

IRRIGAÇÃO LOCALIZADA SUPERFICIAL POR CAVIDADES E MODELO ENTRÓPICO DE INFILTRAÇÃO

BRUNO LEDEZMA ROMÁN¹, PODALYRO AMARAL DE SOUZA²

¹ Doutorando, Depto de Engenharia Hidráulica, EPUSP, São Paulo – SP, (0XX11) 8396.7885, e-mail: *Bruno.roman@poli.usp.br*.

² Engº Civil, Doutorado, Depto de Engenharia Hidráulica, EPUSP, São Paulo – SP. (0XX11) 3091.5743, e-mail: *Podalyro@usp.br*

Escrito para apresentação no
XXXIV Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola
31 de julho a 04 de agosto de 2006- João Pessoa - PB

RESUMO: Estuda-se uma alternativa inovadora de irrigação localizada superficial, através de um modelo matemático do tipo balanço volumétrico modificado, que utiliza um modelo de infiltração inédito baseado na maximização da entropia. O método de irrigação proposto consiste na escavação do terreno ao redor da base da planta na forma de um anel grosso que produza bulbos úmidos equivalentes aos gerados por qualquer um gotejador. O sistema de irrigação consiste em conectar estas cavidades por meio de sulcos compactados que além de servir como condutores semi-impermeáveis criam um micro sistema de coleta de água, sistema de irrigação. Capas radiculares podem ser colocadas dentro das cavidades com o intuito de eliminar as perdas por evaporação, evitar o crescimento de ervas daninhas e até incrementar o rendimento da coleta.

Compara-se o novo modelo entrópico desenvolvido com os modelos de Horton, Philips e o modelo modificado de Kostikov determinando-se um menor erro padrão e um maior coeficiente de determinação, em média de 1.5% e 8.8 % nos infiltrômetros por sulcos e anel duplo respectivamente e um máximo de 2.5% e 68%.

PALAVRAS-CHAVE: Irrigação superficial localizada, Entropia, Infiltração.

LOCALIZED SUPERFICIAL IRRIGATION BY CAVITIES AND ENTROPIC MODEL OF INFILTRATION

ABSTRACT: This is the study of a new alternative of localized superficial irrigation using a modify volumetric balance model that's use a unpublished new infiltration model. This infiltration model is based in the maximization of the entropy.

The system purposed consists in a ground excavation around the plant base. The form of this is same as a big ring, that produces an humid bulb in the root zone equivalent to the drooping system. This cavities need to be connected by furrows that's beyond serves for being a semi impermeable conductor of water creates a micro-system of water harvesting. Root layers can be placed inside of the cavities with intention to eliminate the losses for evaporation, to prevent the growth of harmful grass and until to improve the collect income.

Comparing the new entropic model with the models of Horton, Philips and the modified model of Kostikov, the entropic one, it was determined a lesser standard error and a bigger correlation coefficient, in average of 1.5% and 8.8 % for the furrows and double ring infiltrimeters respectively and a maximum of 2.5% and 68%.

KEYWORDS: Surface localized irrigation, Entropy, Infiltration.

INTRODUÇÃO: Para o desenvolvimento e crescimento das plantas ou culturas em geral, é importante que as mesmas disponham de suficiente fornecimento de água, além da provida pela chuva, que é conhecida como “água suplementar de irrigação”. Nessa tarefa é possível aplicar diversos e variados métodos, todos com vantagens e desvantagens do ponto de vista social, econômico, topográfico e cultural. Estas vantagens e desvantagens são levadas em conta na hora de definir o método que mais se adapta às circunstâncias da zona de aplicação.

A água doce corresponde a 2.5% de toda a água do planeta, da qual aproximadamente 69% está congelada nas regiões polares, portanto, restam apenas 0.75% de toda a água da terra em condições de utilização, e 95% desta parte se encontra no subsolo. Esta parcela é cada vez menor considerando-se a crescente poluição dos recursos hídricos.

A quantidade de água doce nos sistemas hídricos regionais e no planeta em geral permanece praticamente constante, enquanto isso, segundo um estudo realizado pelas Nações Unidas sobre o crescimento populacional mundial do ano de 2005 ao ano de 2050, a população mundial subirá 2.6 bilhões, atingindo 9.1 bilhões de habitantes no ano 2050, ressaltando que:

“o crescimento populacional deve ser maior nos países que já têm dificuldades de alimentar seus moradores [...] nos países ricos, a queda na natalidade resulta em pouco ou nenhum crescimento (A exceção é os Estados Unidos, que se beneficia de um número relativamente alto de imigrantes) [...] as populações da Europa se reduziram ainda mais se não fosse pelos imigrantes [...] a população deve triplicar no Afeganistão, em Burkina Faso, no Burundi, no Chade, no Congo, na República Democrática do Congo, no Timor Leste, em Guiné Bissau, na Libéria, em Mali, em Níger e em Uganda. Estes são os que não estão conseguindo oferecer alimentação e abrigo adequados para todos os seus habitantes”.

A irrigação em geral absorve 80 a 85% dos recursos hídricos disponíveis nas regiões e, dada as perdas por percolação, drenagem e evapotranspiração, não retorna quase nada ao sistema hídrico regional.

Por todas estas razões qualquer pesquisa com o objetivo de economizar água na irrigação é fortemente justificada.

Os modelos matemáticos para previsão da irrigação superficial constituem recursos valiosos capazes de levar em contas inúmeras alternativas de dimensionamento a um custo e tempo reduzidos. Um modelo capaz de simular este tipo de irrigação é considerado pesquisa inédita porque não foi achado nenhum modelo que o faça.

O modelo matemático que simula a curva da velocidade da infiltração da água no solo versus o tempo, é o fator mais importante dos modelos matemáticos de irrigação, porque a confiabilidade deste é diretamente proporcional à confiabilidade do modelo de irrigação.

Outra pesquisa inédita afim foi o desenvolvimento de um modelo de infiltração mais fidedigno baseado na aplicação da maximização da entropia ao fenômeno da infiltração de água no solo baseada no princípio da maximização da entropia.

Os conceitos de aplicação da entropia a engenharia foram inicialmente desenvolvidos pelo Engenheiro Civil Chao-Lin Chiu, professor da Universidade de Pittsburgh que aplica à hidráulica os conceitos estatísticos de entropia baseado na teoria da informação ligando o universo determinístico, familiar ao engenheiro hidráulico, e o probabilístico, que é menos familiar. A partir desses conceitos, propôs modelos de distribuição de velocidades, de tensões de cisalhamento e de concentração de sedimentos hoje sendo a vez do fenômeno da infiltração de água no solo.

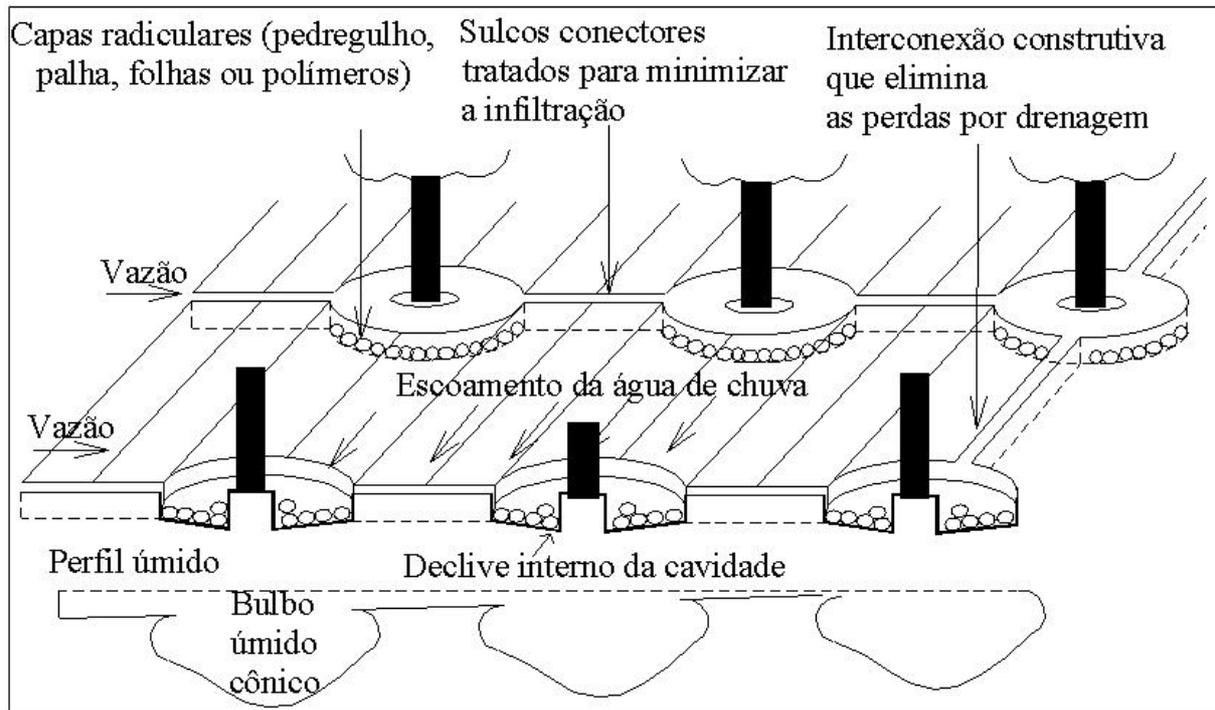


Figura 1. Esquema do sistema de irrigação.

MATERIAL E MÉTODOS: Os métodos utilizados para o desenvolvimento do método de irrigação foram modelagem física, comparação com testemunha e desenvolvimento matemático.

O método de irrigação (cavidade individual), foi desenvolvido utilizando um modelo físico em dois diferentes tipos de solo e determinando as equações práticas de simulação do bulbo úmido através de modelagem adimensional.

Comparou-se o método de irrigação por gotejamento e o método de irrigação superficial localizado em diferentes tipos de culturas, utilizando a mesma quantidade de água e homogeneizar todas as outras variáveis de projeto.

As equações de coleta de água de chuva foram desenvolvidas matematicamente.

Foram feitas também algumas provas práticas de capas radiculares contra a evaporação e aquecimento superficial.



Figura 2. Esquema e exemplos de aplicação.

Os métodos utilizados para o desenvolvimento do sistema de irrigação foram modelagem matemática e comparação com testemunha.

Para o desenvolvimento do modelo principal escolheu-se o modificar um modelo tipo balanço volumétrico resolvido pelo método dos elementos finitos.

Para o desenvolvimento do modelo de infiltração de água no solo aplicou-se a modelagem matemática e os princípios de maximização da entropia aplicada a engenharia.

Compararam-se os modelos de Kostiakov, Horton e Philips com o modelo entrópico desenvolvido, tanto na infiltração por sulcos (19 provas de campo) como a de duplo anel (37 provas de campo).

Escolheram-se estes modelos baseados nas recomendações da bibliografia consultada. Na pesquisa de NÁVAR; SYNNOTT (2000) foram comparados os resultados estatísticos de 4 modelos não lineares, Green&Ampt, Kostiakov-Lewis, Horton e Philip, em 96 provas do infiltrômetro de anel duplo, concluindo que para as 96 provas o modelo de Kostiakov-Lewis deu os melhores resultados para os valores de r_2 e S_x com valores de 0.87 e 85 respectivamente, num segundo plano concluiu-se o modelo de Horton aproxima melhor a VIB, enquanto que os modelos de Green&Ampt e Philips as vezes determinavam valores positivos e as vezes negativos e, finalmente, o modelo Kostiakov-Lewis determinava a VIB com um defasagem de tempo, consultou-se também os trabalhos de MARCHETTI (2003), ALVARADO (2001), KOTTWITZ (1995), INGARAMO (2000), CASTRO, L. C.; SOUZA, F. (1999), CISNEROS ET AL (2004), MONSERRAT (1994), ANDRADE (1999), ESFANDIARI; MAHESHWARI (2001), FOLEGATTI; PAZ; OLIVEIRA (1999), CHIRWAM (2004) na Zambia, HORNBUCKLE ; CHRISTEN ; FAULKNER (2003) na Áustria, JUANJUAN; XIHUAN (2002) na China, MONSERRAT (1994) na Espanha, MATEOS; OYONARTE (2003), KUNST (2003), na Argentina etc.

RESULTADOS E DISCUSSÃO: A evaporação é maior nas primeiras fases de crescimento do cultivo, enquanto a planta cresce produz mais sombra e as perdas por evaporação diminuem. A economia de água pode atingir a quase 50% do total de água afetando nas primeiras fases e 10% nas últimas, sempre nos primeiros 30 cm do solo, onde tem-se aproximadamente 40% das raízes de vários tipos de árvores.

A forma do bulbo úmido é próxima a um elipsóide, mas fazendo uma declividade dentro do anel na direção do centro é possível controlar a forma do bulbo úmido e gerar um bulbo cônico mais eficiente que pode ser projetado em função do tipo de raiz.

Existe uma relação linear entre a lâmina de água infiltrada na cavidade, e a infiltração horizontal.

A infiltração na parte central da cavidade é vertical enquanto que nos contornos ela é também horizontal. Recomenda-se utilizar como valores práticos de infiltração horizontal em solos arenosos 20 cm, em solos francos 30 cm e em solos argilosos 40 cm.

Diâmetro externo cavidade = diâmetro raiz – 2 * infiltração horizontal (1)

Diâmetro interno = 3 * diâmetro do tronco (2)

A profundidade da cavidade deve ser calculada em função do requerimento de água da árvore

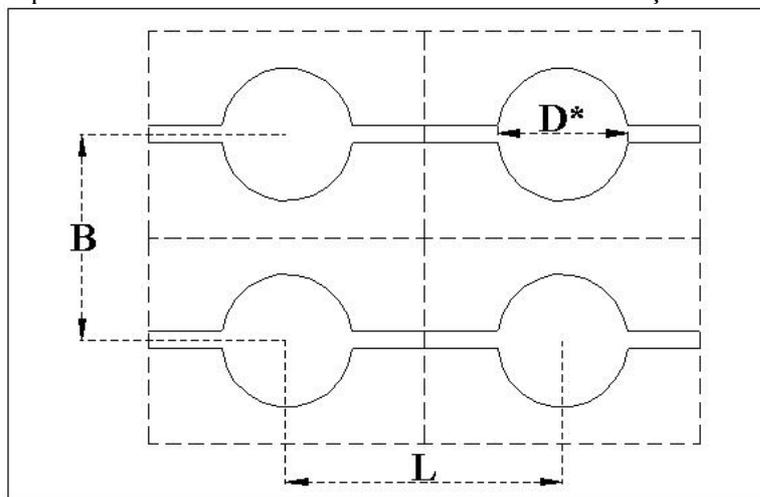


Figura 2. Projeção horizontal de parte do sistema.

$$\text{ChEf} = \left(\frac{4 * B * R}{\pi * d^2} - 1 \right) * \text{Es} + \text{Ch} \quad (3)$$

$$\% \text{ChEf} = \frac{\text{ChEf} * 100}{\text{Ch}} \quad (4)$$

Onde: ChEf = Chuva efetiva (mm).
 B e R = Distância entre planta e planta (m).
 D* = Diâmetro da cavidade (m).
 Es = Escoamento da água de chuva no solo (mm).
 Ch = Chuva (mm).
 %ChEf = Porcentual de chuva efetiva (%).

O porcentual de chuva efetiva recomendado é de 180% sendo 2.25 vezes maior que o porcentual de chuva efetiva padrão de 80%.

O uso das capas radiculares é inédito, criando-se um novo campo de pesquisas especialmente na área de polímeros, o recomendado é uma capa de polietileno transparente seguido de uma capa pedras decorativas.

Este método (cavidade individual) é utilizado de forma incorreta atualmente, porque é feito um buraco ao redor da planta sem nenhum cálculo prévio e sem o anel interior de sustentação. Para que o método funcione certos cuidados são necessários.

É preciso calcular o tamanho certo e a forma da cavidade para não diminuir o desenvolvimento normal das raízes e conseqüentemente das plantas.

Deve-se calcular o incremento na porcentagem de chuva efetiva para não desperdiçar a água de irrigação.

Se o anel interno de sustentação não for implementado pode provocar doenças no tronco e falta de sustentação. (figura 2).

Não foram implementadas as capas radiculares de proteção contra evaporação nem de aquecimento superficial (figura 2).

As referências bibliográficas de sistemas similares na Espanha e Portugal datam dos anos 1970 e 1971, talvez porque à época não se tinha a atual falta de recursos hídricos, o sistema quase não foi aplicado nem desenvolvido completamente, o sistema de irrigação superficial localizado por cavidades poder-se-ia definir como uma versão mais evoluída, moderna, e completa destes sistemas encontrados.

Mediante a correta implementação desta técnica estima-se que será possível atingir economias de 30 a 60% de água de irrigação.

O sistema é projetado para ser implementado em culturas de grande e mediano porte, em pomares e em reflorestamento. Do ponto de vista sócio-econômico, adequa-se melhor a lugares onde a mão de obra não qualificada é barata e o fornecimento de água é caro (zonas áridas e semi-áridas) e onde é aplicada uma agricultura familiar.

Varias destas vantagens também podem ser aproveitadas nos sistemas de irrigação por aspersão e gotejamento

No que se refere aos modelos matemáticos de infiltração, o modelo entrópico gera um menor erro padrão e um maior coeficiente de correlação, em média de 1.5% e 8.8 % nos infiltrômetros por sulcos e anel duplo respectivamente e um máximo de 2.5% e 68%.

Surgem algumas modificações para serem aplicadas no infiltrômetro de sulcos, onde a mais importante é a necessidade de só 3 medições para determinar a curva de infiltração com maior precisão que os modelos atualmente utilizados. Dado que a pesquisa de doutorado ainda está em andamento, por enquanto apresentamos os resultados até aqui obtidos.

Em Cochabamba-Bolivia o sistema esta sendo implementado há cinco anos numa parceria entre o autor e ENABRA (empresa local de fornecimento de árvores) tanto nas áreas verdes privadas como nas públicas com uma grande aceitação do público alvo. Na prática já foram implementados elementos decorativos dentro das cavidades como por exemplo flores.

No Brasil partes da pesquisa vem-se difundindo desde o ano 2001.

A resolução do problema de escassez de água, ou em alguns casos de economia da mesma, necessita, em contrapartida, para sua aplicação em reflorestamento, áreas públicas ou mesmo grandes áreas privadas (parques, praças públicas, centros esportivos, universidades, etc) mão de obra não qualificada de jardinaria, o que não representa necessariamente um problema uma vez que a mesma já é usada para a implementação ou manutenção destas zonas verdes. Enquanto que nas pequenas áreas privadas (como jardinagem e quitais) será a conscientização pública da necessidade de economia de água que possibilitará a instalação do método.

CONCLUSÕES:

Para as zonas e culturas alvo, este simples, prático e barato método de irrigação é tão eficiente como os atuais métodos de irrigação de precisão (aspersão, gotejamento e até subterrânea).

O modelo entrópico desenvolvido é o que melhor simula (100% dos casos) o fenômeno físico da infiltração da água no solo, tanto no infiltrômetro por sulcos como no anel duplo o que faz com que qualquer um modelo de irrigação desenvolvido baseado neste modelo de infiltração seja muito mais preciso.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

LEDEZMA R. B. M. **Estudio del bulbo húmedo generado por riego localizado a través de anillas contenedoras y riego volumétrico**. Tese (Mestrado) – Centro de Levantamientos aeroespaciales y aplicaciones SIG, Universidad Mayor de San Simón. Cochabamba, Bolivia, 2001. 122p.

HIDALGO A.G. **Métodos modernos de riego por superficie**. 1.ed. Madrid: Aguilar S.A., 1971. 463p.

NÁVAR J.; SYNNOTT T. **Infiltración y Uso del Suelo en Linares**. 2000. Parte de Tese, p255-262. México, Universidad Autónoma de Nuevo León.

MINEI N. **Um método expedito para a medição de vazão em rios e canais abertos**. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo, 1999. 123p.

MARCHETTI F. E. **Infiltração de água no solo em sistemas de plantio direto e convencional**. 2003. Matto Grosso do Sul. Trabalho de iniciação científica.10p.

ALVARADO M. P. **Calibración in situ de dos modelos de simulación para el diseño de riego superficial**. 2001. 11p. artigo 5as Jornadas de Investigación. Universidad Autónoma de Zacatecas. México.

NAÇÕES UNIDAS. **Informe sobre o crescimento da população mundial 2005-2050**. Disponível em :<<http://www.brazzilport.com>>. Acesso em 28 de abr. 2005.