(12) PEDIDO INTERNACIONAL PUBLICADO SOB O TRATADO DE COOPERAÇÃO EM MATÉRIA DE PATENTES (PCT)

(19) Organização Mundial da Propriedade Intelectual
Secretaria Internacional

(43) Data de Publicação Internacional
30 de Outubro de 2014 (30.10.2014)

WIPO | PCT

(10) Número de Publicação Internacional
WO 2014/172765 A1

(51) Classificação Internacional de Patentes : *G01N 7/10* (2006.01) *G01N 13/02* (2006.01) *G01N 19/10* (2006.01)

(21) Número do Pedido Internacional : PCT/BR2014/000128

(22) Data do Depósito Internacional : 24 de Abril de 2014 (24.04.2014)

(25) Língua de Depósito Internacional : Português

(26) Língua de Publicação : Português

(30) Dados Relativos à Prioridade : BR 10 2013 009772 1 22 de Abril de 2013 (22.04.2013) BR

(71) Requerentes : **EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA** [BR/BR]; PqEB Parque Estação Biológica - Edificio Sede, Final W/3 Norte - Plano Piloto, CEP: 70770-901 Brasília - DF (BR). **TECNICER TECNOLOGIA CERÂMICA LTDA** [BR/BR]; Rua Salomão Assef, 51, Jardim São Paulo, CEP: 13570-382 São Carolos - SP (BR).

(72) Inventores : **GIMENEZ CALBO, Adonai**; Rua Quinze de Novembro, 1452, CEP: 13560-241 São Carlos - SP (BR). **PEDRO VAZ, Carlos Manoel**; Al. Jaboticabeiras, 192, CEP: 13561-354 São Carlos - SP (BR). **APARECIDO MARQUELLI, Waldir**; SHIN QI 07, Conj. 09, Casa 06, CEP: 71515-090 Brasilia - SP (BR). **PORTO, Luis Fernando**; Rua Antônio Fischer dos Santos, 101, CEP: 13564-390 São Carolos - SP (BR).

(74) Mandatário : **DANNEMANN, SIEMSEN, BIGLER & IPANEMA MOREIRA**; Caixa Postal 2142, Rua Marquês de Olinda, 70, CEP: 22251-040 Rio de Janeiro - RJ (BR).

(81) Estados Designados *(sem indicação contrária, para todos os tipos de proteção nacional existentes)* : AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

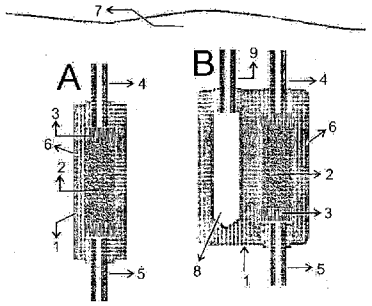
(84) Estados Designados *(sem indicação contrária, para todos os tipos de proteção regional existentes)* : ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), Eurasiático (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), Europeu (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT,

(Continua na página seguinte)

(54) Title : WATER TENSION SENSOR, SYSTEM FOR CHARACTERISING AND CONTINUOUSLY MEASURING SOIL WATER, SYSTEM FOR INDICATING CRITICAL SOIL WATER TENSION AND IRRIGATION ROD

(54) Título : SENSOR DE TENSÃO DE ÁGUA, SISTEMA PARA CARACTERIZAÇÃO E MEDIÇÕES CONTÍNUAS DE ÁGUA NO SOLO, SISTEMA DE INDICAÇÃO DE TENSÃO CRÍTICA NO SOLO E HASTE DE IRRIGAÇÃO

FIG. 1



(57) Abstract : The present invention provides a water tension sensor with a non-sintered core that allows batches of similar and standard sensors to be manufactured in a simple manner, for operation with air and with an air flow outlet, which sensor can be used to read water tension and trigger dripping. The sensor according to the invention is ideal for manually reading soil water tension and for automating irrigation systems based on a static pressure or gas propulsion mechanism.

(57) Resumo : A presente invenção apresenta um sensor de tensão de água com núcleo não sinterizado que possibilita a fabricação, de forma simples, de lotes de sensores similares e padronizados para operação pneumática e com saída de fluxo de ar aproveitável para leitura de tensão de água e para propulsão de gotejamento. O sensor desta invenção é ideal para leituras manuais de tensão de água no solo e para a automatização de sistemas de irrigação por mecanismo pressostático ou de propulsão à gás.

WO 2014/172765 A1

LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Publicado:

— *com relatório de pesquisa internacional (Art. 21(3))*

— *antes da expiração do prazo para modificar as reivindicações e a republicar na eventualidade de receção de tais modificações (Regra 48.2(h))*

Relatório Descritivo de Patente de Invenção: **"SENSOR DE TENSÃO DE ÁGUA, SISTEMA PARA CARACTERIZAÇÃO E MEDIÇÕES CONTÍNUAS DE ÁGUA NO SOLO, SISTEMA DE INDICAÇÃO DE TENSÃO CRÍTICA NO SOLO E HASTE DE IRRIGAÇÃO"**

CAMPO DA INVENÇÃO

A presente invenção se refere a um sensor e à correspondente instrumentação para medição e/ou controle da tensão de água podendo ser aplicada na área agrícola e, em especial, na área de controle e automatização de irrigação.

DESCRIÇÃO DO ESTADO DA TÉCNICA

Tensiômetro é um instrumento para medir a força ou tensão com que a água é retida no solo e em outros substratos. O tensiômetro comum usado para manejo da água de irrigação, é constituído por uma cápsula porosa com cavidade cheia de água ligada hermeticamente a um vacuômetro (Soil Science, v. 53, p. 241-248, 1942). Sua faixa de trabalho é entre zero e a pressão barométrica, porém na prática é usado principalmente entre zero e 70 kPa.

O tensiômetro comum é também tomado como um instrumento de referência e de pesquisa nas diversas áreas relacionadas à ciência do solo e geomateriais como a física e manejo do solo, hidrologia, geofísica, geotecnia, ecologia e meio ambiente. A cápsula porosa é empregada como elemento de transdução e de medida da força com que a água é retida no solo, por leitura de pressão negativa da tensão de água em um vacuômetro.

A grande limitação do tensiômetro comum é o fato de ser facilmente sujeito ao acúmulo de ar na água contida no interior da cápsula porosa, que mantida sob pressão negativa facilita esta acumulação de ar e torna a resposta do tensiômetro cada vez mais lenta, até que este perca a capacidade útil de resposta. Adicionalmente, após sua manutenção, com a adição de água, retirada de ar e fechamento da tampa a obtenção de novas leituras válidas pode ser demorada.

O aumento da faixa de trabalho e redução das dificuldades relacionadas à manutenção do tensiômetro comum têm sido grandes motivações para o

desenvolvimento de novos instrumentos. Particularmente, são almejados novos tipos de tensiômetros e de sensores para manejo de irrigação que sejam mais adequados para a automatização.

No sentido de aumentar sua faixa de trabalho Ridley & Burland 1993 (Geotechnique, v.43, p. 321-324, 1993) desenvolveram um tensiômetro de alto desempenho para aplicações em geologia e engenharia civil que possibilita leitura até 1500 kPa. O tensiômetro de alto desempenho funciona similarmente ao tensiômetro comum exceto por apresentar na cápsula porosa, com elevada pressão de borbulhamento, uma cavidade de volume reduzido na qual está inserido um minúsculo transdutor de pressão. Antes da operação o tensiômetro de alto desempenho é hidratado, sob uma pressão superior a 4000 kPa, por cerca de um dia, dentro de uma câmara de pressão. Este pré-tratamento tem a finalidade de dissolver todas as bolhas de ar que possam atuar como iniciadoras do processo de cavitação. É, no entanto, um instrumento instável, cuja leitura é muitas vezes interrompida pela repentina formação e expansão de bolhas de ar no interior da cavidade. O acúmulo de ar ou embolia no tensiômetro de alto desempenho possui um efeito muito mais grave do que no tensiômetro comum, pois é uma resposta instantânea que ocorre sob pressões negativas de módulo muito superior à pressão barométrica.

No sentido de reduzir as dificuldades relacionadas ao serviço de abrir o tensiômetro e adicionar água ("fluxar") sem atrasar a obtenção de uma nova leitura válida, as soluções encontradas têm sido diversas. Por exemplo, o documento US7631545 descreve um tensiômetro com um sistema de pistão e mola que possibilita remover o ar da cavidade da cápsula porosa do tensiômetro, contida em um tubo de extensão, com auxílio de um procedimento simples de adição de água que é acionado mediante um movimento rápido do pistão. Outra alternativa mais complexa para superar este mesmo problema do tensiômetro comum é descrita no documento US7437957, onde o equipamento opera na faixa entre 0 e cerca de 70 kPa e dispõe de um mecanismo automático para injeção de água para expulsar o ar que se acumula na cavidade da cápsula porosa. Adicionalmente, no

tensiômetro com antena de comunicação do documento US7631545, o transdutor de pressão é colocado ao lado da cápsula porosa para não haver necessidade de correção para a profundidade de inserção do tensiômetro no solo.

Também visando diminuir as atividades de manutenção e aumentar a escala de leitura do tensiômetro comum, o documento DE102009014946 trata de um sistema particular de transduzir a tensão da água no solo em condutividade térmica de um meio poroso, similar em princípio ao sistema descrito por Oliveira (Pesq. Agropec. Bras. v.34, p1417-1425, 1999). Consequentemente, no documento DE102009014946 a medida descrita é indireta e efetuada com um instrumento de medir condutividade térmica de um tecido poroso contido no interior da cápsula porosa. A leitura da tensão da água do solo é obtida mediante curva de calibração não linear entre a tensão da água no solo e a condutividade térmica do material. Como potencialidade adicional deste tipo de sistema reivindica-se a possibilidade de medição da condutividade elétrica do solo. Entretanto, uma limitação importante do sistema é a necessidade de calibração não linear específica para cada sensor.

Sob baixas tensões de água o problema de cavitação, ou seja, o enchimento da cavidade da cápsula porosa do tensiômetro com ar, é pequeno. Esta característica possibilitou o desenvolvimento de sistemas populares de manejo de irrigação doméstico como aquele descrito no documento WO8604212. Neste documento é descrito um sistema no qual a tensão da água no solo é utilizada para diminuir o aperto de estrangulamento de um tubo flexível por onde ocorre a emissão da água de irrigação. É um sistema simples para automação da irrigação, que é efetivo, por exemplo, para manter o solo de um vaso sempre úmido. Trata-se, no entanto, de um sistema extremamente simplificado onde não há leitura da tensão da água no substrato e a regulagem é totalmente dependente da sensibilidade do usuário.

Para um manejo automático mais preciso da irrigação com aplicação em maiores tensões de água, tipicamente entre 20 e 70 kPa, tensiômetros

dotados de êmbolo e mola possibilitam o ajuste automático da tensão da água no solo como descrito no documento US3910300. A limitação causada pelo acúmulo de ar na cavidade da cápsula porosa persiste neste sentido.

Com intuito de superar a necessidade de manutenção e a estreita faixa de trabalho dos tensiômetros comuns, a invenção descrita no documento US 3874590 utiliza um material, náilon, por exemplo, que se expande em presença de água para comandar a abertura de um tubo extravasor sempre que a tensão da água supera um dado valor crítico. Trata-se de um conceito interessante, porém, a concreção requer calibração individualizada dos emissores e não possui um sistema interno de quantificação e ajuste das tensões de água aplicadas. O documento WO2009024962, descreve um sistema tensiométrico baseado na hidratação de um substrato poroso e expansivo com bloqueio de emissor. Trata-se de um sistema no qual é possível ajustar a tensão crítica da irrigação, em vacuômetro, entre 20 e 70 kPa. O conjunto é relativamente sofisticado e há possibilidade da integração da resposta de vários sensores/emissores para aplicações extensivas de manejo da irrigação. Além da sofisticação que tende a onerar o sistema, ainda há a limitação da faixa de tensão de trabalho como no tensiômetro comum.

As limitações do tensiômetro comum também têm motivado o desenvolvimento de sensores eletrônicos para a medição da umidade volumétrica de solos para aumentar a eficiência dos trabalhos de manejo de irrigação. O documento US4837499 descreve um sensor com revestimento metálico robusto e um núcleo fibroso que entra em equilíbrio com a tensão de água do solo, possibilitando uma aferição não linear entre a capacitância e o teor de umidade do solo, com destaque para aqueles com altos teores de óxido de ferro, matéria orgânica e argila. A resposta deste sistema, no entanto, é influenciada pela salinidade do solo e requer calibração específica para alguns tipos de solo (por exemplo, solos orgânicos, muito argilosos, com altos teores de óxidos de ferro, dentre outros). Outro exemplo é relatado no documento US2009206853, que apresenta um sensor resistivo com resposta melhorada em relação ao sensor do documento US5179347, do

mesmo autor, graças ao uso de um revestimento especial. Neste sensor de umidade de solo, uma carcaça de metal dutor perfurada para permeação de água, confere maior robustez ao sensor, enquanto um filtro de revestimento protege e promove o equilíbrio hídrico do núcleo de gesso com dois eletrodos. A condutividade elétrica entre os eletrodos fornece leitura da umidade e o sistema funciona entre tensões de água de 50 e 200 kPa, porém é fortemente influenciado por salinidade e por temperatura.

Novos sistemas de medição de tensão da água no solo que dependem da tensão superficial da água começam a se tornar mais importantes em razão de serem praticamente imunes à variação da salinidade do solo e adicionalmente apresentam pequena variação de resposta em função das temperaturas correntes nos ambientes de cultivo.

Um sistema baseado nesta propriedade é o sensor diédrico do documento WO2011079367. Trata-se de um sistema com aplicações para a determinação dos componentes do potencial e da atividade da água. No sensor diédrico, como o nome técnico sugere, mede-se a tensão da água no solo de acordo com a posição do menisco água/ar no interior de placas de vidro ou de elementos porosos planos fixados em ângulo (diedro), a partir de um ponto de contato no vértice. Uma das principais aplicações dos sensores diédricos é medir a tensão de água no solo com auxílio de elementos porosos e de sistemas ópticos, elétricos ou pneumáticos. É um sistema de resposta linear e com grandes potencialidades para fins de manejo da água de irrigação. Na aplicação pneumática um fluxo de ar sob pressão diminuta, tipicamente de 1 ou 2 kPa, é bloqueado no interior do sensor sempre que a tensão da água diminui e a água preenche o volume da placa na região do orifício de entrada de ar. Para haver durabilidade, o ar utilizado nestas concreções pneumáticas deve ser livre de impurezas e aplicado com baixa vazão.

De uso mais restrito, o sensor Irrigas do documento BR0004264 também é fundamentado na tensão superficial da água, porém quando utilizado no modo pneumático opera durante longos períodos, mesmo em regiões com ar altamente poluído. No sensor Irrigas as camadas externas da cápsula

porosa fazem naturalmente a separação do óleo proveniente da poluição do ar ambiente, que em quantidades diminutas não prejudica o funcionamento do sensor, pelo menos dentro de um período de vida útil da ordem de 3 anos. No sistema Irrigas, cápsulas porosas com a cavidade cheia de ar e sem água são submetidas a uma pressão de ar (**p**) e a tensão da água no solo é medida como a diferença entre o parâmetro **pB** (pressão de borbulhamento) e a leitura **p**. Para manejo da irrigação com o sistema Irrigas elementos porosos com valores apropriados de **pB** são preparados na indústria para atender as diferentes demandas de manejo de irrigação.

Nos processos de aferição da pressão de borbulhamento, em secagem ou dessorção, as cápsulas porosas são colocadas na condição inicial medida por um processo de umedecimento por imersão em água, até estas pararem de succionar água do meio, o que pode ser verificado por pesagem. Na medição da pressão de borbulhamento dessa cápsula porosa imersa em água aumenta-se a pressão de ar na cavidade da cápsula, lentamente, e toma-se nota da menor pressão que causa borbulhamento de ar. Essa pressão é a pressão de borbulhamento em dessorção ou em secagem, e no caso particular dos sensores Irrigas é metaforicamente denominada tensão crítica. A razão disto é que esta pressão também pode ser medida com auxílio de uma câmara de pressão de Richards, medindo em qual tensão de água no solo a cápsula torna-se permeável ao ar. Os valores medidos com borbulhamento e na câmara de Richards são experimentalmente iguais (Bragantia, v.65, n.3, p.501-510, 2006). Comercialmente, por essa razão técnica os sensores Irrigas são vendidos com especificação de sua tensão crítica e um método muito simples de determinar no campo, quando a tensão da água no solo supera este valor. Os agricultores em consequência têm utilizado cápsulas com pressão de borbulhamento, tensão crítica, igual aos valores de tensão de água agronomicamente recomendados para a irrigação de diferentes cultivos.

O sensor Irrigas, como descrito no documento BR0004264, possui problemas técnicos relevantes na fabricação de elementos porosos sinterizados com pressão de borbulhamento finamente ajustada. A obtenção

de produto consistente e adequado impõe dificuldades industriais mesmo quando as partículas minerais são bem ajustadas quanto à composição, a granulometria e a temperatura de sinterização. Assim, mesmo com todos estes cuidados, é comum se obter variações de mais de 20% na pressão de borbulhamento ou da tensão crítica destes sensores, quando são removidos do forno. Consequentemente, para a comercialização de sensores com propriedades rigorosas, por exemplo, com erro de 4% na tensão crítica, (e.g. 25±1 kPa), a calibração dos sensores precisa ser feita individualmente em Câmara de Richards (Soil Science, v. 51, p.377-386, 1941). A aferição individual de sensores, no entanto, é um processo lento e oneroso. Há também outros tipos de dificuldades industriais do Irrigas que tem, por enquanto, sofrido com dificuldades técnicas para a produção de sensores com tensões críticas menores que 10 kPa, importantes no cultivo de plantas em substratos, e com tensões críticas maiores que 150 kPa, destinadas principalmente para manejo de irrigação com déficits hídricos controlados em fases específicas do desenvolvimento das culturas.

Um terceiro problema dos sensores Irrigas é de natureza não industrial e é causado pelo ar que vaza das cápsulas porosas e não pode ser aproveitado em tarefas especializadas de manejo de irrigação. Esta limitação, por exemplo, complica o uso do sistema de atmogotejamento descrito no documento BR0803322, um sistema no qual um fluxo de ar, que pode vir do sensor, é utilizado para elevar a água acima de um nível ajustado (propulsão). O atmogotejamento possibilita não só gotejamento sob uma ampla faixa de vazões, começando em valores muito baixos da ordem de 0,060 litros/h e subindo até mais de 4 litros/h, praticamente sem riscos de entupimento dos emissores. Seria, portanto, oportuno o desenvolvimento de um sensor mais compatível para facilitar o manejo de irrigação pelo sistema de atmogotejamento.

Dentro deste contexto, a presente invenção apresenta um sensor de tensão de água no solo com núcleo não sinterizado que possibilita a fabricação, de forma simples, de lotes de sensores similares e padronizados para operação pneumática e com saída de fluxo de ar aproveitável para leitura de tensão de

água e para propulsão de gotejamento. O sensor desta invenção é ideal para leituras manuais de tensão de água no solo e para a automatização de sistemas de irrigação por mecanismo pressostático ou de propulsão a gás.

SUMÁRIO DA INVENÇÃO

A presente invenção se refere a um sensor (6) de tensão de água no solo (7) e/ou em materiais semelhantes compreendendo, tal sensor, um núcleo não sinterizado (2) envolto por um elemento poroso de suporte (1), tal núcleo limitado em suas extremidades por blocos porosos (3) conectados a um duto (4) de entrada de ar e um duto (5) e saída de ar.

A invenção também se refere a um sistema (80) para caracterização e medições contínuas de tensão de água no solo (7) compreendendo, tal sistema:

a. um sensor (6) de tensão de água no solo,
b. cilindro de ar comprimido (10),
c. uma válvula de fechamento (11),
d. um restritor (12),
e. um transdutor de pressão (13),

A invenção se refere, ainda, a um sistema (60) de indicação de tensão crítica de água no solo (7) compreendendo, tal sistema (60):

a. um visor de borbulhamento (37),
b. óleo mineral (39),
c. uma fonte de ar comprimido,
d. um sensor (6) de tensão de água no solo,
e. um elemento poroso plano (38)
f. resina (41)
g. um duto (42A) de entrada de ar do sensor(6)
h. um duto (42B) de saída de ar do sensor (6) e,
i. um restritor (12),

Adicionalmente, a invenção se refere também a uma haste de irrigação (17) compreendendo, tal dispositivo:

a. um sensor (6) de tensão de água no solo
b. um duto (33) de admissão de ar,

c. uma câmara (70) contendo um flutuador (21), uma tampa (28) dotada de um orifício de escape de ar (32) e um duto de admissão de água (22),

d. um duto (34) de saída de ar,

e. um duto de saída de água (30) e,

f. uma placa impermeável (24).

A presente invenção também se refere a um sensor (110) tensão de água no solo de núcleo não sinterizado com leitura por reflexão de luz compreendendo:

a. um elemento poroso (1);

b. núcleo (2) de partículas não sinterizadas;

c. cobertura (46);

d. lampada (47); e

e. sensor de luz (48).

A invenção se refere, ainda, a um sensor (120) de tensão de água no solo de núcleo não sinterizado para medir tensão de água no solo por transmissão de luz compreendendo:

a. um elemento poroso (1);

b. núcleo (2) não sinterizado disposto como um agregado laminar;

c. cobertura (46);

d. lâmpada (47); e

e. sensor de luz (48).

Adicionalmente, a invenção se refere a uma haste (140) de irrigação de pressurização térmica automatizada com sensor pneumático de tensão de água no solo compreendendo:

a. Duto de afluxo (66);

b. válvula diferencial (141) de pressão;

c. sensor (6) de núcleo instalado no solo (7);

d. duto de entrada de ar (4);

e. coletor solar (67);

f. conexão alta (51);

g. câmara do meio (61);

h. alívio de pressão na câmara do meio (61),

i. restritor de fluxo de ar (12);
j. restritor de vazão de água tubular (55)
k. pino (64) entre o diafragma de aperto (59);
l. diafragma de fechamento (62);
m. disco(60);
n. duto extravasor (56),
o. duto elevado de irrigação (68);
p. restritor para vazão de água 143);
q. conexão (65) da câmara lateral (58); e
r. pé (79) de fixação da haste de irrigação ao solo.

A presente invenção também se refere a uma restritor moldado (143) com vazão de água resistente ao aumento da pressão e com limpeza por retrolavagem compreendendo:

a. duto de afluxo de água (66);
b. abertura (75)
c. diafragma de fechamento (62),
d. canaleta de ajuste de vazão (71);
e. canaleta de compressão (74); e
f. ranhuras de apoio (70).

A invenção se refere, ainda, a uma haste (150) de irrigação de água regulável em duto de angulação compreendendo:

a. divisor de pressão (142);
b. duto de angulação (76);
c. duto de afluxo (66);
d. câmara menor (63);
e. restritor moldado (143) para vazão de água;
f. câmara menor (63);
g. câmara do meio (61);
h. diafragma de fechamento (62);
i. câmara lateral (58);
j. câmara do meio (61);
k. diafragma de aperto (59);

l. disco (60);
m. pino (64);
n. duto extravasor (56);
o. conexão (65); e
p. pé (79) de fixação da haste de irrigação ao solo.

Adicionalmente, a invenção se refere a uma haste (160) de irrigação automática com pressurização mediante coluna de água pendente controlada por sensor pneumático de tensão de água no solo compreendendo:

a. duto de afluxo (66);
b. câmara menor (63);
c. restritor para vazão de água moldado (143);
d. sensor (6) com duto de entrada de ar (4) e duto de saída de ar;
conexão alta (51);
e. câmara do meio (61);
f. válvula diferencial de pressão (141);
g. duto extravasor (56);
h. câmara lateral (58);
i. diafragma de aperto (59);
j. disco (60);
k. diafragma de fechamento (62);
l. pino (64);
m. tubo de tensionamento (78); e
n. pé (79) de fixação da haste de irrigação ao solo.

A presente invenção se refere, também, a um sensor (180) pneumático duplo de tensão de água no solo com resposta agregada através de duto de entrada ar e de duto de saída de ar compreendendo:

a. elemento poroso externo (1);
b. sensor superior (72);
c. sensor inferior (73);
d. núcleo não sinterizado (2);
e. duto de entrada de ar (4);

f. bloco poroso (3);

g. duto de saída de ar (5).

BREVE DESCRIÇÃO DAS FIGURAS

Figura 1: A – Sensor (6) de tensão de água no solo onde (1) elemento poroso de suporte, (2) núcleo não sinterizado, (3) blocos porosos, (4) duto de entrada de ar, (5) duto de saída de ar, (7) solo. B – Sensor (6) de tensão de água no solo dotado de dispositivo de aferição onde (1) elemento poroso de suporte, (2) núcleo não sinterizado, (3) blocos porosos, (4) duto de entrada de ar, (5) duto de saída de ar, (7) solo, (8) cavidade de aferição, (9) duto de aferição.

Figura 2: A – Sistema (80) para caracterização e medições contínuas de tensão de água no solo onde (6) sensor de tensão de água no solo, (10) cilindro de ar comprimido, (11) válvula de fechamento, (12) restritor, (13) transdutor de pressão, (50) duto de ar. B – Sistema para caracterização e medições contínuas de tensão de água no solo adicionado de equipamentos para aferição do sensor (6) onde (10) cilindro de ar comprimido, (11) válvula de fechamento, (12) restritor, (13) transdutor de pressão (14) câmara de Richards, (15) bomba de vácuo, (16) regulador de vácuo, (50) duto de ar, (51) duto de vácuo, (52) duto intermediário.

Figura 3: A - Ilustração de curva típica de leitura de pressão de ar em resposta à tensão de água no solo (7) ajustada com câmara de Richards (14). B - Resposta típica contada a partir do momento da abertura da válvula de fechamento (11), durante uma medição de tensão de água no solo (7) com um sensor (6) de tensão de água no solo (7) previamente equilibrado. A seta contínua representa a leitura da dissipação de pressão tomada no modo dessorção ou de secagem e a seta tracejada representa a leitura da dissipação de pressão causada pelo fluxo de ar, tomada no modo sorção ou umedecimento.

Figura 4: Sistema de aferição da tensão da água no sensor (6) de tensão de água no solo (7), previamente umedecido por imersão em água efetuada por regulação de vácuo parcial com uma bomba de vácuo (seringa) (15) onde (1) elemento poroso de suporte, (2) núcleo não sinterizado, (3) blocos

porosos, (4) duto de entrada de ar, (5) duto de saída de ar, (6) sensor de tensão de água, (7) solo, (8) cavidade de aferição, (9) duto de aferição, (10) cilindro de ar comprimido, (11) válvula de fechamento, (12) restritor, (13) transdutor de pressão, (16) regulador de vácuo.

Figura 5: A - Sistema (60) de indicação de tensão crítica de água no solo (7) onde (6) sensor de tensão de água no solo, (7) solo, (10) cilindro de ar comprimido, (11) válvula de fechamento, (12) restritor, (18) vaso, (37) visor de borbulhamento, (38) elemento poroso plano, (39) óleo mineral, (40) diedro, (41) resina, (42A) duto de entrada de ar do sensor, (42B) duto de saída de ar do sensor. B – Sistema de indicação de tensão crítica de água solo (7) onde (6) sensor de tensão de água no solo, (7) solo, (12) restritor, (18) vaso, (37) visor de borbulhamento, (38) elemento poroso plano, (39) óleo mineral, (40) diedro, (41) resina, (42A) duto de entrada de ar do sensor, (42B) duto de saída de ar do sensor, (43) bulbo de borracha, (44) reservatório, (45) válvula unidirecional.

Figura 6 – Sistema (100) de irrigação para rega propelida compreendendo: A) conexão em série de hastes de irrigação (17), instalados em vasos (18) de plantas, alimentados por bifurcações gêmeas (19) de água e de ar e tubos gêmeos (20) de água e de ar; B) bifurcação gêmea (19) para derivação de ar (35), através de um restritor (12), e derivação de água (36) e C) haste de irrigação (17) onde (1) elemento poroso de suporte, (2) núcleo não sinterizado, (3) blocos porosos, (4) duto de entrada de ar, (5) duto de saída de ar, (6) sensor de tensão de água no solo, (7) solo, (21) flutuador , (22) duto de admissão de água, (23) duto superior, (24) placa impermeável, (25) elemento de interface A, (26) elemento de interface B, (27) vedação, (28) tampa, (29) passagem, (30) duto de saída de água, (31) nível da água, (32) orifício de escape de ar, (33) duto de admissão de ar, (34) duto de saída de ar, (70) câmara.

Figura 7: Diagrama de blocos ilustrando as possibilidades de utilização do sensor (6) de tensão de água onde (A) ar comprimido, (B) ajuste de pressão, (C) restritor, (D) sensor de tensão de água, (E) transdutor de pressão, (F) manejo de irrigação, (G) leitura de tensão de água no solo, (H) escape de ar,

(I) irrigação automática, (J) escape intermitente de ar, (K) escape contínuo de ar.

Figura 8: Sensores de tensão de água no solo para leitura por reflexão e por transmissão de luz, de acordo com medições de corrente elétrica. A) Sensor (110) para leitura por reflexão de luz constituído de um elemento poroso (1) de suporte para promover o contato hidráulico por capilaridade entre o solo (7) e o núcleo (2) não sinterizado, cobertura (46), lampada (47) e sensor de luz (48). B) Sensor (120) para leitura por transmissão de luz, constituído de um elemento poroso (1) de suporte para promover o contato hidráulico por capilaridade entre o solo (7) e o núcleo (2) preparado em formato lamelar por agregação de esferas de vidro ou outro material granular transparentes, lampada (47) e sensor de luz (48).

Figura 9: Respostas típicas à tensão de água no solo (T) dos sensores de tensão de água para leitura por reflexão e por transmissão de luz, medidas em termos de corrente elétrica. .. 9A) Curva de reflexão de luz em sensor (110)em função da tensão da água no solo. 9B) Transmissão de luz em um sensor (120) em função da tensão da água no solo. O núcleo (2) nesses sensores (6) foi formado utilizando-se de esferas de vidro transparentes com diâmetro entre 40 e 100 micrômetros.

Figura 10: Haste de irrigação com pressurização térmica automatizada com sensor pneumático de tensão de água no solo compreendendo duto de afluxo (66), restritor para vazão de água tubular (55), coletor solar (67), câmara do meio (61), diafragma de aperto (59), pino (64) duto extravasor (56), diafragma de fechamento (62), duto elevado de irrigação (68), câmara lateral (58), conexão (65), restritor de fluxo de ar (12), e pé (79).

Figura 11: A- Válvula diferencial (141) de pressão para controle da vazão de fluidos provenientes de uma tubulação adutora compreendendo duto de afluxo (66), restritor para vazão de água tubular (55), câmara menor (63), câmara do meio (61), diafragma de fechamento (62), câmara lateral (58), câmara do meio (61), diafragma de aperto (59), disco (60), pino (64), duto extravasor (56), parafusos de aperto e conexões (65),

B- Divisor de pressão (142) para controle da vazão de fluidos provenientes de uma tubulação adutora compreendendo duto extravasor (56), tubo (57), conexão (65), câmara lateral (58), diafragma de aperto (59), diafragma de fechamento (62), restritor para vazão de água tubular (55).

Figura 12: Detalhe de um restritor moldado (143) para vazão de água alimentado através do duto de afluxo (66) de água, compreendendo abertura (75), diafragma de fechamento (62), canaleta de ajuste de vazão (71), canaleta de compressão (74), ranhuras de apoio (70), diafragma de fechamento (62), câmara menor (63).

Figura 13: Haste (150) de irrigação não automática regulável com utilização do divisor de pressão (142) como haste de irrigação com modulação da vazão de água em um duto de angulação (76), no qual se ajusta a coluna de água e, consequentemente, a pressão que regula a vazão de água para rega.

Figura 14: Haste (160) de irrigação automática de coluna de água pendente para a rega automática pressurizada por coluna de água e controlada por um sensor (6) pneumático de tensão de água no solo e compreendendo duto de afluxo (66), duto de saída de ar (5), conexão alta (51), câmara do meio (61), válvula diferencial (141) de pressão, duto de entrada de ar (4), restritor para vazão de água moldado (143), câmara menor (63), diafragma de aperto (59), disco (60), diafragma de fechamento (62), pino (64), duto extravasor (56), conexão (65), câmara lateral (58), câmara menor (63), abertura (77), tubo de tensionamento (78), escoamento lateral (69) e pé (79) de fixação.

Figura 15: A– Sensor (170) duplo simples para uso em sistemas com pressurização puramente positiva de ar dupla profundidade, com agregação de resposta através de um duto de entrada de ar (4) comum contendo elemento poroso (1) de suporte, duas camadas de núcleo não sinterizado (2), uma para o sensor mais superficial ou superior (72) e outra para o sensor mais profundo ou inferior (73), blocos porosos (3) abertos nas extremidades e bloco poroso (3) de comunicação no centro, ligados através de um duto de entrada de ar (4) comum.

B– Sensor (180) de tensão de água no solo de dupla profundidade com resposta agregada através dos dutos de entrada ar (4) e de saída de ar (5) compreendendo sensor superior (72), sensor inferior (73), bloco poroso (3) de comunicação comum no centro, sensores superior (72) e inferior (73), elemento poroso (1).

DESCRIÇÃO DETALHADA DA INVENÇÃO

O sensor (6) de tensão de água no solo que trata a presente invenção é destinado ao manejo da água de irrigação e pode ser facilmente fabricado em lotes de sensores padronizados e com otimização de faixa de trabalho. É um sensor ideal para aplicações de monitoramento da umidade ou tensão de água no solo e substratos em geral. O sensor funciona por mecanismo pneumático, podendo ser utilizado tanto para leituras manuais, quanto para leituras com coletor de dados. Suas leituras de tensão de água podem ser utilizadas para definir quando e quanto irrigar, e também para automatizar a irrigação. Adicionalmente, por ser um sensor que pode funcionar sem dissipação de ar, é ideal para a fabricação de emissores denominados de haste de irrigação, que atuam automaticamente mediante propulsão pneumática gerada por um fluxo de ar.

Preparado em corpo de elemento poroso (1) com elevada pressão de borbulhamento, impermeável ao ar, quando úmido, o sensor (6) de tensão de água no solo (7) contém partículas hidrofílicas, rígidas e compactadas com dimensões conhecidas para medir, linearmente, a tensão da água do solo entre zero e a pressão de borbulhamento das partículas que compõem o núcleo (2) não sinterizado. É um sensor propício à fabricação padronizada para atender faixas específicas de tensão de água necessárias em aplicações de manejo de irrigação. O sensor (6) possibilita medidas pneumáticas da tensão da água no solo sem perdas de fluxo de ar, o que facilita o acionamento de novos emissores de água denominados de hastes de irrigação. Nestes emissores o fluxo de ar propulsiona a irrigação, que cessa logo que a frente de molhamento umedece o sensor (6) e bloqueia o fluxo de ar. O sensor desta invenção também pode ser utilizado na fabricação de sistemas de leitura e de aquisição de dados de tensão de

água portáteis e estacionários. A faixa de trabalho destes sistemas é entre zero e o módulo da tensão crítica de água, ou pressão de borbulhamento.

O sensor (6) de tensão de água da presente invenção compreende um núcleo não sinterizado (2) envolto por um elemento poroso de suporte (1) sendo tal núcleo (2) limitado em suas extremidades por blocos porosos (3) elásticos e preferencialmente hidrofóbicos de espuma conectados a um duto (4) de entrada de ar e um duto (5) de saída de ar.

Neste sensor (6), a passagem de um fluxo de ar internamente ao elemento poroso (1) e através do núcleo (2) é possibilitada mediante uma dissipação de pressão que é função da tensão da água no solo e que se torna nula acima de um dado valor crítico característico das partículas utilizadas como enchimento do núcleo (2) (equação 1).

A Figura 1A mostra o respectivo sensor (6). O núcleo não sinterizado (2) do sensor (6) da invenção é, preferencialmente, constituído de material hidrofílico. Ainda preferencialmente, o material hidrofílico do qual o núcleo (6) é constituído apresenta ângulo de molhamento próximo de zero e menor que 26 graus, isto é com co-seno do ângulo de molhamento superior a 0,9. Diversos tipos de materiais podem ser utilizados na constituição do núcleo (2) do sensor (6) da invenção. Entre estes materiais podem-se citar esferas de vidro e coríndon. O elemento poroso de suporte (1) do sensor (6) da invenção também é constituído preferencialmente de material hidrofílico apresentando este material, também preferencialmente, co-seno do ângulo de molhamento maior que 0,9. Diversos materiais podem ser utilizados na constituição do elemento poroso de suporte (1) do sensor (6) da invenção. Dentre estes materiais podem ser citados a cerâmica, gesso e concreto poroso. Também parte do sensor (6) de tensão de água da presente invenção, os blocos porosos (3) que limitam suas extremidades são constituídos preferencialmente, de materiais porosos, elásticos e preferencialmente hidrofóbicos, como espumas com pressão de borbulhamento menor do que a do material do núcleo, para não obstruir o fluxo do ar. Para o funcionamento com exatidão do sensor (6) de tensão de água no solo (7) da invenção, o elemento poroso de suporte (1) deve

possuir, preferencialmente, no mínimo, uma pressão de borbulhamento 4 vezes maior do que o valor da tensão crítica do núcleo não sinterizado (2). Do ponto de vista prático, para sensores de tensão de água que operam na faixa de zero a 150 kPa é interessante o uso de elementos porosos com pressão de borbulhamento entre 600 kPa e 1200 kPa, sempre que velocidades de resposta menores que 15 minutos não sejam demandadas nas aplicações técnicas.

No sensor de tensão de água da invenção, partículas hidrofílicas, com uniformidade, rigidez e estabilidade, como coríndon ou esferas de vidro, formam o núcleo (2) acomodado no interior de um elemento poroso (1), que é um corpo robusto e com elevada pressão de borbulhamento. Os Blocos porosos (3) mantêm as partículas do núcleo (2), compactadas e em posição estável, independentemente de estarem secas ou conterem água preenchendo os interstícios. Em senso estrito os blocos porosos (3) são dispensáveis, por exemplo, quando o sensor é construído em forma de U. O preparo do sensor sem os blocos porosos, no entanto, não é recomendável, visto que é importante manter-se as partículas não sinterizadas do sensor firmemente posicionadas. Preferencialmente os dois blocos porosos (3) devem ter tensão crítica menor que 2,0 kPa, para não causar erros nas leituras de tensão da água de solos muito umedecidos.

O elemento poroso (1) com elevada pressão de borbulhamento, que é o corpo do sensor, assegura impermeabilidade ao ar através de suas paredes, enquanto mantido em equilíbrio com solos sob tensão de água menor do que a sua pressão de borbulhamento. Como consequência, um fluxo de ar introduzido no duto de entrada de ar (4) do elemento poroso (1), sob condição de equilíbrio, pode ser forçada para o duto de saída de ar (5) mediante a dissipação de uma pressão de ar **p** dependente da tensão da água no solo (7) de acordo com a equação 1 a seguir:

$$Ts = Pb - p \qquad \text{equação 1}$$

onde **Ts** é a tensão da água no solo (kPa), **Pb** é a pressão do ar (kPa), medida com relação a pressão barométrica, aplicada para forçar o borbulhamento através do núcleo (2) do sensor (6) imerso em água e **p** é a

diferença de pressão de ar entre o duto de entrada de ar (4) e o duto de saída de ar (5) tubular do sensor de núcleo (6). Em outras palavras **p** é a dissipação de pressão do sensor (6) induzida pela passagem de um dado fluxo de ar através do seu núcleo (2) impregnado de água. É importante observar que a pressão de borbulhamento do elemento poroso (1) e dos blocos porosos (3) não entra na equação 1. Primeiro por funcionar como uma parede impermeável, dada a sua elevada tensão crítica e segundo por possuir tensão crítica muito menor que as partículas não sinterizadas do núcleo (2).

Como alternativa de configuração do sensor (6) da invenção pode-se citar a presença adicional de um dispositivo de aferição adjacente ao dito sensor (6). Tal dispositivo é composto por uma cavidade de aferição (8) envolta por um elemento poroso de suporte (1) e por um duto de aferição (9) conforme pode ser observado na Figura 1B. A esta cavidade de aferição (8), pode-se adicionar água, por exemplo, com o auxílio uma seringa, para reduzir a tensão da água no sensor para zero. A seguir, a tensão da água do sensor (6) é ajustada por aplicação de vácuo parcial durante a leitura. Este procedimento dispensa o uso de instrumentos lentos, sofisticados e onerosos de aferição, e pode ser utilizado sempre que o parâmetro tensão crítica **Pb** do sensor (equação 1) é de magnitude inferior ao módulo da pressão barométrica local.

O elemento poroso de suporte (1) do respectivo dispositivo é constituído preferencialmente de material hidrofílico apresentando este material, também preferencialmente, co-seno do ângulo de molhamento maior que 0,9. Diversos materiais podem ser utilizados na constituição do elemento poroso de suporte (1) do dispositivo de aferição adjacente ao sensor (6) da invenção. Dentre estes materiais podem ser citados a cerâmica, gesso e concreto poroso.

A presente invenção também se refere a um sistema (80) para caracterização e medições contínuas de tensão de água no solo (7), compreendendo:

a. um sensor (6) de tensão de água no solo,

b. cilindro de ar comprimido (10),
c. uma válvula de fechamento (11),
d. um restritor (12),
e. um transdutor de pressão (13).

O sensor (6) de tensão de água no solo do respectivo sistema (80) compreende um núcleo não sinterizado (2) envolto por um elemento poroso de suporte (1), tal núcleo limitado em suas extremidades por blocos porosos (3) conectados a um duto (4) de entrada de ar e um duto (5) e saída de ar. O núcleo não sinterizado (2) do sensor (6) componente do sistema (80) é constituído, preferencialmente, de material hidrofílico. Ainda, preferencialmente, o material hidrofílico componente do núcleo (2) apresenta co-seno do ângulo de molhamento maior que 0,9. Diversos tipos de materiais podem ser utilizados na constituição do núcleo (2) do sensor (6) componente do sistema (80) da invenção. Entre estes materiais podem-se citar esferas de vidro e coríndon. O elemento poroso de suporte (1) do sensor (6) componente do sistema (80) também é, preferencialmente, constituído de material hidrofílico apresentando este material, também preferencialmente, co-seno do ângulo de molhamento maior que 0,9. Diversos materiais podem ser utilizados na constituição do elemento poroso de suporte (1) do sensor (6) componente do sistema (80). Dentre estes materiais podem ser citados cerâmica, gesso e concreto poroso. Os blocos porosos (3) que limitam as extremidades do sensor (6) componente do sistema (80) são constituídos, preferencialmente, de materiais selecionados dentre materiais porosos elásticos e, preferencialmente, hidrofóbicos.

Para o correto funcionamento do sensor (6) componente do sistema (80) da invenção, o elemento poroso de suporte (1) deve possuir, preferencialmente, no mínimo, uma pressão de borbulhamento 4 vezes maior do que a tensão crítica do núcleo não sinterizado (2).

No referido sistema (80) da invenção, (Figura 2A) o duto (4) de entrada de ar no sensor (6) se conecta ao cilindro de ar comprimido (10) preferencialmente através de um duto de ar (50). Ainda dentro do sistema da invenção (80) a

válvula de fechamento (11), o restritor (12) e o transdutor de pressão (13) estão conectados ao duto de ar (50).

Para uso do sensor de núcleo (6) no modo de tensiometria a gás, ou seja, no sistema (80) para caracterização e medições contínuas de tensão de água no solo (7) da invenção, as partículas não sinterizadas do núcleo (2) (Figura 2A) devem estar firmemente fixadas entre os blocos porosos (3) para que não se desloquem, mesmo sob a ação de pressões de ar de até 500 kPa. Neste sistema (Figura 2A), o sensor (6) com as partículas não sinterizadas retendo água por capilaridade mede a tensão de água de maneira contínua de acordo com a dissipação de pressão (**p**), do fluxo forçado de ar que atravessa o núcleo (2). Esta é a forma simples pela qual a tensão da água no solo (7) modula a diferença de pressão cuja medida é utilizada para aplicar a equação 1 e estimar a tensão da água.

Para o funcionamento do sistema (80), o sensor (6) é acoplado através de um restritor (12), de cobre, vidro ou plástico, que ajusta o fluxo de ar, tipicamente da ordem de 0,5 ml/min. Este fluxo de ar medido à pressão barométrica local é obtido de forma estável e com variação menor que 25%, quando o diferencial de pressão de ar aplicado através da resistência é superior a quatro vezes o valor **Pb**. Outro aspecto importante neste sistema é que o valor de p é influenciado de maneira muito tênue pelo aumento do fluxo de ar, de tal modo que um aumento de dez vezes no fluxo de ar, por exemplo, um aumento de 0,5 ml/min para 5 ml/min, causa aumento da pressão **p** menor que 5%. Para a regulagem da pressão de entrada usa-se um cilindro de ar comprimido (10), ou um compressor de ar, por exemplo, com ajuste de pressão de 400 kPa, acima da pressão barométrica, e uma válvula de fechamento (11), que é mantida aberta durante as leituras.

Utilizando-se de fluxos de ar maiores através do núcleo (2), a leitura é mais rápida, porém elevados fluxos de ar seco podem causar erro de secamento, que pode inflar a leitura. Assim, o valor do fluxo de ar utilizado em medições de tensão de água no solo com o sensor (6) deve ser proporcional à secção transversal do núcleo (2) e deve guardar relação não linear com a granulometria das partículas do núcleo (2) que retém a água por

capilaridade. Consequentemente, presumindo-se que não haja limitação de permeabilidade de água no elemento poroso (1), maiores fluxos de ar podem ser aplicados à medida que o diâmetro do núcleo (2) e a granulometria de suas partículas não sinterizadas aumentem. Por segurança, no entanto, é sempre interessante utilizar fluxos de ar reduzidos, o que é facilitado quando se trabalha com baixos volumes mortos de ar no sistema. Baixos volumes mortos (< 2 ml) podem ser conseguidos, por exemplo, utilizando-se tubos e conexões com pequeno diâmetro interno, tipicamente da ordem de 0,2 mm.

Em uma concretização preferencial (Figura 2B) o sistema (80) da presente invenção apresenta, adicionalmente, dispositivos responsáveis pela aferição/caracterização do sensor (6) de tensão de água. Os respectivos dispositivos compreendem uma bomba de vácuo (15), um regulador de vácuo (16) e uma câmara de Richards (14). Na respectiva concretização preferencial o regulador de vácuo de conecta à bomba de vácuo (15) e à câmara de Richards através, respectivamente, de um duto intermediário (52) e um duto de vácuo (51). Nesta concretização preferencial (Figura 2B), a tensão da água no solo para a aferição e caracterização do sensor (6) pode ser ajustada, por exemplo, mediante o uso de vácuo parcial, utilizando-se a câmara de Richards (14). No sistema da Figura 2B, a câmara de Richards (14) é um item auxiliar que possibilita os ajustes na tensão de água no solo (7) para aferições do sensor (6) desta invenção. No caso ilustrado, a câmara de Richards é de pressão negativa, e deixa o solo continuamente exposto, o que facilita a aferição dos sensores (6) na faixa entre 0 e 80 kPa. A tensão da água do solo contido na câmara de Richards (14) é, no equilíbrio, igual ao vácuo parcial ajustado através do regulador de vácuo (16) parcial ligado à bomba de vácuo (15).

Na Figura 3A é mostrado o comportamento de resposta linear, com declividade próxima de 1,0, entre a tensão da água no solo e a redução da pressão gasosa indicada pelo sistema (80) contendo a câmara de Richards (14), a bomba de vácuo (15) e o regulador de vácuo (16). No sensor (6), um fluxo contínuo de moléculas de gás a 0,5 ml/min atravessa o núcleo (2) não sinterizado e possibilita a leitura da tensão de água no sistema de aferição

ilustrado na Figura 2B. A Figura 3B mostra uma resposta típica contada a partir do momento da abertura da válvula de fechamento (11), durante uma medição de tensão de água no solo (7) com o sensor (6) não sinterizado, previamente equilibrado. A seta contínua representa a leitura da dissipação de pressão tomada no modo dessorção ou de secagem e a seta tracejada representa a leitura da dissipação de pressão causada pelo fluxo de ar, tomada no modo sorção ou umedecimento.

Conforme pode ser observado na Figura 3B, ocorre um aumento de pressão inicial, seguido pela ocorrência de um pico enquanto as partículas do núcleo (2) sofrem desidratação. Após o pico ocorre uma acomodação por histerese, e uma estabilização em valor de pressão ligeiramente menor que o pico em um processo de tênue umedecimento. As leituras apresentadas na Figura 3A foram tomadas após a estabilização da pressão (**p**), conforme é ilustrado pela seta tracejada na Figura 3B. O crescimento da pressão, ilustrado na figura 3B, ocorre inicialmente sem fluxo de ar através do sensor (6), na fase linear, depois envolve escape de ar, atinge um valor máximo (seta contínua) e finalmente diminui e se estabiliza (seta tracejada).

Um detalhe relevante relativo à equação 1 é que o parâmetro **Pb** para as partículas do núcleo (2) possui valores ligeiramente diferentes, quando medido no modo secagem (seta contínua – Figura 3B), inicio de borbulhamento, e no modo umidificação, quando passa de pressão de borbulhamento maior para pressão menor (seta tracejada – Figura 3B).

As ilustrações contidas na Figura 3 são válidas para a calibração de um lote de sensores (6) preparados com as mesmas partículas de uma dada especificação granulométrica. Consequentemente, curvas deste tipo são características e representativas dos sensores (6) do lote, preparado com as referidas partículas, ainda que estes possuam dimensões e formas diversas, ou que estejam acomodados em diferentes tipos de elementos porosos (1). Por exemplo, sensores de núcleo (6) miniatura ou sensores de núcleo maiores para facilitar o contato e o equilíbrio de tensão de água com o solo (7). Todos têm a mesma resposta, desde que utilizados com fluxo de ar por

unidade de área do núcleo (2) suficientemente pequeno, por exemplo, 0,5 ml/(min.cm2).

O procedimento para a caracterização e a aferição do sensor (6) é mais simples quando este contém uma cavidade de aferição (8), como ilustrado em uma concretização preferencial da invenção mostrada na Figura 4. Com a cavidade de aferição, sempre que **Pb** para o núcleo (2) seja menor que a pressão barométrica, o uso da Câmara de Richards (14) para as aferições é dispensável. Esta simplicidade existe porque o equilíbrio de tensão da água (T) pode ser induzido em minutos enquanto a estabilização é acompanhada pela leitura contínua do sensor. Na concretização preferencial da Figura 4, é mostrado um sistema de aferição da tensão da água no sensor (6), previamente imerso em água, efetuado por regulação de vácuo parcial com uma bomba de vácuo (15) e um regulador de vácuo (16), ligado ao duto de aferição (9) da cavidade de aferição (8), do sensor (6). A cavidade de aferição (8) possibilita a aferição de sensores com elemento poroso de elevada tensão crítica sem o uso da câmara de Richards (14). Os demais componentes não descritos na Figura 4 são iguais aos anteriormente considerados na figura 2A.

Na figura 4, uma bomba de vácuo (15) muito simples como uma seringa pode ser utilizada. Antes de se definir a tensão de água no sensor este pode ser imerso, ou então pode ser umedecido pela introdução de água na cavidade com auxílio desta seringa. Na sequência ajusta-se a tensão de água mediante o ajuste do vácuo parcial na cavidade.

O uso de cavidade de aferição (8) para calibrações rápidas de sensores de umidade e de tensão de água é muito prática para os sensores de núcleo. O beneficio da cavidade de aferição, adicionalmente, pode também ser estendido a outros tipos de sensores, como o Irrigas e o sensor de diedro. A condição necessária é que estes sensores incluam uma cavidade de aferição (8) e que utilizem elementos porosos de elevada tensão crítica, de modo que a tensão da água possa ser ajustada conforme descrito anteriormente. A funcionalidade da cavidade de aferição (8) pode ser

aplicada a qualquer tipo de sensor de tensão de água ou de umidade do solo.

A presente invenção também se refere a um sistema (60) de indicação de tensão crítica de irrigação. O respectivo sistema (60) compreende:

a. um visor de borbulhamento (37),
b. óleo mineral (39),
c. uma fonte de ar comprimido,
d. um sensor (6) de tensão de água no solo,
e. um elemento poroso plano (38)
f. resina (41)
g. um duto (42A) de entrada de ar do sensor(6)
h. um duto (42B) de saída de ar do sensor (6) e,
i. um restritor (12),

O sensor (6) de tensão de água no solo do respectivo sistema (60) compreende um núcleo não sinterizado (2) envolto por um elemento poroso de suporte (1), tal núcleo limitado em suas extremidades por blocos porosos (3) conectados a um duto (4) de entrada de ar e um duto (5) e saída de ar. O núcleo não sinterizado (2) do sensor (6) componente do sistema (60) é constituído, preferencialmente, de material hidrofílico. Ainda, preferencialmente, o material hidrofílico componente do núcleo (2) apresenta co-seno do ângulo de molhamento maior que 0,9. Diversos tipos de materiais podem ser utilizados na constituição do núcleo (2) do sensor (6) componente do sistema (60) da invenção. Entre estes materiais podem-se citar esferas de vidro e coríndon. O elemento poroso de suporte (1) do sensor (6) componente do sistema (60) também é, preferencialmente, constituído de material hidrofílico apresentando este material, também preferencialmente, co-seno do ângulo de molhamento maior que 0,9. Diversos materiais podem ser utilizados na constituição do elemento poroso de suporte (1) do sensor (6) componente do sistema (60). Dentre estes materiais podem ser citados cerâmica, gesso e concreto poroso. Os blocos porosos (3) que limitam as extremidades do sensor (6) componente do

sistema são constituídos, preferencialmente, de materiais selecionados dentre materiais porosos elásticos e, preferencialmente, hidrofóbicos.

Para o correto funcionamento do sensor (6) componente do sistema (60) da invenção, o elemento poroso de suporte (1) deve possuir, preferencialmente, no mínimo, uma pressão de borbulhamento 4 vezes maior do que o valor da tensão crítica do núcleo não sinterizado (2). Valores menores que quatro vezes o valor da tensão crítica do núcleo podem facilitar o escapamento lateral de ar através do elemento poroso suporte (1), o que ocorre caso o solo seque a ponto de atingir tensões varias vezes superior à tensão crítica do núcleo (2) não sinterizado.

No referido sistema (60) o restritor (12) é um restritor de fluxo de ar e o visor de borbulhamento (37) é de vidro, no qual óleo (39) mineral permanece retido dentro do elemento poroso plano (38) fixado em diedro contra a placa de vidro do visor de borbulhamento (37) com uma resina (41). Um orifício no diedro (40) conduz o ar proveniente do sensor (6) de tensão de água através do duto de saída de ar do sensor (42B), quando o solo está seco. A constituição deste indicador de tensão crítica de irrigação assegura que o óleo permaneça sempre sob o visor de borbulhamento (37). O volume de óleo neste borbulhador de diedro é ajustado adicionando-se óleo ao elemento poroso com um conta-gotas. Preferencialmente, sobre o orifício no diedro (40), a distância entre o elemento poroso plano (38) e placa de vidro do visor de borbulhamento varia entre 60 a 90µm. Ainda mais preferencialmente, a distância é de 75 µm.

Em uma concretização preferencial do referido sistema (60) mostrada na Figura 5A, a fonte de ar comprimido é um cilindro de ar comprimido (10) ou um compressor de ar. Nesta concretização preferencial o sistema (60) compreende, ainda, uma válvula de fechamento (11). Para o funcionamento do sistema a saída de pressão deve ser regulada. Preferencialmente, a saída de pressão é regulada entre 1 a 4 kPa. Ainda mais preferencialmente, a saída de pressão é reguladas em 3 kPa. A respectiva pressão de 3 kPa de ar é pequena e não é suficiente para forçar o ar através da água que impregna o núcleo (2) poroso constituído por partículas hidrofílicas, exceto

quando o solo já esteja com a tensão da água próxima ou maior que o parâmetro Pb (equação 1).

O bloqueio do fluxo de ar, percebido como o término do borbulhamento é indicativo de que o solo está úmido e a tensão da água no solo é reduzida. Ao contrário, em solo seco, há borbulhamento, porque a tensão da água no solo é maior do que o valor crítico característico do sensor (6).

Em outra configuração preferencial do sistema (60) mostrada na Figura 5B o sistema (60) indicador de tensão crítica de irrigação é mais simplificado e mais leve, removendo-se o cilindro de ar comprimido, ou o compressor de ar. Neste caso a pressão é gerada pelo aperto manual de um bulbo de borracha (43) e a limitação da pressão máxima é definida com o auxílio do reservatório (44) para produzir-se o ar comprimido preferencialmente saída de pressão regulada entre 1 a 4 kPa. Ainda mais preferencialmente, a saída de pressão é reguladas em 3 kPa. Uma válvula unidirecional (45) de entrada de ar possibilita o acionamento manual repetido. A respectiva pressão de de ar (1 a 3 kPa) é pequena e não é suficiente para forçar o ar através da água que impregna o núcleo (2) poroso constituído por partículas hidrofílicas, exceto quando o solo já esteja com a tensão da água próxima ou maior que o parâmetro Pb (equação 1).

O bloqueio do fluxo de ar, percebido como o término do borbulhamento é indicativo de que o solo está úmido e a tensão da água no solo é reduzida. Ao contrário, em solo seco, há borbulhamento, porque a tensão da água no solo é maior do que o valor crítico característico do sensor (6).

Para manejo de irrigação, o sensor (6) é preferencialmente instalado à metade da profundidade efetiva do sistema radicular, enquanto que o os dutos 42A e 42B podem ser dependurados com a ponta pendendo em uma estaca, para evitar a entrada de água. Para aferir se a irrigação foi adequada e não está sendo restritiva à exploração do solo pelo sistema radicular, outros sensores de núcleo (6) podem ser instalados em profundidade duas vezes maior que o utilizado para indicar quando irrigar, ou seja, na profundidade efetiva do sistema radicular, onde estão contidas cerca de 80% das raízes.

A medida do sistema (60) de indicação de tensão crítica de irrigação é de natureza discreta e define se o solo está abaixo ou acima de um valor de tensão crítica de água. Este dado é útil e prático porque há valores definidos de tensão crítica de água para o manejo de irrigação da maioria dos sistemas planta/substrato/ambiente.

A invenção se refere, ainda, a uma haste de irrigação (17) mostrada na Figura 6 e compreendendo:

a. um sensor (6) de tensão de água no solo
b. um duto (33) de admissão de ar,
c. um duto (34) de saída de ar,
d. uma câmara (70) contendo um flutuador (21), uma tampa (28) dotada de um orifício de escape de ar (32) e um duto de admissão de água (22),
e. um duto de saída de água (30) e,
f. uma placa impermeável (24).

Na referida haste de irrigação (17), o duto (33) de admissão de ar e o duto (34) de saída de ar são conectados às extremidades do sensor (6) de tensão de água no solo. A câmara (70) contém água de irrigação e é reabastecida pelo duto de admissão de água (22). O duto de saída de água (30) se comunica diretamente com a câmara (70) e indiretamente com o duto de saída de ar (34) através de passagem (29).

O sensor (6) de tensão de água no solo parte integrante da haste de irrigação (17) compreende um núcleo não sinterizado (2) envolto por um elemento poroso de suporte (1), tal núcleo limitado em suas extremidades por blocos porosos (3) conectados a um duto (4) de entrada de ar e um duto (5) e saída de ar. O núcleo não sinterizado (2) do sensor (6) componente da haste (17) é constituído, preferencialmente, de material hidrofílico. Ainda, preferencialmente, o material hidrofílico componente do núcleo (2) apresenta co-seno do ângulo de molhamento maior que 0,9. Diversos tipos de materiais podem ser utilizados na constituição do núcleo (2) do sensor (6) componente da haste (17) da invenção. Entre estes materiais podem-se citar esferas de vidro e coríndon. O elemento poroso de suporte (1) do sensor (6) componente da haste (17) também é, preferencialmente, constituído de

material hidrofílico apresentando este material, também preferencialmente, co-seno do ângulo de molhamento maior que 0,9. Diversos materiais podem ser utilizados na constituição do elemento poroso de suporte (1) do sensor (6) componente da haste (17). Dentre estes materiais podem ser citados cerâmica, gesso e concreto poroso. Os blocos porosos (3) que limitam as extremidades do sensor (6) componente da haste (17) são constituídos, preferencialmente, de materiais selecionados dentre materiais porosos elásticos e, preferencialmente, hidrofóbicos.

Para o correto funcionamento do sensor (6) componente da haste (17) da invenção, o elemento poroso de suporte (1) deve possuir, preferencialmente, no mínimo, uma pressão de borbulhamento 4 vezes maior do que o valor da tensão crítica do núcleo não sinterizado (2).

Em uma concretização preferencial, a referida haste de irrigação é parte de um sistema (100) de irrigação para rega propelida compreendendo, tal sistema: A) conexão em série de hastes de irrigação (17), instalados em vasos (18) de plantas, alimentados por bifurcações gêmeas (19) de água e de ar e tubos gêmeos (20) de água e de ar; B) bifurcação gêmea (19) para derivação de ar (35), através de um restritor (12), e derivação de água (36) .

Em uma outra concretização preferencial da invenção, o sistema (100) de irrigação contendo a haste de irrigação (17) mostrada na Figura 6 é uma forma simples de irrigar uma linha de vasos (18) utilizando-se um regulador de pressão de água de, preferencialmente, 50 kPa, de ar comprimido (10), de um compressor de membrana, por exemplo, tendo a pressão de saída regulada, preferencialmente, entre 3 e 4 kPa, tubos gêmeos (20) de água e ar conectados ao longo do comprimento, e bifurcações gêmeas (19) de água e ar. O engate da bifurcação gêmea (19) e o tubo gêmeo (20) facilita a organização e evita erros no momento de conectar as hastes de irrigação (17) em série. Nestes tubos gêmeos (20) o diâmetro interno do tubo de água é, preferencialmente, duas vezes maior do que o do ar, por exemplo, 6 mm para a condução de água e 3 mm para a condução do ar, isto porque a viscosidade da água é cerca de 10 vezes maior. A razão de arraste entre os volumes de água e os volumes de ar depende de dimensionamento, porém

para o modelo descrito os valores preferenciais são da ordem de 0,3 a 0,7 ml de água por ml de ar. Os tubos gêmeos (20) são acoplados de um lado na bifurcação gêmea nas derivações de ar (35) e derivação de água (36) e do outro ao duto superior (23) de passagem de ar e ao tubo extravasor (22) de água. As bifurcações gêmeas (19), por outro lado, são práticas por incluírem uma derivação de ar (35) com restritores (12) de ajuste do fluxo de ar.

Dentro da haste de irrigação o fluxo controlado de ar impele a água através do duto de saída de água (30) e, deste modo, define a vazão da água aplicada, enquanto o solo permaneça seco e o sensor (6) bloqueia a passagem do fluxo de ar. Neste caso o bloqueio ocorre porque a pressão de entrada é reduzida sendo insuficiente para forçar a passagem do ar através das partículas do núcleo (2), enquanto estas contenham suficiente quantidade de água retida por capilaridade em seus interstícios (equação 1). Para que a haste de irrigação (17) funcione corretamente, o nível de água (31) em seu interior é mantido estável por um flutuador (21) com borracha de vedação que pressionada contra o duto de admissão de água (22) obstrui a entrada de água. Na operação, o duto de admissão de água (22) mantém-se fixado na tampa (28), que é dotada de um orifício de escape (32) de ar.

O ar que entra pelo duto superior (23), desce pelo duto de admissão de ar (33) para o duto de entrada de ar (4), atravessa o núcleo (2) do sensor (6), escoa pelo duto de saída de ar (5), passa pelo duto de saída de ar (34) e atravessa a passagem (29) para finalmente adentrar o duto de saída de água (30) tubular, que conduz a água de rega, por flotação.

No duto de saída de água (30) a tensão superficial da água é um componente chave, pois possibilita que as bolhas de ar introduzidas no duto (30) coalesçam, aumentem de volume e empurrem a água para o alto, ao invés de escoarem juntamente com a água do tubo, na forma de bolhas. Este comportamento de crescimento das bolhas de ar no duto de saída de água (30) é consistente e seguro para aplicações de irrigação sempre que esta estrutura tubular tenha, preferencialmente, diâmetro inferior a 6 mm e, mais preferencialmente, de 2 a 4 mm.

A vedação (27) para obturar aberturas na haste de irrigação (17) facilita a preparação de peças em cerâmica dentro de moldes perfurados. A placa impermeável (24) também pode ser fabricada em termoplástico injetado e deve possuir elemento de interface A (25) e elemento de interface B (26) para conduzir o ar.

Em uma concretização preferencial para ambiente doméstico, os restritores (12) ajustam o fluxo de ar a 3 kPa entre 0,5 e 5 ml/min para a rega de vasos (18). Em uma outra concretização preferencial de aplicação para plantas arbóreas este fluxo de ar através do restritor (12) possui uma ordem de magnitude maior. As hastes de irrigação (17) alongadas da presente invenção contêm relevantes aperfeiçoamentos com relação aos documentos do estado da técnica. As melhorias referem-se à maior simplicidade na distribuição das tubulações, bifurcações gêmeas (19), tubos gêmeos (20), e sensor (6) que possibilita fixação e acionamento direto da haste de irrigação (17).

Em outra concretização preferencial da invenção, a haste de irrigação tem cerca de 150 mm de altura e diâmetro da ordem 35 mm sendo facilmente enterrada no substrato do vaso (18) ou no solo. De maneira opcional, um tubo em L pode ser acoplado, saindo ao nível do topo do duto de saída de água (30), caso se queira gotejamento posicionado lateralmente ao sensor de núcleo (6). Opcionalmente o comprimento da haste de irrigação pode ser aumentado ampliando-se a espessura da placa impermeável (24).

No caso do sistema (100) de irrigação para rega propelida, a conexão em série das hastes de irrigação (17) é feita com simplicidade utilizando as bifurcações gêmeas (19) (Figura 6) para conectar, sem possibilidade de erro, tubos gêmeos (20) que conduzem separadamente o ar e a água. Estes tubos extrudados são preferencialmente pretos para impedir o crescimento de algas. Tipicamente, um compressor de ar miniatura com fluxo de 4 litros por minuto, possibilita a aplicação de mais de 1000 litros de água por dia, o que é suficiente para a maioria das aplicações domésticas.

O sensor (6) da presente invenção é simples e pode ser preparado para atender a demandas agronômicas variadas, começando com tensões de

água modestas de 2 a 10 kPa para substratos de vasos (18), passando por valores intermediários entre 15 e 40 kPa para aplicações em horticultura e alcançando valores elevados de até pelo menos 200 kPa para aplicações na fruticultura e na produção de cereais.

Em aplicações ao manejo da água de irrigação de substratos com baixa capacidade de retenção de água, demandados tecnicamente para uso em vasos e para mudas, é indicado que a tensão crítica da água ou pressão de borbulhamento (Pb) do núcleo (2) em água na equação 1 seja definido com valores ente 5 e 12 kPa, enquanto que para manejo a campo esta tensão crítica Pb pode ser, na maioria das aplicações, entre 10 e 50 kPa. Sensores (6) com tensões de água maiores, por exemplo, acima de 200 kPa, poderão ser utilizados e, principalmente, para cultivos tolerantes a déficit hídrico e para condições de cultivo que requerem a aplicação de déficit de irrigação regulado, em estádios de desenvolvimento específicos da cultura.

Aplicações de manejo de irrigação podem ser efetivamente implementadas com o sensor (6), tanto com procedimentos manuais quanto com procedimentos automatizados, conforme é ilustrado no diagrama de blocos da Figura 7, que resume os diferentes procedimentos automáticos ou manuais possíveis com a utilização do sensor (6). Na Figura 7, as possibilidades de utilização do sensor (6) de tensão de água envolvem o uso de (A) ar comprimido, (B) o ajuste de pressão, (C) o restritor, (D) o sensor de tensão de água, (E) o transdutor de pressão, (F) o manejo de irrigação, (G) a leitura de tensão de água no solo, (H) o escape de ar, (I) a irrigação automática, (J) o escape intermitente de ar, e (K) sendo o escape contínuo de ar.

Com automatização a despressurização na entrada do sensor de núcleo (6), pode, por exemplo, ser detectada em um pressostato que aciona a irrigação através de uma válvula solenoide. Um temporizador pode complementar o sistema para manter a irrigação durante tempo suficiente para umedecer todo o sistema radicular. Alternativamente, a irrigação é simplesmente desligada quando há aumento da pressão no sensor (6) devido ao umedecimento do solo após a irrigação. Os técnicos de irrigação, em geral,

consideram melhor o procedimento temporizado, que assegura infiltração da água em toda a profundidade efetiva do sistema radicular. O método manual de manejo de irrigação, de custo mais reduzido, também pode ser executado com sistema (80) para caracterização e medições contínuas de tensão de água no solo construído com sensor (6), conforme mostrado na Figura 2A, ou com custo ainda mais reduzido empregando-se indicadores de tensão crítica de irrigação conforme é mostrado nas Figuras 5A e 5B.

Tanto o controle com acompanhamento manual, quanto com aquisição automatizada de dados, possibilitam o manejo de irrigação correto. Em particular, o manejo automático pode ser efetuado com simplicidade usando o sistema (80) para caracterização e medições contínuas de tensão de água no solo (Figura 2A) e um sistema eletrônico para a coleta automática dos dados (tensão da água no solo, determinada pela equação 1).

O sensor (6) de tensão de água no solo destinado ao manejo e ao controle da água de irrigação, desta invenção, operado pneumaticamente, pode, adicionalmente, ter saídas elétricas bastando para isso a adição de lâmpada (47) e de um sensor de luz (48) para medir a variação da tensão da água no solo de acordo com a variação da reflexão da luz que interage com a água sobre as partículas do núcleo (2) não sinterizado.

Dessa maneira, a presente invenção contempla, adicionalmente, um sensor (110) de tensão de água no solo com leitura por reflexão de luz sobre o núcleo (2) não sinterizado. O referido sensor (110) compreende um elemento poroso (1) de suporte e condução capilar de água entre o solo (7) e o núcleo (2) de partículas não sinterizadas, cobertura (46), lampada (47) e sensor de luz (48). Neste arranjo o elemento poroso (1) de suporte proporciona o contato hidráulico entre o solo (7) e as partículas do núcleo (2) não sinterizado, por capilaridade. Na cobertura (46) com uma lâmpada (47), um sensor de luz (48) possibilita a leitura das variações da intensidade da luz refletida sobre água e sobre as partículas do núcleo (2) em função da tensão da água no solo. No referido sensor (110) da invenção, a curva de resposta à tensão de água no solo é alterada em função das dimensões e do formato das partículas do núcleo (2) não sinterizado. As referidas partículas

do núcleo (2) são agregadas entre si e ao elemento poroso. (1). Ainda, no referido sensor (110), a resposta gerada de tensão de água no solo (7) é função de texturas hidrofílicas micrométricas gravadas sobre o núcleo (2). A resposta gerada de tensão de água no solo (7) também é influenciada pelas texturas superficiais gravadas diretamente sobre a superfície interna do elemento poroso (1).

Como nas outras aplicações desta invenção, descritas anteriormente, medições de tensões de água de valores mais altos requerem o uso de partículas com diâmetro menor (eq. 2 e 3). Para o uso do método da reflexão de luz as partículas do núcleo (2) devem, preferencialmente, ser regulares e esféricas. Esferas de materiais transparentes e também opacos, inclusive de cor negra, podem ser utilizadas nesta aplicação Preferencialmente são utilizadas esferas de vidro, pela facilidade de obtenção. Em uma concretização preferida da invenção, são utilizadas esferas de vidro transparentes com diâmetro entre 40 e 100 micrômetros.

A presente invenção também se refere a um sensor (120) de núcleo não sinterizado para medir tensão de água no solo por transmissão de luz compreendendo um elemento poroso (1) de suporte e contato hidráulico entre o solo (7) e o núcleo (2) não sinterizado disposto como um agregado laminar, cobertura (46) para afixação da lampada (47) de um lado e de sensor de luz (48) de outro. No referido sensor (120), a curva de resposta à tensão de água é função da espessura do núcleo (2) e das dimensões de suas partículas. Preferencialmente, as referidas partículas devem ser esféricas e transparentes.

Para o uso do método da transmissão de luz, as partículas do núcleo (2) devem, preferencialmente, ser regulares e esféricas. Esferas de materiais transparentes e também opacos, inclusive de cor negra, podem ser utilizadas nesta aplicação Preferencialmente são utilizadas esferas de vidro, pela facilidade de obtenção. Em uma concretização preferida da invenção, são utilizadas esferas de vidro transparentes com diâmetro entre 40 e 100 micrômetros...

No sensor (120) de tensão de água mostrado na Figura 8B, usa-se a leitura por transmissão luminosa através de um núcleo (2) não sinterizado preferencialmente de forma laminar. Este núcleo (2) laminar de esferas de vidro ligadas por um adesivo, ou aglomerante, como nas demais aplicações desta invenção provê a condução da água entre o solo (7) e o núcleo (2) por capilaridade. No sistema, a iluminação é aplicada por lâmpada (47), por exemplo de LED (light-emitting diode) e a leitura é feita com sensor de luz (48), por exemplo, mediante a corrente elétrica gerada em um fotodiodo.

Em uma concretização preferencial da invenção, o referido sensor (120) de tensão de água no solo por transmissão de luz compreende placas transparentes para conter as partículas do núcleo (2). Nesse caso, as referidas partículas do núcleo (2) estão, preferencialmente, em arranjo lamelar sem a necessidade da utilização de elemento agregante. Para o preparo dos sensores de tensão de água no solo por reflexão (110) e por transmissão (120) da invenção, a relação entre a pressão de borbulhamento e o diâmetro das esferas de vidro utilizadas facilita o processo de se obter sensores com resposta à tensão da água esperados. Consequentemente, é valioso saber-se que a ascensão capilar, ou a pressão de borbulhamento (pB) de ar em metros, a 20 graus Celsius, para água entre esferas de vidro do núcleo (2) pode ser aproximada com o auxílio da expressão:

pB ~ 16 □ / □ g D ~ 0,000115/D eq. 2

Onde □□□é a tensão superficial da água (0,0278 N/m a 20 Celsius), □ é o peso específico da água (~1000 kgf/m3), **g** é a aceleração da gravidade na superfície da Terra (~9,81 m/s²) e **D** é o diâmetro das esferas de vidro (m). Estes resultados aproximados de pressão de borbulhamento em metros de coluna de água podem, na sequencia, serem convertidos para valores em kPa, multiplicando-os por dez.

Nos sensores tensão de água no solo por reflexão (110) e por transmissão (120) da invenção, o sinal elétrico de reflexão de luz gerado em função da tensão de água no solo (7) é dependente do raio de curvatura (**r**) dos meniscos água/ar sobre as partículas do núcleo (2). Este raio de curvatura

por sua vez é uma função da tensão da água (T) e pode ser aproximado pela retenção da água em tubos capilares do tipo dado na equação 3.

$T = 2 \square / (\square g r)$ eq. 3

Como simplificação adicional, o cosseno do ângulo de molhamento foi aproximado pelo valor 1,0 e por isso não incluído na equação 3. Sob estas aproximações, pode-se inferir que a tensão da água influencia a textura superficial dos meniscos e, por consequência, os padrões de reflexão da luz de acordo com uma relação simples com a tensão da água no solo.

Sensores de tensão de água por reflexão de luz da invenção, com núcleos (2) porosos, sinterizados ou não, de acordo com as equações 2 e 3 podem, adicionalmente, ser preparados por adição de texturas de apoio para os meniscos água/ar, cujo raio é uma função similar à equação 3. Assim designados, estes sensores também podem ter a superfície do núcleo (2) gravadas por compressão contra uma placa rígida, de vidro, por exemplo, contendo padrões de textura micrométrica em alto-relevo. Estes padrões são uma alternativa útil para se para obter sensibilidade de leitura sob tensões de água reduzidas. Outra aplicação deste tipo de construção é para fazer sensores diminutos e, portanto, de resposta rápida, que sejam facilmente agregados a sistemas complexos que demandem vários tipos de sensores, como por exemplo, de condutividade elétrica e de temperatura.

A instalação no solo de sensores de núcleo (2), pneumáticos ou elétricos descritos na presente invenção, para monitorar a tensão da água no solo entre as raízes das plantas requer os seguintes cuidados:

a) Cavar o solo e instalar o sensor entre as raízes, e, usualmente, à metade da profundidade efetiva das raízes, quando se quer determinar o momento da irrigação;

b) Adicionar solo apertando-o com o cuidado de deixá-lo com compactação similar à inicial.

Caso o sensor (6) tenha o núcleo (2) não sinterizado com as partículas soltas, isto é, preparado sem o uso de qualquer agregante, então os seguintes cuidados adicionais são necessários na instalação do sensor no solo:

c) Secar o sensor ao ar até atingir o peso seco de referência e;

d) Na cova, posicionar o sensor em posição horizontal antes de adicionar solo.

As aplicações dos sensores descritos na presente invenção ao controle de irrigação e à medição da tensão de água no solo em geral são iniciadas após a aplicação de uma primeira rega.

Para a formação do núcleo não sinterizado como um agregado de esferas de vidro pode-se utilizar um adesivo ou um ligante. Como ligante de tinta transparente a base de silicato de sódio e as resinas ultravioleta são alternativas simples, especialmente quando as esferas de vidro são designadas para medir tensões de água inferiores a 20 kPa.

Os sensores (120) de núcleo com leitura por transmissão de luz também podem ser preparados com partículas não sinterizadas soltas no núcleo (2) não sinterizado. Neste caso a leitura é possibilitada pela fixação lateral de placas de vidro transparente que retém uma camada laminar de esferas de vidro em contato com o elemento poroso (1). Este método é, no entanto, menos sensível, dado às alterações que as placas de vidro introduzem no sistema.

O agregado laminar pode ser preparado com auxilio de placas transparentes de plástico, separadas lateralmente por espaçadores, para admitir poucas camadas de esferas de vidro. A placa superior é removida e adiciona-se o ligante transparente a base de silicato de sódio. Após a cura o núcleo (2) em forma de placa é fixado ao elemento poroso com auxilio de gesso ou concreto poroso.

O uso de poucas camadas de esferas de vidro, para medições por transmissão de luz, é relevante porque os índices de refração da luz dos componentes do meio poroso que influenciam a reflexão e a transmissão da luz são substancialmente diferentes entre si e possuem magnitudes aproximadas de 1,50 para o vidro, 1,00 para o ar e 1,33 para a água. O vidro possui índice de refração de luz maior e substancialmente diferente do índice de refração da água e por isso causa substancial dispersão e absorção da luz, o que pode prejudicar a sensibilidade à tensão da água por

transmissão luminosa na medida em que se aumenta o número de camadas de esferas de vidro. A água que é retida por capilaridade entre as esferas frustra a reflexão total da luz, que ocorre em maior quantidade conforme o solo seca. Assim ocorre uma diminuição da transmissão da luz através do núcleo (2) lamelar (FIG. 8B) quando a tensão da água aumenta e os espaços entre as esferas de vidro são progressivamente ocupados por ar. Neste sistema em particular, é importante observar que também compõe a resposta de transmissão da luz um componente de aumento da dispersão luminosa em função do aumento da tensão da água, causado por reflexão. Quando as esferas são feitas de material com índice de refração mais elevado que o vidro a reflexão nas camadas superficiais domina a resposta obtida. Diferentemente, para aplicações por transmissão luminosa, o ideal seria que as esferas de vidro tivessem índice de refração mais próximo ao da água, para que o efeito da transmissão no sensor saturado fosse mais próximo da transmissão da água pura.

A figura 9B ilustra a variação da transmissão de luz, expressa como corrente elétrica, de um sensor de luz (48) tipo fotodiodo, como função do aumento da tensão da água no solo (7), para o sensor (120) ilustrado na figura 8B. Observa-se que a redução da transmissão da luz, que passa entre as esferas retendo água por capilaridade é do tipo sigmoide. As curvas sigmoides das figuras 9A e 9B possibilitam o controle elétrico simples da água de irrigação, com auxilio de controladores industriais sensíveis à corrente elétrica que acionam automaticamente válvulas solenoides em valores especificados de tensão de água no solo. Com estas curvas de tensão de água versus corrente elétrica pode-se também estimar a tensão da água no solo em cada instante como função dos valores de corrente elétrica obtidos.

O sensor (6) de núcleo não sinterizado (2) (Fig. 1) é ideal para a fabricação de diferentes tipos de hastes de irrigação automáticas que regam por mecanismos pneumáticos, em função da tensão da água no solo. Esses sistemas pneumáticos de automatização da irrigação podem também operar sem o uso de ar comprimido (10) e regulagem de pressão, conforme

ilustrado na Figura 6. Sistemas de hastes de irrigação automática que utilizam a pressurização mediada por mecanismos como o aquecimento em coletor solar (67) e pressurização induzida por uma coluna de água pendente retida por vácuo parcial no interior de um tubo de tensionamento (78) são mais simples de utilizar, porque apresentam mecanismos de compressão gasosa interna para acionamento da automatização, que substituem o uso externo de ar comprimido (10). Esses sistemas podem ser visualizados nas Figuras 10 (coletor solar) e 14 (coluna de água pendente).

Nessas hastes de irrigação automática, o controle mediado pelo sensor (6) pneumático pode ser feito com válvulas de controle fluxo com ajuste ou detecção de pressão, entre os quais duas configurações particularmente úteis são ilustradas nas Figuras 11A e 11B.

Neste contexto, a invenção se refere, adicionalmente, a uma haste (140) de irrigação de pressurização térmica automatizada com sensor pneumático de tensão de água no solo compreendendo:

duto de afluxo (66);

válvula diferencial (141) de pressão;

sensor (6) de núcleo instalado no solo (7);

duto de entrada de ar (4);

coletor solar (67);

conexão alta (51);

câmara do meio (61);

alívio de pressão na câmara do meio (61),

restritor de fluxo de ar (12);

pino (64) entre o diafragma de aperto (59);

diafragma de fechamento (62);

disco(60);

duto extravasor (56),

duto elevado de irrigação (68);

restritor para vazão de água 143);

conexão (65) da câmara lateral (58); e

pé (79) de fixação da haste de irrigação ao solo.

Preferencialmente, a referida haste (140) de irrigação de pressurização térmica automatizada com sensor pneumático de tensão de água no solo possui duto de afluxo localizado na válvula diferencial de pressão (141). Também preferencialmente, o sensor (6) de núcleo instalado no solo (7) é ligado de um lado pelo duto (4) de entrada de ar ao coletor solar (67) e de outro lado à conexão alta (51) para a câmara do meio (61). Ainda preferencialmente, o alívio de pressão na câmara do meio (61) da referida haste (140) se dá através do restritor de fluxo de ar (12). Em uma concretização preferida da haste (140) da invenção, o pino (64) está localizado entre o diafragma de aperto (59) e o diafragma de fechamento (62). Em outra concretização preferida da haste (140) da invenção, a conexão (65) é aberta para a atmosfera.

Na haste (140) de irrigação de automatização térmica ilustrada na Figura 10,utiliza-se, preferencialmente, uma válvula diferencial (141) de pressão, similar à ilustrada na Figura 11A, que é alimentada através do duto de afluxo (66) e possui a câmara lateral (58) aberta para a atmosfera. Em solo seco, acima de uma tensão crítica de água, o sensor (6) se abre à passagem de ar entre o duto (4) de entrada de ar e o duto (5) de saída de ar. Nessa condição, a exposição do coletor solar (67) a um aumento da intensidade da radiação causa aquecimento e aumento da pressão do ar, que é comunicada através do sensor (6) à câmara do meio (61) onde produz irrigação através duto elevado de irrigação (68). O aquecimento, por pressurizar a câmara do meio (61) e reduzir a força sobre o pino (64), possibilita que a água flua sob o diafragma de fechamento (62) com pressão suficiente para a rega através do duto elevado de irrigação (68).

Na câmara do meio (61) há uma redução lenta de pressão governada por um restritor de fluxo de ar (12), o qual é especificado para que em ensaios de tempo de meia despressurização, sob temperatura constante, um incremento de pressão aplicado de 20 kPa reduza-se para 10 kPa em um intervalo de tempo entre 0,25 e 2 horas. Essa provisão assegura que a rega seja interrompida em alguns minutos depois que a frente de molhamento umedeceu o sensor (6). A câmara lateral (58) é mantida aberta para a

atmosfera através da conexão (65). Em solo úmido, o sensor fecha a passagem de ar e a pressurização térmica é dissipada através do restritor de fluxo de ar (12), fazendo com que o aumento da força aplicada pelo diafragma de aperto (59) interrompa a rega pela ação do diafragma de fechamento (62) sobre o duto extravasor (56).

O sistema na forma especificada não aciona irrigação durante os períodos de temperatura estabilizada, pois a pressão de água através do duto elevado de irrigação (68) atua na câmara lateral (58) produzindo no diafragma de aperto (59) uma força suficiente para que o pino (64) feche a passagem da água, por sua ação sobre o diafragma de fechamento (62) na câmara menor (63), obstruindo o escoamento da água ao ser apertado sobre a entrada do duto extravasor (56).

O sistema da haste (140) de irrigação de automatização térmica ilustrada na Figura 10 é robusto e possui apelo didático e educacional, por causar irrigação, associada à flutuação da intensidade da radiação do sol sobre o coletor solar (67). Trata-se, portanto, de um sistema valioso para a rega das plantas em aplicações de ambiência, integrada a cenários agrícolas e ecológicos.

Em uma concretização preferencial da haste (140) da invenção, utiliza-se uma válvula (141) prática e simples para aplicações de automatização (ilustrada na figura 11A). Na configuração de válvula diferencial (141) de pressão com três câmaras, tubulação adutora é ligada ao duto de afluxo (66) e a água flui da câmara menor (63) através do restritor para vazão de água tubular (55). A câmara do meio (61), por sua vez, é separada da câmara menor (63) pelo diafragma de fechamento (62) e da câmara lateral (58) pelo diafragma de aperto (59). Um disco (60) reforça o diafragma de aperto (59) e é utilizada para fixar o pino (64). Dimensionada de acordo com a aplicação a área do diafragma de aperto é tipicamente especificada com valor de 5 a 200 vezes maior que a área flexível do diafragma de fechamento (62), que é apertada pelo pino (64) para o fechamento da passagem de água através do duto extravasor (56). O escoamento de água na válvula diferencial (141) é limitado por um restritor para vazão de água tubular (55), colocado após o

duto extravasor (56). Parafusos de aperto e uma ou mais conexões (65) de abertura para a atmosfera, afixadas na câmara lateral (58) complementam a válvula.

Com alterações simples, a válvula (141) diferencial de pressão pode exercer diferentes funções, entre as quais a de atuar como um divisor de pressão (142) em relação à pressão que entra na câmara menor (63) (Figura 11B).A divisão de pressão é obtida ligando-se o duto extravasor (56) à conexão (65) da câmara lateral (58) por meio do tubo (57). Com a câmara do meio (61) aberta para atmosfera, a pressão dividida é estabelecida na câmara lateral (58). A partir dessa pressão dividida, pode-se, por exemplo, derivar um de fluxo de água regulado a partir de uma conexão (65) adicional.

A presente invenção contempla, também, um restritor moldado (143) com vazão de água resistente ao aumento da pressão e com limpeza por retrolavagem compreendendo:

duto de afluxo de água (66);

abertura (75)

diafragma de fechamento (62),

canaleta de ajuste de vazão (71);

canaleta de compressão (74); e

ranhuras de apoio (70).

Na figura 12 ilustra-se o detalhe do restritor moldado (143) da invenção para vazão de água de fácil construção, por meio de procedimentos de injeção de plástico, por envolver apenas uma canaleta de ajuste de vazão (71), uma canaleta de compressão (74) e ranhuras de apoio (70). As ranhuras de apoio (70) são mais profundas do que largas e, preferencialmente, devem ter largura inferior a metade da espessura do diafragma de fechamento (62). Assim, caso o diafragma de fechamento (62) seja uma membrana de polibuteno de 0,6 mm de espessura, as ranhuras de apoio (70) devem ter largura de no máximo 0,3 mm. Desse modo, a água escoa em direção à câmara menor (63) ao mesmo tempo em que o diafragma de fechamento (62) interrompe a passagem da água que entra através da abertura (75), e

pressuriza o percurso entre a canaleta de compressão (74) e a câmara menor (63).

Nessa configuração completa, um restritor moldado (143) com resposta pouco dependente da pressão da água, na faixa de 30 a 300 kPa. Adicionalmente, a canaleta de compressão (74) torna o restritor moldado (143) adequado para a limpeza por retrolavagem, já que o fluxo por retrolavagem é várias vezes maior do que na direção de trabalho. Perdendo a insensibilidade à pressão, o restritor moldado (143) para vazão de água (pode ser constituído de maneira simplificada, mediante a subtração de componentes. Numa situação extrema, pode-se deixar sob o diafragma de fechamento (62) apenas a canaleta de ajuste de vazão (71). Nessa simplificação, obtêm-se um restritor para vazão de água moldado (143) muito simples, mas que possui problemas relativos a apresentar vazão proporcional à pressão de água aplicada e de ser sensível ao aperto no diafragma de fechamento (62), estabelecido na fabricação. Outra simplificação possível, caso a canaleta de ajuste de vazão (71) tenha largura superior a duas vezes a espessura da membrana, é omitir a canaleta de compressão (74) uma vez que, para a efetividade do restritor para vazão de água moldado (143), a água movimenta-se com eficiência entre essa canaleta e a camada superior vizinha do diafragma de fechamento (62). Essa omissão, no entanto, prejudica a susceptibilidade do restritor para vazão de água moldado (143) na retrolavagem.

Esse restritor moldado (143) para vazão de água mostrado na Figura 12 possui características autolimpantes e possibilita o uso de sistemas de filtração da água mais simples, com menor perda de carga e menor custo. Na maioria das aplicações práticas, a vazão de água através da restrição é ajustada entre valores de 200 ml a 4.000 ml por hora.

A presente invenção contempla, ainda, uma haste (150) de irrigação de água regulável em duto de angulação compreendendo:

divisor de pressão (142);

duto de angulação (76);

duto de afluxo (66);

câmara menor (63)
restritor moldado (143) para vazão de água; câmara menor (63);
câmara do meio (61);
diafragma de fechamento (62); câmara lateral (58);
câmara do meio (61);
diafragma de aperto (59);
disco (60),
pino (64);
duto extravasor (56);
conexão (65); e
pé (79) de fixação da haste de irrigação ao solo.

Preferencialmente, o duto de afluxo (66) da referida haste (150) é ligado à câmara menor (63) através de um restritor moldado (143) para vazão de água. Também preferencialmente, a câmara menor (63) é separada da câmara do meio (61) pelo diafragma de fechamento (62). Em uma concretização preferencial da haste (150) da invenção, a câmara lateral é separada da câmara do meio (61) pelo diafragma de aperto (59). Em outra concretização preferencial da haste (150) da invenção, o disco (60) aloja o pino (64).

Na haste (150) da presente invenção mostrada na Figura 13, o divisor de pressão (142) é utilizado como uma haste de irrigação não automática, com vazão definida através de um restritor moldado (143) para vazão de água. Caso a relação entre a área do diafragma de aperto (59) e a área do diafragma de fechamento (62) seja igual a 100, por exemplo, uma pressão de adução de 50 kPa é reduzida para cerca de 0,5 kPa. Graças a essa divisão de pressão com a haste (150) de irrigação, pode-se ajustar a vazão de água, de modo não automático, variando a posição do duto de angulação (76), com o qual se regula a altura de uma coluna de água e, portanto, a pressão que determina a vazão de água aplicada na rega. Desse modo, é possível ajustar com o duto de angulação (76) a vazão entre zero, ajustando-o próximo ao topo, e uma vazão máxima, com duto de angulação (76) ajustado na posição de mínimo, ou seja, na base.

Com pequenas modificações, a haste (150) de irrigação da invenção possibilita a fabricação de uma haste de irrigação automática. Desse modo, a presente invenção também se refere a uma haste (160) de irrigação automática com pressurização mediante coluna de água pendente controlada por sensor pneumático de tensão de água no solo compreendendo:

duto de afluxo (66);

câmara menor (63),

restritor para vazão de água moldado (143);

sensor (6) com duto de entrada de ar (4) e duto de saída de ar;

conexão alta (51),

câmara do meio (61),

válvula diferencial de pressão (141);

duto extravasor (56);

câmara lateral (58);

diafragma de aperto (59);

disco (60);

diafragma de fechamento (62);

pino (64);

tubo de tensionamento (78); e

pé (79) de fixação da haste de irrigação ao solo.

Preferencialmente, o duto de afluxo (66) da haste (160) da invenção é ligado à câmara menor (63) através de um restritor para vazão de água tubular (55). Também preferencialmente, o duto de saída de ar (5) do sensor (6) é ligado à conexão alta (51) na válvula diferencial de pressão (141). Em uma concretização preferencial da haste (160) da invenção, o duto extravasor (56) de saída da câmara menor (63) é ligado à câmara do meio (61). Em outra concretização preferencial da haste (160) da invenção, a câmara lateral (58) é separada da câmara do meio(61) pelo diafragma de aperto (59). Ainda preferencialmente, a câmara menor (63) da haste (160) da invenção é separada da câmara do meio (61) pelo diafragma de fechamento

(62). Também preferencialmente, a haste (160) da invenção compreende uma abertura (77) entre a câmara menor (63) e a câmara do meio (61).

Na referida haste (160) da invenção, o sensor (6) de núcleo não sinterizado (2) abre a passagem de ar entre o duto (4) de entrada de ar e o duto (5) de saída de ar (12B), quando o solo seca e supera um valor de tensão crítica de água, que é função das dimensões das partículas empregadas para preencher o núcleo não sinterizado (2) do sensor (6). Para essa aplicação, uma válvula diferencial (141) de pressão pode ser utilizada para automatizar a irrigação seguindo o esquema ilustrado na figura 14. Nessa haste (160) de irrigação automática de coluna de água, o duto de saída de ar (5) do sensor (6) é hermeticamente ligado à câmara do meio (61) pela conexão alta (51). Isto assegura que a água não escoe por gravidade em direção do sensor (6). O duto de entrada de ar (4) do sensor (6), por outro lado, é mantido para fora do solo (7) visando evitar-se que após a interrupção da irrigação, haja sucção e arraste de partículas do solo para o interior do sensor (6).

A alimentação da haste de irrigação automática pressurizada por coluna de água pendente é provida através do duto de afluxo (66) e um restritor para vazão de água moldado (143). A água flui, sob o diafragma de fechamento (62), para o duto extravasor (56) sempre que a força aplicada pelo pino (64) na câmara menor (63) for insuficiente para bloquear a passagem da água. O duto extravasor (56), por sua vez, conduz água para a parte inferior da câmara do meio (61), através da abertura (77), de onde a água desce através do tubo de tensionamento (78), e flui pela abertura do escoamento lateral (69).

Para produzir o vácuo parcial necessário para fechar a irrigação, o tubo de tensionamento (78) vertical deve possuir comprimento para produzir suficiente vácuo parcial de modo que o diafragma de aperto (59), reforçado por um disco(60), feche o fluxo de água sempre que o produto do vácuo parcial na câmara do meio (61) vezes a área do diafragma de aperto (59) tornar-se maior do que o produto entre a pressão de entrada vezes a área flexionável sob o pino (64) no diafragma de fechamento (62). Nessas operações, a conexão (65) da câmara lateral (58) é mantida aberta. A haste

de irrigação automática miniatura da figura 14 pode ser fixada ao solo ou em um vaso de planta por um pé (79), que pode ser a extensão do próprio tubo de tensionamento (78), por onde pode, opcionalmente, haver saída de água por escoamento lateral (69).

O tubo de tensionamento (78) deve possuir diâmetro interno preferencialmente na faixa de 2 mm a 4 mm. Diâmetros maiores podem causar entrada de ar pela ponta do tubo de controle e, por consequência, escoamento de água que não é controlado automaticamente pela passagem de ar entre os dutos (4 e 5) do sensor (6) na condição de solo seco. Com diâmetros menores, a própria tensão superficial da água pode paralisar a irrigação. A vazão de água que atravessa o restritor para vazão de água moldado (143) deve ser sempre menor que um valor limiar, por exemplo 1 litro por hora, que depende do diâmetro e do comprimento do tubo de tensionamento (78), para que não ocorra indução de pressão positiva, que cause a elevação da água até o topo da conexão alta (51), a ponto de causar escoamento para o interior do sensor (6). Adicionalmente, na haste de irrigação de coluna pendente a conexão alta (51) deve ter pelo menos 5 cm de altura, para que a tensão superficial na entrada do tubo de tensionamento (78) não eleve o nível da água, no inicio de rega, a ponto de causar escoamento de água para o interior, do sensor (6) .

Na haste (160) de irrigação automática pressurizada por coluna de água (Figura 14) (vácuo parcial) o fechamento da irrigação ocorre quando o tubo de tensionamento (78), rijo e vertical, na base da câmara do meio (61), fica com coluna de água suficientemente longa devido ao bloqueio do fluxo de ar através do sensor (6). Assim, produz um vácuo parcial (pressurização) na câmara do meio (61) suficiente para fechar o escoamento da água mediante a força que induz no diafragma de aperto (59) através do pino (64) sobre pelo diafragma de fechamento (62) e o tubo extravasor (56).

O sensor (6) de núcleo não sinterizado (2) da invenção é ideal para o acionamento da haste de irrigação automática pressurizada por coluna de água (Figura 14), cuja pressurização é do tipo vácuo parcial. Esta capacidade de funcionar sob vácuo parcial, sem sofrer perda de

desempenho, é uma qualidade que decorre do fato do elemento poroso (1) externo do sensor filtrar toda a água que adentra o núcleo não sinterizado (2). Nesse sentido, a manutenção do duto de entrada de ar (4) fora do solo auxilia a evitar a sucção de partículas do solo para o interior do núcleo não sinterizado (2), onde poderiam causar perda de desempenho do sensor por aumento da tensão de água necessária para disparar a irrigação. A haste (140) de irrigação de pressurização térmica, por outro lado, é peculiar, pois apesar de regar quando a pressão no coletor solar (67) aumenta, também expõem o sensor (6) a períodos de pressão negativa nas horas mais frias. A haste (140) de irrigação de pressurização térmica (Fig. 10) demanda, portanto, todas as características essenciais do sensor (6), incluindo passagem interna de ar entre o duto de entrada de ar (4) e duto de saída de ar (5)

Como diferencial principal, a haste (160) de irrigação automática pressurizada por coluna de água pendente (Fig. 14) é mais simples e miniaturizável dentre todas as hastes de irrigação automáticas apresentadas nesse documento.

A presente invenção contempla, ainda, um sensor (180) pneumático duplo de tensão de água no solo com resposta agregada através de duto de entrada ar e de duto de saída de ar compreendendo:

elemento poroso externo (1);

sensor superior (72);

sensor inferior (73);

núcleo não sinterizado (2);

o duto de entrada de ar (4); bloco poroso (3);

duto de saída de ar (5)

Preferencialmente, no referido sensor (180) da invenção, o núcleo não sinterizado (2) é constituído de esferas de vidro ou de coríndon. Também preferencialmente, o duto de entrada de ar (4) é comum para o sensor superior (72) e sensor inferior (73). Em uma concretização preferencial do sensor (180) da invenção, o duto de saída de ar (5) liga o sensor superior (72) ao sensor inferior (73).

Manter o perfil do solo adequadamente irrigado ao longo da profundidade efetiva das raízes facilita a absorção pela planta de água e dos elementos minerais essenciais retidos no solo. Assim, o uso do sensor (180) em dupla profundidade da invenção é uma das alternativas para monitorar e para controlar a rega de modo a assegurar que o perfil do solo explorado pelas raízes seja mantido sempre com tensão de água ou umidade dentro de faixas tecnicamente especificadas, excetuando-se as camadas superficiais, que secam muito rapidamente.

Sensores de corpo tubular alongados, de baixo custo e de fácil instalação no solo, sensíveis à tensão da água ou umidade do solo, em diferentes profundidades (múltiplos) e que contenham saída simples para sistemas de controle automático de irrigação, ainda são uma demanda não atendida pela indústria de irrigação. Nesse sentido, o uso do núcleo não sinterizado (2) facilita o preparo de sensores duplos, isto é, sensíveis em duas profundidades, e montados em corpo único de elemento poroso (1) tubular, como os ilustrados na figura 12. Esses sensores (180) tubulares duplos são mais facilmente preparados para operação pneumática. São úteis para acionar sistemas de irrigação automática como os ilustrados nas Figuras 10, 13 e 14.

Extremamente simples, esses sensores (180) duplos propiciam automatização utilizando apenas um duto de entrada de ar (4) comum, como é ilustrado na Figura 15A. Numa configuração ligeiramente mais complexa, sensores duplos podem propiciar automatização auxiliada pelo fluxo interno de ar no sensor superior (72) e no sensor inferior (73) entre o duto de entrada de ar (4) comum e o duto de saída de ar (5) comum, conforme é ilustrado na figura 15B.

Na configuração ilustrada na figura 15A, o sensor (180) duplo é apropriado para uso com ar pressurizado sob pressão positiva, como ocorre, por exemplo, nas hastes de irrigação de compressão gasosa das Figuras 6 e 10. Nesses sistemas, a ligação é feita através do duto de entrada de ar (4) do sensor (6). No sensor da figura 15A, a saída do ar, tanto do sensor superior (72) quanto do sensor inferior (73), ocorre através dos blocos porosos (3),

diretamente no solo (7), sem risco de succionar partículas do solo para o interior do núcleo não sinterizado (2).

O sensor (6) duplo de tensão de água no solo da figura 15A possui agregação de resposta simples entre o sensor inferior (73) e o sensor superior (72), que ocorre através de um duto de entrada de ar (4) comum, tomado através de um bloco poroso (3) compartilhado entre os núcleos não sinterizados (2) do sensor superior (72) e do sensor inferior (73). Nas extremidades do sensor duplo, os blocos porosos (3) são abertos para o contato com o solo (7). O sensor superior (72) corresponde ao núcleo não sinterizado (2) superior, enquanto o sensor inferior (73) corresponde ao núcleo não sinterizado inferior.

Para controlar a rega ao longo de toda a profundidade efetiva do sistema radicular, o sensor (180) duplo de núcleo não sinterizado (2) pode ser fabricado com diferentes comprimentos. A definição técnica do comprimento deste sensor pode ser obtida de diferentes maneiras, sendo particularmente interessante considerar, por exemplo, o comprimento equivalente a 2/3 da máxima profundidade radicular efetiva da planta. Em consonância com os detalhes de instalação e controle o sensor superior (72) e o sensor inferior (73) possuem uma altura de sensibilidade efetiva que é função da altura da camada de esferas de vidro, por exemplo, do núcleo não sinterizado (2). Essa espessura do núcleo não sinterizado, governa a permeabilidade do sensor ao ar em uma dada tensão de água no solo. Nos casos em que essa permeabilidade não se torna limitante, então convém que a faixa sensível do sensor em cada profundidade seja determinada por uma espessura de esferas de vidro entre 1/8 a 1/4 da altura do elemento poroso (1) de suporte. Independentemente da escolha industrial da espessura da camada de núcleo não sinterizado (2), construção, preferencialmente deve aproveitar todo o comprimento mediante inicio técnico da sensibilidade, próximo ou nas próprias extremidades do elemento poroso (1) de suporte relativamente aos sensores superior (72) e inferio (73).

Utilizando-se a especificação acima, o manejo ou controle de irrigação de uma planta ou cultura com profundidade radicular efetivo máximo de 45 cm

pode ser feito com o uso de um sensor (180) duplo de 30 cm de comprimento. Para hortaliças, como o tomateiro, por exemplo, o sensor duplo pode ser especificado com sensores inferior (73) e superior (72) com tensão crítica ou pressão de borbulhamento (equação 1) igual a 25 kPa. A instalação do sensor é feita com orifício de 45 cm de profundidade produzido com um trado.

Desse modo, quando a tensão da água no solo entre 15 e 30 cm atinge o valor crítico, que torna o sensor permeável a passagem do ar, a irrigação é acionada, por exemplo, através de uma haste de irrigação. Após a rega, quando a frente de molhamento alcançar entre 15 e 20 cm de profundidade a água umedece o sensor superior (72), que se torna impermeável ao ar, o que pode desligar a irrigação, isto, caso o sensor inferior (73) esteja também em solo úmido. Diferentemente, em solo seco, a irrigação continuaria até a frente de molhamento alcançar o sensor inferior (73) e terminar a irrigação. Uma nova rega terá inicio assim que a tensão da água no solo ao redor do sensor superior (72) ou do sensor inferior (73) se tornar maior que a tensão crítica Pb (eq. 1).

Os sensores (170 e 180) da figura 15A e 15B podem ser construídos com diferentes comprimentos para atender aplicações de plantas com diferentes profundidades de enraizamento. Nesses sensores duplos, os aspectos técnicos mais importantes são a espessura e a secção transversal da camada de núcleo não sinterizado (2). O ajuste desses parâmetros é resolvido, considerando-se a passagem da água através do elemento poroso (1) e as dimensões das partículas que formam o núcleo não sinterizado (2). É importante no sensor (6) duplo que a movimentação da água no solo, em regime saturado, ocorra mais rapidamente do que ao longo do comprimento do sensor. Esse aspecto é facilmente atendido utilizando-se elementos porosos (1) de elevada tensão crítica, que podem ser preparados de carbeto de silício, alumina ou mulita com diâmetro externo da ordem de 2 cm e diâmetro interno da ordem de 1,3 cm com comprimentos variando entre 20 cm e 120 cm.

Sensores com secção transversal diminuta, da ordem de 0,1 cm2, por exemplo, e preenchidos com esferas de vidro com pressão de borbulhamento de 20 kPa, por exemplo, podem acionar hastes de irrigação como as ilustradas na figura 6. Para isto basta que se determine uma secção transversal de núcleo não sinterizado que assegure o fluxo de ar através do sensor da ordem de 200 ml/(h kPa). Esse ajuste técnico de fluxo de ar é realizado em laboratório aplicando-se um gradiente especificado de pressão de ar e medindo-se o fluxo de ar através do sensor com um bolhômetro. Evidentemente, essa medição é mais fácil nos sensores que possuem tubo de entrada de ar (4) e tubo de saída de ar (5), como ilustrado nos sensores das Figuras 1 e 15 B.

Nos casos de sensores de baixa tensão crítica, por exemplo 5 kPa, e com secções maiores que 1 cm de diâmetro os fluxos, são geralmente elevados (>500 ml/(h kPa) mesmo quando a camada (secção transversal) de núcleo não sinterizado é relativamente espessa (4 cm). Nessas aplicações, dependo do sistema empregado, pode haver necessidade da adição de restrições de vazão de ar como é ilustrado na figura 6, ou de restrições para limitar a vazão de água como é ilustrado nas Figuras 10 a 13.

O sensor (180) duplo de tensão de água no solo da figura 15B possui resposta agregada através dos dutos de entrada ar (4) e de saída de ar (5). O esquema desse sensor é similar ao do sensor ilustrado na figura 10, do qual difere por ser fechado nas duas pontas, preferencialmente, pelo próprio elemento poroso (1) e por conter o duto de saída de ar (4) ligando os blocos porosos (3) afixados nas extremidades. O duto de saída de ar (5) é ideal para a conexão em dispositivos de pressão negativa como na haste de irrigação de válvula diferencial pressurizada por coluna de água ilustrada na figura 14.

Os sensores duplos (Fig. 15ª e Fig 15B) podem ser designados para terem tensões críticas de água no solo (Pb, eq. 1) do sensor superior (72) e do sensor inferior (73) iguais ou diferentes. A possibilidade de construção de um sensor duplo, de duas profundidades, com duas tensões críticas distintas é um diferencial útil nas aplicações de manejo de irrigação e de controle

automático de irrigação. Assim, por exemplo, ao se usar 30 kPa no sensor superior (72) e 20 kPa no sensor inferior (73) poder-se-ia estimular o aprofundamento do sistema radicular.

REIVINDICAÇÕES

1. Sensor (6) de tensão de água caracterizado pelo fato de que compreende um núcleo não sinterizado (2) envolto por um elemento poroso de suporte (1), tal núcleo limitado em suas extremidades por blocos porosos (3) conectados a um duto (4) de entrada de ar e um duto (5) de saída de ar.

2. Sensor (6) de tensão de água de acordo com a reivindicação 1 caracterizado pelo fato de que o núcleo não sinterizado (2) é constituído de material hidrofílico.

3. Sensor (6) de tensão de água de acordo com a reivindicação 2 caracterizado pelo fato de que o material hidrofílico apresenta co-seno do ângulo de molhamento maior que 0,9.

4. Sensor (6) de tensão de água de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 3 caracterizado pelo fato de que o núcleo não sinterizado (2) é constituído por material selecionado dentre coríndon e esferas de vidro.

5. Sensor (6) de tensão de água de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 4 caracterizado pelo fato de que o elemento poroso de suporte (1) é constituído de material hidrofílico.

6. Sensor (6) de tensão de água de acordo com a reivindicação 5 caracterizado pelo fato de que material hidrofílico apresenta co-seno do ângulo de molhamento maior que 0,9.

7. Sensor (6) de tensão de água de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 6 caracterizado pelo fato de que o elemento poroso de suporte (1) é constituído por material selecionado dentre cerâmica, gesso e concreto poroso.

8. Sensor (6) de tensão de água de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 7 caracterizado pelo fato de que os blocos porosos (3) são constituídos por material selecionado dentre materiais porosos elásticos.

9. Sensor (6) de tensão de água de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 8 caracterizado pelo fato de que o elemento poroso de suporte (1) possui, no mínimo, uma pressão de borbulhamento 4 vezes maior do que a tensão crítica do núcleo não sinterizado (2).

10. Sensor (6) de tensão de água de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 9 caracterizado pelo fato de que é dotado de um dispositivo de aferição adjacente ao dito sensor (6).

11. Sensor (6) de tensão de água de acordo com a reivindicação 10 caracterizado pelo fato de que o dispositivo de aferição é composto por uma cavidade de aferição (8) envolta por um elemento poroso de suporte (1) e por um duto de aferição (9).

12. Sistema (80) para caracterização e medições contínuas de tensão de água caracterizado pelo fato de que compreende:

a. um sensor (6) de tensão de água,

b. cilindro de ar comprimido (10),

c. uma válvula de fechamento (11),

d. um restritor (12),

e. um transdutor de pressão (13),

13. Sistema (80) de acordo com a reivindicação 12 caracterizado pelo fato de que o sensor (6) de tensão de água compreende um núcleo não sinterizado (2) envolto por um elemento poroso de suporte (1), tal núcleo limitado em suas extremidades por blocos porosos (3) conectados a um duto (4) de entrada de ar e um duto (5) e saída de ar.

14. Sistema (80) de acordo com a reivindicação 13 caracterizado pelo fato de que o núcleo não sinterizado (2) é constituído de material hidrofílico.

15. Sistema (80) de acordo com a reivindicação 14 caracterizado pelo fato de que o material hidrofílico apresenta co-seno do ângulo de molhamento maior que 0,9.

16. Sistema (80) de acordo com qualquer uma das reivindicações 12 a 15 caracterizado pelo fato de que o núcleo não sinterizado (2) é constituído por material selecionado dentre coríndon e esferas de vidro.

17. Sistema (80) de acordo com qualquer uma das reivindicações 12 a 16 caracterizado pelo fato de que o elemento poroso de suporte (1) é constituído de material hidrofílico.

18. Sistema (80) de acordo com a reivindicação 17 caracterizado pelo fato de que material hidrofílico apresenta co-seno do ângulo de molhamento maior que 0,9.

19. Sistema (80) de acordo com qualquer uma das reivindicações 12 a 18 caracterizado pelo fato de que o elemento poroso de suporte (1) é constituído por material selecionado dentre cerâmica, gesso e concreto poroso.

20. Sistema (80) de acordo com qualquer uma das reivindicações 12 a 19 caracterizado pelo fato de que os blocos porosos (3) são constituídos por material selecionado dentre materiais porosos elásticos.

21. Sistema (80) de acordo com qualquer uma das reivindicações 12 a 20 caracterizado pelo fato de que o elemento poroso de suporte (1) possui, no mínimo, uma pressão de borbulhamento 4 vezes maior do que a tensão crítica do núcleo não sinterizado (2).

22. Sistema (80) de acordo com qualquer uma das reivindicações 12 a 21 caracterizado pelo fato de que o duto (4) de entrada de ar se conecta ao cilindro de ar comprimido (10) através de um duto de ar (50).

23. Sistema (80) de acordo com qualquer uma das reivindicações 12 a 22 caracterizado pelo fato de que a válvula de fechamento (11), o restritor (12) e o transdutor de pressão (13) estão conectados ao duto de ar (50).

24. Sistema (80) de acordo com qualquer uma das reivindicações 12 a 23 caracterizado pelo fato de que compreende uma bomba de vácuo (15), um regulador de vácuo (16) e uma câmara de Richards (14).

25. Sistema (80) de acordo com a reivindicação 24 caracterizado pelo fato de que o regulador de vácuo de conecta à bomba de vácuo (15) e à câmara de Richards através, respectivamente, de um duto intermediário (52) e um duto de vácuo (51).

26. Sistema (60) de indicação de tensão crítica de água caracterizado pelo fato de que compreende:

a. um visor de borbulhamento (37),

b. óleo mineral (39),

c. uma fonte de ar comprimido,

d. um sensor (6) de tensão de água no solo,

e. um elemento poroso plano (38),

f. resina (41),

g. um duto (42A) de entrada de ar do sensor(6),

h. um duto (42B) de saída de ar do sensor (6) e,

i. um restritor (12),

27. Sistema de acordo com a reivindicação 26 caracterizado pelo fato de que a fonte de ar comprimido é um cilindro de ar comprimido (10) ou um compressor de ar.

28. Sistema de acordo com a reivindicação 27 caracterizado pelo fato de que compreende uma válvula de fechamento (11).

29. Sistema de acordo com a reivindicação 26 caracterizado pelo fato de que a fonte de ar comprimido é um bulbo de borracha (43).

30. Sistema de acordo com a reivindicação 29 caracterizado pelo fato de que o ar comprimido é gerado por meio de compressão manual do bulbo de borracha (43).

31. Sistema de acordo com a reivindicação 29 caracterizado pelo fato de que o sistema compreende um reservatório (44) e uma válvula unidirecional (45) de ar.

32. Sistema de acordo com qualquer uma das reivindicações 26 a 31 caracterizado pelo fato de que o elemento poroso plano (38) é fixado em diedro (40) contra a placa de vidro do visor de borbulhamento (37) por resina (41).

33. Sistema de acordo com qualquer uma das reivindicações 26 a 32 caracterizado pelo fato de que o óleo mineral (39) permanece retido dentro do elemento poroso plano (38).

34. Sistema de acordo com qualquer uma das reivindicações 26 a 33 caracterizado pelo fato de que o diedro (40) possui um orifício através do qual é conduzido o ar proveniente do sensor (6).

35. Sistema de acordo com a reivindicação 34 caracterizado pelo fato de que o ar proveniente do sensor (6) é conduzido pelo duto 42B.

36. Sistema de acordo com qualquer uma das reivindicações 26 a 35 caracterizado pelo fato de que o sensor (6) de tensão de água compreende um núcleo não sinterizado (2) envolto por um elemento poroso de suporte (1), tal núcleo limitado em suas extremidades por blocos porosos (3) conectados a um duto (4) de entrada de ar e um duto (5) e saída de ar.

37. Sistema de acordo com a reivindicação 36 caracterizado pelo fato de que o núcleo não sinterizado (2) é constituído de material hidrofílico.

38. Sistema de acordo com a reivindicação 37 caracterizado pelo fato de que o material hidrofílico apresenta co-seno do ângulo de molhamento maior que 0,9.

39. Sistema de acordo com qualquer uma das reivindicações 36 a 38 caracterizado pelo fato de que o núcleo não sinterizado (2) é constituído por material selecionado dentre coríndon e esferas de vidro.

40. Sistema de acordo com qualquer uma das reivindicações 36 a 39 caracterizado pelo fato de que o elemento poroso de suporte (1) é constituído de material hidrofílico.

41. Sistema de acordo com a reivindicação 40 caracterizado pelo fato de que material hidrofílico apresenta co-seno do ângulo de molhamento maior que 0,9.

42. Sistema de acordo com qualquer uma das reivindicações 36 a 41 caracterizado pelo fato de que o elemento poroso de suporte (1) é constituído por material selecionado dentre cerâmica, gesso e concreto poroso.

43. Sistema de acordo com qualquer uma das reivindicações 36 a 42 caracterizado pelo fato de que os blocos porosos (3) são constituídos por material selecionado dentre materiais porosos elásticos.

44. Sistema de acordo com qualquer uma das reivindicações 36 a 43 caracterizado pelo fato de que o elemento poroso de suporte (1) possui, no mínimo, uma pressão de borbulhamento 4 vezes maior do que a tensão crítica do núcleo não sinterizado (2).

45. Haste de irrigação (17) caracterizado pelo fato de que compreende:

a. um sensor (6) de tensão de água

b. um duto (33) de admissão de ar,

c. um duto (34) de saída de ar,

d. uma câmara (70) contendo um flutuador (21), uma tampa (28) dotada de um orifício de escape de ar (32) e um duto de admissão de água (22),

e. um duto de saída de água (30) e,

f. uma placa impermeável (24).

46. Haste de irrigação (17) de acordo com a reivindicação 45 caracterizado pelo fato de que o duto (33) de admissão de ar e o duto (34) de saída de ar são conectados às extremidades do sensor (6) de tensão de água no solo.

47. Haste de irrigação (17) de acordo com qualquer uma das reivindicações 45 e 46 caracterizado pelo fato de que câmara (70) contém água de irrigação e é reabastecida pelo duto de admissão de água (22).

48. Haste de irrigação (17) de acordo com qualquer uma das reivindicações 45 a 47 caracterizado pelo fato de que o duto de saída de água (30) se comunica diretamente com a câmara (70) e indiretamente com o duto de saída de ar (34) através de passagem (29).

49. Haste de irrigação (17) de acordo com qualquer uma das reivindicações 45 a 48 caracterizado pelo fato de que o sensor (6) de tensão de água compreende um núcleo não sinterizado (2) envolto por um elemento poroso (1), tal núcleo limitado em suas extremidades por blocos porosos (3) conectados a um duto (4) de entrada de ar e um duto (5) de saída de ar.

50. Haste de irrigação (17) de acordo com a reivindicação 49 caracterizado pelo fato de que duto (33) de admissão de ar se comunica com duto (4) de entrada de ar através de um elemento de interface A (25).

51. Haste de irrigação (17) de acordo com a reivindicação 49 caracterizado pelo fato de que duto (34) de saída de ar se comunica com duto (5) de saída de ar através de um elemento de interface B (26).

52. Haste de irrigação (17) de acordo com qualquer uma das reivindicações 49 a 51 caracterizado pelo fato de a placa impermeável (24) juntamente com os elementos de interface A (25) e B (26) separam o sensor (6) de tensão de água no solo dos demais elementos do dispositivo (17).

53. Haste de irrigação (17) de acordo com qualquer uma das reivindicações 49 a 52 caracterizado pelo fato de que o núcleo não sinterizado (2) é constituído de material hidrofílico.

54. Haste de irrigação (17) de acordo com a reivindicação 53 caracterizado pelo fato de que o material hidrofílico apresenta co-seno do ângulo de molhamento maior que 0,9.

55. Haste de irrigação (17) de acordo com qualquer uma das reivindicações 49 a 54 caracterizado pelo fato de que o núcleo não sinterizado (2) é constituído por material selecionado dentre corindon e esferas de vidro.

56. Haste de irrigação (17) de acordo com qualquer uma das reivindicações 49 a 55 caracterizado pelo fato de que o elemento poroso de suporte (1) é constituído de material hidrofílico.

57. Haste de irrigação (17) de acordo com a reivindicação 56 caracterizado pelo fato de que material hidrofílico apresenta co-seno do ângulo de molhamento superior a 0,9.

58. Haste de irrigação (17) de acordo com qualquer uma das reivindicações 49 a 57 caracterizado pelo fato de que o elemento poroso de suporte (1) é constituído por material selecionado dentre cerâmica, gesso e concreto poroso.

59. Haste de irrigação (17) de acordo com qualquer uma das reivindicações 49 a 58 caracterizado pelo fato de que os blocos porosos (3) são constituídos por material selecionado dentre materiais porosos elásticos.

60. Haste de irrigação (17) de acordo com qualquer uma das reivindicações 49 a 59 caracterizado pelo fato de que o elemento poroso de suporte (1) possui, no mínimo, uma pressão de borbulhamento 4 vezes maior do que a tensão crítica do núcleo não sinterizado (2).

61. Sensor (110) tensão de água no solo de núcleo não sinterizado com leitura por reflexão de luz caracterizado pelo fato de que compreende:

a. um elemento poroso (1);

b. núcleo (2) de partículas não sinterizadas;

c. cobertura (46);

d. lampada (47); e

e. sensor de luz (48).

62. Sensor (110) tensão de água no solo de núcleo não sinterizado com leitura por reflexão de luz de acordo com a reivindicação 61, caracterizado pelo fato de que as partículas do núcleo (2) poroso são agregadas entre si e ao elemento poroso (1).

63. Sensor (110) de tensão de água no solo de núcleo não sinterizado com leitura por reflexão de luz de acordo com qualquer uma das reivindicações 61 e 62 caracterizado pelo fato de que as partículas do núcleo (2) poroso são regulares e esféricas.

64. Sensor (110) de tensão de água no solo de núcleo não sinterizado com leitura por reflexão de luz de acordo com a reivindicação 63 caracterizado pelo fato de que as partículas do núcleo (2) poroso são constituídas de esferas de vidro transparentes.

65. Sensor (110) de tensão de água no solo de núcleo não sinterizado com leitura por reflexão de luz de acordo com a reivindicação 64, caracterizado pelo fato de que as esferas de vidro possuem diâmetro entre 40 e 100 micrômetros.

66. Sensor (120) de tensão de água no solo de núcleo não sinterizado para medir tensão de água no solo por transmissão de luz caracterizado pelo fato de que compreende:

a. um elemento poroso (1);

b. núcleo (2) não sinterizado disposto como um agregado laminar;

c. cobertura (46);

d. lâmpada (47); e

e. sensor de luz (48).

67. Sensor (120) de tensão de água no solo de núcleo não sinterizado com leitura por transmissão de luz de acordo com a reivindicação 66 caracterizado pelo fato de que as partículas do núcleo (2) poroso são regulares e esféricas.

68. Sensor (120) de tensão de água no solo de núcleo não sinterizado com leitura por reflexão de luz de acordo com a reivindicação 67

caracterizado pelo fato de que as partículas do núcleo (2) poroso são constituídas de esferas de vidro transparentes.

69. Sensor (120) de tensão de água no solo de núcleo não sinterizado com leitura por reflexão de luz de acordo com a reivindicação 68, caracterizado pelo fato de que as esferas de vidro possuem diâmetro entre 40 e 100 micrômetros

70. Sensor (120) de núcleo não sinterizado para medir tensão de água no solo por transmissão de luz de acordo com qualquer uma das reivindicações 66 a 69 caracterizado pelo fato de que as partículas do núcleo estão em arranjo lamelar contidas entre placas transparentes.

71. Sensor (120) de núcleo não sinterizado para medir tensão de água no solo por transmissão de luz de acordo com a reivindicação 70 caracterizado pelo fato de que as partículas do núcleo contidas entre placas transparentes não possuem elemento agregante.

72. Haste (140) de irrigação de pressurização térmica automatizada com sensor pneumático de tensão de água no solo caracterizado pelo fato de que compreende:

a. Duto de afluxo (66);
b. válvula diferencial (141) de pressão;
c. sensor (6) de núcleo instalado no solo (7);
d. duto de entrada de ar (4);
e. coletor solar (67);
f. conexão alta (51);
g. câmara do meio (61);
h. alívio de pressão na câmara do meio (61),
i. restritor de fluxo de ar (12);
j. restritor de vazão de água tubular (55)
k. pino (64) entre o diafragma de aperto (59);
l. diafragma de fechamento (62);
m. disco(60);
n. duto extravasor (56),
o. duto elevado de irrigação (68);

p. restritor para vazão de água 143);

q. conexão (65) da câmara lateral (58); e

r. pé (79) de fixação da haste de irrigação ao solo.

73. Haste (140) de irrigação de acordo com a reivindicação 72 caracterizado pelo fato de que o duto de afluxo está localizado na válvula diferencial de pressão (141).

74. Haste (140) de irrigação de acordo com qualquer uma das reivindicações 72 e 73 caracterizado pelo fato de que o sensor (6) de núcleo instalado no solo (7) é ligado de um lado pelo duto (4) de entrada de ar ao coletor solar (67) e de outro à conexão alta (51) para a câmara do meio (61).

75. Haste (140) de irrigação de acordo com qualquer uma das reivindicações 72 a 74 caracterizado pelo fato de que o alívio de pressão na câmara do meio (61) se dá através do restritor de fluxo de ar (12).

76. Haste (140) de irrigação de acordo com qualquer uma das reivindicações 72 e 74 caracterizado pelo fato de que o pino (64) está localizado entre o diafragma de aperto (59) e o diafragma de fechamento (62).

77. Haste (140) de irrigação de acordo com qualquer uma das reivindicações 72 a 76 caracterizado pelo fato de que a conexão (65) é aberta para a atmosfera.

78. Restritor moldado (143) com vazão de água resistente ao aumento da pressão e com limpeza por retrolavagem caracterizado pelo fato de que compreende:

a. duto de afluxo de água (66);

b. abertura (75)

c. diafragma de fechamento (62),

d. canaleta de ajuste de vazão (71);

e. canaleta de compressão (74); e

f. ranhuras de apoio (70).

79. Haste (150) de irrigação de água regulável em duto de angulação caracterizado pelo fato de que compreende:

a. divisor de pressão (142);

b. duto de angulação (76);
c. duto de afluxo (66);
d. câmara menor (63);
e. restritor moldado (143) para vazão de água;
f. câmara menor (63);
g. câmara do meio (61);
h. diafragma de fechamento (62);
i. câmara lateral (58);
j. câmara do meio (61);
k. diafragma de aperto (59);
l. disco (60);
m. pino (64);
n. duto extravasor (56);
o. conexão (65); e
p. pé (79) de fixação da haste de irrigação ao solo.

80. Haste (150) de irrigação de acordo com a reivindicação 79 caracterizado pelo fato de que o duto de afluxo (66) é ligado à câmara menor (63) através de um restritor moldado (143) para vazão de água.

81. Haste (150) de irrigação de acordo com qualquer uma das reivindicações 79 e 80 caracterizado pelo fato de que a câmara menor (63) é separada da câmara do meio (61) pelo diafragma de fechamento (62).

82. Haste (150) de irrigação de acordo com qualquer uma das reivindicações 79 a 81 caracterizado pelo fato de que a câmara lateral é separada da câmara do meio (61) pelo diafragma de aperto (59).

83. Haste (150) de irrigação de acordo com qualquer uma das reivindicações 79 a 82 caracterizado pelo fato de que o disco (60) aloja o pino (64).

84. Haste (160) de irrigação automática com pressurização mediante coluna de água pendente controlada por sensor pneumático de tensão de água no solo caracterizada pelo fato de que compreende:

a. duto de afluxo (66);
b. câmara menor (63);

c. restritor para vazão de água moldado (143);

d. sensor (6) com duto de entrada de ar (4) e duto de saída de ar; conexão alta (51);

e. câmara do meio (61);

f. válvula diferencial de pressão (141);

g. duto extravasor (56);

h. câmara lateral (58);

i. diafragma de aperto (59);

j. disco (60);

k. diafragma de fechamento (62);

l. pino (64);

m. tubo de tensionamento (78); e

n. pé (79) de fixação da haste de irrigação ao solo.

85. Haste (160) de acordo com a reivindicação 84 caracterizada pelo fato de que o duto de afluxo (66) é ligado à câmara menor (63) através de um restritor para vazão de água moldado (143).

86. Haste (160) de acordo com qualquer uma das reivindicações 84 e 85 caracterizada pelo fato de que o duto de saída de ar (5) do sensor (6) é ligado à conexão alta (51) na válvula diferencial de pressão (141).

87. Haste (160) de acordo com qualquer uma das reivindicações 84 a 86 caracterizada pelo fato de que o duto extravasor (56) de saída da câmara menor (63) é ligado à câmara do meio (61).

88. Haste (160) de acordo com qualquer uma das reivindicações 84 a 87 caracterizada pelo fato de que a câmara lateral (58) é separada da câmara do meio(61) pelo diafragma de aperto (59).

89. Haste (160) de acordo com qualquer uma das reivindicações 84 a 88 caracterizada pelo fato de que a câmara menor é separada da câmara do meio (61) pelo diafragma de fechamento (62).

90. Haste (160) de acordo com qualquer uma das reivindicações 84 a 89 caracterizada pelo fato de que o compreende uma abertura (77) entre a câmara menor (63) e a câmara do meio (61).

91. Sensor (180) pneumático duplo de tensão de água no solo com resposta agregada através de duto de entrada ar e de duto de saída de ar caracterizado pelo fato de que compreende:

a. elemento poroso externo (1);

b. sensor superior (72);

c. sensor inferior (73);

d. núcleo não sinterizado (2);

e. duto de entrada de ar (4);

f. bloco poroso (3);

g. duto de saída de ar (5).

92. Sensor (180) de acordo com a reivindicação 91 caracterizado pelo fato de que o núcleo não sinterizado (2) é constituído de esferas de vidro ou de coríndon.

93. Sensor (180) de acordo com qualquer uma das reivindicações 90 a 92 caracterizado pelo fato de que o duto de entrada de ar (4) é comum para o sensor superior (72) e sensor inferior (73).

94. Sensor (180) de acordo com qualquer uma das reivindicações 90 a 93 caracterizado pelo fato de que o duro de saída de ar (5) liga o sensor superior (72) ao sensor inferior (73).

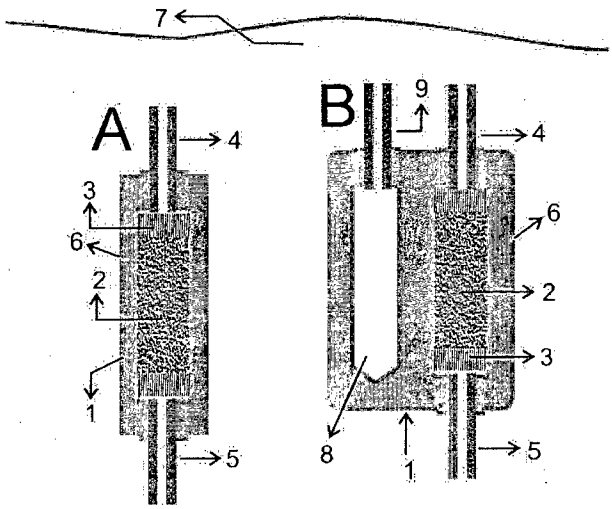


FIG. 1

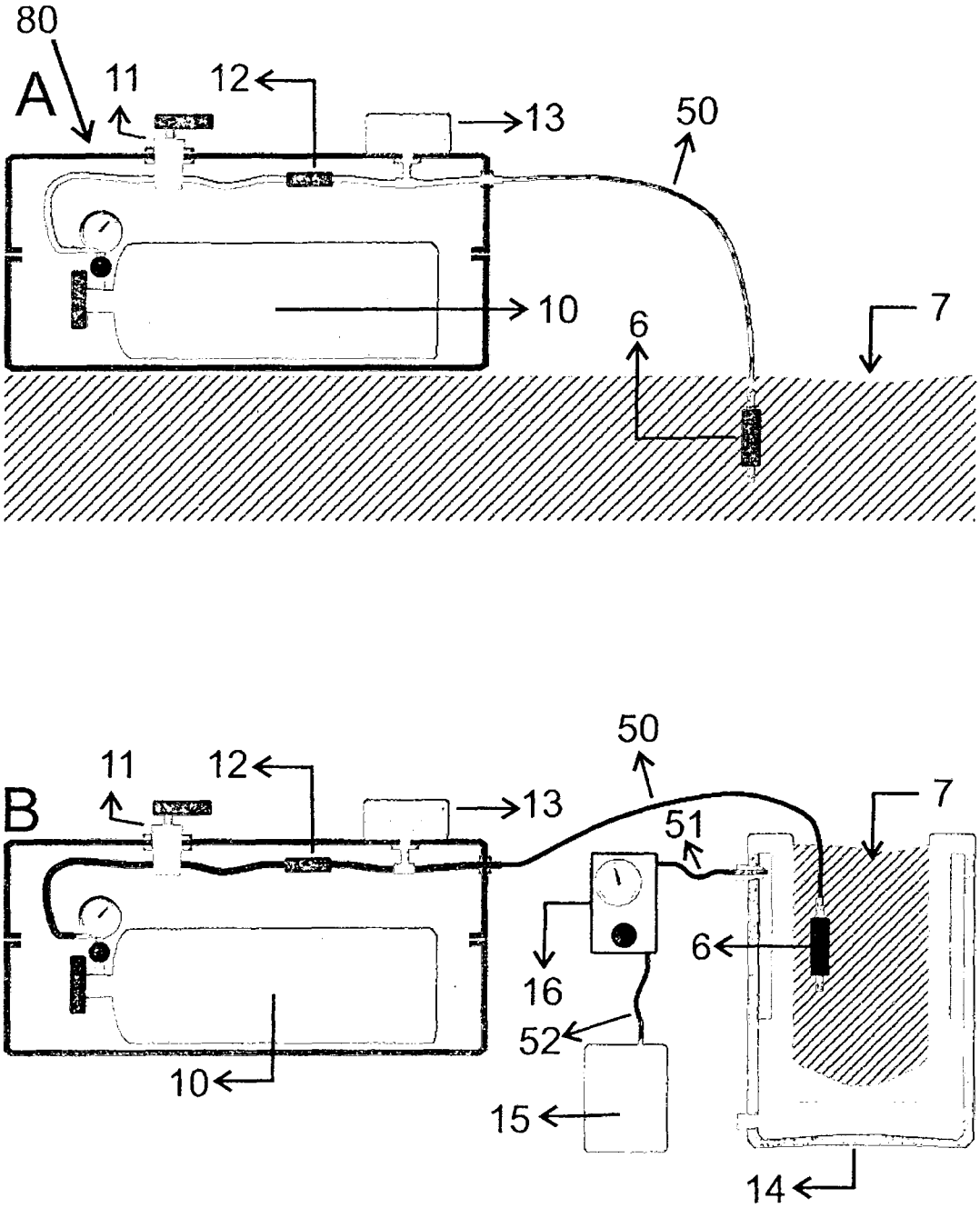


FIG.2

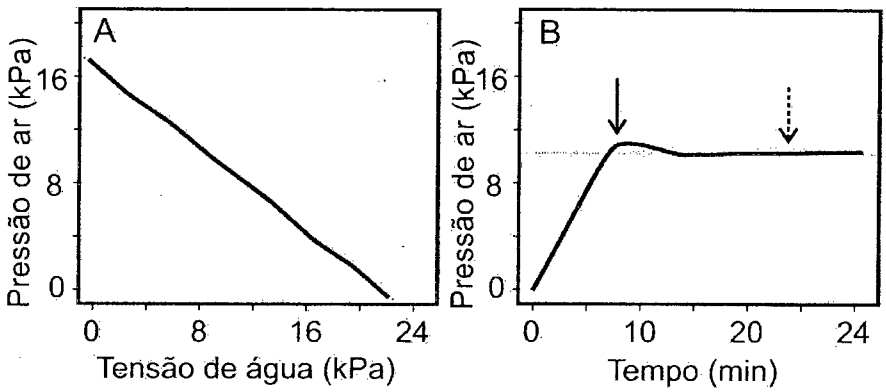

A
Pressão de ar (kPa)
16
8
0
0
8
16
24
Tensão de água (kPa)
B
Pressão de ar (kPa)
16
8
0
0
10
20
24
Tempo (min)

FIG. 3

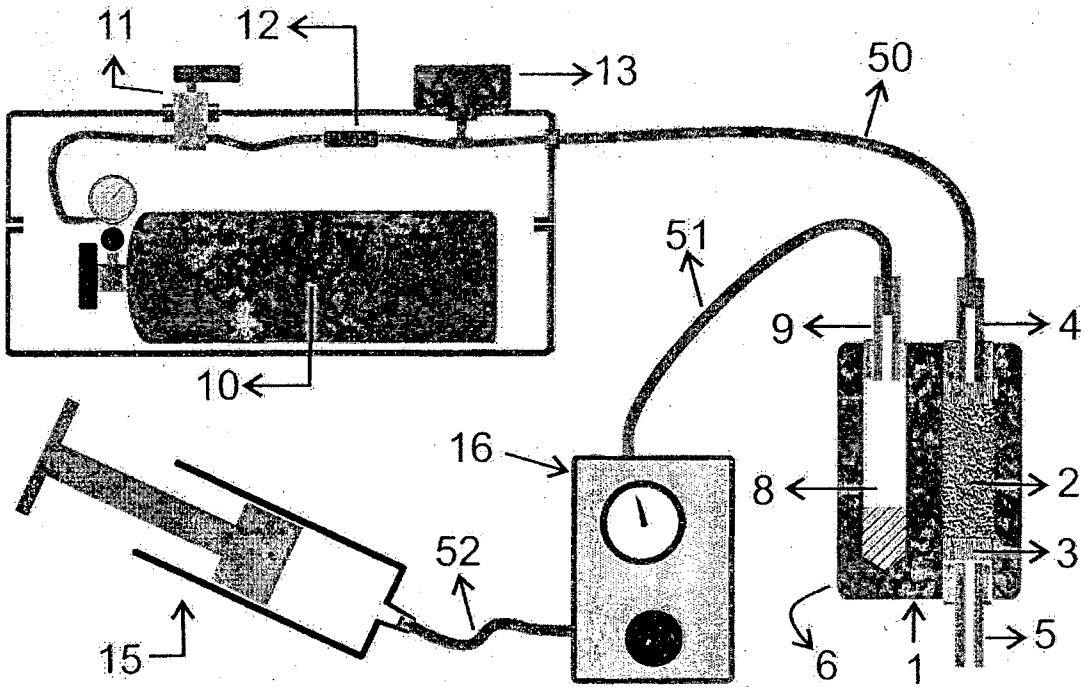


FIG.4

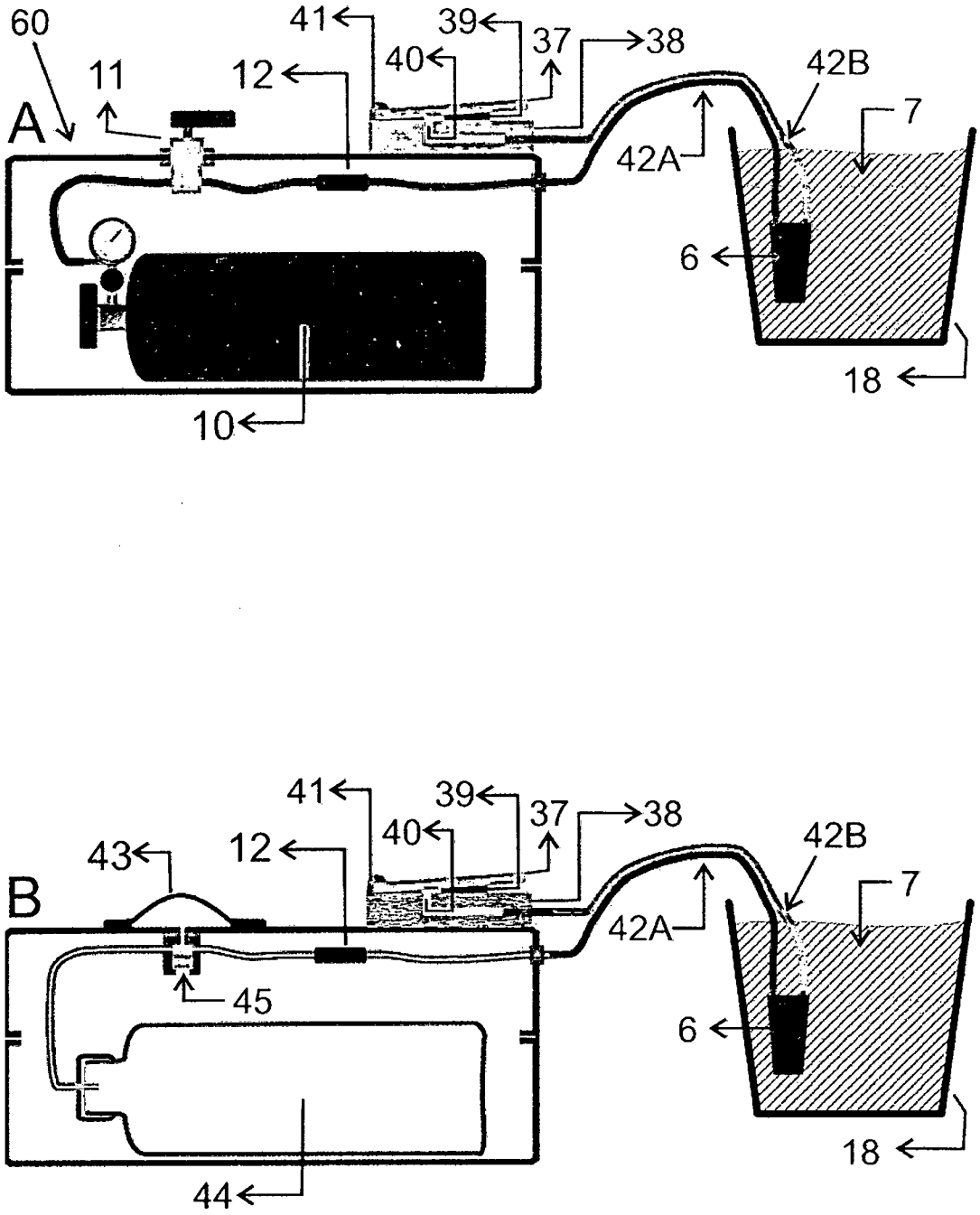


FIG. 5

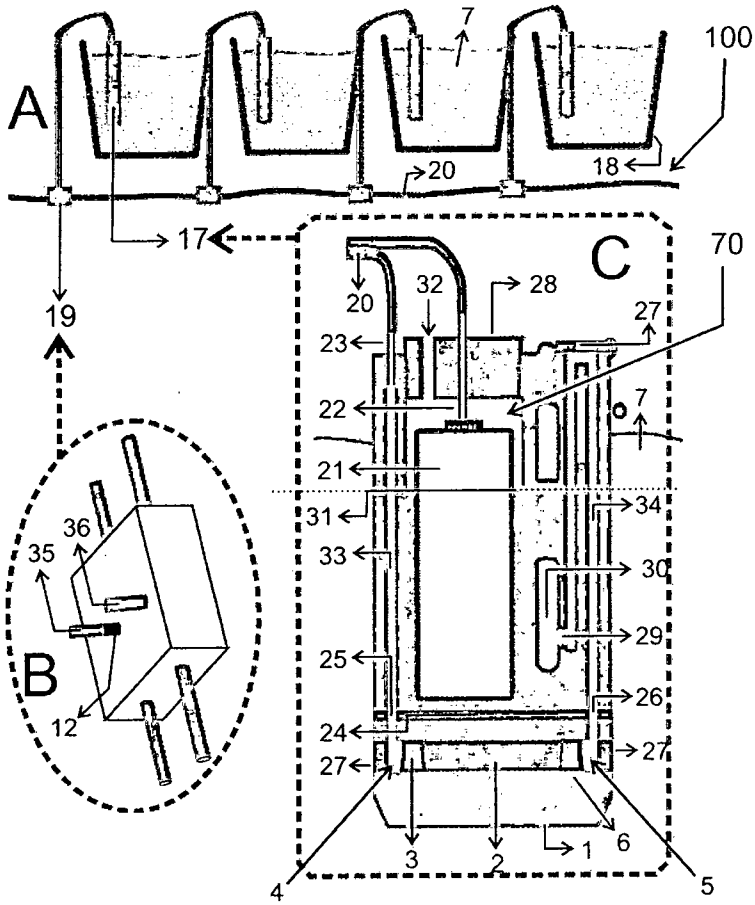

A
7
100
18
20
17
19
C
70
20
32
28
27
23
22
7
21
31
34
33
30
29
25
26
24
27
27
3
2
1
6
4
5
B
36
35
12

FIG. 6

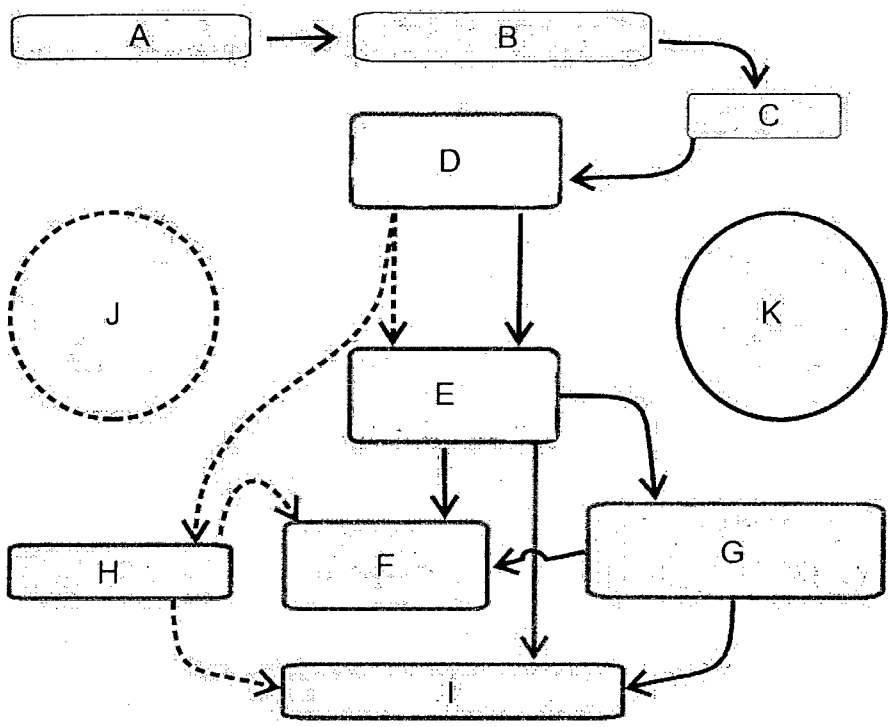


FIG. 7

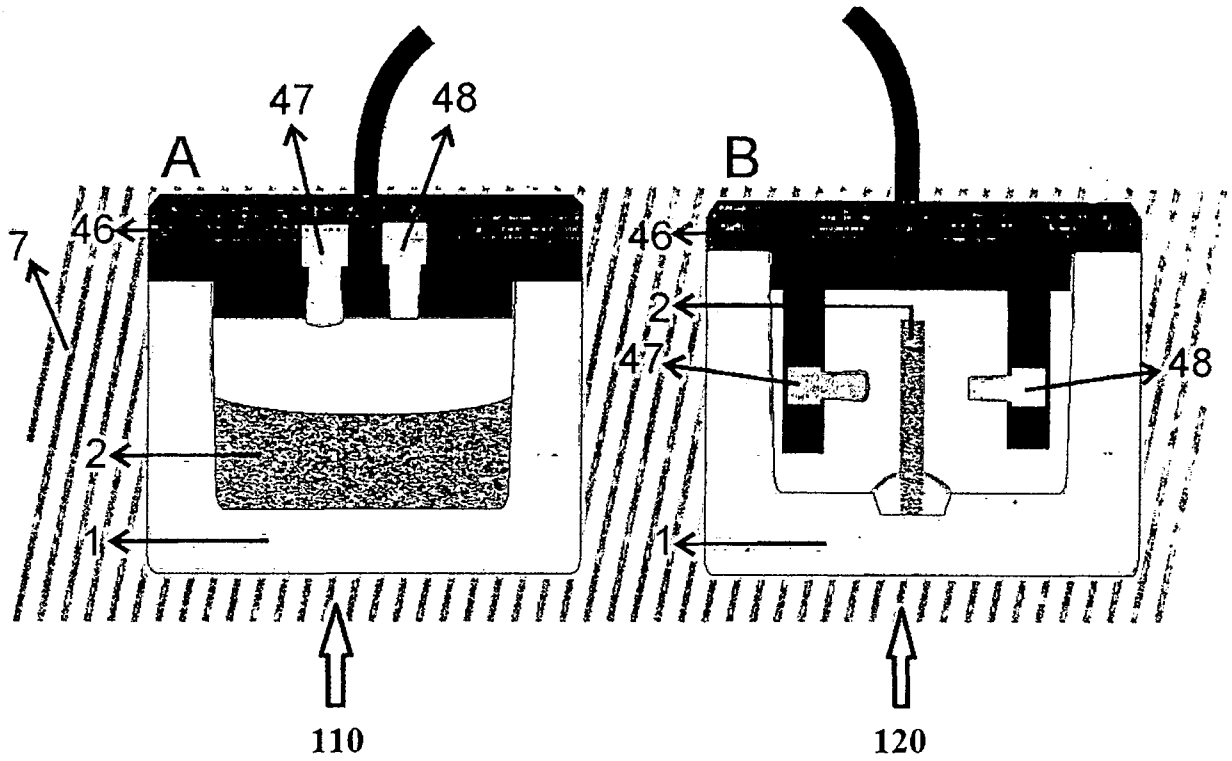


FIG. 8

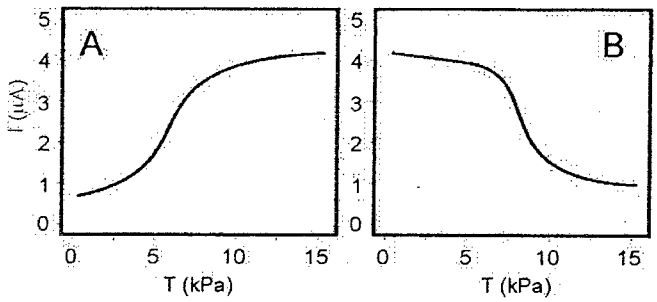


FIG. 9

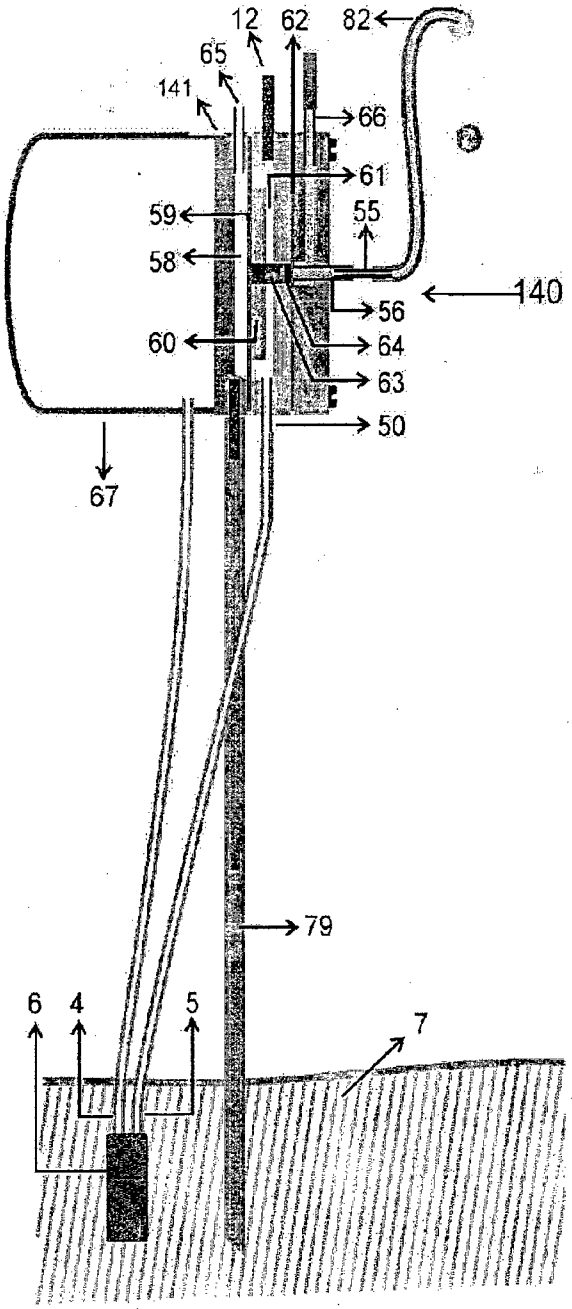


FIGURA 10

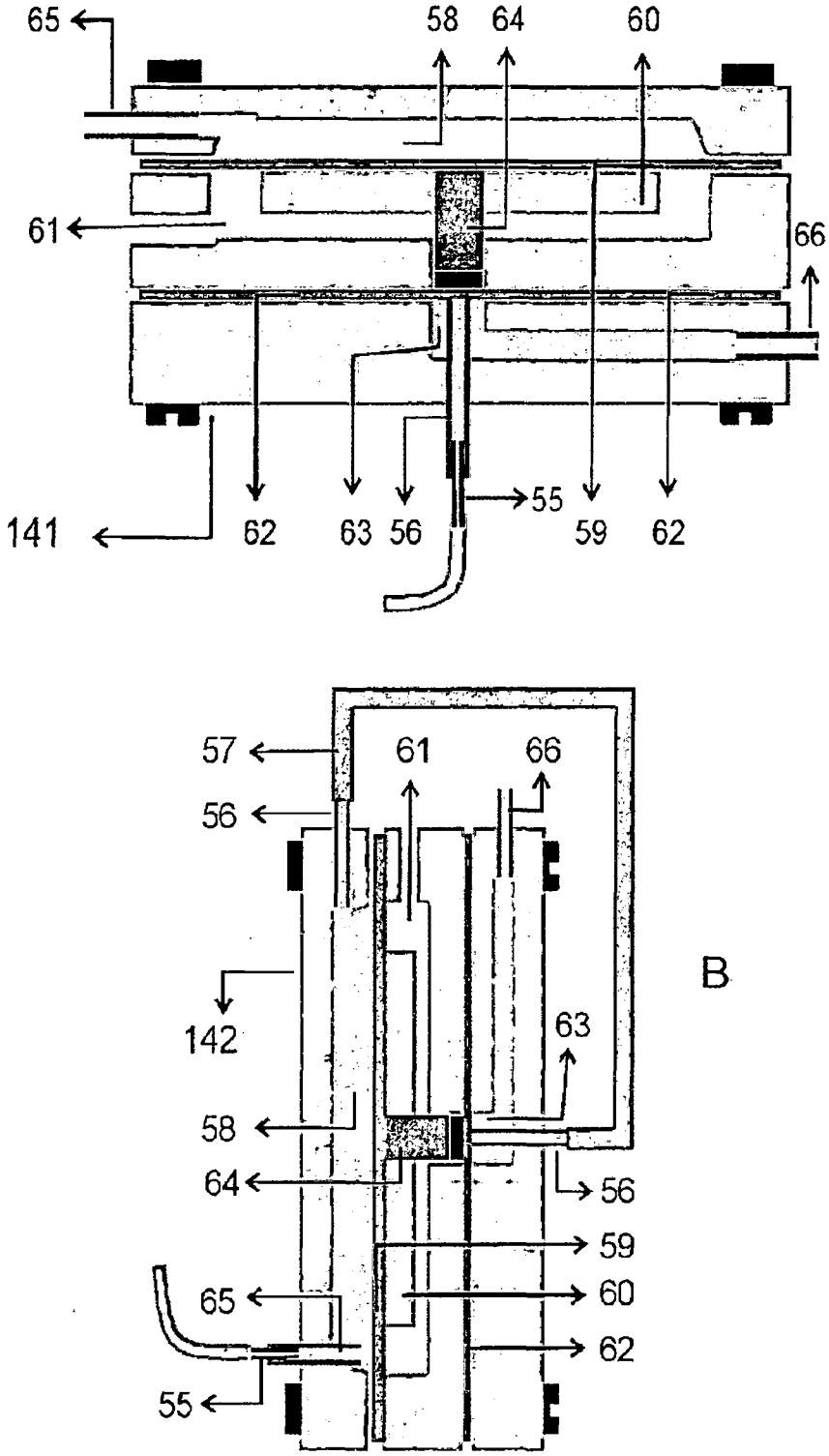

65
58
64
60
61
66
A
141
62
63
56
55
59
62
57
61
66
56
142
63
58
64
56
59
65
60
62
55
B

FIGURA 11

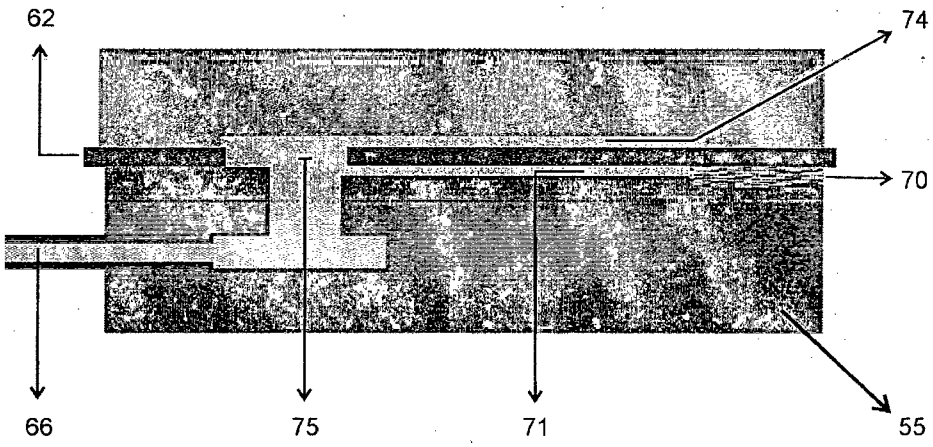


FIGURA 12

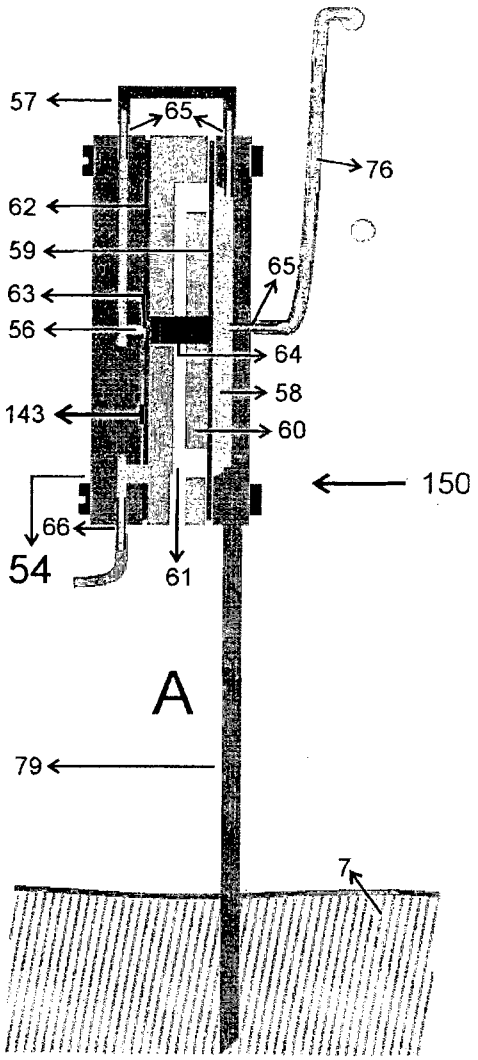


FIGURA 13

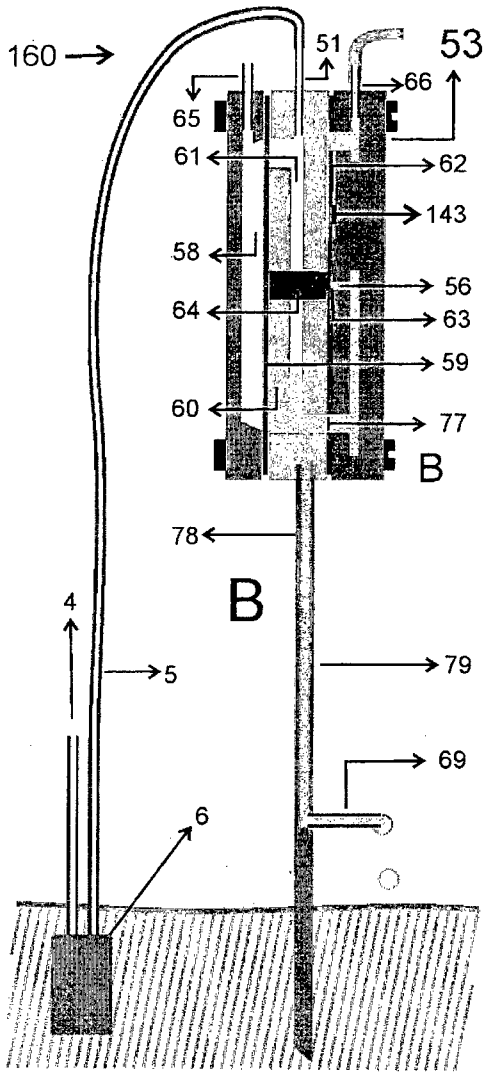


FIGURA 14

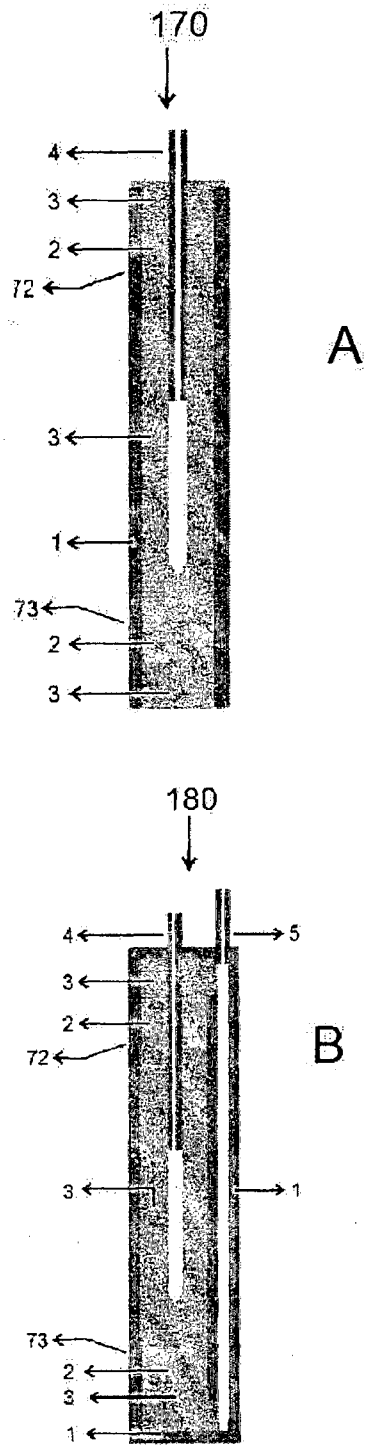


FIGURA 15

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/BR2014/000128

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G01N 7/10 (2006.01), G01N 19/10 (2006.01), G01N 13/02 (2006.01)

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

G01N ; A01G;

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

BANCO DE PATENTES INPI - BR - SINPI

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

EPODOC; USPTO; BANCO DE PATENTES INPI - BR ; SINPI

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X, Y	EP 0489656 A1 (COMMISSARIAT ENERGIE ATOMIQUEâ[FR]) 10 June 1992 (1992-06-10) abstract, fig. 1 2 and 4, col. 4 lines 19-25, claim 1	1 – 11, 13 – 25
X, Y, Y	EP 1183944 B1 (EMBRAPA PESQUISA AGROPECUARIAâ[BR]) 25 April 2007 (2007-04-25) abstract, fig. 1-3 col. 3 parag. (0015), claim 1	9, 12, 13 – 25, 27 – 44
Y	WO 2011079367 A1 (GIMENEZ CALBO ADONAIâ[BR]) 07 July 2011 (2011-07-07) abstract, figs. 1-3 pag. 1 lines 1-20, pag.10 lines 13-32, pag. 12, claims 1 and 2	27 – 44

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C. ☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search	Date of mailing of the international search report
04/09/2014	12 09 14
Name and mailing address of the ISA/ INPI INSTITUTO NACIONAL DA PROPRIEDADE INDUSTRIAL Rua Sao Bento nº 1, 17º andar cep: 20090-010, Centro - Rio de Janeiro/RJ Facsimile No.	Authorized officer **Luis Andre Subtil Machado** Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/BR2014/000128

Box No. II Observations where certain claims were found unsearchable (Continuation of item 2 of first sheet)

This international search report has not been established in respect of certain claims under Article 17(2)(a) for the following reasons:

1. ☐ Claims Nos.:
because they relate to subject matter not required to be searched by this Authority, namely:

2. ☐ Claims Nos.:
because they relate to parts of the international application that do not comply with the prescribed requirements to such an extent that no meaningful international search can be carried out, specifically:

3. ☐ Claims Nos.:
because they are dependent claims and are not drafted in accordance with the second and third sentences of Rule 6.4(a).

Box No. III Observations where unity of invention is lacking (Continuation of item 3 of first sheet)

This International Searching Authority found multiple inventions in this international application, as follows:

This International Searching Authority found multiple inventions in this international application, as follows:
claims 45-60: irrigation rod (17);
claims 61-71: water tension sensor (110) characterised by light reflection reading, and therefore comprising a lamp (47) and a light sensor (48);
claims 72-77: automated, thermal pressurisation irrigation rod (140) with a pneumatic water tension sensor;
claim 78: moulded water flow restrictor (43) resistant to pressure increase and with back-flushing feature;
claims 79-83: controllable water irrigation rod (150) in angled duct;
claims 84-90: irrigation rod (160) with water column pressurisation controlled by pneumatic water tension sensor;
claims 91-94 relate to a another, double pneumatic sensor (180) for soil water tension with aggregated response.

1. ☐ As all required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers all searchable claims.

2. ☐ As all searchable claims could be searched without effort justifying additional fees, this Authority did not invite payment of additional fees.

3. ☐ As only some of the required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers only those claims for which fees were paid, specifically claims Nos.:

4. ☒ No required additional search fees were timely paid by the applicant. Consequently, this international search report is restricted to the invention first mentioned in the claims; it is covered by claims Nos.:

claims 1-44

Remark on Protest

☐ The additional search fees were accompanied by the applicant's protest and, where applicable, the payment of a protest fee.

☐ The additional search fees were accompanied by the applicant's protest but the applicable protest fee was not paid within the time limit specified in the invitation.

☐ No protest accompanied the payment of additional search fees.

EP 0489656 A1	1992-06-10	EP 0489656 B1	1995-09-06
		DE 69112787 D1	1995-10-12
		DK 0489656 T3	1996-01-22
		ES 2078478 T3	1995-12-16
		FR 2670290 A1	1992-06-12
EP 1183944 B1	2007-04-25	EP 1183944 A2	2002-03-06
		BR 0004264 A	2002-04-02
		DE 60128039 D1	2007-06-06
		ES 2286062 T3	2007-12-01
		US 2002023969 A1	2002-02-28
		US 6705542 B2	2004-03-16
WO 2011079367 A1	2011-07-07	WO 2011079367 A8	2012-08-30
		AU 2011203425 A1	2012-08-23
		BR PI1000060 A2	2012-07-24
		CN 102905515 A	2013-01-30
		EP 2522214 A1	2012-11-14
		US 2013145829 A1	2013-06-13

RELATÓRIO DE PESQUISA INTERNACIONAL

Depósito internacional Nº
PCT/BR2014/000128

A. CLASSIFICAÇÃO DO OBJETO

G01N 7/10 (2006.01), G01N 19/10 (2006.01), G01N 13/02 (2006.01)

De acordo com a Classificação Internacional de Patentes (IPC) ou conforme a classificação nacional e IPC

B. DOMÍNIOS ABRANGIDOS PELA PESQUISA

Documentação mínima pesquisada (sistema de classificação seguido pelo símbolo da classificação)

G01N ; A01G;

Documentação adicional pesquisada, além da mínima, na medida em que tais documentos estão incluídos nos domínios pesquisados

BANCO DE PATENTES INPI - BR - SINPI

Base de dados eletrônica consultada durante a pesquisa internacional (nome da base de dados e, se necessário, termos usados na pesquisa)

EPODOC; USPTO; BANCO DE PATENTES INPI - BR - SINPI

C. DOCUMENTOS CONSIDERADOS RELEVANTES

Categoria*	Documentos citados, com indicação de partes relevantes, se apropriado	Relevante para as reivindicações Nº
X, Y	EP 0489656 A1 (COMMISSARIAT ENERGIE ATOMIQUEâ[FR]) 10 junho 1992(1992-06-10) resumo, fig.1, 2 e 4, col.4 linhas 19-25, reiv. 1	1 – 11, 13 – 25
X, Y, Y	EP 1183944 B1 (EMBRAPA PESQUISA AGROPECUARIAâ[BR]) 25 abril 2007 (2007-04-25) resumo, figs. 1 - 3, col.3 parág.[0015], reiv. 1	9, 12, 13 – 25, 27 – 44
Y	WO 2011079367 A1 (GIMENEZ CALBO ADONAIâ[BR]) 07 julho 2011 (2011-07-07) resumo, figs. I - 3 , pá . I linhas 1 - 20, á .10 linhas 13 - 32 á .12 reivs- 1 e 2	27 – 44

☐ Documentos adicionais estão listados na continuação do quadro C ☒ Ver o anexo de famílias das patentes

* Categorias especiais dos documentos citados:

"A" documento que define o estado geral da técnica, mas não é considerado de particular relevância.

"E" pedido ou patente anterior, mas publicada após ou na data do depósito internacional

"L" documento que pode lançar dúvida na(s) reivindicação(ões) de prioridade ou na qual é citado para determinar a data de outra citação ou por outra razão especial

"O" documento referente a uma divulgação oral, uso, exibição ou por outros meios.

"P" documento publicado antes do depósito internacional, porém posterior a data de prioridade reivindicada.

"T" documento publicado depois da data de depósito internacional, ou de prioridade e que não conflita como depósito, porém citado para entender o princípio ou teoria na qual se baseia a invenção.

"X" documento de particular relevância; a invenção reivindicada não pode ser considerada nova e não pode ser considerada envolver uma atividade inventiva quando o documento é considerado isoladamente.

"Y" documento de particular relevância; a invenção reivindicada não pode ser considerada envolver atividade inventiva quando o documento é combinado comum outro documento ou mais de um, tal combinação sendo óbvia para um técnico no assunto.

"&" documento membro da mesma família de patentes.

Data da conclusão da pesquisa internacional	Data do envio do relatório de pesquisa internacional:
04/09/2014	12/09/14

Nome e endereço postal da ISA/BR	Funcionário autorizado
INPI INSTITUTO NACIONAL DA PROPRIEDADE INDUSTRIAL Rua Sao Bento nº 1, 17º andar cep: 20090-010, Centro - Rio de Janeiro/RJ	**Luis Andre Subtil Machado**
Nº de fax: +55 21 3037-3663	Nº de telefone: +55 21 3037-3493/3742

RELATÓRIO DE PESQUISA INTERNACIONAL

Depósito internacional Nº
PCT/BR2014/000128

Quadro II Observações quando certas reivindicações não puderam ser objeto de pesquisa (Continuação do ponto 2 da primeira página)

Este relatório de pesquisa internacional não foi formulado em relação a certas reivindicações, sob Artigo 17.2).a), pelas seguintes razões:

1. ☐ Reivindicações:

   porque estas se referem a matéria na qual esta Autoridade não está obrigada a realizar a pesquisa, a saber:

2. ☐ Reivindicações:

   porque estas se referem a partes do pedido internacional que não estão de acordo com os requisitos estabelecidos, de tal forma que não foi possível realizar uma pesquisa significativa, especificamente:

3. ☐ Reivindicações:

   porque estas são reivindicações dependentes e não estão redigidas de acordo com a segunda e terceira frase da Regra 6.4.a).

Quadro III Observações por falta de unidade de invenção (Continuação do ponto 3 da primeira página)

Esta Autoridade de pesquisa internacional encontrou múltiplas invenções neste depósito internacional, a saber:

- as reivindicações 45 a 60: haste de irrigação (17);
- as reivindicações 61 a 71: sensor de tensão de água (110), pois se caracteriza por leitura através da reflexão de luz, de forma que o sensor compreende lâmpada (47) e um sensor de luz (48);
- as reivindicações 72 à 77: haste (140) de irrigação de pressurização térmica automatizada com sensor pneumático de tensão de água;
- a reivindicação 78 : restritor moldado (43) com vazão de água resistente ao aumento de pressão e com retro-lavagem;
- as reivindicações 79 a 83: uma haste (150) de irrigação de água regulável em duto de angulação;
- as reivindicações 84 a 90: haste (160) de irrigação com pressurização de coluna de água controlada por sensor pneumático de tensão de água;
- as reivindicações 91 a 94 se referem a um outro sensor pneumático (180) duplo de tensão de água no solo com resposta agregada.

1. ☐ como todas as taxas requeridas para pesquisas adicionais foram pagas pelo depositante dentro do prazo, este relatório de pesquisa cobre todas as reivindicações pesquisáveis.
2. ☐ como a pesquisa em todas as reivindicações pesquisáveis pode ser feita sem esforço que justifique pagamento adicional, esta Autoridade não solicitou o pagamento de taxas adicionais.
3. ☐ como somente algumas das taxas requeridas para pesquisas adicionais foram pagas pelo depositante dentro do prazo, este relatório de pesquisa internacional cobre somente aquelas reivindicações cujas taxas foram pagas, especificamente as reivindicações:
4. ☒ as taxas de pesquisas adicionais requeridas não foram pagas dentro do prazo pelo depositante. Consequentemente, este relatório de pesquisa internacional se limita à invenção mencionada primeiramente nas reivindicações, na qual é coberta pelas reivindicações:

   reivindicações 1 – 44

Observações da reclamação

- ☐ as taxas adicionais para pesquisas foram acompanhadas pela reclamação do depositante e, se for o caso, pelo pagamento da taxa de reclamação.
- ☐ as taxas adicionais para pesquisa foram acompanhadas pela reclamação do depositante mas a taxa de reclamação não foi paga dentro do prazo especificado pela solicitação.
- ☒ o pagamento de pesquisas adicionais não acompanha nenhuma reclamação.

RELATÓRIO DE PESQUISA INTERNACIONAL
Informação relativa a membros da família da patentes

Depósito internacional Nº
PCT/BR2014/000128

Documentos de patente citados no relatório de pesquisa	Data de publicação	Membro(s) da família de patentes	Data de publicação
EP 0489656 A1	1992-06-10	EP 0489656 B1	1995-09-06
		DE 69112787 D1	1995-10-12
		DK 0489656 T3	1996-01-22
		ES 2078478 T3	1995-12-16
		FR 2670290 A1	1992-06-12
EP 1183944 B1	2007-04-25	EP 1183944 A2	2002-03-06
		BR 0004264 A	2002-04-02
		DE 60128039 D1	2007-06-06
		ES 2286062 T3	2007-12-01
		US 2002023969 A1	2002-02-28
		US 6705542 B2	2004-03-16
WO 2011079367 A1	2011-07-07	WO 2011079367 A8	2012-08-30
		AU 2011203425 A1	2012-08-23
		BR PI1000060 A2	2012-07-24
		CN 102905515 A	2013-01-30
		EP 2522214 A1	2012-11-14
		US 2013145829 A1	2013-06-13