

CONSTRUÇÃO E INSTALAÇÃO DE LISÍMETROS DE DRENAGEM PARA O MONITORAMENTO DE PROCESSOS HIDROLÓGICOS EM SOLOS

Rafael Matias Feltrin^{1} João Batista Dias de Paiva² & Eloiza Maria Cauduro Dias de Paiva³*

Resumo – A representação detalhada dos processos hidrológicos envolvidos no balanço hídrico tem adquirido grande importância para uma gestão eficiente dos recursos hídricos e melhor compreensão do ciclo hidrológico. Para tanto, é necessário à utilização de técnicas que permitam o controle das variáveis envolvidas e representem mais fielmente possível o ambiente a ser estudado. Assim, este trabalho tem como objetivo descrever aspectos construtivos e processos de instalação de lisímetros de drenagem, utilizando amostras de solo indeformadas e apresentando resultados preliminares obtidos. Os lisímetros foram construídos em aço e possuem formato cilíndrico, contendo em seu interior um volume de 1 m³ de solo. Os locais de instalação compreendem duas condições diferentes de cobertura vegetal do solo, sendo a primeira uma área de campo nativo e a segunda uma área com vegetação de mata nativa, característica do bioma mata atlântica. O monitoramento das variáveis precipitação, escoamento superficial e drenagem foi realizado por meio de pluviógrafos eletrônicos e o conteúdo de água no solo utilizando-se tensiômetros eletrônicos instalados nas profundidades de 10, 30 e 70 cm, no interior dos lisímetros. Os resultados preliminares demonstram a eficiência dos lisímetros, possibilitando um monitoramento detalhado dos fluxos de água no interior do perfil do solo.

Palavras-Chave – lisímetros de drenagem, monitoramento de processos hidrológicos em solos.

CONSTRUCTION AND INSTALLATION OF THE DRAINAGE LYSIMETERS FOR MONITORING HYDROLOGIC PROCESSES IN SOILS

Abstract – The detailed representation of hydrological processes involved in the water balance has acquired great importance for the efficient management of water resources and better understanding of the hydrological cycle. Therefore, it is necessary to the use of techniques that allow the control of all the variables involved and represent as closely as possible the environment to be studied. This work aims to describe aspects of construction and installation processes of drainage lysimeters, by using undisturbed soil samples and to present preliminary results. The lysimeters were constructed of carbon steel and have cylindrical shape, containing inside a volume of 1 m³ of soil. Installation locations comprise two different conditions of soil cover, the first being an area composed of native grassland and the second an area comprised of native vegetation, characteristic of the Atlantic Forest biome. The monitoring variable rainfall, runoff and drainage was performed through electronic rain gauges and soil water content by using tensiometers with electronic pressure transducer installed at the depths of 10, 30 and 70 cm inside from the lysimeters. Preliminary results demonstrate the efficiency of the lysimeters, allowing for detailed monitoring of the flow of water inside the soil profile.

Keywords – drainage lysimeters, monitoring of hydrologic processes in soils.

¹ Engenheiro Agrônomo, Aluno de doutorado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Centro de Ciências Rurais (CCR), Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Santa Maria, Rio Grande do Sul, Brasil. e-mail: agrofeltrin@gmail.com

² Professor Titular, Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental (DESA), Centro de Tecnologia (CT), Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Santa Maria, Rio Grande do Sul, Brasil. e-mail: paiva@ct.ufsm.br

³ Professor Associado, Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental (DESA), Centro de Tecnologia (CT), Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Santa Maria, Rio Grande do Sul, Brasil. e-mail: eloiza@ct.ufsm.br

* Autor Correspondente

CONSIDERAÇÕES SOBRE A UTILIZAÇÃO DE LISÍMETROS

Os primeiros trabalhos utilizando lisímetros iniciaram-se por volta de 1900, principalmente na Alemanha em 1906 e nos Estados Unidos em 1923. No Brasil, os primeiros relatos do uso de lisímetros são da década de 1950, quando Camargo (1962) utilizou lisímetros de drenagem para determinação da evapotranspiração potencial do Estado de São Paulo. Apesar da utilização de lisímetros em diversos tipos de estudos ser uma técnica bem difundida em países desenvolvidos, no Brasil, seu uso ainda é restrito devido aos altos custos de aquisição e instalação. Atualmente observa-se a tendência ao aumento de pesquisas na área no país, podendo-se citar os trabalhos de Faria *et al.* (2006), Medeiros (2008), Feltrin *et al.* (2011) e Campeche *et al.* (2011). Ao contrário do que se verifica internacionalmente, quase que a totalidade dos estudos com lisímetros utilizados no Brasil, utilizam amostras deformadas de solo. Porém, mais recentemente, Oliveira (2006), Feltrin (2009) e Pinheiro *et al.* (2010) têm desenvolvido trabalhos no sul do Brasil, utilizando lisímetros de drenagem contendo em seu interior blocos de solo com estrutura indeformada. Segundo Meissner *et al.* (2004), embora a técnica de instalação e enchimento deste tipo de lisímetro apresente maiores dificuldades, a vantagem da utilização desta metodologia é a preservação das características físicas do solo, garantindo que as condições de fluxo e transporte sejam as mais próximas possíveis das condições naturais de campo.

Conforme Brutsaert (2005), numerosos estudos têm sido realizados para estimar a magnitude dos componentes mais importantes da equação do balanço hídrico em escala global. Porém, a base de dados disponíveis necessários para esse fim ainda está longe de ser adequada e vários dos métodos utilizados nestas estimativas podem ser sujeitos a severas críticas. Neste sentido, uma opção promissora é a utilização de lisímetros, os quais permitem o controle das variáveis de entrada e de saída do interior do perfil do solo, fundamentais em estudos de processos hidrológicos em solos. Assim, os dados gerados a partir de medidas lisimétricas, além de permitir um acompanhamento detalhado dos fluxos de água no solo, podem ser empregados para calibração e validação de modelos hidrológicos e de qualidade das águas, fisicamente estruturados.

Desta forma, buscando difundir a técnica da lisimetria no Brasil, o presente trabalho tem como objetivo apresentar os aspectos construtivos e os processos de instalação de lisímetros de drenagem utilizados para o monitoramento dos componentes envolvidos no balanço hídrico do solo, sob diferentes condições de cobertura vegetal.

ASPECTOS CONSTRUTIVOS DOS LISÍMETROS

Os lisímetros foram construídos em chapas de aço carbono 1020 com espessura igual 4,75 mm (3/16") e tratados com pintura epóxi anticorrosiva. Os equipamentos possuem formato cilíndrico com diâmetro interno de 113 cm e altura de 110 cm (Figura 1a). Na parede lateral do cilindro que constitui o lisímetro, existe um orifício de 5 cm de diâmetro localizado a 25 cm da borda superior, por onde é conduzido o escoamento superficial resultante. A base inferior possui formato cilíndrico com dimensões iguais a 114 cm de diâmetro e 30 cm de altura. O fundo desta base possui formato cônico com uma inclinação de 10 cm no sentido das laterais para o centro terminando em um tubo de drenagem com diâmetro de 5 cm. A junção de ambas as partes constituintes do lisímetro, isto é, cilindro que forma o corpo e base, é feita por flanges parafusados. Para o corte do perfil do solo e coleta da amostra com estrutura indeformada, foi confeccionado uma base desmontável composta por duas laminas construídas em chapas de aço carbono 1045 com espessura igual a 6,35 mm (1/4"), dispostas em forma de guilhotina (Figura 1b).

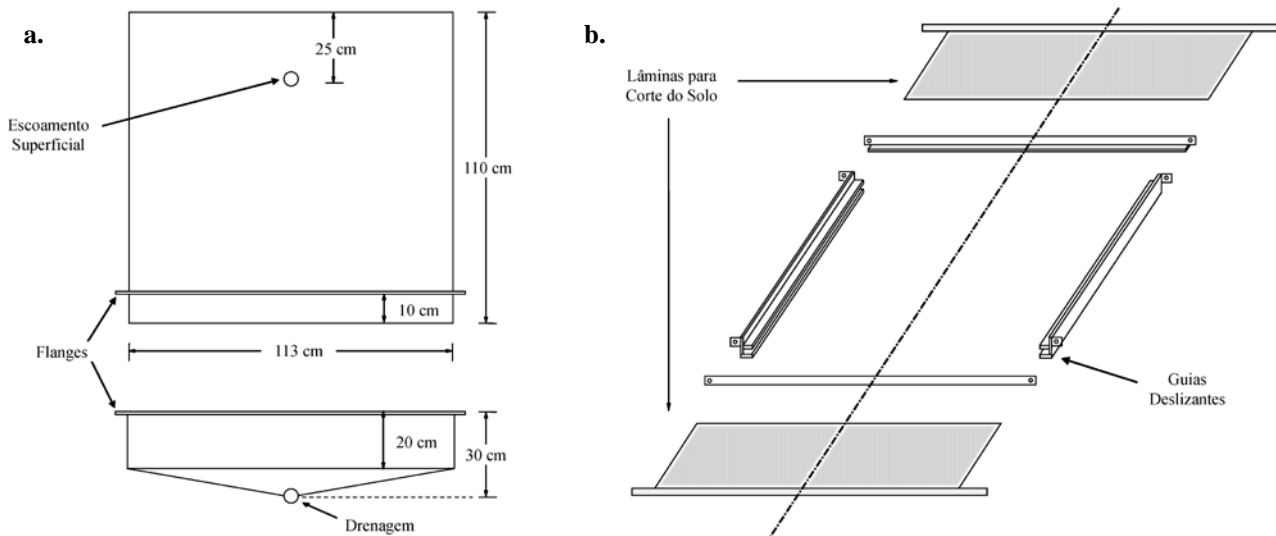


Figura 1 – Representação esquemática dos lisímetros utilizados e suas respectivas dimensões: a. Partes que constituem dos lisímetros; b. estrutura utilizada para corte do solo e de elevação dos lisímetros.

PROCESSO DE INSTALAÇÃO DOS LISÍMETROS

O presente estudo foi desenvolvido na região central do estado do Rio Grande do Sul, entre as cidades de Santa Maria e Itaara (latitude 29°37'49.7" Sul e 53°48'39.8" Oeste). A instalação dos lisímetros ocorreu em dois ambientes diferentes, sob condições de cobertura vegetal do solo de floresta nativa, característica de mata atlântica e vegetação de campo nativo, composta por gramíneas. No campo nativo, a instalação ocorreu entre os dias 28 e 30 junho de 2011, iniciando pela demarcação do local com a retirada do solo do entorno do corpo cilíndrico de forma a propiciar o nivelamento do lisímetro (Figura 2a). Após, procedeu-se a escavação manual de uma trincheira no entorno do lisímetro ao mesmo tempo em que foram introduzidos pesos sobre este, facilitando a sua penetração no solo (Figura 2b). Ao atingir-se a profundidade de 1 m, foi montada a estrutura formada por cantoneiras, que serve de guia para as laminas de corte do solo (Figura 2c). Em seguida, encaixaram-se as lâminas deslizantes nesta estrutura promovendo o corte do solo sob a base do corpo cilíndrico do lisímetro e formando uma plataforma de sustentação para o solo contido no lisímetro (Figura 2d). Após o corte, elevou-se o bloco de solo utilizando-se um sistema mecanizado constituído de caminhão munck (Figura 2e). Retirou-se uma camada de 30 cm de solo, abaixo do local do corte e posteriormente foi introduzida a base inferior do lisímetro, contendo em seu interior uma grelha para aumentar a área de captação e impedir o entupimento da entrada da tubulação de drenagem (Figuras 2f e 2g). Então, foi confeccionado sistema de drenagem, o qual consiste de um filtro formado por uma camada de 10 cm de espessura de brita numero 1 envelopada em manta geotêxtil (Bidim), coberta por uma camada de 10 cm de espessura de areia (Figuras 2h e 2i). Introduziu-se novamente o corpo cilíndrico contendo em seu interior a amostra de solo indeformado, sobre a base com o filtro (Figura 2j), retirando-se as laminas utilizadas para o corte e sustentação do solo. Após encaixar as duas partes constituintes do lisímetro, o corpo cilíndrico que envolve o bloco de solo foi pressionado com auxílio do guincho até os flanges se encontrarem e feita a vedação das junções entre as duas partes constituintes do lisímetro, com silicone e uma pequena camada de concreto envolvendo os flanges em todo o seu entorno. Finalmente, a trincheira aberta para a instalação do lisímetro foi coberta com solo, sendo a superfície do terreno nivelada a sua topografia original e procedeu-se a instalação dos tensiômetros utilizados para o monitoramento do conteúdo de água no solo e das tubulações responsáveis pela condução da drenagem e do escoamento superficial do interior do lisímetro até pluviógrafos (Figuras 2k e 2l).



Figura 2 – Fazes de instalação do lisímetro de drenagem na área de campo nativo: a. escolha do local de instalação; b. abertura da trincheira; c. montagem da estrutura para elevação do lisímetro; d. introdução das lâminas e corte do solo; e. elevação do lisímetro com o auxílio de caminhão; f. instalação da base do lisímetro; g, h, i. confecção do sistema de drenagem; j. colocação do lisímetro sobre a sua base; k. lisímetro com tensiômetros eletrônicos já instalados; l. pluviômetros utilizados para monitoramento do escoamento superficial e drenagem resultantes.

A instalação do lisímetro na área de mata nativa ocorreu entre os dias 15 e 28 de agosto de 2011 e seguiu os mesmos passos da operação de instalação no campo nativo. Os procedimentos de preparo e confecção do filtro que forma o sistema de drenagem do lisímetro também foram exatamente iguais aos utilizados no lisímetro instalado no campo nativo. A diferença para a instalação no campo nativo foi que, devido a não possibilidade de acesso de um caminhão guincho até o local, utilizou-se uma talha com catraca instalada sob uma estrutura de madeira que serviu de apoio para a elevação do bloco de solo contido no lisímetro. Finalizando a instalação do lisímetro, foi feita a vedação das junções entre os flanges com silicone e concreto conforme descrito anteriormente, seguida pela instalação das tubulações para o escoamento superficial e drenagem, dos pluviógrafos e dos tensiômetros (Figura 3). Mudanças de árvores da mesma mata e com tamanhos variados, foram transplantadas envolta do lisímetro restabelecendo as características originais de vegetação da mata nativa considerada.



Figura 3 – Fases de instalação do lisímetro de drenagem na área de mata nativa: a. escolha do local de instalação; b. abertura da trincheira; c. introdução das lâminas e corte do solo; d. montagem da estrutura para elevação do lisímetro; e. lisímetro sendo suspenso; f, g, h. confecção do filtro; i. lisímetro já instalado, com tensiômetros instalados e vegetação interna original e intacta.

MONITORAMENTO DOS PROCESSOS HIDROLÓGICOS ENVOLVIDOS NO BALANÇO HÍDRICO DO SOLO

O monitoramento dos processos hidrológicos envolvidos no balanço hídrico do solo foi realizado de forma automatizada e contínua, sendo os valores registrados em intervalos de tempo de 10 minutos, armazenados em datalogger. Devido a distante localização da área de instalação dos equipamentos, semanalmente os dados eram coletados com auxílio de um computador portátil e posteriormente transferidos o banco de dados hidrológicos – BDGHidros (Beling *et al.*, 2009), desenvolvido pelo departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Federal de Santa Maria. As variáveis de entrada (precipitação pluviométrica) e saídas (escoamento superficial e a drenagem) de água no solo foram monitorados por meio de pluviógrafos eletrônicos de balança. Já o monitoramento do conteúdo de água no solo foi realizado por meio de tensiômetros eletrônicos com transdutor de pressão, instalados nas profundidades de 10, 30 e 70 cm. Os valores de tensão obtidos dos tensiômetros foram transformados em conteúdo volumétrico de água no solo com base nas curvas de retenção obtidas em laboratório para cada uma das profundidades consideradas, seguindo o modelo de Van Genuchten (1980) (eq. 1). O armazenamento de água no solo foi obtido dividindo-se o perfil de solo em camadas compreendidas entre 0-20 cm, 20-50 cm e 50-100 cm, em função das profundidades de instalação dos tensiômetros, sendo o armazenamento total de água no solo determinado pela soma dos armazenamentos em cada camada de solo considerada, integrando os valores de conteúdo de água no solo com a respectiva espessura da camada de solo (eq. 2):

$$\theta = \theta_r + \frac{(\theta_s - \theta_r)}{[1 + (\alpha \Psi_m)^n]^m} \quad (1)$$

$$A = \int_0^L \theta dz \cong \sum \theta \Delta z = \theta L \quad (2)$$

Sendo: θ = conteúdo volumétrico de água no solo ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$); θ_r = conteúdo volumétrico de água residual do solo ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$); θ_s = conteúdo volumétrico de água na saturação do solo ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$); Ψ_m = potencial matricial ou tensão de água no solo (kPa); α , n e m = parâmetros de ajuste ou coeficientes empíricos sendo que ($m=1 - (1/n)$); A = armazenamento (mm); θ = conteúdo volumétrico de água no solo ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$) e L = profundidade do solo considerada (mm).

O balanço hídrico para o volume de solo contido nos lisímetros foi realizado utilizando-se a equação de continuidade de massa (eq. 3), sendo a evapotranspiração real obtida pela diferença entre as entradas e saídas de água do perfil:

$$ET = P - D - ES \pm \Delta A \quad (3)$$

Sendo: ET = evapotranspiração real (mm); P = precipitação pluviométrica (mm), D = drenagem profunda (mm); ES = escoamento superficial (mm) e ΔA = variação do armazenamento (mm).

RESULTADOS OBTIDOS

O comportamento das variáveis hidrológicas monitoradas nos lisímetros é bastante variável, sendo função principalmente do conteúdo inicial de água no solo, da intensidade e do tempo de duração da precipitação, além da época do ano considerada. A título de exemplo, selecionou-se um evento para cada lisímetro, procurando demonstrar o funcionamento e a eficácia do sistema lisimétrico descrito, com relação ao monitoramento das entradas e saídas de água no perfil do solo.

A Figura 4 apresenta os valores de tensão de água no solo e respectivos volumes de drenagem e escoamento superficial, registrados em função da precipitação, em cada lisímetro, gerados a partir do banco de dados hidrológicos – BDGHídros. Os resultados preliminares obtidos neste estudo estão de acordo com aqueles obtidos por Oliveira (2010), Pinheiro (2010) e Feltrin (2011), que realizaram estudos semelhantes utilizando lisímetros de drenagem confeccionados pelo Instituto de Pesquisas Hidráulicas (IPH/UFRGS), compostos de chapas de acrílico, de formato quadrado e com mesma capacidade de volume.

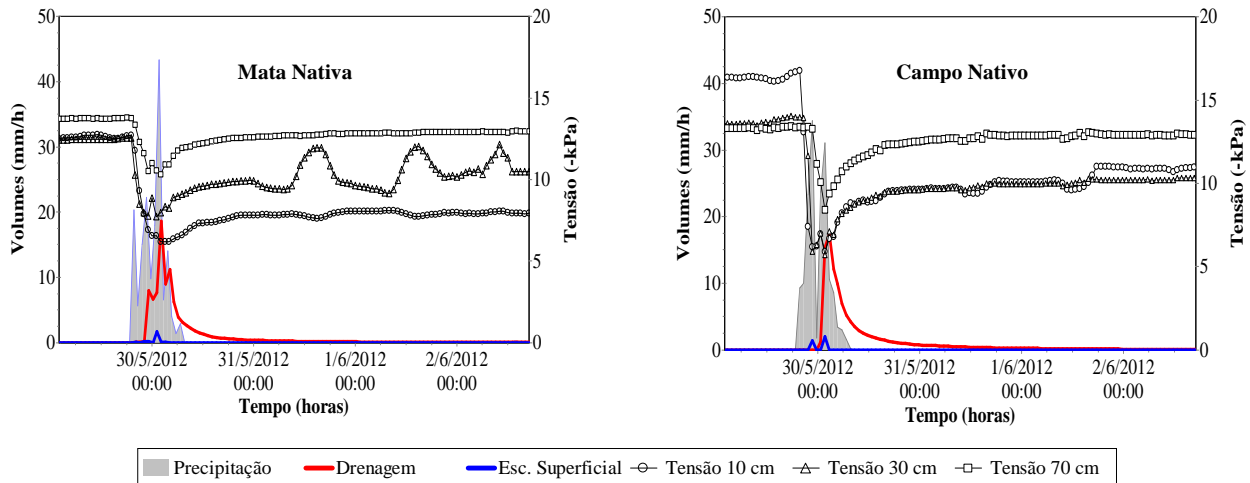


Figura 4 – Variáveis hidrológicas monitoradas nos lisímetros instalados em área de mata nativa e campo nativo.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise dos gráficos gerados permite concluir que os referidos equipamentos tem a capacidade de representar de forma detalhada o comportamento das principais variáveis envolvidas no balanço hídrico do solo, permitindo uma melhor compreensão dos processos hidrológicos do solo. Apesar da metodologia utilizada para a extração do bloco de solo contido no lisímetro ser trabalhosa, a principal vantagem da técnica empregada é a possibilidade da obtenção de um volume de solo com estrutura indeformada, preservando as características físicas originais do solo e levando a uma representação mais fiel a realidade. Por fim, cabe aqui ressaltar que a automatização do sistema de coleta e armazenamento de dados, facilita o monitoramento das entradas e saídas de água do interior do lisímetro, dispensando a necessidade da presença de um observador em tempo integral junto ao equipamento, situação esta de extrema importância em experimentos conduzidos a campo ou locais distantes e que não permitem o acesso constante do pesquisador.

AGRADECIMENTOS

Ao MCT/FINEP/CT-HIDRO, CNPq e a CAPES pelo apoio financeiro através do projeto Climasul e bolsa de estudos e ao Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental e Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Santa Maria, pelo suporte.

REFERÊNCIAS

BELING, F.A.; DOMINGUES, R.; PAIVA, J. B. D. (2009). BDGHídros: Software de gestão de dados hidrológicos. In *Anais do XVIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*, Campo Grande, Nov. 2009, 12p.

- BRUTSAERT W. (2005). Hydrology - An Introduction. Cambridge University Press: Cambridge, UK; 605p.
- CAMARGO, A.P. (1962). Contribuição para a determinação da evapotranspiração potencial no Estado de São Paulo. *Bragantina*, Campinas. 21: 163–203.
- CAMPECHE, L.F.M.S.; NETTO, A.O.A.; SOUSA, I.F.; FACCIOLI, G.G.; SILVA, V.P.R.; AZEVEDO, P.V. (2011). Lisímetro de pesagem de grande porte: desenvolvimento e calibração. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*. vol.15, n.5, pp. 519-525.
- FARIA, R.T.; CAMPECHE, F.S.M.; CHIBANA, E.Y. (2006). Construção e calibração de lisímetros de alta precisão. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*. v.10, n.1, p.237–242.
- FELTRIN, R. M. (2009). Comportamento das variáveis hidrológicas do balanço hídrico do solo em lisímetros de drenagem. Dissertação de mestrado. Programa de pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Maria. 94 p.
- FELTRIN, R.M.; PAIVA, J.B.D.; PAIVA, E.M.C.D.; BELING, F. A. (2011). Lysimeter soil water balance evaluation for an experiment developed in the Southern Brazilian Atlantic Forest region. *Hydrological Processes*. 25: 2321–2328.
- MEDEIROS, P. V. (2008). Análise da evapotranspiração de referencia a partir de medidas lisimétricas e ajuste estatístico de estimativas de nove equações empírico-teóricas com base na equação de Penman-Monteith. Dissertação de mestrado. Escola de Engenharia de São Carlos – USP, São Carlos. 241 p.
- MEISSNER, R.; SEYFARTH, M. (2004). Measuring water and solute balance with new lysimeter techniques. SuperSoil 2004: 3rd Australian New Zealand Soils Conference. Sydney, Australia. 8p.
- OLIVEIRA, N.T. (2006). Influência da palha no balanço hídrico em lisímetros. Dissertação de mestrado. Instituto de Pesquisas Hidráulicas – UFRGS. Porto Alegre. 88p.
- OLIVEIRA, N. T. ; CASTRO, N. M. R. ; GOLDENFUM, J. A. (2010). Influência da Palha no balanço hídrico em lisímetros. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 15, p. 93-103.
- PINHEIRO, A.; KAUFMANN, V.; ZUCCO, E.; DEPINÉ, H.; CASTRO, N.M.R.; SOARES, P.A.; PERAZZOLI, M. (2010). Avaliação das variáveis hidrológicas do balanço hídrico em área agrícola com cultivo de milho (*Zea mays*) através de uso de lisímetro. *Revista de estudos ambientais (Online)* v.12, n. 1. p. 73-81.
- VAN GENUCHTEN, M.T. (1980). A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. *Soil Science Society of American Journal*, Madison, v.44, n.5, p.892-8.