

Avaliação do desempenho de um minilísímetro com lençol freático constante operando com Irrigâmetro[®] modificado na medição da evapotranspiração de referência

Evaluation of minilysimeters performance with constant phreatic level operated with Irrigâmetro[®] modified on reference evapotranspiration

F.J. Valbuena Materán¹, R.A. de Oliveira², C. Tagliaferre³, P.R. Cecon⁴, G.Ch. Sediyaama² e H.E. Prieto Martinez⁵

¹Departamento de Engenharia de Solos e Águas, Faculdade de Agronomia. Universidad del Zulia, Maracaibo, Venezuela.

²Departamento de Engenharia agrícola. Universidade Federal de Viçosa Minas Gerais, Brasil.

³Departamento de Engenharia agrícola. Universidade Federal de Bahia, Santos, Brasil.

⁴Departamento de Informatica. Universidade Federal de Viçosa Minas Gerais, Brasil.

⁵Departamento de Fitotecnia. Universidade Federal de Viçosa Minas Gerais, Brasil.

Resumo

Este trabalho foi desenvolvido na Unidade de Pesquisa do Irrigâmetro[®], pertencente a Universidade Federal de Viçosa, na Viçosa, Estado de Minas Gerais, Brasil. Dois experimentos foram conduzidos com grama-batatais (*Paspalum Notatum* Flugge), sendo um com minilísímetros e outro com lisímetros, ambos com lençol freático constante e operando com Irrigâmetro[®]. Os tratamentos foram constituídos por quatro níveis freáticos (15, 20, 25 e 30 cm de profundidade), estabelecidos nos minilísímetros (M15, M20, M25 e M30), com quatro repetições. No experimento com os lisímetros, os mesmos tratamentos foram aplicados (L15, L20, L25 e L30), com três repetições. Em ambos os experimentos, utilizou-se o delineamento experimental inteiramente casualizado. Objetivou-se, no presente trabalho, medir a evapotranspiração de referência (ET_o), utilizando minilísímetros operando com Irrigâmetro[®] com nível freático constante estabelecido em quatro profundidades, bem como avaliar o efeito dos tratamentos no seu desempenho em relação ao lisímetro com lençol freático constante, também operando com

Recibido el 9-6-2008 • Aceptado el 10-5-2010.

Autor de correspondencia e-mail: franklinvalb@yahoo.com

Irrigâmetro®. Os dados foram coletados todos os dias e analisados estatisticamente. Os métodos L15, L20 e M30 apresentaram bom desempenho. Nos minilísímetros ocorreu maior consumo de água pela grama-batatais, por causa do efeito buquê e principalmente ao efeito varal e à maior exposição da cultura à radiação. O maior consumo de água nos minilísímetros e nos lisímetros ocorreu no nível freático de 15 cm, decrescendo com o aumento da profundidade, sendo esse efeito mais pronunciado nos minilísímetros. A bordadura utilizada nos minilísímetros como área-tampão não foi suficiente para evitar o efeito varal, ocasionando maior consumo de água ao verificado nos lisímetros.

Palavras-chave: Consumo hídrico, ETo, Irrigâmetro®, *Paspalum Notatum*, irrigação

Abstract

This research was accomplished in the research unit of the Irrigâmetro®, Department of Agricultural Engineering at Federal University of Viçosa, in Viçosa, Minas Gerais State, Brazil. Two experiments were carried out with the grass-batatais (*Paspalum notatum* Flugge), one of them used minilysimeters and the other one used lysimeters both with constant groundwater table and operating with modified Irrigâmetro®. The treatments include four constant groundwater tables (15, 20, 25 and 30 cm of dept), established in the minilysimeters (M15, M20, M25 and M30), with four replications; in the experiment with lysimeters, same treatments (L15, L20, L25 and L30) were applied with three repetitions, the research work in both experiments were design randomly. The purposes of this research were: to determine the reference evapotranspiration (ETo), by means of minilysimeters, with constant groundwater table and operating with Irrigâmetro®, as well as to evaluate its performance in relation to constant level lysimeter, also operate with Irrigâmetro® modified. The methods of L15, L20, and M30 showed a good performance in ETo determination. The highest water consumption occurred at 15 cm groundwater table, decreasing with depth, with this effect being most pronounced in the minilysimeters. The external cylinder was use like a borders in the minilysimeters, also we determined that the buffer-area was not sufficient to avoid the clothesline effect, leading a higher consumption of water in comparison with others constant level lysimeter.

Key words: Hydrical consumption, ETo, Irrigametro®, *Paspalum Notatum*, irrigation.

Introdução

A evapotranspiração pode ser definida como a quantidade de água evaporada e transpirada de uma superfície com vegetação durante determinado período. Pode também ser expressa em

Introduction

Evapotranspiration can be defined like the evaporated and transported water quantity from a surface with vegetation during certain period. It can be expressed

valores totais, médios, diários e horários, em volume por unidade de área ou em lâmina de água, em período predeterminado (Bernardo *et al.*, 2006).

O conhecimento e a quantificação do processo de evapotranspiração definem a quantidade de água necessária para as culturas, sendo, por isso, um parâmetro fundamental para o planejamento e manejo da irrigação (Sediyama, 1996). A determinação das necessidades hídricas das culturas é usualmente estimada com base nos valores da evapotranspiração de referência (ET_o).

Doorenbos e Pruitt (1977) definiram ET_o como a taxa de evapotranspiração de uma superfície extensa de grama de 8 a 15 cm de altura, uniforme, em ativo crescimento, sombreando completamente o solo sem limitação de água.

Smith (1991) propôs a adoção de uma definição padronizada para a evapotranspiração de referência. A ET_o seria aquela que ocorre em uma cultura hipotética, apresentando as seguintes características: altura de 12 cm, resistência de dossel de 69 s m⁻¹ e coeficiente de reflexão (albedo) de 0,23, que representaria a evapotranspiração de uma gramínea verde, de altura uniforme, em crescimento ativo, cobrindo totalmente a superfície do solo e sem estresse hídrico.

A evapotranspiração pode ser obtida por meio de medidas diretas, através da utilização do lisímetro. Segundo Aboukhaled *et al.* (1986), a palavra lisímetro é derivada do grego *lysis* e significa dissolução ou movimento, e *metron* significa mensurar. Os lisímetros são reservatórios

into total, middle, daily and hours values, in volume per area unit or in water depth, in a predetermined period (Bernardo *et al.*, 2006).

Knowledge and quantification of evapotranspiration process defines water quantity needed for crops, being therefore, an essential parameter to planning and irrigation management (Sediyama, 1997). Determination of hydric needs of crops is usually estimated based on values of reference evapotranspiration (ET_o).

Doorenbos and Pruitt (1977) defined ET_o like evapotranspiration rate of an extensive grass surface of 8-15 cm height, uniform, in growth, totally shadowed soil and without water limitation.

Smith (1991) proposed the adoption of a standard definition for reference evapotranspiration. The ET_o would be those that occurs on a hypohetic crop, showing the following characteristics: 12 cm height, resistance Canopy of 69 s m⁻¹ and a reflection coefficient of 0.23, that would represent evapotranspiration of a green grass, of uniform height, in active growth, totally covering soil surface and without hydric stress.

Evapotranspiration can be determined through measures, by using lysimeters. According to Aboukhaled *et al.* (1986), the lysimeter word is derived from Greek *lysis* and it means movement, and *metron* means to measure. The lysimeters are recipients having soil, installed in field, with surface covered by vegetation, for determination of evapotranspiration of a growing crop or a reference crop, also, of a surface without vegetation, to determine soil evaporation of the

cheios de solo localizados no campo, com superfície coberta por vegetação, para determinação da evapotranspiração de uma cultura em crescimento ou de uma cultura de referência ou, ainda, com superfície sem vegetação, para determinação da evaporação num solo descoberto. Para Bernardo *et al.* (2006) e Amorim (1998), o método do lisímetro é o mais preciso e considerado ainda instrumento-padrão para a determinação da evapotranspiração de referência (ET_o).

Segundo Aboukhaled *et al.* (1986) e Howell *et al.* (1991), os lisímetros utilizados em pesquisas de evapotranspiração usualmente podem ser agrupados em três categorias: (1) não-pesáveis com lençol freático de nível constante; (2) não-pesáveis com drenagem livre; e (3) lisímetros pesáveis, em que a variação de massa do sistema é determinada por um mecanismo de pesagem.

Nos lisímetros não-pesáveis com lençol freático de nível constante, o nível da água é mantido em determinada profundidade. Devido a evapotranspiração, a água é translocada até a zona radicular, por capilaridade. A descida do nível freático causado por esse deslocamento é automaticamente compensada por um mecanismo flutuador, sendo a quantidade de água necessária para repor esse nível, medida também automaticamente (Aboukhaled *et al.*, 1986).

A posição do lençol freático determina as condições de umidade da zona radicular e, portanto, influi no suprimento de água e na aeração do solo. Assim, lençóis freáticos superficiais contribuem para uma

uncovered soil. Bernardo *et al.* (2006) and Amorim (1998), consider the lysimeter method like precise and considered, instrument-standard to determine the reference evapotranspiration (ET_o).

Howell *et al.* (1991) and Aboukhaled *et al.* (1977), established that lysimeters used in evapotranspiration research can be grouped in three categories: (1) with phreatic plane of constant level; (2) with free drainage; and (3) lysimeters, where variation of system mass is determined by a weight mechanism.

In lysimeters with constant phreatic level, the water level is kept in determined depth. Evapotranspiration water is transported by capillarity until root zone. The decrease of phreatic level caused by this displacement is automatically compensated by a float mechanism, being the water quantity needed to replace this level, measured automatically (Aboukhaled *et al.*, 1986).

The position of phreatic level determines humidity conditions in root zone which have influence in water availability and soil aeration. Superficial phreatic levels cause a deficiency in aeration and restrict root system in soil superficial strata, limiting soil nutrients quantity available for plants (Williamsom, 1964; Grable, 1966; Follett *et al.* 1974; Chaudhary *et al.* 1975; Larcher, 2004; Taiz and Zeiger, 2004). However, phreatic levels excessively deep can cause hydric deficiencies, being responsible by reduction of productivity (Williamsom and Kriz, 1970).

Mañas and Valero (1993) and Aboukhaled *et al.*, (1986), an

deficiência na aeração e restringem o sistema radicular nas camadas superficiais do solo, limitando consideravelmente a quantidade de nutrientes do solo disponíveis às plantas (Williamsom, 1964; Grable, 1966; Follett *et al.* 1974; Chaudhary *et al.* 1975; Larcher, 2004; Taiz e Zeiger, 2004). No entanto, o rebaixamento excessivo do lençol freático poderá ocasionar deficiências hídricas, sendo responsáveis pela redução na produtividade (Williamsom e Kriz, 1970).

Segundo Mañas e Valero (1993) e Aboukhaled *et al.* (1986), uma limitação importante quanto ao uso dos lisímetros com nível freático constante está associada aos problemas freqüentes com os flutuadores e o desnível dos dispositivos de leitura-alimentação, interferindo diretamente nas medidas de evapotranspiração.

Em relação à área dos lisímetros, Aboukhaled *et al.* (1986) afirmaram que a evapotranspiração medida em lisímetros de área reduzida (0,27 m²) apresentam grandes erros e desvios (10 a 20%). Porém, com lisímetros de área de 4 m², obtêm-se valores de evapotranspiração confiáveis e válidos para períodos de 10 dias. Howell *et al.* (1991) afirmaram que a forma e área do lisímetro devem ser definidas a partir do tipo de cultura a ser utilizada, principalmente em função da dimensão do seu sistema radicular. No caso da grama ou da alfafa, a área do lisímetro não apresenta nenhum efeito crítico sobre a medida da evapotranspiração. Contudo, os lisímetros comumente utilizados caracterizam-se por ser volumosos e pesados, limitando seu uso a um só local, razão pela qual a grande

important limitation in relation to the use of lysimeters is associated to frequent problems with floats and irregularity of reading-supply advices, having a direct interference in measures of evapotranspiration.

Drainage lysimeter consist of a tank buried in soil having a pipes network in bottom, carrying drainage water until a measurement recipient. The reference evapotranspiration determined, can be expressed in terms of weekly, fortnightly or monthly values (Bernardo *et al.*, 2006). Weight lysimeters are constituted of an impermeable box where a charge cell is installed, with the purpose of measuring its weight variation, obtaining evapotranspiration. The higher disadvantage of weight lysimeter is the high cost limiting its use on agricultural activity and in research.

In relation to lysimeters area, Aboukhaled *et al.*, (1986) reported that evapotranspiration measured in lysimeters with reduced area (0.27 m²) shown big mistakes and detours (10-20%). On the other hand, lysimeters with an area of 4 m² permit to obtain reliable and valid evapotranspiration values for periods of 10 days. Howell *et al.*, (1991) expressed that the way and area of lysimeter have to be defined from type of crop to be used, especially as a function of root system dimension. In case of grass or height, the area of lysimeter does not cause any critical effect on evapotranspiration measure. However, lysimeters commonly used are characterized by being of high volume and weighed, by limiting its use to the place to be installed, for this reason; the most of producers reject

maioria dos produtores rejeita esses métodos, sendo utilizados exclusivamente em pesquisas.

O objetivo deste trabalho foi avaliar o desempenho do minilísimetro operando com Irrigâmetro®, na medição da evapotranspiração de referência (ET_o), mantendo-se o nível freático constante nas profundidades de 15, 20, 25 e 30 cm.

Material e métodos

O presente estudo foi conduzido na Unidade de Pesquisa e Desenvolvimento do Irrigâmetro®, pertencente ao Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa, localizada na cidade de Viçosa, MG, com 20° 45' de latitude sul, 42° 45' de longitude oeste e altitude de 651 m. A temperatura média anual de Viçosa é de 19°C. A umidade relativa do ar é, em média, de 80% e a precipitação média anual, 1.341 mm, com estações seca e chuvosa bem definidas. O clima da região é do tipo Cwa, segundo a classificação climática proposta por Köeppen, isto é, subtropical, com inverno seco.

Delineamento experimental e tratamentos

Dois experimentos foram conduzidos com grama-batatais (*Paspalum Notatum* Flugge), sendo um com minilísimetros e outro com lisímetros, ambos com lençol freático constante e operando com Irrigâmetro® modificado. Os tratamentos foram constituídos por quatro níveis freáticos (15, 20, 25 e 30 cm de profundidade), estabelecidos nos minilísimetros (M15, M20, M25 e M30), com quatro repetições. No experimento com os

this method, being exclusively used to do scientific researches.

The purpose of this research was to evaluate performance of minilysimeter operating with Irrigâmetro® modified in measurement of reference evapotranspiration (ET_o), keeping the constant phreatic level in depths of 15, 20, 25 and 30 cm in relation to lysimeter of constant phreatic level operating with Irrigâmetro®.

Materials and methods

This research was carried out at the Unidad de Investigación and Desarrollo of Irrigâmetro®, perteneciente al Departamento de Ingeniería Agrícola de la Universidad Federal de Viçosa, located in Viçosa, MG (Brazil), with 20° 45' of south latitude, 42° 45' west length and altitude of 651 m. Mean annual temperature is 19°C. Mean relative humidity is 80% and mean annual rainfall of 1.341 mm, with well defined dry and rainy stations. Climate of region is type Cwa, according to climatic classification proposed by Köeppen, subtropical, with dry winter.

Experimental arrangement and treatments

The experimental design was totally randomized. Treatments were formed by four constant phreatic levels, established in minilysimeters, equal to 15, 20, 25 and 30 cm depth (M15, M20, M25 and M30), with four replications. In lysimeters essay, same treatments were applied (L15, L20, L25 and L30), with three replications.

lisímetros, os mesmos tratamentos foram aplicados (L15, L20, L25 e L30), com três repetições. Em ambos os experimentos, utilizou-se o delineamento experimental inteiramente casualizado.

Descrição do minilímetro operando com Irrigâmetro®

O minilímetro foi construído com tubo de PVC de 60 cm de altura e 450 mm de diâmetro, dentro do qual foi instalado, de maneira concêntrica, outro tubo de PVC, de mesma altura e 250 mm de diâmetro, com área interna de 0,0468 m², no qual foi feito o controle da água consumida pela grama-batatais (figura 1). O minilímetro foi assentado sobre um estrado de madeira com 15 cm de altura e coberto com uma telha transparente de fibra de vidro, com espessura de 2 mm, localizada 50 cm acima da sua borda.

Uma mangueira de polietileno de 20 mm conectou o fundo do cilindro interno com o Irrigâmetro® modificado, construído com tubo de PVC de 75 mm de diâmetro e 1 m de altura. O Irrigâmetro® modificado usa o princípio de Mariotte, tendo sido usado para manter o nível freático constante no minilímetro, fazendo a reposição da água e fornecendo diretamente o valor da lâmina evapotranspirada. A água deslocada no Irrigâmetro® modificado foi quantificada por meio de régua milimétrica, sendo a sensibilidade de leitura igual a 0,086 mm, definida pela relação entre as áreas da seção transversal do tubo de alimentação do Irrigâmetro® modificado e do cilindro interno do minilímetro.

No preenchimento dos minilímetros foi colocada inicialmente

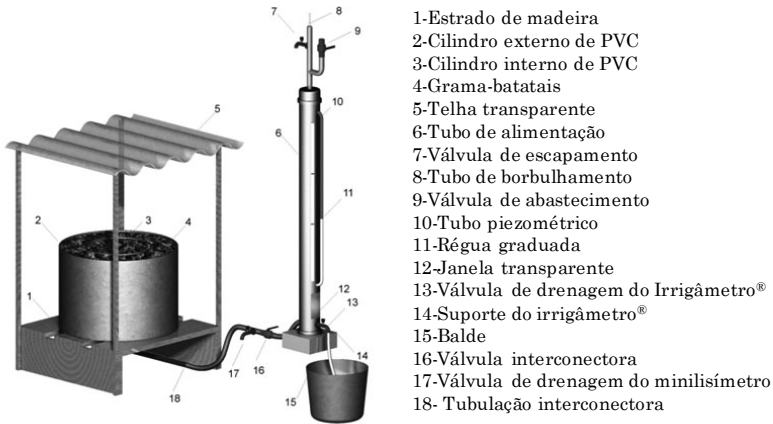
Description of minilysimeters operating with Irrigâmetro®

The minilysimeter was done by using a PVC pipe of 60 cm height, 450 mm diameter, placing in concentric way other PVC pipe inside, same height and 250 mm diameter, with internal area of 0.0468 m², where consumed water control by "lengua de vaca" grass (figure 1). Minilysimeters were placed on a wood base of 15 cm height and covered with a transparent layer of glass fiber of 2 mm, located at 50 cm over the border.

One polyethylene hose of 20 mm connected internal cylinder bottom to Irrigâmetro® modified, constructed with PVC pipe of 75 mm diameter and 1 m height. The Irrigâmetro® modified use the Mariotte principle, being used to sep the constant phreatic level in minilysimeters, by replacing water and offering value of evapotranspiration depth. Displaced water in Irrigâmetro® modified was quantified through a millimetric rule, being sensibility of reading equal to 0.086 mm, defined by relationship between areas of transversal section of Irrigâmetro® modified supply and of internal cylinder of minilysimeters.

In minilysimeters fill was initially placed, a layer of gravel 0, thick of 5 cm, and other layer of 5 cm graves was superimposed on it, followed by a layer of 45 cm of substrate of sand with granulometry between 0.104 and 1 mm. The granulometric analysis was accomplished in laboratory of soil physics of Soils Department, Universidade Federal de Viçosa; these results are shown in table 1.

Lysimeter description with constant phreatic level operated with Irrigâmetro® modified.



- 1-Estrado de madeira
- 2-Cilindro externo de PVC
- 3-Cilindro interno de PVC
- 4-Grama-bataiais
- 5-Telha transparente
- 6-Tubo de alimentação
- 7-Válvula de escapamento
- 8-Tubo de borbulhamento
- 9-Válvula de abastecimento
- 10-Tubo piezométrico
- 11-Régua graduada
- 12-Janela transparente
- 13-Válvula de drenagem do Irrigâmetro®
- 14-Suporte do irrigâmetro®
- 15-Balde
- 16-Válvula interconectora
- 17-Válvula de drenagem do minilissimetro
- 18- Tubulação interconectora

Figura 1. Partes constituintes do minilissimetro com lençol freático constante e do Irrigâmetro® modificado.

Figure 1. Parts of minilysimeters with constant phreatic constant level and modified Irrigâmetro®.

uma camada de brita 0, com espessura de 5 cm, sobre a qual foi sobreposta uma camada de 5 cm de brita 1, acima da qual foi colocada uma camada de 45 cm de substrato de areia com granulometria entre 0,104 e 1 mm. A análise granulométrica da areia foi realizada no Laboratório de Física de Solo do Departamento de Solos da Universidade Federal de Viçosa, cujos resultados são apresentados no quadro 1.

Descrição do lisímetro com nível freático constante operando com Irrigâmetro® modificado

Os lisímetros foram construídos com caixas de cimento-amianto (figura 2), com as seguintes dimensões: 1,10 m de largura, 1,60 m de comprimento e 0,70 m de profundidade, apresentando uma área interna de 1,6845 m². Na instalação dos lisímetros, as bordas das caixas ficaram 5 cm acima da superfície do solo. No fundo de cada lisímetro foi construída uma rede de

Lysimeters were constructed using cement-asbestos boxes (figure 2), with following dimensions: 1.10 m width, 1.60 m length and 0.70 m depth, showing an internal area of 1.6845 m². In lysimeters installation, the borders of boxes rest at 5 cm above soil surface. At each lysimeter bottom a distribution network was constituted by three PVC pipes of 20 mm.

Each lysimeter was connected to an Irrigâmetro® modified through a PVC pipe of 20 mm. The Irrigâmetro® modified was constructed with a PVC supply pipe, with diameter of 200 mm and 1 m height. The Irrigâmetro® modified use the Mariotte principle, it have been used to keep constant phreatic level in lysimeter, replacing water and directly supplying the value of evapotranspiration depth. Displaced water in Irrigâmetro® modified was quantified through millimetric rule,

Quadro 1. Distribuição granulométrica do substrato de areia.

Table 1. Granulometric distribution of sand substrate.

Granulometria				Massa específica (g cm ⁻³)	
Areia grossa	Areia Fina	Silte	Argila	Partículas	Solo
93	4	0	3	2,85	1,50

distribuição constituída de três tubos de PVC de 20 mm.

Cada lisímetro foi conectado a um Irrigâmetro[®] modificado através de uma tubulação de PVC de 20 mm. O Irrigâmetro[®] modificado foi construído com um tubo de alimentação de PVC com diâmetro de 200 mm e 1 m de altura, o qual utiliza o princípio de Mariotte, tendo sido usado para manter o nível freático constante no minilísímetro, fazendo a reposição da água e fornecendo diretamente o valor da lamina evapotranspirada. A água

being sensitivity of reading equal to 0.01 mm, defined by relation between the areas of transversal section of supply pipe of Irrigâmetro[®] modified and of transversal section of lysimeter.

In lysimeters filled was first placed a layer of gravel 0, of 5 cm height, followed by other layer of gravel 1, of 7 cm height and above this, a substrate of sand with granulometry between 0.104 and 1 mm was placed. The granulometric analysis of sand was done in Laboratory of Soil Physics, Soils Department, Universidade

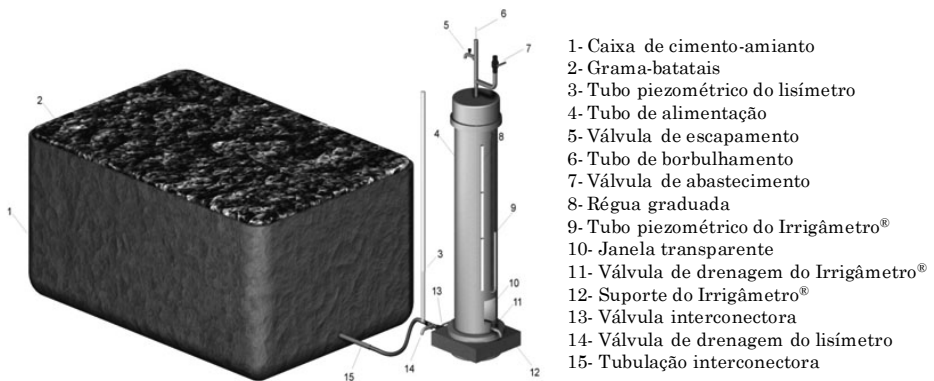


Figura 2. Partes constituintes do lisímetro com lençol freático constante e do Irrigâmetro[®] modificado.

Figure 2. Parts of lysimeter with constant phreatic level and modified Irrigâmetro[®].

deslocada no Irrigâmetro® modificado foi quantificada por meio de régua milimétrica, sendo a sensibilidade de leitura igual a 0,01 mm, definida pela relação entre as áreas da seção transversal do tubo de alimentação do Irrigâmetro® modificado e da seção transversal do lisímetro.

No preenchimento dos lisímetros foi colocada inicialmente uma camada de brita 0, de 5 cm de altura, seguida de outra camada de brita 1, de 7 cm de altura, acima da qual foi colocado um substrato de areia com granulometria entre 0,104 e 1 mm. A análise granulométrica da areia foi realizada no Laboratório de Física do Solo do Departamento de Solos da Universidade Federal de Viçosa, cujos resultados são apresentados no quadro 1.

Condução do experimento

O trabalho foi desenvolvido durante o período compreendido entre julho e dezembro de 2005. Dentro e ao redor dos minilísimetros e dos lisímetros com lençol freático constante operando com Irrigâmetro® modificado foi cultivada com grama-bataiais (*Paspalum notatum* Flugge). Os minilísimetros e lisímetros de lençol freático constante foram abastecidos com solução nutritiva inicial, descrita no quadro 2, até atingir os níveis freáticos estabelecidos, sendo o reabastecimento feito com a solução nutritiva descrita no quadro 3. Tanto a solução nutritiva inicial quanto a de reabastecimento foram formuladas de acordo com Martinez e Silva (2004), Silva (2004) e Ruiz (1997).

O pH e a condutividade elétrica da solução nutritiva de cada minilísimetro e lisímetro com lençol freático constante foram medidos em três profundida-

Federal de Viçosa; these results are shown in table 1.

Experiment conduction

Inside and around of lysimeters was sowed with "lengua de vaca" (*Paspalum notatum* Flugge) grass. Lysimeters of constant phreatic level were supplied with initial nutritive solution, described in table 2, until reaching established phreatic levels. Replenishment was done with described nutritive solution in table 3, both initial nutritive solution replenishment were formulated according to Martinez and Silva (2004), Silva (2004) and Ruiz (1997). pH and electrical conductivity of nutritive solution of each lysimeter operating with Irrigâmetro® modified were measured in three depths (in bottom, in middle height and closed to surface of phreatic level) twice weekly, during this research. pH was kept closed to 7 with the use of chlorhydric acid 10% v/v to avoid substrate alkalinizing. The electrical conductivity of solution inside lysimeters was kept between 630 and 1.000 $\mu\text{S cm}^{-1}$, adjusting concentrations of macro and micronutrients of replenishment nutritive solution to avoid manifestations of nutrients deficiency in grass.

Total vegetation container each of minilysimeter and lysimeter, both with constant phreatic level was pruning anytime reached 15 cm height. For this purpose, a metal support was adapted to a scissor looking for the cut would be uniform at 8 cm height, being done 10 pruning during experimental period.

The evapotranspiration measurement occurred in lysimeters was daily done in the Irrigâmetro® modified at nine in morning.

Quadro 2. Fontes de nutrientes utilizadas para compor a solução nutritiva inicial, empregada nos minilísimetros e lisímetros de lençol freático constante operando com Irrigâmetro® modificado.

Table 2. Nutrients resources used to compose initial nutritive solution, used in lysimeters of constant phreatic level operating with modified Irrigâmetro®.

Sal	mg L ⁻¹	Sal	g L ⁻¹
H ₃ BO ₃	1,24	Ca(NO ₃) ₂	0,519
CuSO ₄	0,20	KNO ₃	0,202
MnSO ₄	2,53	NH ₄ NO ₃	0,064
(NH ₄) ₆ MO ₇ O ₂₄	0,09	MgSO ₄	0,246
ZnSO ₄	0,57	NH ₄ H ₂ PO ₄	0,115
FeCl ₃	10,81	CaCO ₃	0,300
Na ₂ EDTA	14,89		

Quadro 3. Conjuntos de fontes de nutrientes (g L⁻¹) utilizados para compor a solução nutritiva empregada no reabastecimento dos minilísimetros e lisímetros de lençol freático constante operando com Irrigâmetro® modificado.

Table 3. Nutrient sources (g L⁻¹) used to compose nutritive solution used in lysimeters replenishment of constant phreatic level operating with modified Irrigâmetro®.

Sal	Conjunto 1		Sal	Conjunto 2	
	A	B		A	B
g L ⁻¹			g L ⁻¹		
H ₃ BO ₃	1,24		Ca(NO ₃) ₂	103,90	
CuSO ₄	0,20		KNO ₃	40,44	
MnSO ₄	2,53		NH ₄ NO ₃	12,80	
(NH ₄) ₆ MO ₇ O ₂₄	0,09		MgSO ₄		49,20
ZnSO ₄	0,57		NH ₄ H ₂ PO ₄		23,00
FeCl ₃		10,81			
Na ₂ EDTA		14,89			

des (no fundo, na altura mediana e próximo à superfície do lençol freático), duas vezes por semana, ao longo da pesquisa. O pH foi mantido próximo de 7 com o uso de ácido clorídrico 10% para evitar a alcalinização do substrato. A condutividade elétrica da solução no interior dos minilísímetros e lisímetros foi mantida entre 630 e 1.000 $\mu\text{S cm}^{-1}$, ajustando-se as concentrações dos macros e micronutrientes da solução nutritiva de reabastecimento para evitar deficiência de nutrientes na cultura.

A vegetação total contida em cada lisímetro e minilísímetro foi cortada sempre que atingia 15 cm de altura. Para isso, adaptou-se um suporte de metal a uma tesoura para que o corte fosse feito uniformemente a 8 cm de altura, sendo realizadas 10 podas durante o período experimental.

A medição da evapotranspiração ocorrida nos lisímetros e minilísímetros foi feita diretamente no Irrigâmetro[®] modificado, sendo realizada diariamente às nove horas da manhã.

Os elementos climáticos diários foram obtidos na Estação Climatológica Principal do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), localizada no campus da Universidade Federal de Viçosa, próximo à área experimental, em Viçosa, MG.

Durante a condução do experimento houve a presença de formigas cortadeiras de

Folhas dos gêneros *Atta* e *Acromyrmex*, e lagartas (*Spodoptera* spp.), as quais foram controladas com aplicações de deltametrina e clorpirifós etil.

Semanalmente foi feita a limpeza manual do gramado dentro e fora dos

Daily climatic elements obtained in the Principal Climatological Station of Instituto Nacional de Meteorología (INMET), located in campus of Universidade Federal de Viçosa, closed to the experimental area in Viçosa, MG.

During experiment conduction there was larvae (*Spodoptera* spp.) and ant presence, which were controlled with applications of deltamethrin and chlorpiriphos ethyl.

The manual clean of grass was weekly done inside and outside of lysimetric advices, to control invader plants, especially *Cyperus* spp.

Evaluation

The reference evapotranspiration (ET_o) determinations were done by using minilysimeters and lysimeters with constant phreatic level operating with Irrigâmetro[®].

Methodology used to evaluate performance of methods studied was proposed by Allen *et al.* (1989) and those adopted by Jensen *et al.*, (1990), which is based on Standard error and estimation (EPE), being considered the Penman-Monteith FAO 56 method as standard.

EPE is given by te following expression:

where:

(1)

EPE=Standard error of estimation, mm d⁻¹;

y=Reference evapotranspiration obtained by Standard method, mm d⁻¹;

w=Reference evapotranspiration estimated by each method used, mm d⁻¹;

n=Observations number

dispositivos lisimétricos, para controle de plantas invasoras, especialmente *Cyperus* spp.

Avaliação

As estimativas da evapotranspiração de referência (ET_o) foram medidas com o uso dos minilísimetros e lisímetros, ambos com lençol freático constante e operando com Irrigâmetro[®] modificado.

A metodologia utilizada para avaliação do desempenho do minilísimetro foi proposta por Allen *et al.* (1986) e adotada por Jensen *et al.* (1990), fundamentada no erro-padrão da estimativa (EPE) calculado pela equação:

$$EPE = \left(\frac{\sum_{i=1}^n (y - \hat{y})^2}{n-1} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (1)$$

em que:

EPE=erro-padrão da estimativa, mm d⁻¹;

y = evapotranspiração de referência determinada no lisímetro, mm d⁻¹;

w = evapotranspiração de referência determinada no minilísimetro, mm d⁻¹; e

n=número de observações.

A hierarquização das estimativas da evapotranspiração foi feita com base nos valores do erro-padrão da estimativa (EPE), do índice de concordância (d), do coeficiente de determinação (r²) e dos coeficientes (a) e (b) das respectivas regressões lineares. A melhor alternativa foi aquela que apresentou menor EPE, maior índice "d" e maior r. A precisão é dada pelo coeficiente de determinação que indica o grau de dispersão dos dados obtidos em relação

To hierarchize evapotranspiration, estimations base on values of Standard error of estimation (EPE), of concordance index "d", of determination coefficient (r²), of coefficients (a) and (b) of respective linear regressions were done. The best alternative will be those having the lower EPE, the higher "d" index and the higher r². Precision is given by determination coefficient showing dispersion degree of data obtained in relation to the mean, the at random error. The accuracy is related to the distance of estimated values in relation to those observed.

From the mathematical point of view, the accuracy is given by the adjustment concordance index, represented by letter "d" (Willmott *et al.*, 1985). The values of "d" index vary from zero, for complete dispersion between values and 1 for perfect concordance.

Index is given by the following expression:

where:

$$d = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^n [(P_i - O_i) + (O_i - \bar{O})]^2} \quad (2)$$

d = Index of concordance adjustment;

O_i=Reference evapotranspiration obtained by the Standard method, mm d⁻¹;

P_i=Reference evapotranspiration obtained by the rest of methods, mm d⁻¹; e

\hat{O} =Mean of ET_o values obtained by the Standard method, mm d⁻¹.

Analysis was done with daily data and middle 3, 5, 7 and 10 days of ET_o, during a period of 156 days.

à reta, ou seja, o erro aleatório. A exatidão está relacionada ao afastamento dos valores estimados em relação aos observados.

Matematicamente, a exatidão é dada pelo índice de concordância ou ajuste, representado pela letra "d" (Willmott *et al.*, 1985). A faixa de valores do índice d varia de zero para completa dispersão entre os valores e 1 para perfeita concordância.

O índice é dado pela seguinte expressão:

(2)

em que:

d= índice de concordância ou ajuste;

O_i=evapotranspiração de referência determinada no lisímetro, mm d⁻¹;

P_i=evapotranspiração de referência determinada no minilímetro, mm d⁻¹; e

Ô=média dos valores de ETo obtidos no lisímetro, mm d⁻¹.

A análise foi feita com dados diários e médios de 3, 5, 7 e 10 dias da ETo, durante um período de 156 dias.

Resultados e discussão

No quadro 4 estão apresentados os valores dos coeficientes a e b da regressão linear, do erro-padrão da estimativa (EPE), do índice de concordância (d), de determinação (r²) e a classificação (de acordo com seus desempenhos) para as comparações entre os métodos do lisímetro e do minilímetro nas diferentes profundidades freáticas, nos diversos períodos de tempo estudados.

Results and discussion

In table 4 coefficient values "a" and "b" of lineal regression, the estimation Standard error (EPE), the concordance index (d), the determination coefficient (r²) and the classification (according to performance) based on comparisons between lysimeter and minilysimeter methods in different phreatic depths, in different periods evaluated.

In table 4, it is possible to verify that lower values of EPE, occurred in all the periods studied at phreatic level of 30 cm and the higher values in phreatic level of 15 cm. The higher values of "d" index were in the higher phreatic depths, confirming that better concordance between ETo values measured in minilysimeters and lysimeters occurred at phreatic level of 30 cm and the lower concordance at phreatic level of 15 cm.

In relation to time periods studied data grouped in periods higher was in lower concordance values between ETo values measured in lysimeters and minilysimeters with constant phreatic levels.

In case of determination coefficient (r²), in table 4 it is possible to increase its values with the increase of period studied, because the low dispersion of data promoted by the ETo values grouping in superior periods.

In figures 3, 4, 5, 6 and 7 relations between ETo values obtained in lysimeters and minilysimeters operating with Irrigâmetro[®] modified in different phreatic levels, in daily periods, 3, 5, 7 and 10 days are observed, respectively. In these figures it is possible to verify that in all

Quadro 4. Valores do intercepto (a), coeficiente angular da equação de ajuste (b), do erro-padrão de estimativa (EPE), do índice de concordância (d), do coeficiente de determinação (r^2) e da classificação para as comparações entre os métodos do lisímetro e do minilímetro nas profundidades freáticas de 15, 20, 25 e 30 cm, nos períodos de tempo de 1, 3, 5, 7 e 10 dias.

Table 4. Intercept values (a), angular coefficient of adjustment equation (b), of estimation standard error (EPE), of concordance index (d), of determination coefficient (r^2) and classification of comparisons between lysimeter and minilysimeter methods in phreatic depths of 15, 20, 25 and 30 cm, in time periods of 1, 3, 5, 7 and 10 days.

Comparação	Valores diários					Classificação
	a	b	EPE	d	r^2	
	mm d ⁻¹					
L15 vs. M15	1,21	1,06	1,53	0,58	0,72	4
L20 vs. M20	1,12	1,00	1,30	0,62	0,74	3
L25 vs. M25	1,12	0,98	1,26	0,62	0,69	2
L30 vs. M30	0,99	0,93	1,11	0,65	0,63	1
Comparação	Período de 3 dias					Classificação
	a	b	EPE	d	r^2	
L15 vs. M15	1,17	1,08	1,48	0,53	0,75	4
L20 vs. M20	1,10	1,02	1,26	0,57	0,75	3
L25 vs. M25	1,13	0,98	1,21	0,57	0,69	2
L30 vs. M30	0,99	0,94	1,03	0,62	0,65	1
Comparação	Período de 5 dias					Classificação
	a	b	EPE	d	r^2	
L15 vs. M15	1,40	0,98	1,46	0,52	0,74	4
L20 vs. M20	1,29	0,94	1,24	0,56	0,73	3
L25 vs. M25	1,30	0,91	1,20	0,56	0,67	2
L30 vs. M30	0,00	1,14	1,01	0,62	0,65	1

*M15, M20, M25 e M30: lençol freático a 15, 20, 25 e 30 cm de profundidade

*L15, L20, L25 e L30: lençol freático a 15, 20, 25 e 30 cm de profundidade

Quadro 4. Valores do intercepto (a), coeficiente angular da equação de ajuste (b), do erro-padrão de estimativa (EPE), do índice de concordância (d), do coeficiente de determinação (r^2) e da classificação para as comparações entre os métodos do lisímetro e do minilímetro nas profundidades freáticas de 15, 20, 25 e 30 cm, nos períodos de tempo de 1, 3, 5, 7 e 10 dias (Continuou).

Table 4. Intercept values (a), angular coefficient of adjustment equation (b), of estimation standard error (EPE), of concordance index (d), of determination coefficient (r^2) and classification of comparisons between lysimeter and minilysimeter methods in phreatic depths of 15, 20, 25 and 30 cm, in time periods of 1, 3, 5, 7 and 10 days (Continuation).

Comparação	Valores diários					
	a	b	EPE	d	r^2	Classificação
	mm d ⁻¹					
Período de 7 dias						
L15 vs. M15	0,00	1,50	1,47	0,48	0,98	4
L20 vs. M20	0,00	1,41	1,25	0,52	0,97	3
L25 vs. M25	0,00	1,40	1,21	0,52	0,97	2
L30 vs. M30	0,00	1,31	1,02	0,58	0,97	1
Período de 10 dias						
Comparação	a	b	EPE	d	r^2	Classificação
L15 vs. M15	0,00	1,51	1,49	0,45	0,98	4
L20 vs. M20	0,00	1,42	1,27	0,49	0,98	3
L25 vs. M25	0,00	1,41	1,23	0,50	0,97	2
L30 vs. M30	0,00	1,32	1,03	0,57	0,97	1

*M15, M20, M25 e M30: lençol freático a 15, 20, 25 e 30 cm de profundidade

*L15, L20, L25 e L30: lençol freático a 15, 20, 25 e 30 cm de profundidade

No quadro 4, verifica-se que os menores valores de EPE, em todos os períodos estudados, ocorreram no nível freático de 30 cm e os maiores, no nível freático de 15 cm. Os mais altos valores do índice "d" foram nas maiores profundidades freáticas, confirmando que a melhor concordância entre os

time periods and phreatic levels studied occurs higher water consumption in minilysimeter in relation to lysimeters. This can be explained by conditions of higher exposition of minilysimeter to the wind action and radiation, because grass surface was positioned to 75 cm height

valores de ETo medidos no lisímetro e no minilímetro ocorreu no nível freático de 30 cm e a pior concordância no nível freático de 15 cm.

O agrupamento dos dados em períodos de tempo maiores resultou em menor concordância entre os valores de ETo medidos nos lisímetros e minilímetros com lençol freático constante.

No caso do coeficiente de determinação (r^2), pode-se observar, no quadro 4, incremento de seus valores com o aumento do período de estudo. Isso é resultante da menor dispersão dos dados promovida pelo agrupamento dos valores de ETo em períodos maiores.

Nas figuras 3, 4, 5, 6 e 7 estão apresentadas as relações entre os valores de ETo obtidas nos lisímetros e nos minilímetros operando com Irrigâmetro® modificado nos diferentes níveis freáticos, nos períodos diários e de 3, 5, 7 e 10 dias, respectivamente. Verificou-se, em todos os períodos e níveis freáticos estudados, maior consumo de água nos minilímetros em relação aos lisímetros. Esse fato pode ser explicado pelas condições de maior exposição da grama ao vento e à radiação, visto que a superfície da cultura ficou posicionada a 75 cm de altura. Isso evidencia que a bordadura oferecida pelo cilindro externo, desempenhando o papel de área-tampão, foi insuficiente para manter um microambiente que pudesse evitar o efeito varal.

Segundo Mañas e Valero (1993) e Allen e Pruitt (1991), a altura da grama na área efetiva dos lisímetros e na área circunvizinha deve ser homogênea, para evitar diferenças na evapotranspiração.

in relation to soil surface, which proves that border offered by external cylinder, with function is to serve as buffer area, was insufficient to keep a micro environment that would avoid the line clothesline effect.

According to Mañas and Valero (1993) and Allen and Pruitt. (1991), the grass height in effective area of lysimeters and in closed area have to be ser homogeneous, to avoid differences in evapotranspiration.

Differences in grass growth at interior of lysimeters in relation to the external area, especially when plants grown more at the interior, causes perturbation in horizontal air movement and to increase heat turbulence sensible of air on grass, resulting in a higher transpiration vegetation, also the intercept of incident solar radiation increases in a proportion that can achieve 40% (Sediyama, 1996).

Table 6 shows accumulated evapotranspiration values, in total period of time studied, of lysimeters and minilysimeter in different phreatic levels. The higher reduction of evapotranspiration in minilysimeter in comparison to lysimeters, likewise a higher percentage reduction of ETo in deeper phreatic levels, because the clothesline effect on evapotranspiration in minilysimeters decreased when depth of phreatic level increased, as a consequence of hydric potential reduction in substrate-plant system.

Dias-Espejo *et al.* (2005), evaluating minilysimeters of area exposed to 0.062 m² and soil with different humidity levels, subjected to advection conditions, observed an evapotranspiration lightly superior in

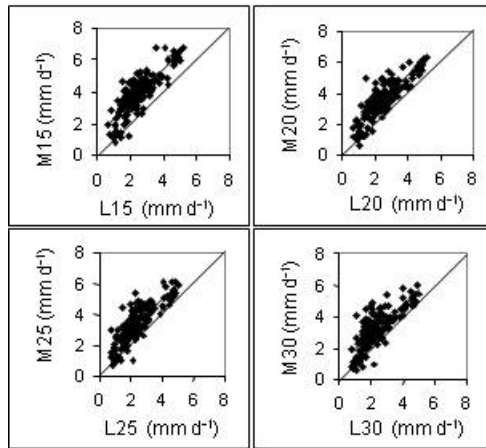


Figura 3. Relação entre a ETo determinada pelo método lisímetro e o milisímetros com nível freático constante a 15, 20, 25 e 30 cm, para valores diários da ETo.

Figure 3. Relation between ETo determined by lysimeters and minilymeters methods with constant phreatic level to 15, 20, 25 and 30 cm, for daily values at ETo.

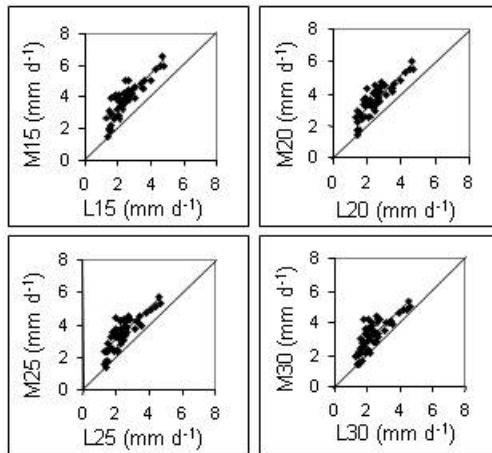


Figura 4. Relação entre a ETo determinada pelo método lisímetro e os milisímetros com nível freático constante a 15, 20, 25 e 30 cm, no período de três dias.

Figure 4. Relation between ETo determined by lysimeter and minilymeters methods with constant phreatic level at 15, 20, 25 and 30 cm, in three days period.

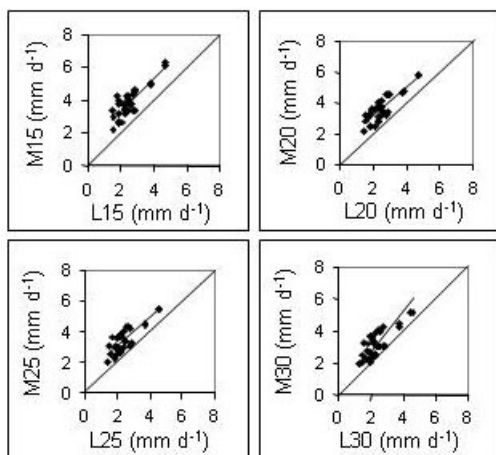


Figura 5. Relação entre a ETo determinada pelo método lisímetro e os milímetros com nível freático constante a 15, 20, 25 e 30 cm, no período de cinco dias.

Figure 5. Relation between ETo determined by lysimeter and minilysimeters methods with constant phreatic level at 15, 20, 25 and 30 cm, in five days period.

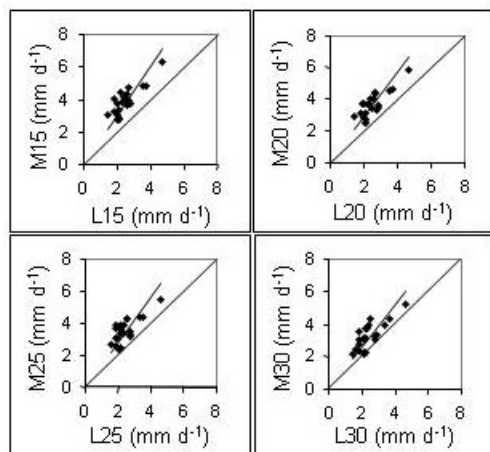


Figura 6. Relação entre a ETo determinada pelo método lisímetro e os milímetros com nível freático constante a 15, 20, 25 e 30 cm, no período de sete dias.

Figure 6. Relation between ETo determined by lysimeter and minilysimeters methods with constant phreatic level at 15, 20, 25 and 30 cm, in seven days period.

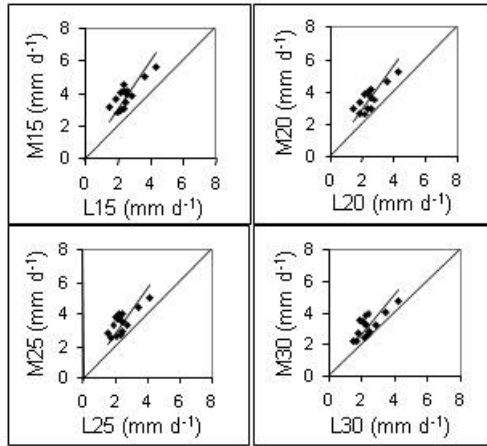


Figura 7. Relação entre a ETo determinada pelo método lisímetro e os milisímetros com nível freático constante a 15, 20, 25 e 30 cm, no período de 10 dias.

Figure 7. Relation between ETo determined by lysimeter and minilysimeters methods with constant phreatic level at 15, 20, 25 and 30 cm, in ten days period.

As diferenças em crescimento das culturas no interior dos lisímetros em relação à área externa, especialmente quando as plantas crescem mais no interior, provocam perturbação no movimento horizontal do ar e aumentam o grau de turbulência do calor sensível do ar sobre a cultura, resultando em maior transpiração da vegetação. A interceptação da radiação solar incidente aumenta numa proporção que pode chegar a 40% (Sediyama, 1996).

No quadro 5 encontram-se os valores de evapotranspiração acumulada, no período estudado, nos lisímetros e minilímetros dos diferentes níveis freáticos. Nesse quadro, observa-se maior redução porcentual da evapotranspiração ocorrida nos minilímetros comparativamente aos lisímetros, sendo que o efeito varal so-

minilímetros with higher humidity content, because an increase in latent heat consumption caused by advection.

An analysis of figures 3 to 7 and table 6 shows that the increase of phreatic depth causes a high reduction in water consumption of "lengua de vaca" grass planted in minilysimeters, comparatively to lysimeters, which permit to suppose that the use of minilysimeter can be viable with a better grass adjustment subdue to a higher depth of phreatic level, with the purpose of reducing the clothesline effect on evapotranspiration.

The minilysimeters performance observed in this research agree with the results of Allen and Fischer (1990), who found a super-estimation of 45% of ETo measured in weight lysimeters in relation to the Penman-Monteith method, which was attributed to grass

Quadro 5. Valores de evapotranspiração acumulada (ET) nos lisímetros (L) e minilímetros (M) nas diversas profundidades freáticas, durante o período experimental e a variação percentual entre eles.

Table 5. Accumulated evapotranspiration values of (ET) in lysimeters (L) and minilysimeters (M) in different phreatic depths, during experimental period and percentage variation among them.

Dispositivo	ET acumulada (mm)	Dispositivo	ET acumulada (mm)	Variação percentual (%)
L15	391,14	M15	604,34	54,51
L20	389,50	M20	567,43	45,68
L25	377,68	M25	545,10	44,33
L30	373,66	M30	505,61	35,31

bre a evapotranspiração nos minilímetros foi incrementado à medida que diminuiu a profundidade freática, devido ao maior potencial hídrico no sistema substrato-planta.

Dias-Espejo e Knight (2005), avaliando minilímetros de área exposta à evapotranspiração de 0,062 m², com regime de umidades diferentes e submetidos a condições de advecção, observaram uma evapotranspiração ligeiramente superior nos minilímetros com maior teor de água em relação aos de menor teor de umidade, devido a um incremento no consumo de calor latente ocasionado pela advecção, induzido por maior disponibilidade de umidade.

A análise conjunta das figuras 3 a 7 e do quadro 5 indicou que o aumento da profundidade freática acarreta maior redução no consumo de água da grama-batatais plantada nos minilímetros, comparativamente aos lisímetros. Isso indica que o uso do minilímetro pode ser viabilizado com melhor ajuste do gramado submetido

was 45 cm higher in comparison to hypothetic crop height (10 cm). Aboukhaled *et al.* (1986) reported increases closed to 10-30% of grass evapotranspiration kept 7 to 15 cm higher than those commonly used (10 cm), mainly attributing these results to the clothesline effect and to the higher incidence to the solar radiation on lysimeters.

Table 6 shows the accumulated evapotranspiration in period studied for Penman-Monteith FAO 56 (444.52 mm), M15 (604.34 mm), M20 (567.43 mm), M25 (545.10 mm), M30 (505.61 mm), L15 (391.14 mm), L20 (389.50 mm), L25 (377.68 mm) and L30 (373.66 mm) methods.

In table 6 shows that lysimeters sub-estimated evapotranspiration values in 12.0%, 12.4%, 15.0%, 15.9%, respectively. M15, M20, M25 and M30 methods over-estimated evapotranspiration values in 36.0%, 27.7%, 22.6%; and 13.7%, respectively.

In table 7, it is possible to detach a tendency of evapotranspiration

à maior profundidade freática, a fim de reduzir o efeito varal sobre a evapotranspiração.

O desempenho dos minilísímetros observado neste trabalho está de acordo com os resultados obtidos por Allen e Fischer (1990), que encontraram uma superestimação de 45% da ETo, medida em dois lisímetros de pesagem em relação ao método Penman-Monteith. Isso foi atribuído ao fato de a grama estar 45 cm mais alta em comparação com a altura da cultura hipotética (10 cm) adotada no método Penman-Monteith. Aboukhaled *et al.* (1986) relataram aumentos na ordem de 10% a 30% da evapotranspiração quando a grama foi mantida de 7 a 15 cm mais alta que a grama de referência (10 cm). Esses autores atribuíram esses resultados ao efeito varal e à maior incidência da radiação solar sobre os lisímetros.

No quadro 6, encontram-se a evapotranspiração acumulada no período de estudo para o método Penman-Monteith FAO 56 (444,52 mm), M15 (604,34 mm), M20 (567,43 mm), M25 (545,10 mm), M30 (505,61 mm), L15 (391,14 mm), L20 (389,50 mm), L25 (377,68 mm) e L30 (373,66 mm).

Observa-se, no quadro 6, que os lisímetros subestimaram os valores de evapotranspiração em 12,0%, 12,4%, 15,0%, 15,9%, respectivamente. Já os métodos M15, M20, M25 e M30 superestimaram os valores de evapotranspiração em 36,0%, 27,7%, 22,6%; e 13,7%, respectivamente.

No quadro 6, pode ser destacada uma tendência nos minilísímetros e lisímetros com lençol freático constante a uma diminuição da evapotranspiração, à medida que o nível da solução nutritiva

decrease on minilysimeters and lysimeters with constant phreatic level, when level of nutritive solution increases in relation to the surface.

According to Grassi (1993), when depth of phreatic level increases, the rate of water ascendant movement decreases, being inferior its contribution to the evapotranspiration process. Thus, the higher values of evapotranspiration for lower phreatic depths can be caused to high water content in substrate-plant system on lysimeters and minilysimeters, especially in phreatic level at 15 cm depth.

Conclusions

L15, L20 and M30 methods showed good performance.

In minilysimeters occurred higher water consumption by "lengua de vaca" grass, caused by bouquet effect and mainly by clothesline effect and by the higher exposition of grass to solar radiation.

Higher water consumption in minilysimeters and lysimeters occurred at phreatic level of 15 cm, decreasing when depth increased, being this effect more pronounced in minilysimeters.

The border used in minilysimeters like buffer area was not enough to avoid clothesline effect causing higher water consumption to those verified in lysimeters.

End of english version

Quadro 6. Valores de evapotranspiração acumulada, medidos e estimados, durante o período experimental.**Table 6. Accumulated evapotranspiration values, measured and estimated, during experimental period.**

Método	ET _o média mm d ⁻¹	ET _o acumulada mm	Variação percentual da ET _o
Penman-Monteith FAO 56	2,83	444,52	-
Minilísímetro M15*	3,85	604,34	36,0
Minilísímetro M20*	3,61	567,43	27,7
Minilísímetro M25*	3,47	545,10	22,6
Minilísímetro M30*	3,22	505,61	13,7
Lisímetro L15*	2,49	391,14	-12,0
Lisímetro L20*	2,48	389,50	-12,4
Lisímetro L25*	2,41	377,68	-15,0
Lisímetro L30*	2,38	373,66	-15,9

*M15, M20, M25 e M30: lençol freático a 15, 20, 25 e 30 cm de profundidade.

*L15, L20, L25 e L30: lençol freático a 15, 20, 25 e 30 cm de profundidade.

aumenta em relação à superfície. Segundo Grassi (1993), ao aumentar a profundidade do plano freático diminui a taxa de movimento ascendente da água, sendo menor seu aporte ao processo de evapotranspiração. Assim, os maiores valores de evapotranspiração nas menores profundidades freáticas podem ser devidos ao elevado teor de água no sistema substrato-planta nos minilísímetros e lisímetros, principalmente no nível freático a 15 cm de profundidade.

Conclusões

Os métodos L15, L20 e M30 apresentaram bom desempenho.

Nos minilísímetros ocorreu maior consumo de água pela grama-batatais, por causa do efeito buquê e principalmente do efeito varal e da maior exposição da cultura à radiação.

O maior consumo de água nos minilísímetros e nos lisímetros ocorreu no nível freático de 15 cm, decrescendo com o aumento da profundidade, sendo esse efeito mais pronunciado nos minilísímetros.

A bordadura utilizada nos minilísímetros como área-tampão não foi suficiente para evitar o efeito varal, ocasionando maior consumo de água ao verificado nos lisímetros.

Literatura citada

- Aboukhaled, A., A. Alfaro e M. Smith. 1986. Los lisímetros. Roma: FAO. 59 p. (FAO, Paper 39).
- Allen, R.G. A penman for all seasons. 1986. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, Logan, v. 112, n. 4, p. 758-772.
- Allen, R.G. e D.F. Fischer. 1990. Low-cost electronic weighing lysimeters.

- Transactions of the ASAE, Davis, v. 33, n. 6, p. 1823-1833.
- Allen, R.G. e W.O. Pruitt. 1991. Reference evapotranspiration factors. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, New York, v. 117, n. 5, p. 758-772.
- Amorim, M.C. 1998. Avaliação da eficácia do lisímetro de lençol freático constante, do tanque classe «A» e do modelo de Penman-Monteith (FAO) para estimativa da evapotranspiração de referência (ET_r). Dissertação Mestrado em Meteorologia Agrícola. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. Minas Gerais, Brasil. 56 p.
- Grassi, C.J. 1993. Fundamentos del riego. CIDIAT. Mérida, Venezuela. 408 p.
- Bernardo, S., A.A. Soares e E.CH. Mantovani. 2006. Manual de irrigação. 8a. ed. Viçosa, MG: Editora UFV, 611 p.
- Chaudhary, T.N., V.K. Bhatnagar e S.S. Phihar. 1975. Corn yield and nutrient uptake as affected by water table depth and soil submergence. *Agronomy Journal*. Mandan, v. 67, p. 745-9.
- Diaz-Espejo, A.V. e R. Knight. 2005. Illustration of micro-scale advection using grid-pattern mini-lysimeters. *Agricultural and Forest Meteorology*, Reading, v. 129, p. 39-52.
- Doorenbos, J. e W.O. Pruitt. 1977. Crop water requirement. Rome: FAO, 144 p. (FAO Irrigation and Drainage Paper, 24).
- Follet, R.F., R.R. Allmaras e G.S. Reichman. 1974. Distribution of corn roots cultivars to flooding. *Agronomy Journal*. Mandan, v.66, p. 288-92.
- Grable, A.R. 1966. Soil aeration and plant growth. *Advance Agronomy*. Grand Junction, v. 18: 57-106.
- Howell, T.A., A.D. Schneider e M.E. Jensen. 1991. History of lysimeter design and use for evapotranspiração. In: *Lysimeter for evapotranspiration and environment measurements*. New York: ASCE, p. 1-19.
- Jensen, M.E., R.D. Burman e R.G. Allen. 1990. *Evapotranspiration and irrigation water requirements*. New York: ASCE, 332 p.
- Larcher, W. 2004. *Ecofisiologia vegetal*. Trad. de PRADO, C. H. São Carlos; SP: Rima. 531 p.
- Mañas, F.M. e J.A. Valero. 1993. *Agronomía del riego*. Madrid, España: La Universidad de Castilla-La Mancha; Impr. Ediciones Mundi-Prensa, 732 p.
- Martinez, H.E. e J.B. Da Silva. 2004. *Introdução ao cultivo hidropônico de plantas*. 2. ed. Viçosa, MG: Editora UFV, 111 p.
- Ruiz, A.H. 1997. Relações molares de macronutrientes em tecidos vegetais como base para a formulação de soluções nutritivas. *Revista Ceres*, Viçosa, v. 44, n. 255, p. 533-546.
- Sediyama, G.C. 1996. *Evapotranspiração: Necessidade de água para as plantas cultivadas*. Brasília, ABEAS/UFV. 173p.
- Silva, D.F. 2004. Análises quantitativa e qualitativa do crescimento e desenvolvimento da grama-batatais e grama-esmeralda em diferentes lâminas de irrigação. Viçosa, MG: UFV/DEA, 48 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.
- Smith, M. 1991. Report on the expert consultation on revision of crop water requirements. Rome: FAO, 45 p.
- Taiz, L. e E. Zeiger. 2004. *Fisiologia vegetal*. Trad. SANTARÉM, R. E. 3. ed. Porto Alegre: Artemed, 719 p.
- Williamson, R.E. 1964. The effect of root aeration on plant growth. *Soil Sci. Soc. Proc. Raleigh*, v. 28, p. 86-90.
- Williamson, R.E. e G.J. Kriz. 1970. Response of agricultural crops to flooding, depth of water, and gaseous composition. *Transactions of the ASAE*, Raleigh, v. 13, n.1, p. 216-20.
- Willmott, C.J., S.G. Ackleson, R.E. Davis, J.J. Feddema, K.M. Klink, D.R. Legates, J. O'donnell, e C. M. Rowe. 1985. Statistics for evaluation and comparison of models. *Journal of Geophysical Research*, Ottawa, v. 90, n. C5, p. 8995-9005.