrigas em função da tensão da água no solo e da pressão de gás aplicada.

Solenóide. Indutor constituído por um conjunto de espiras elétricas circulares, enrolamento. Também é denominado eletro-ímã, tendo em vista que gera no seu eixo central um campo magnético proporcional à corrente elétrica aplicada ao enrolamento, ou bobina.

Sonda de pressão. Nome dos dispositivos utilizados para medir componentes de pressão. Em fisiologia vegetal o

termo sonda de pressão tem sido reservado para sistemas com capilares preenchidos com líquidos, que são utilizados para medir a pressão de turgescência celular, a tensão da água no xilema e a tensão da água na matriz das paredes celulares.

Sonda termoelástica. Sonda de pressão para medir turgescência celular e tensão de água no apoplasma, fundamentado na deformação do óleo que preenche um bulbo capilar, de acordo com a compressibilidade e a expansibilidade térmica do óleo e do vidro.

Sorção. Umedecimento.

Substrato. Meio poroso, orgânico ou mineral, hidrofílico utilizado para cultivar plantas em vasos e sacos.

Sucção. Ato ou efeito de sugar. Termo que tem sido utilizado para significar tensão da água no solo. Pressão com sinal negativo.

Tanque classe A. Tipo de evaporímetro preparado com um tanque de água de 1,21 m de diâmetro e 0,255 m de profundidade feito em aço inoxidável ou de ferro galvanizado, é instalado de maneira padronizada para o manejo da irrigação.

Temporizador. Dispositivo para aplicar a irrigação durante intervalos de tempos ajustados e de acordo com intervalos de tempo regulares. Também é denominado de controlador de irrigação ou “timer”.

Tensão da água. Medida de variação da energia livre da água em um estado de referência por unidade de volume ou de massa. Força com que a água é retida por tensão superficial à matriz do solo ou à matriz de fibrilas e outros componentes moleculares das paredes celulares no apoplasma das plantas. No solo a tensão da água é também denominada sucção. Tensão da água usualmente é expressa em unidade de pressão.

Tensão crítica. Valor de tensão de água acima da qual a cápsula porosa do Irrigas se torna permeável ao ar.

Tensão crítica de dessorção – Tensão de água mínima na qual a cápsula porosa se torna permeável à passagem de ar. Também denominada de tensão crítica de secagem da cápsula porosa

Tensão crítica de sorção – Tensão de água máxima na qual a cápsula porosa ainda se mantém permeável à passagem de ar. Também denominada de tensão crítica de umedecimento da cápsula porosa.

Tensão crítica de secagem. Ver tensão crítica de dessorção.

Tensão crítica de umedecimento. Ver tensão crítica de sorção.

Tensão interfacial. Tensão superficial desenvolvida na interface entre líquido e ar, líquido e sólido, líquido e líquido, ou tensão interfacial entre sólido e ar.

Tensão de permeação. Ver pressão de permeação.

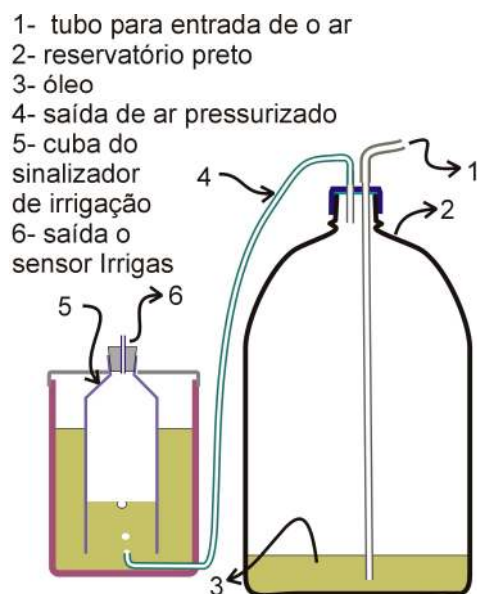


Figura 18.21- Termo compressor pressurizando um sinalizador de Irrigação Irrigas.

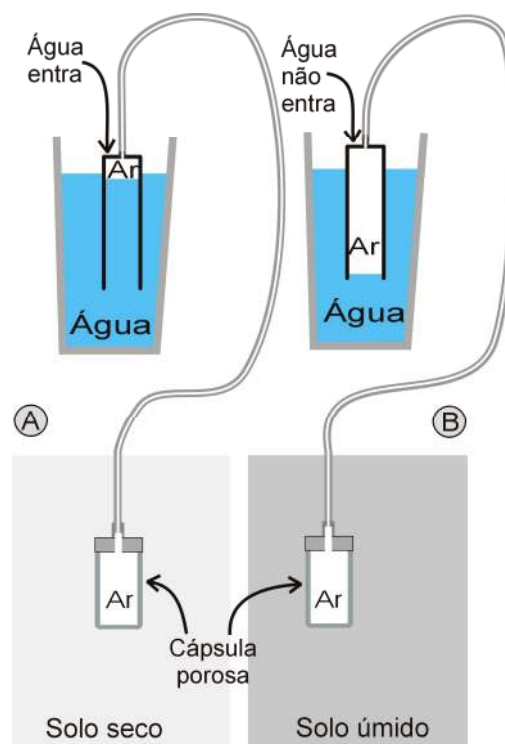


Figura 18.22- Teste de pressurização. A- Em solo seco o Irrigas está permeável ao ar e por isto não oferece resistência à entrada de água. B- Em solo úmido o sensor Irrigas está impermeável ao ar, e oferece resistência à passagem do ar impedindo a entrada de água na cuba.

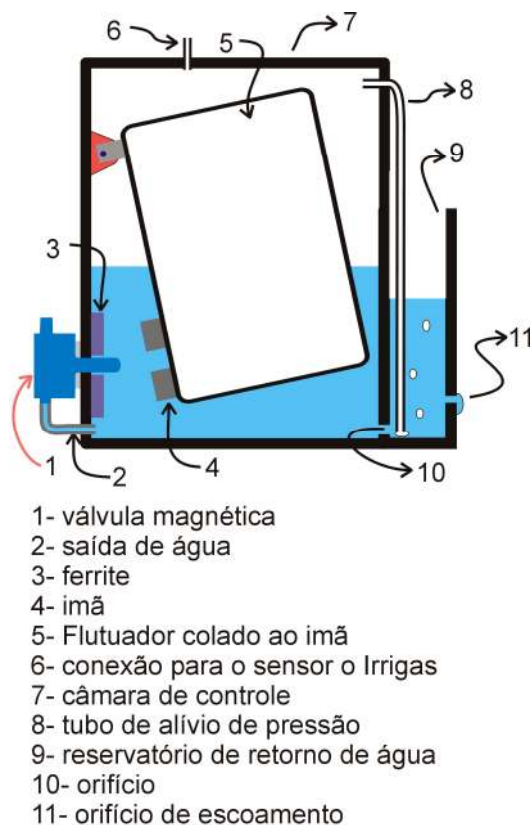


Figura 18.23- Ativador de irrigação hidráulico vertical de pressão negativa com válvula magnética e tubo de alívio de pressão em reservatório de retorno de água.

Tensão superficial. Tensão na interface de um líquido com o ar é expressa em unidade de força por comprimento. É uma variável fundamental da ascensão capilar que se manifesta na retenção de água na matriz do solo e na retenção da água na matriz das paredes celulares das plantas.

Tensiômetro. Dispositivo para medir a variação da tensão da água no solo ou na planta. Em outras palavras, mede a tensão com que a água é retida em meios porosos (Fig. 18.18).

Tensiômetro comum. Opera com um vacuômetro, ou outro transdutor, e mede a tensão da água que preenche a cavidade de sua cápsula porosa, em contato com o solo. Se presta para medidas de tensão da água no solo entre 0 e 70 kPa. O acúmulo de ar na cavidade da cápsula porosa, principalmente em tensões de água próximo ao limite superior de trabalho, é a maior causa da necessidade de manutenção freqüente dos tensiômetros, isto é, adição de água na cavidade da cápsula porosa e a sua extensão em tubo.

Tensiômetro a gás. O tensiômetro a gás opera com ar comprimido, ou gás, na cavidade de sua cápsula porosa. A medição da tensão da água é feita comprimindo-se o ar, ou gás, até que este comece a permear a cápsula porosa, nas medições em dessorção ou em secagem. Alternativamente, a medição é feita diminuindo-se a pressão até que a permeação do gás através do meio porosos cesse, a denominada medição em sorção ou umidificação.

Tensiômetro a gás de fluxo contínuo. Tipo de tensiômetro que utiliza um pequeno fluxo estacionário de gás para a pressurização e a leitura da tensão da água no solo.

Tensiômetro a gás de êmbolo. Tipo de tensiômetro a gás que utiliza pressurização com êmbolo.

Tensiômetro a gás de pêra. Tipo de tensiômetro a gás em que a pressurização é feita com auxílio de uma pró-pipeta de borracha, ou pêra.

Tensiômetro a gás diferencial. Tipo de tensiômetro a gás que faz uso de um sensor Irrigas de referência e desse modo possibilita a leitura direta da tensão de água, sem cálculos (Fig. 18.18)

Tensiômetro a gás com válvula diferencial. Tipo de tensiômetro a gás para medir a tensão de água com auxílio de uma válvula diferencial (Fig. 18.19).

Tensiômetro de Riddley & Burland. Instrumento para medir tensão de água até 1000 kPa (pelo menos). Contém água completamente livre de bolhas em sua minúscula cavidade de cápsula porosa, graças a um tratamento preliminar em câmara hiperbárica. Funciona de maneira instável, isto é, por até algumas horas, quando ocorre cavitação no sistema. Tem sido

aplicado principalmente em geologia e em engenharia civil.

Tensiostato. Tipo de pressostato utilizado para manter a tensão de um fluido. Sistemas de tensiostatos podem ser utilizadas para o manejo da irrigação tanto com tensiômetros comuns quanto com tensiômetros a gás.

Termo-compressor. Compressor de ar acionado pelas variações da temperatura ambiente (Fig. 18.21). As variações de temperatura, e portanto de pressão gerada, por um termo-compressor podem ser grandemente aumentadas quando exposto ao sol.

Teste de imersão. Método para aferir a umidade do solo em contato com a cápsula porosa do sensor Irrigas (Fig. 18.22). Para isto imerge-se uma cuba do sensor Irrigas em água. Em solo úmido com o sensor Irrigas impermeável a pressão da água durante a imersão não consegue forçar a permeação do ar através do sensor Irrigas e por isso a água não entra na cuba imersa. Em solo seco, ao contrário, o sensor Irrigas permeável deixa o ar atravessar sua cápsula porosa e a água entra na cuba, é a hora de irrigar.

Teste de pressurização. Método para verificar a umidade do solo com o sensor Irrigas, pode ser o teste de imersão (Fig. 18.22) ou qualquer outro método, por exemplo com o uso de um tensiômetro a gás, ou um sinalizador de irrigação.

Teste de umidade. Ver teste de imersão.

Teor de água. Ver umidade.

Timer. Ver temporizador.

Transdutor. Dispositivo para transformar um tipo de sinal em outro. Transdutores são utilizados na medição de variáveis como a corrente elétrica, temperatura, pressão e volume.

Transpiração. Transferência do vapor de água que é evaporado na planta ou nos animais e que escapa para a atmosfera através de tecidos dermais e outras estruturas superficiais.

Tubo de imersão. Ver cuba de imersão, dispositivo para verificar a permeabilidade do sensor Irrigas à passagem do ar com o teste de imersão.

Tubo de alívio de pressão. Tubo através do qual o ar escapa, enquanto a pressão está aumentada pela entrada de água sob pressão na câmara de controle do ativador de irrigação de pressão negativa (Fig. 18.22).

Tubo de entrada de ar. Tubo inserido em altura adequada na base da câmara de controle dos ativadores de irrigação de pressão positiva. É um mecanismo de entrada de ar, para assegurar o rápido esvaziamento da câmara de controle.

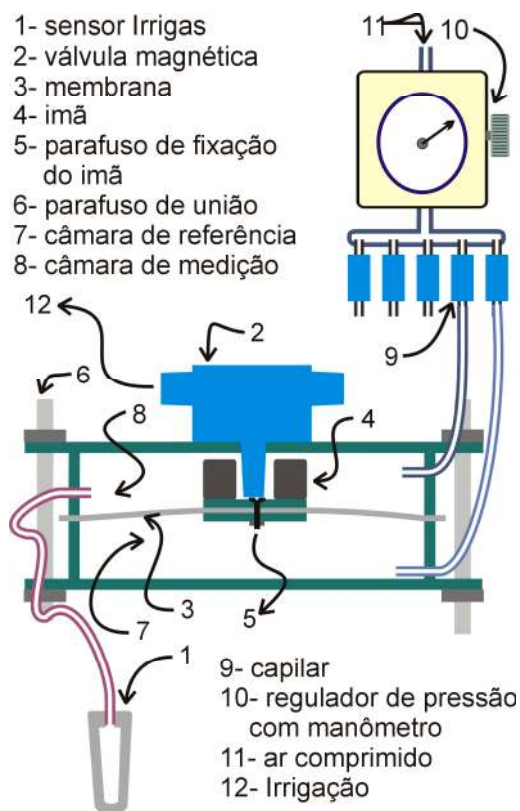


Figura 18.24- Válvula pressostática magnética utilizada para automatizar a irrigação com sensor Irrigas em um controlador de irrigação diferencial.

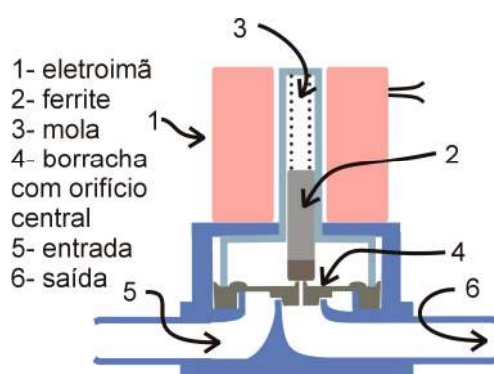


Figura 18.25- Esquema de uma válvula solenóide comum.

Tubo extravasor. Tubo através do qual a água ou outro fluido escoar e cujo fluxo é obstruído quando a ponta do mesmo é obturada, por objetos como um flutuador.

Turgescência. É a pressão no interior das células. Esta pressão é o fator físico de sustentação que mantém as plantas herbáceas eretas. É também a pressão que estica e determina o crescimento das células das plantas. A turgescência causa a firmeza de frutas e hortaliças e está associada à impressão de frescor e de boa qualidade.

Turgor. Veja turgescência

Umidade. Quantidade de água por unidade de volume ou por unidade de matéria seca. Também é denominada de teor de água.

Úmido. Substrato com tensão de água inferior à tensão crítica do sensor Irrigas utilizado.

Vacuômetro. Dispositivo para medir pressões sub atmosféricas utilizando-se, como referência, a pressão barométrica local ou o vácuo absoluto.

Vácuo parcial. Pressão medida com referência a pressão barométrica.

Válvula. Dispositivo para interromper ou regular a passagem de um fluido.

Válvula de agulha. Tipo válvula de globo que tem tampão em forma de agulha, é um tipo de válvula que permite ajuste fino do fluxo de gases e líquidos.

Válvula de ajuste de pressão. Também denominado de registro de pressão.

Válvula de duplo estágio. O mesmo que regulador de pressão de duplo estágio. Sistema ajuste de pressão preciso freqüentemente empregado em cilindros de gás comprimido.

Válvula de alívio. Também denominada de válvula de escape e de válvula de segurança. Usualmente são tipos de válvula que se abrem e dissipam o excesso de pressão. Podem também ser utilizadas para o ajuste de pressão, através da dissipação ou escape do excesso de fluxo.

Válvula de diafragma. A que opera pela ação de uma membrana ou diafragma.

Válvula diferencial. Tipo de válvula através da qual se ajusta a pressão na saída como a soma entre a pressão de referência (zero) e um acréscimo de pressão, aplicado através de dispositivos variados. A válvula de gás liquefeito de petróleo doméstica é um exemplo de válvula diferencial.

Válvula diferencial básica. Válvula com uma membrana separando a referência e a câmara dos tubo de entrada e saída de fluido. Ocorre fluxo quando a pressão na câmara referência é inferior à pressão de entrada.

Válvula magnética. Válvula para dar passagem a um fluido quando exposta ao campo magnético de um ímã permanente. O mecanismo comum de funcionamento destas válvulas faz uso da força com que um ferrite da válvula é atraído pelo ímã. Quando o ímã é colocado suficientemente afastado a passagem de fluido através da válvula é obstruída. Mecanismo idêntico à da válvula solenóide (Fig. 18.25), no qual o eletroímã é substituído por um ímã permanente.

Válvula pressostática magnética. Dispositivo no qual a abertura à passagem de um fluido em uma válvula magnética é aberto por ação de um mecanismo de pressostato (Fig. 18.24).

Válvula de retenção. Ver válvula unidirecional.

Válvula solenóide. Válvula para dar passagem a um fluido de acordo com o campo magnético de um eletro-ímã, ou enrolamento, que é o denominado de solenóide (Fig. 18.24). O mecanismo comum de funcionamento destas válvulas faz uso da força com que um ferrite da válvula é atraído pelo solenóide, enquanto o solenóide esta energizado pela passagem de corrente elétrica a passagem de fluido pela válvula permanece aberta.

Válvula redutora. Dispositivo para reduzir a pressão na linha de distribuição de um fluido para um valor ajustado.

Válvula unidirecional. É uma categoria variada de válvulas utilizadas para direcionar o movimento de um fluido ou para impedir o seu retorno. Válvulas unidirecionais podem ser utilizadas como protetor térmico de regadores automáticos e como mecanismo de entrada de ar na câmara de controle de ativadores de irrigação de pressão positiva (Fig. 18.25).

Vaso de referência. Vaso com sensor de irrigação, a aplicação de água nos demais vasos, tipicamente, ocorre na mesma quantidade que é aplicada ao vaso(s) de referência.

Vela de filtro. Elemento poroso de filtros de água utilizado filtrar e reter bactérias, vermes e outros agentes etiológicos de doenças veiculadas por água. Foram elementos importantes na idealização dos atuais sensores Irrigas.

Viscosidade. Resistência à deformação e ao movimento relativo no interior dos fluidos. Coeficiente empregado para modelar o transporte viscoso (laminar) de gases e líquidos em tubos e em meios porosos.

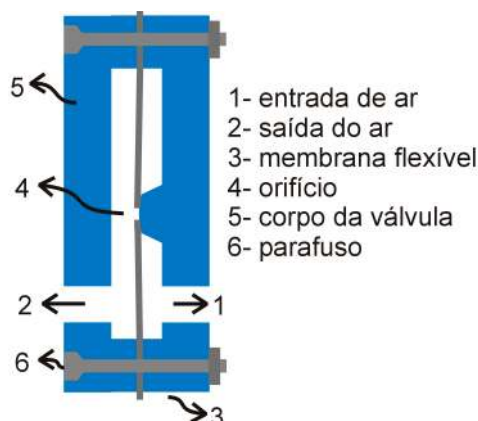


Figura 18.26- Válvula unidirecional efetiva para uso com ativadores de Irrigação.

REFERÊNCIAS

- ALLEN, R.G.; PEREIRA, L.S.; PAES, D.; SMITH, M. 1998. Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements. Roma: FAO, 328p. (Irrigation and Drainage Paper, 56).
- AMARAL, L.G.H.; COSTA, R.D. Determinação do potencial de água no solo. In: RHIGES, A.A.; AMARAL, L.G.H.; COSTA, R.D.; ROSA, G.M.; WILLES, J.A.; GOMES, A.C.S. **Determinação da água no solo e na planta para irrigação**. Santa Maria, RS: Imprensa Universitária, 2003. p. 51-77.
- ANDRADE, E.M. **Variabilidade do potencial matricial da água do solo determinado pelo tensiômetro**. Fortaleza, Universidade Federal do Ceará. 1988. 87 p. 1988.
- BENAMI, A.; OFEN, A. Irrigation engineering: sprinkler, trickle, surface irrigation principles, design and agricultural practices. Haifa, Irrigation Engineering Scientific Publications. 1984. 257 p.
- 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. 2000a.
- CALBO, A.G. Bóia para controle de irrigação. BR PI 0004271-4. 2000b.
- CALBO, A.G. Gas irrigation control system based on soil moisture determination through porous capsules. United States Patent, 6705542 B2. 2004.
- CALBO, A. G.; MAROUELLI, W. AP.; SILVA, H. R. da. Uso de controladores automáticos de irrigação na aplicação da tensiometria Irrigas. **Horticultura Brasileira**, v. 22, n. 2, jul. 2004. Suplemento 2.
- CALBO, A.G.; MARTINS, E.S. Técnica potenciométrica para medidas rápidas de CO₂. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.14, n.4, p.315-316, 1979.
- CALBO, A.G.; SILVA, W.L.C. Irrigas – novo sistema para o controle da irrigação. In: **CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM**, 11., Fortaleza, 2001. *Anais...* Brasília: Associação Brasileira de Irrigação e Drenagem do XI Congresso Brasileiro de Irrigação e Drenagem. 2001, p. 177-182.
- CALBO, A.G.; SILVA, W.L.C. Frasco para irrigação acionada por cápsulas porosas Irrigas. (Engenharia de água e

solo) **54ª Reunião Anual da SBPC**, Goiânia, GO, Julho, 2002.

CALBO, A.G.; SILVA, W.L.C. Novo tensiômetro – rápido, contínuo e opera em tensões superiores a 100 kPa. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 32., Goiânia. **Anais...** Jaboticabal: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 2003b. CD-ROM.

CALBO, A.G.; SILVA, W.L.C. Controle da irrigação facilitado - sinalizador de irrigação para uso com o Irrigas®. In: **CONGRESSO BRASILEIRO DE OLERICULTURA**, 43., Recife, 2003. **Anais...** Botucatu: Sociedade Brasileira de Olericultura, 2003a. 1 CD-ROM.

CALBO, A.G.; SILVA, W.L.C. Mecanismo ativador de irrigação sem fonte externa de energia. (Engenharia de água e solo). In: **Reunião Anual da SBPC**, 55., Recife, **Anais...** Sociedade Brasileira para o Progresso da Ciência, Recife, 2003. Cd-Rom.

CALBO, A.G.; SILVA, W.L.C. Irrigas – a novel system for irrigation control. In: 4th INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON IRRIGATION OF HORTICULTURAL CROPS, 2003, Davis, CA, USA. (Resumo)

CALBO, A.G.; SILVA, W.L.C. Irrigas – novos desenvolvimentos e aplicações. In: CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGACAO E DRENAGEM, 13., 2003, Juazeiro - BA. **Anais...** Fortaleza: ABID, 2003. Cd-Rom.

CALBO, A.G.; SILVA, W.L.C. Irrigador Irrigas automático de pressão positiva sem uso de eletricidade. Parte I – sistema com sifão. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 33, 2004, Águas de São Pedro, **Anais...** Campinas: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 2004. Cd-Rom.

CALBO, A.G.; SILVA, W.L.C. Irrigador Irrigas automático de pressão positiva sem uso de eletricidade. Parte II- Apis com flutuador imã e ferrite. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 33, 2004, Águas de São Pedro, **Anais...** Campinas: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 2004. Cd-Rom.

CALBO, A.G.; SILVA, W.L.C. Evidência científica da permeabilidade ao ar da cápsula porosa do Irrigas em tensões de água maiores que sua pressão de borbulhamento. Congresso Brasileiro de Olericultura, 45, Fortaleza, **Anais...** Fortaleza, Associação Brasileira de Horticultura, 2005, Cd-Rom.

CALBO, A.G.; SILVA, W.L.C. Novo tensiômetro a gás diferencial para leitura direta da tensão da água com sensores Irrigas. 45, Fortaleza, **Anais...** Fortaleza, Associação Brasileira de Horticultura, 2005, Cd-Rom.

CALBO, A.G.; SILVA, W.L.C. Comportamento da troca de água entre a cápsula porosa do Irrigas e o meio em que a mesma se encontra. 45, Fortaleza, **Anais...**

- Fortaleza, Associação Brasileira de Horticultura, 2005, Cd-Rom.
- CALBO, A.G.; SILVA, W.L.C.; FERREIRA, C.N.; CARVALHO, A.M. Irrigas – sensor para irrigação. Brasília: Embrapa Hortaliças, 2003. (Folheto)
- CÁSSIO, A.T.; SILVA, A.P.; GONÇALVES, A.C.A.; FOLEGATTI, M.V. Intervalo ótimo de potencial de água no solo: um conceito para avaliação da qualidade física do solo e manejo da água na agricultura de precisão. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.3, n.3, p.286-292, 1999.
- CLAYPOOL, L.L.; KEEFER, R.M. A colorimetric method for CO₂ determination in respiration studies. **Proceedings American Society for Horticultural Sciences**, v. 40, n. 177-186, 1942.
- CANNY, M.J. Apoplastic water and solute movement: new rules for an old space. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, v. 46, p. 215-236, 1995.
- COELHO, E.F.; SOUZA, V.A.B.; CONCEIÇÃO, M.A.F. Comportamento da cultura da cebola em três regimes de irrigação e cinco espaçamentos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 31, n.8, p. 585-591, 1996.
- ELITE MONTE ALTO Irrigas sistema gasoso de controle de irrigação. Disponível em: <http://www.elitemontealto.com.br>. Acesso em: 11 dez. 2004.
- ESTEVAM, T. Embrapa lança modelo de irrigação inteligente. **Nordeste Biosciences**, ano 3, n. 20, p. 21-22, (junho) 2002.
- GOLDHAMER, D.A. & SNYDER, R.L. **Irrigation scheduling. A guide for efficient on-farm water managment**. Oakland, University of California, 1989. 67 p. Publication 21454.
- HAINES, W.B. Studies in the physical properties of soils: IV A further contribution on the theory of capillary phenomena in soil. **Journal of Agricultural Research**, v. 17, p. 264-290, 1927.
- HUSKEN, D.; STEUDLE, E. & ZIMMERMANN, U. Pressure probe technique for measuring water relations of cells in higher plants. **Plant Physiology**, v. 61, p. 158-163, 1978.
- KEMPER, W.D. & AMEMIYA, M. Utilization of air permeability of porous ceramics a measure of hydraulic stress in soils. **Soil Science**, v. 85, p. 117-124, 1958.
- LIBARDI, P.L. **Dinâmica da água no solo**. Piracicaba: ESALQ-USP, 1995. 497p.
- LIVINGSTON, B.E. A method for controlling plant moisture. **Plant World**. v. 11, p.39-40, 1908.
- MARQUELLI, 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.
- MARQUELLI, W.A.; CALBO, A.G.; CARRIJO, O.A. Avaliação de sensores do tipo Irrigas® para o controle da irrigação em hortaliças cultivadas em substratos. **Irriga**, v. 10, n. 1, p. 88-95, 2005.
- MARQUELLI, W.A.; SILVA, H.R. da; SILVA, W.L.C. Manejo da Irrigação em Hortaliças. 5. ed. Brasília: Embrapa-SPI, 1996, 72p.
- MARSHALL, T.J. *Relations between water and soil*. Harpenden: Commonwealth Bureau of Soils; , Bucks: Commonwealth Agricultural Bureaux, 1959. 91p. (Technical Communication, 50).
- MENDONÇA, J.L. Transferência das novas cultivares e do sistema de controle de uso da água de irrigação IRRIGAS, da Embrapa Hortaliças, para aumento da eficiência e competitividade das cadeias produtivas do agronegócio familiar de hortaliças. Projeto, Embrapa, 2004.
- MOLINA, J.P. & PAVANI, L.C. Avaliação de alguns parâmetros físico-hídricos de duas marcas comerciais de cápsulas porosas de porcelana usadas no aparelho Irrigás-Embrapa. 2002. (Curso Agronomia) - UNESP, Jaboticabal. MOORE, W.J.
- MOORE, W.J. **Physical chemistry**. New Jersey: Prentice-Hall, 1972. 977 p.
- NOBEL, P.S. **Physicochemical and environmental plant physiology**. Sydney: Academic Press. 1991. 635 p.
- OLIVEIRA, C.A., Determinação da tensão de água em solo agrícola usando um sensor de dissipação térmica. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v. 34, n. 8, p. 1417-1425, 1999
- OLIVEIRA, E.B. & PAVANI, L.C. **Sistemas de manejo de irrigação para a produção do porta-enxerto tangerina 'Cleopatra' (*Citrus reshni* Hort ex. Tanaka)**. 2004. 81p. UNESP, Jaboticabal.
- OR, D. History of soil science. Who invented the tensiometer? **Soil Science Society of America**, v. 65, p. 1-3, 2001.
- OTIS, C.H. The Askenasy demonstration. **Plant Physiology**, v. 5, n. 3, p. 419-423, 1930.
- PASCHOLD, P.J.; MOHAMMED, A.; MAYER, N. (2003): Irrigas® - a new simple soil moisture sensor for irrigation scheduling. 4th International Symposium on Irrigation of Horticultural Crops, 2003, Davis, USA.
- 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.

- PASCHOLD, P.J.; MOHAMMED, A. Irrigas - ein neuer einfacher Bodenfeuchte-Sensor zur Bewässerungssteuerung. **Gemüse**, v. 39, n. 4, p.16-18, 2003.
- PASCHOLD, P.J.; MOHAMMED, A.; MAYER, N. Irrigas – a new simple soil moisture sensor for irrigation scheduling. **Acta Horticulturae**, v. 664, p. 521-527, 2004.
- PEREIRA, A.B.; SHOCK, C.A.; SHOCK, C.C.; FEIBERT, E.B.G. Preliminary observations on "Irrigas" for irrigation scheduling. **American Society for Agricultural Engineering**, Pacific Northwest Section, Baker, Oregon. September 23-25, 2004.
- PEREIRA, A.B.; SHOCK, C.A.; SHOCK, C.C.; FEIBERT, E.B.G. Use of Irrigas® for irrigation scheduling for onion under furrow irrigation. Agricultural Experiment Station, Oregon State University. p.223-229. 2005. (Special Report 1062).
- POZZANI, E.R. Produtos Irrigas Hidrosense. Disponível em: <http://www.hidrosense.com.br>. Acesso em: 23 de junho de 2005.
- PRATT, H.K.; MENDOZA, D.B.Jr. Colorimetric determination of carbon dioxide for respiration studies. **HortScience**, v. 14, n. 2, p. 175-176, 1979.
- REICHARDT, K. **Processos de transferência no sistema solo-planta-atmosfera**. 4.ed. Campinas: Fundação Cargill, 1985. 466p.
- REVISTA GALILEU. Novo sistema de irrigação da Embrapa economiza água e energia.
- RICHARDS, L.A. A pressure-membrane extraction apparatus for soil solution. **Soil Science**, v. 51, p.377-386, 1941.
- RICHARDS, L.A. Soil moisture tensiometer materials and construction. **Soil Science**, v. 53, p. 241-248, 1942.
- RICHARDS, L.A. Pressure-membrane apparatus – construction and use. **Agricultural Engineering**, v. 28 p. 451-454, 1947
- RICHARDS, L.A. Methods of mounting porous plates used in soil moisture measurements. **Agronomy Journal**, v. 41, p.489-490, 1949.
- RIDLEY, A.M.; BURLAND, J.B. A new instrument for the measurement of soil moisture suction. **Géotechnique**, v.43, p. 321-324, 1993.
- SANTANA, M.S. Crescimento inicial de duas cultivares de cafeeiro adensado influenciado por níveis de irrigação localizada. Brasília: UnB, 2003. 50p. (Dissertação - Mestrado).
- SANTANA, M.S.; OLIVEIRA, C.A.S.; QUADROS, M. Crescimento inicial de duas cultivares de cafeeiro adensado. **Engenharia Agrícola**, v.24, n.3, p.644-653, 2004.

- SCHOLANDER, P.F.; LOVE, W.E.; KANWISHER, J.W. The rise of sap in tall grapevines. **Plant Physiology**, v. 30, p. 93–104, 1955.
- SCHOLANDER, P.F.; HAMMEL, H.T.; HEMINGSEN, E.A.; BRADSTREET, E.D. Hydrostatic pressure and osmotic potential in leaves of mangroves and some other plants. **Proceedings National Academy of Sciences USA**, v. 52, p.119-125, 1964.
- SEARS, F.S. **Mechanics, heat and sound**. v. 3, Addison-Wesley, New York, 1950, 316 p.
- SILVA, D. A. da; SILVA, A de S.; GHEYI, H.R. "Irrigação por Cápsulas Porosas III: Avaliação Técnica do Método por Pressão Hidrostática." In: PEQUENA IRRIGAÇÃO PARA O TRÓPICO SEMI-ÁRIDO: VAZANTES E CÁPSULAS POROSAS. Petrolina, PE, Brasil, EMBRAPA-CPATSA. pp. 20-42. 1981. (Boletim de Pesquisa, 3)
- SILVA, W.L.C., CALBO, A.G. Nova alternativa para o controle da irrigação do tomateiro em solo e em substrato. In: WORKSHOP [DE] TOMATE NA UNICAMP, 2003, Campinas. Anais... Campinas: UNICAMP, 2003. (Cd-Rom)
- SLAVICH, S. **Methods of studying plant water relations**. Berlin: Springer-Verlag, 1974. 449p. (Ecological Study, 9).
- TARANTINO, A.; MONGIOVÌ, L. Experimental procedures and cavitation mechanisms in tensiometer measurements. **Geotechnical and Geological Engineering**, v.19, p.189-210, 2001.
- VIANA, J.L.B. **Manejo da irrigação por gotejamento durante o segundo ano de cultivo do cafeeiro adensado**. Brasília: UnB, 2004. 44p. (Dissertação - Mestrado).
- WANT, R. RFID: Uma chave para automatizar tudo. **Scientific American Brasil**, n. 23. p. 80-89, 2004.
- WEI, C.; Steudle, E.; Tyree, M.T. Water ascent in plants: do ongoing controversies have a sound basis, **Trends in Plant Science**, v. 4, p. 372-375, 1999

ÍNDICE ANALÍTICO

A

- Aberto – 9, 29, 42, 43, 44, 63, 68, 76, 82, 106, 114, 124, 139, 148, 158.
- Absorção – 35, 60, 141.
- Acionado – 81, 82, 87, 89, 91, 92, 119, 125, 143, 147, 151, 156.
- Acionamento pneumático – 77, 141.
- Adesão – 118, 141, 144.
- Aedes aegypti* – 58.
- Amostragem – 6, 21, 22, 23, 32, 52, 54, 140.
- Ampulheta – 50.
- Aneróide – 42, 141.
- Apoplasma – 100, 142, 150, 154.
- Aquecimento – 61, 109.
- Arenoso – 5, 6, 7, 9, 29, 30, 33, 143.
- Argiloso – 5, 6, 7, 30, 33, 59, 143.
- Aspersão – 3, 77, 90, 133.
- Ativador de irrigação – 67, 68, 69, 70, 71, 75, 76, 77, 79, 80, 142, 156.
- de pressão negativa – 67, 68, 69, 70, 71, 76, 77, 79, 80, 142, 156.
 - de pressão positiva – 71, 75, 80, 142.
 - de sifão – 71, 75, 142.
- Atracar – 68, 76, 142.

B

- Barômetro – 142.
- Barostato – 142.
- Bateria solar – 49, 91.
- Blumat – 135, 142, 143.
- Bóia – ver flutuador. 143, 153.
- Bulbo molhado – 35, 57, 58, 60, 63, 65, 82, 126, 143.
- Bolhômetro – 15, 104, 105, 143.
- Borda – 35, 60, 113.
- Bomba de aquário – 83.
- Botijão – 81, 90.

C

Calibração – 20, 90, 96, 98, 107, 108, 109, 120.

Câmara de controle Irrigas – 51, 59, 60, 61, 62, 63, 64, 67, 68, 69, 70, 71, 72, 73, 74, 78, 80, 82, 142, 143, 147, 151, 152, 156, 158.

Câmara de pressão – 100, 101, 143, 145.

Câmara de Richards – 12, 13, 14, 17, 39, 98, 103, 104, 106, 107, 108, 128, 143, 151.

Canteiro – 22, 32, 33, 34, 65,

Capilar – 11, 15, 19, 20, 39, 40, 42, 44, 48, 49, 52, 81, 83, 85, 86, 89, 90, 91, 101, 104, 105, 108, 109, 114, 115, 119, 120, 143, 144, 146, 147, 148, 150, 154, 155.

Capilaridade – 5, 101, 144.

Cápsula porosa – 3, 8, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 21, 22, 24, 25, 26, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 49, 53, 57, 58, 60, 61, 63, 64, 65, 67, 70, 71, 72, 89, 90, 96, 97, 98, 100, 101, 104, 105, 106, 107, 108, 110, 111, 115, 118, 120, 121, 124, 125, 127, 133, 134, 136, 138, 141, 142, 143, 144, 145, 136, 147, 148, 150, 151, 152, 154, 155, 156.

Cavidade – 12, 17, 23, 24, 29, 30, 31, 35, 37, 38, 63, 64, 96, 97, 107, 115, 136, 141, 143, 144, 148, 155.

Cavitação – 16, 19, 30, 97, 99, 101, 117, 144, 145, 155.

Cerâmica – 12, 19, 21, 23, 27, 28, 30, 51, 61, 62, 63, 108, 113, 120, 139, 144, 153.

Cerâmica Stéfani – 139.

Chuva – 5, 8, 9, 33, 34, 147, 149.

Coesão – 118, 141, 144, 147, 149.

Compressibilidade – 39, 115, 144, 154.

Compressor – 39, 40, 41, 42, 48, 49, 52, 54, 77, 78, 81, 82, 83, 84, 86, 87, 89, 91, 92, 104, 108, 109, 123, 124, 125, 126, 137, 156.

Compressor hidráulico – 78.

Compressor solar – 48, 49, 82.

Compressor térmico – ver compressor solar e termo-compressor.

Comprimido – 19, 38, 42, 48, 52, 54, 67, 81, 84, 86, 89, 90, 91, 92, 98, 144, 146, 155, 157.

Condutividade – 4, 12, 13, 14, 16, 21, 23, 24, 38, 64, 95, 96, 97, 98, 99, 100, 107, 108, 110, 117, 118, 128.

Controlador de irrigação – 15, 16, 81, 82, 83, 87, 124, 137, 139, 144, 145, 154.

- autônomo – 15, 26, 137, 139, 144.

Cuba de imersão – 3, 8, 11, 12, 14, 15, 21, 25, 30, 31, 34, 35, 47, 48, 49, 50, 107, 133, 140, 145, 148, 153, 156.

Cubeta de imersão - ver cuba de imersão.

Cultura – 4, 5, 7, 8, 9, 17, 26, 29, 30, 31, 33, 34, 36, 51, 52, 96, 97, 99, 120, 134, 135, 144, 146, 147, 148, 149, 152.

Curva característica – 14, 127, 128, 129, 143, 145.

Curva de retenção - ver também curva característica- 33, 34, 128, 129, 143, 145.

Curva de pressão-volume – 145.

D

Dengue – 58, 139.

Desidratação – 33.

Dessorção – 12, 13, 16, 17, 21, 37, 43, 44, 50, 71, 72, 90, 92, 103, 104, 106, 108, 110, 114, 115, 116, 125, 145, 150, 154.

Despressurização – 21, 35, 41, 48, 49, 50, 52, 60, 75, 76, 89, 90, 91, 108, 115, 124, 141, 143, 145, 146, 153.

Difusão – 22, 41, 117, 118, 145.

- aparente – 22, 117, 118, 145.

Dispositivo – 3, 8, 11, 17, 25, 26, 42, 47, 52, 57, 67, 70, 74, 81, 96, 101, 105, 124, 130, 143, 144, 145, 146, 147, 148, 149, 150, 152, 153, 154, 155, 156, 157, 158.

Distribuidor – 49, 52, 64, 83, 86, 87, 140, 145, 146.

E

Eletricidade – 77, 83, 86, 89, 90, 92, 124.

Eletro-ímã – 77, 91, 150, 153.

Elite Monte Alto – 134, 139.

Embolia – 145.

Emissor – 35, 65, 84, 99, 126, 143, 145, 147.

Empuxo – 68, 69, 86, 145.

Equação de Poiseuille – 13, 14, 39, 41, 117.

Escoamento – 49, 57, 58, 60, 61, 62, 68, 69, 70, 74, 76, 77, 127, 142, 143, 151, 152.

Escorrimento – 58, 59, 61, 69, 105, 107, 127.

Estaca – 8, 34, 51.

Estação de controle de irrigação – 8, 32, 33, 49, 51, 52, 53, 54, 139, 145, 146.

- a gás – 52, 53, 146.

- hidráulica – 146.

Estádio – 33.

Evaporação – 13, 14, 31, 63, 105, 127, 128, 129, 142, 146.

Evaporímetro – 125, 142, 146, 154.

Evapotranspiração – 4, 36, 57, 95, 125, 126, 144, 146, 148, 149.

Expansibilidade térmica – 7, 14, 154.

F

Fabricado – 15, 19, 21, 26, 28, 30, 32, 37, 45, 62, 65, 83, 92, 96, 98, 112, 113, 135, 138, 139, 144, 149.

Ferrite – 67, 68, 69, 70, 71, 77, 142, 147, 157, 158.

Fertirrigação – 33, 36, 147.

Filtro – 27, 142, 144, 158.

Flutuador – 48, 67, 68, 69, 70, 71, 76, 82, 83, 85, 86, 87, 90, 91, 92, 105, 142, 143, 145, 147, 156.

Fluxímetro – 15, 104, 105.

- de capilar – 15, 104, 147.

Fluxo – 13, 14, 15, 16, 17, 20, 24, 38, 39, 40, 41, 42, 44, 45, 48, 49, 50, 52, 53, 64, 77, 78, 81, 82, 84, 85, 87, 89, 90, 103, 104, 105, 106, 108, 109, 110, 113, 114, 116, 117, 118, 119, 122, 140, 143, 145, 147, 152, 153, 155, 156, 157.

- laminar – 38, 39, 41, 117.

- viscoso – ver também – fluxo laminar – 41, 64, 85, 108, 109, 117, 118, 158.

Formato – 127, 138.

Frasco – 3, 14, 31, 34, 47, 48, 100.

G

Garrafa – 47, 48, 49, 61, 82, 139.

Gotejador – 9, 62, 64, 65, 75, 84, 85, 86, 87, 126, 145, 147, 148.

Gotejamento – 9, 34, 35, 77, 81, 85, 87, 90, 133.

H

Haste – 8, 21, 64, 97.

Hermético – 82, 100, 106, 143, 147, 151.

Hidratação – 16, 97.

Hidráulico – 22, 78, 113, 153.

Hídrico – 3, 6, 14, 17, 27, 29, 42, 64, 100, 119, 129.

Hidrosense – 135, 137, 139, 140, 144, 149.

Horizontal – 7, 9, 32, 69, 70, 71, 127.

Hortaliça – 7, 8, 31, 33, 96, 97, 99, 134, 135.

I

Imã – 67, 68, 69, 70, 71, 72, 73, 75, 76, 77, 78, 83, 90, 91, 142, 144, 153, 157, 158.

Impregnado – 29, 120, 143, 148.

Indústria – 21, 45, 65, 134, 139.

Instalação – 7, 8, 9, 30, 32, 36, 58, 63, 65, 99, 111, 152.

Instrumento – 14, 20, 26, 30, 34, 37, 38, 43, 45, 54, 82, 83, 95, 96, 97, 100, 101, 102, 104, 114, 120, 134, 137, 139, 140, 141, 142, 143, 144, 149, 155.

Irrigador – 62, 63, 72, 99, 142, 148, 151.

Irrigas

Miniatura – 20, 24, 26, 28, 86, 87, 127.

Monofacial – 111, 148.

Monoporo – 28, 148.

Bifacial – 26, 112, 112, 114, 115, 116, 119, 120, 121, 122, 148.

J

Junta ranhurada – 61, 62, 148.

L

Lâmina de água – ver lâmina de irrigação.

Lâmina de irrigação – 123, 133, 152.

Laminar – 117, 147, 149, 158.

Lençol freático – 33.

Lisímetro – 126, 146, 149.

M

Manejo de irrigação – 3, 4, 5, 6, 7, 10, 11, 12, 13, 17, 19, 26, 27, 28, 29, 30, 36, 42, 45, 50, 52, 53, 54, 81, 89, 91, 92, 95, 96, 97, 98, 99, 100, 114, 120, 122, 124, 125, 133, 134, 135, 136, 137, 139, 140, 143, 144, 146, 149, 153.

Manômetro – 13, 38, 40, 41, 42, 53, 96, 104, 105, 146, 147, 149.

Mecanismo – 16, 41, 60, 69, 70, 100, 152, 156, 157, 158.

Menisco – 3, 11, 14.

Molhado – 35, 57, 58, 60, 62, 63, 65, 82, 107, 126, 143.

Manostato – 149.

Monobloco – 26, 63, 151.

MDI – 26, 45, 133, 134, 137, 139, 140, 149.

MPI-03 – 25, 133, 135, 137, 140, 149.

MRI – 15, 26, 45, 133, 134, 137, 139, 140, 140.

Mosquito – 31, 58, 139.

Mulching – 9, 135.

O

Óleo – 19, 48, 49, 78, 83, 124, 154.

Orifício – 47, 59, 61, 62, 63, 68, 69, 70, 82, 86, 120, 127, 143, 144.

P

Painel solar – 81, 87, 92.

Perfil – 5, 49, 100, 103, 126, 138, 148, 151, 152, 153, 154, 156.

Permeabilidade – 13, 16, 38, 68, 78, 114, 117, 137, 149, 156.

Permeável – 3, 7, 12, 13, 14, 17, 21, 30, 31, 35, 47, 57, 58, 59, 60, 70, 71, 76, 82, 83, 84, 91, 98, 104, 107, 124, 126, 127, 133, 134, 142, 145, 148, 151, 152, 153, 154, 156.

Plástico – 6, 13, 24, 31, 34, 82, 107, 113, 121, 141.

Pluviômetro – 149.

Pontual – 9, 67, 80, 85, 100, 138, 143.

Porosidade – 14, 98, 99, 150.

Poroso – 11, 19, 22, 24, 25, 27, 28, 38, 39, 41, 71, 96, 99, 101, 111, 112, 113, 114, 115, 116, 117, 118, 119, 120, 121, 141, 142, 143, 144, 147, 150, 151, 154, 155, 158.

Portátil – 42, 43, 45, 52, 102.

Potencial

- de água – 102, 149, 150.
- capilar - ver potencial mátrico, tensão da água e sucção.
- gravitacional – 149, 150.
- osmótico – 102, 149, 150.
- mátrico – 150.
- parede - veja turgescência.
- pressão – 150.

Pressão

- de borbulhamento – 11, 12, 13, 17, 20, 40, 71, 103, 104, 105, 108, 150.
- hidrostática – 17, 62, 150.
- negativa – 12, 23, 25, 51, 60, 61, 63, 64, 67, 70, 73, 74, 76, 77, 79, 82, 87, 99, 106, 108, 142, 143, 150, 151, 156.
- positiva – 25, 51, 60, 67, 70, 71, 72, 73, 74, 75, 76, 79, 83, 87, 99, 102, 106, 113, 142, 143, 146, 149, 150, 151, 152, 156, 158.
- osmótica - Veja potencial osmótico.
- permeação – 150, 154.
- de poro – 150.

Pressóstato – 44, 75, 77, 78, 81, 89, 90, 92, 108, 126, 142, 149, 150, 156, 158.

Pressurização – 11, 17, 20, 21, 25, 29, 35, 37, 40, 41, 47, 48, 49, 50, 52, 53, 54, 60, 72, 75, 76, 77, 89, 90, 91, 105, 106, 108, 113, 115, 116, 123, 124, 137, 141, 143, 144, 145, 146, 151, 153, 155, 156.

Pressurizar – 25, 48, 52, 76, 106, 151.

Profundidade – 3, 5, 6, 7, 8, 9, 12, 21, 28, 31, 32, 33, 34, 35, 47, 51, 52, 54, 58, 59, 60, 97, 112, 133, 141, 149, 152, 154.

Protetor térmico Irrigas – 51, 61, 65, 148, 151, 158.

R

Radicular – 3, 5, 6, 7, 8, 32, 60, 63, 133, 146.

Raiz – 4, 5, 6, 7, 8, 9, 19, 22, 31, 32, 33, 35, 49, 51, 52, 58, 59, 60, 65, 100, 103, 118, 119, 120, 133, 138, 139, 142, 152.

Rega – 17, 25, 26, 57, 58, 59, 63, 64, 65, 67, 85.

Regador automático – 22, 23, 26, 51, 57, 58, 59, 60, 61, 62, 63, 64, 65, 70, 72, 73, 74, 75, 76, 125, 126, 130, 134, 139, 142, 143, 148, 151, 158.

- de pressão negativa – 22, 23, 26, 60, 61, 63, 70, 142,
- de pressão positiva – 72, 73, 76, 142.
- monobloco – 63, 151.

Registro – 38, 41, 44, 49, 90, 106, 152, 157.

Regulador de pressão – 48, 81, 84, 91, 119, 142, 152, 157.

Reservatório de retorno – 51, 61, 62, 63, 64, 69, 70, 75, 82, 152, 153.

- retorno reversível – 51, 152, 153.

RFID – “radio frequency identification” – 124, 125, 152.

Robusto – 3, 6, 53, 89, 123, 133.

S

Secagem – ver também dessorção – 37, 71, 127, 128, 135, 145, 147, 154, 155.

Seco – 3, 5, 9, 20, 21, 29, 30, 31, 42, 57, 60, 71, 87, 91, 120, 124, 133, 137, 139, 140, 146, 148, 151, 152, 156.

Sensor

- “raiz” – 8, 31, 51, 52, 133, 152.
- “controle” – 8, 31, 51, 52, 133, 152.
- “limite” – ver sensor controle.

Seringa – 107, 121.

Sifão – 64, 70, 71, 72, 73, 75, 142, 152.

Simplasma – 149, 150, 152.

Sinalizador de irrigação – 8, 15, 21, 25, 34, 35, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 53, 54, 125, 133, 137, 139, 140, 145, 151, 152, 153, 156.

- ampulhiforme – 50, 51, 152, 153.
- a gás – 48, 52, 152, 153.
- de cuba – 34, 35, 47, 48, 50.
- hidráulico – 153.

Sinterização – 24, 113, 153.

Sistema gasoso de controle de irrigação – 3, 133, 153.

Solenóide – 75, 77, 86, 89, 90, 91, 108, 126, 153, 158.

Sonda de neutrons – 95.

Sonda de pressão – 19, 20, 101, 102, 120, 153, 154.

Sonda termoelástica – 101, 120, 154.

Sorção – 12, 13, 16, 17, 21, 37, 38, 39, 40, 41, 43, 44, 45, 50, 53, 71, 72, 90, 92, 103, 104, 106, 108, 110, 114, 115, 116, 125, 154, 155.

Substrato – 5, 7, 14, 15, 21, 23, 25, 26, 27, 29, 30, 32, 33, 37, 42, 44, 45, 50, 53, 57, 58, 59, 60, 61, 62, 63, 64, 65, 67, 70, 71, 72, 87, 95, 97, 99, 100, 111, 120, 123, 125, 127, 128, 129, 130, 134, 136, 143, 145, 148, 151, 152, 154, 157.

Sucção – 35, 70, 82, 96, 150, 154.

Sulco – 3, 9, 133.

T

Tanque classe A – 36, 146, 154.

Td – ver tensão crítica de dessorção.

TDR – “time domain reflectometry” – 6, 32, 95, 138.

Ts – ver tensão crítica de sorção.

Tecido – 13, 19, 22, 26, 27, 101, 118, 119, 120, 121, 145, 150, 156.

Temperatura – 12, 48, 49, 51, 57, 61, 62, 65, 70, 72, 82, 83, 98, 118, 124, 144, 147, 149, 151, 152, 153, 156.

Temporizador – 80, 144, 154, 156.

Tensão da água – 4, 5, 6, 7, 8, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 19, 20, 21, 23, 24, 25, 26, 27, 29, 30, 35, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 48, 49, 50, 51, 52, 53, 54, 57, 58, 63, 64, 67, 71, 72, 74, 75, 76, 77, 81, 90, 92, 95, 96, 97, 98, 99, 100, 101, 102, 103, 104, 106, 107, 108, 112, 113, 114, 115, 116, 117, 118, 119, 120, 121, 124, 125, 126, 127, 128, 129, 134, 135, 137, 140, 143, 145, 146, 147, 148, 149, 150, 151, 152, 153, 154, 155, 156, 157.

Tensão crítica – 4, 6, 7, 8, 12, 13, 17, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 28, 30, 32, 37, 38, 40, 41, 43, 44, 45, 48, 50, 53, 57, 63, 70, 71, 72, 75, 87, 90, 92, 95, 98, 101, 103, 104, 105, 106, 108, 110, 111, 112, 113, 114, 115, 116, 117, 118, 119, 122, 124, 126, 127, 134, 137, 139, 140, 148, 150, 151, 152, 154.

- de desorção – 37, 40, 43, 44, 57, 71, 72, 90, 92, 103, 104, 106, 108, 114, 115, 116, 117, 125, 134, 150, 154.

- para a planta – 4, 6, 8, 17.

- de sorção – 37, 38, 40, 41, 43, 44, 45, 53, 103, 104, 106, 110, 154.

Tensão de permeação – 154.

Tensão interfacial – 154.

Tensão superficial – 5, 11, 12, 107, 118, 154, 155.

Tensiômetro – 3, 8, 9, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 21, 22, 23, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 32, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 50, 53, 91, 97, 98, 101, 104, 106, 111, 113, 115, 120, 122, 125, 133, 134, 135, 136, 138, 139, 140, 141, 142, 144, 145, 148, 149, 155, 156.

- comum – 3, 8, 9, 12, 13, 14, 16, 17, 21, 29, 32, 35, 36, 37, 39, 40, 45, 96, 97, 101, 103, 104, 106, 110, 133, 135, 136, 138, 141, 142, 145, 148, 155, 156.

- a gás – 15, 16, 17, 20, 22, 23, 25, 26, 28, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 50, 53, 91, 98, 104, 106, 111, 113, 115, 120, 122, 125, 134, 139, 140, 144, 148, 149, 155, 156.

- a gás diferencial – 15, 40, 44, 155.

- a gás de fluxo estacionário – 38, 41, 42, 43, 44, 53, 104, 106, 120, 155.

- a gás com uso de gás marcador. 120.

- a gás de pêra – 43, 155.

- Irrigas – ver tensiômetro a gás.
- de placa inclinada – 27.
- de Ridlley & Burland – 16, 30, 97, 98, 102, 120, 142, 155.

Tensiostato – 26, 45, 99, 105, 134, 137, 139, 140, 143, 149, 156.

Termo-compressor – 48, 49, 52, 54, 81, 82, 83, 87, 92, 123, 124, 125, 156,

Teste de imersão – 11, 13, 14, 15, 17, 21, 24, 25, 29, 35, 43, 50, 105, 107, 120, 121, 133, 135, 140, 145, 148, 156.

Teste de pressurização – ver também teste de imersão – 21, 106, 108, 156.

Teste de vazamento – 9, 10, 30, 106, 107.

Textura – 5, 7, 31, 58, 59, 95, 96.

Transdutor – 155, 156.

Tubo de alívio de pressão – 67, 68, 69, 84, 156.

Tubo de entrada de ar – 72, 73, 156. Tubo extravasor –

Tubo extravasor - 67, 68, 69, 70, 71, 82, 85, 86, 87, 143, 156.

Tubo manométrico - 52, 53, 54.

Turgescência – 102, 120, 145, 149, 150, 154, 157.

U

Umedecimento – ver também sorção – 37, 38, 44, 53, 58, 63, 116, 135, 154.

Umidade – 3, 4, 5, 6, 8, 10, 11, 22, 23, 28, 30, 32, 34, 39, 40, 51, 57, 58, 63, 87, 91, 95, 100, 123, 124, 125, 128, 138, 142, 145, 147, 148, 149, 151, 152, 153, 156, 157.

Úmido – 3, 4, 8, 9, 10, 11, 20, 21, 28, 29, 31, 32, 33, 35, 47, 48, 50, 52, 58, 59, 60, 64, 65, 67, 70, 72, 76, 77, 79, 82, 83, 100, 120, 124, 129, 133, 137, 140, 142, 145, 146, 151, 153, 156, 157.

Uniformidade – 6, 9, 32, 33, 58, 59, 138.

V

Vacuômetro – 155, 157.

Vácuo parcial – 25, 60, 82, 83, 106, 120, 157.

Válvula – 15, 42, 44, 48, 49, 52, 61, 69, 70, 71, 72, 75, 76, 77, 78, 79, 80, 81, 82, 83, 84, 86, 89, 90, 91, 92, 104, 108, 114, 115, 124, 126, 146, 150, 151, 157, 158.

- de agulha – 15, 42, 48, 104, 157.
- de ajuste de pressão – 52, 146.
- de duplo estágio – 157.
- de alívio – válvula de escape – 157.
- diferencial – 44, 83, 84, 91, 114, 155, 157.
- de GLP – 84, 157.
- pressostática – 75, 76, 77, 79, 81, 82, 90, 91, 92, 158.

- pressostática magnética – 75, 77, 79, 80, 82, 90, 91, 92, 158.

- redutora – 158.

- solenóide – 75, 77, 86, 89, 90, 91, 92, 108, 126, 158.

- unidirecional – 49, 61, 69, 71, 72, 78, 83, 124, 151, 158.

Vaso – 3, 5, 22, 23, 25, 26, 27, 29, 30, 32, 57, 58, 59, 60, 61, 62, 63, 64, 65, 67, 70, 71, 72, 75, 77, 82, 83, 84, 85, 99, 101, 102, 117, 126, 127, 129, 134, 142, 143, 144, 145, 148, 151, 153, 154, 158.

- de referência – 64, 99, 158.

Vazamento – 9, 30, 33, 35, 43, 44, 89, 106, 107, 153.

Vertical – 32, 58, 68, 69, 76, 112, 127.

Viscosidade – 39, 48, 85, 118, 124, 158.

Volume

- de água – 6, 72, 78, 79, 117, 127.

- de ar – 11, 39, 61, 62, 78, 79, 117.

- morto – 24, 38, 42, 125.

- do reservatório – 57, 78, 79, 126.

- de solo – 6, 28, 35, 59, 60.

- do vaso – 57, 59, 126.

X

Xilema – 19, 101, 102, 117, 143, 144, 145, 150, 154.

Empresas que fabricam o Irrigas

Hidrosense Comércio de Sistemas para Irrigação Ltda

Av. Prefeito Luiz Latorre, 4401, Caixa Postal 08

Jardim das Hortências

13208-990, Jundiaí – SP

Telefone/Fax (11) - 4586-6295

e-mail: hidrosense@hidrosense.com.br

portal: www.hidrosense.com.br

Elite Produtos Cerâmicos Monte Alto Ltda

Fábrica: Av. José Wilson Folador 1885

Distrito Industrial

15910-000 Monte Alto, SP

Correspondência: Av: Gaudêncio Brandimarte, 280

Jardim Brandi

Caixa Postal 064

14871-660 Jaboticabal - SP

Telefone (16) 3203 9977

e-mail: contato@elitemontealto.com.br

portal: www.elitemontealto.com.br

Cerâmica Stéfani

Av. Major Hilário Tavares Pinheiro 1388

14871-900 Jaboticabal - SP

Telefone 16 - 32024563

e-mail: ceramica@stefani.ind.br

AUTORES

[Adonai Gimenez Calbo](#), Engenheiro Agrônomo pela ESALQ-USP em 1975, Mestrado em Fisiologia Vegetal pela Universidade Federal de Viçosa em 1978, concluiu o doutorado em Plant Physiology - University of California Davis em 1985. É Pesquisador da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária desde 1976. Especialista em Fisiologia Vegetal, foi Editor Chefe da Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal entre 1989 e 1999. Seus trabalhos enfatizam respostas ao estresse hídrico, pós-colheita de hortaliças e instrumentação agropecuária. Autor de vários trabalhos científicos, colaborou para o desenvolvimento de algumas novas tecnologias que estão atualmente sendo bem aceitas em universidades e em instituições de pesquisa.

[Washington Luiz de Carvalho e Silva](#), Engenheiro Agrônomo pela Universidade Federal de Viçosa, especializado em Engenharia Agrícola (1974), MSc em Recursos Hídricos pela Universidade Federal de Campina Grande (1977) e PhD em Engenharia de Irrigação pela Washington State University nos Estados Unidos (1985). Pesquisador da Embrapa desde 1975, tem trabalhado com sistemas e manejo de irrigação, fertirrigação, rotação de culturas irrigadas e cultivo protegido de hortaliças. Como autor e co-autor tem mais de 200 trabalhos técnico-científicos e livros publicados, no Brasil e no exterior. Tem cursos de especialização no Japão e Israel, apresentou trabalhos em vários congressos nacionais e internacionais e participou de viagens técnicas nos Estados Unidos, Espanha, Nicarágua, El Salvador e Panamá, além de ter prestado consultoria técnica no Uruguai e Bolívia. Foi bolsista do CNPq e colabora como revisor de várias revistas científicas no Brasil. Tem ampla experiência em planejamento e gestão de processos de P&D, transferência de tecnologia, cooperação internacional e negociação com organismos internacionais.