



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RECÔNCAVO DA BAHIA
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS, AMBIENTAIS E BIOLÓGICAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS
CURSO DE MESTRADO

**DESENVOLVIMENTO E ANÁLISE DE FUNCIONAMENTO DE
LISÍMETROS DE PESAGEM PARA DETERMINAÇÃO DA
EVAPOTRANSPIRAÇÃO EM VIDEIRA DE VINHO
cv. SYRAH (*Vitis vinífera* L.)**

ELIEL FERREIRA DO NASCIMENTO

**CRUZ DAS ALMAS - BAHIA
FEVEREIRO – 2010**

**DESENVOLVIMENTO E ANÁLISE DE FUNCIONAMENTO DE
LISÍMETROS DE PESAGEM PARA DETERMINAÇÃO DA
EVAPOTRANSPIRAÇÃO DA VIDEIRA DE VINHO
cv. SYRAH (*Vitis vinífera* L.)**

ELIEL FERREIRA DO NASCIMENTO

Tecnólogo em Fruticultura Irrigada
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Sertão Pernambucano, 2008

Tecnólogo em Viticultura e Enologia
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Sertão Pernambucano, 2009

Dissertação submetida à Câmara de Ensino de Pós-Graduação e Pesquisa da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia como requisito parcial para obtenção do Grau de Mestre em Ciências Agrárias, Área de Concentração: Agricultura Irrigada e Sustentabilidade de Sistemas Hidroagrícolas.

Orientador: Prof. Dr. Francisco Adriano de Carvalho Pereira

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RECÔNCAVO DA BAHIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS
CRUZ DAS ALMAS – BAHIA – 2010

FICHA CATALOGRÁFICA

N244 Nascimento, Eliel Ferreira do

Desenvolvimento e análise de funcionamento de Lisímetros de pesagem para determinação da evapotranspiração em videira de vinho cv Syrah (*Vitis vinifera* L) / Eliel Ferreira do Nascimento. - 2010.

68 f.

Orientador: Francisco Adriano de Carvalho Pereira

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Centro de Ciências Agrárias, Ambientais e Biológicas, 2010.

1. Evapotranspiração - uva 2. Lisímetro de pesagem hidráulica. I. Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Centro de Ciências Agrárias, Ambientais e Biológicas.
II. Título.

CDD 20 ed. 634.8

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RECÔNCAVO DA BAHIA
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS, AMBIENTAIS E BIOLÓGICAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS**

**COMISSÃO EXAMINADORA DA DISSERTAÇÃO DE MESTRADO
DO ALUNO ELIEL FERREIRA DO NASCIMENTO**

Prof. Dr. Francisco Adriano de Carvalho Pereira
Centro de Ciências Agrárias, Ambientais e Biológicas - UFRB
(Orientador)

Prof. Dr. Luis Fernando de Souza Magno Campeche
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Sertão Pernambucano

Prof. Dr. Vital Pedro da Silva Paz
Centro de Ciências Agrárias, Ambientais e Biológicas - UFRB

Dissertação homologada pelo Colegiado do Programa de Pós-graduação em
Ciências Agrárias em.....
Conferindo o Grau de Mestre em Ciências Agrárias em

“O coração do homem
planeja o seu caminho, mas o
Senhor lhe dirige os passos.”

Provérbios 16:9

DEDICO

Aos meus pais Irineu e Célia,

Por terem proporcionado a formação moral e pessoal.
Pelo amor, carinho, paciência, compreensão e estímulo na realização dos meus
sonhos.

À minha irmã Elienay, meu irmão Alexsandro, minha cunhada Francicleide,
pelo carinho, apoio e amizade.

Aos meus sobrinhos Erick e Gabriela,

pelas alegrias e carinhos.
Por me fazer enxergar o esplendor das coisas simples.

AGRADECIMENTOS

A Deus, fonte de esperança e luz na minha vida;

A Universidade Federal do Recôncavo da Bahia – UFRB, ao Núcleo de Engenharia de Água e Solo – NEAS e ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias por oferecer a oportunidade de realização do curso;

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Capes, pela concessão de bolsa de estudo;

A Embrapa Semi-Árido, pela infra-estrutura e apoio durante a realização desse trabalho, por meio do Projeto nº 03.08.01.024.00.00 do Macroprograma 3 da Embrapa;

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq, pelo auxílio financeiro para a construção dos lisímetros de pesagem (Edital Universal 2008 – processo nº 480137/2008-0);

Aos professores Dr. Francisco Adriano de Carvalho Pereira e Dr. Luis Fernando de Souza Magno Campeche, pela confiança, dedicação, estímulo e orientação durante o curso;

Ao pesquisador Dr. Luis Henrique Bassoi pela supervisão, paciência, confiança e principalmente pelas palavras de estímulo;

A todos os professores que fazem parte do programa de pós-graduação em Ciências Agrárias, pelo apoio e ensinamentos;

Aos colegas do mestrado, Antônio Hélder, Márcio Alves, Olívia Nepomuceno, Rossini Daniel, Jorge Luiz, Mateus Machado, Rogério de Carvalho e Diógenes Barbosa, pela contribuição, amizade, convívio e momentos de estudos em grupo;

A minha ex-orientadora da graduação, professora Dra. Jane Oliveira Perez, pela confiança, incentivo e amizade;

Aos funcionários da Embrapa Semi-árido, Hélio Macêdo, Raimundo Bernardo, Nilberto Pinheiro, Chico Paraíba, João Filho e Espedito Freire, pela ajuda e apoio que me deram sempre que solicitados;

A pesquisadora Dra. Magna Soelma Bezerra de Moura, pelo apoio e boa vontade em dispor de equipamentos tão necessários para realização deste trabalho, e ao pesquisador Dr. Davi José Silva, pelo apoio;

Aos bolsistas e estagiários da Embrapa Semi-árido, Rafael da Costa, Elieth Brandão, Thieres George, Francisco Alves, Tamires Nunes, pela contribuição;

Aos bolsistas (CNPq) da Embrapa Semi-árido, Juliano Athayde Silva e Araci Medrado, pela contribuição, boa vontade e apoio constante no desenvolver de todo o trabalho;

Em especial a minha família, meus pais, irmãos, avós e sobrinhos;

Aos amigos sempre presentes mesmo à distancia: Renata Pinto, Jonnas Hélder, Tatiana Araújo, José Mendes e Erbs Cintra;

A Jéssica Lima, por todo apoio logístico e boa vontade.

Aos novos amigos de Cruz das Almas, Eli Camargo e família, Lívia dos Santos e família e José de Lima e esposa, pela ajuda e apoio;

A todos que direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho;

A todos que torceram por mim e me influenciaram positivamente ao longo da minha vida. Sei que mesmo não sendo citados aqui, vocês estão felizes por mais esta etapa completada.

SUMÁRIO

	Página
RESUMO	
SUMMARY	
INTRODUÇÃO.....	01
Capítulo 1	
CONSTRUÇÃO E CALIBRAÇÃO DE LISÍMETROS DE PESAGEM PARA DETERMINAÇÃO DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO EM VIDEIRA DE VINHO cv. SYRAH (<i>Vitis vinífera L.</i>).....	13
Capítulo 2	
EVAPOTRANSPIRAÇÃO E COEFICIENTE DE CULTIVO DA VIDEIRA DE VINHO cv. SYRAH (<i>Vitis vinífera L.</i>) COM O USO DE LISÍMETROS DE PESAGEM.....	38
CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	60
ANEXOS.....	61

DESENVOLVIMENTO E ANÁLISE DE FUNCIONAMENTO DE LISÍMETROS DE PESAGEM PARA DETERMINAÇÃO DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DA VIDEIRA DE VINHO cv. SYRAH (*Vitis vinífera* L.)

Autor: Eliel Ferreira da Nascimento

Orientador: Francisco Adriano de Carvalho Pereira, Dr.

RESUMO: Este trabalho teve como objetivos a instalação, calibração e avaliação de desempenho de três lisímetros de pesagem com célula de carga, para o monitoramento da demanda hídrica na cultura da uva; e a medida da evapotranspiração e determinação do coeficiente de cultivo no estádio inicial de desenvolvimento da videira de vinho cv. Syrah (*Vitis vinífera* L.), em Petrolina-PE. Foram construídos e calibrados 3 lisímetros de pesagem, com área superficial de 2,4 m² (dimensões 1,20 m de largura, 2 m de comprimento e 1,0 m de profundidade), após a implantação de um parreiral da cv. Syrah enxertado em Paulsen 1103, no espaçamento 3 X 1 m, irrigado por gotejamento, com 2 emissores de 2,5 litros por hora. A evapotranspiração de referência foi estimada pelos métodos de Penman-Monteith FAO e Tanque Classe A. Verificou-se que os lisímetros instalados apresentaram bom desempenho, uma alta linearidade para os sinais entre a célula de carga e a massa do equipamento, excelente coeficiente de determinação ($r^2=0,99$) e baixa histerese. Os lisímetros apresentaram sensibilidade suficiente para detecção de mudança de massa correspondente a lamina de 0,11 mm, com valores de exatidão de 0,4, 0,6 e 1 mm para os lisímetros 1, 2 e 3, respectivamente. Para um período de 33 dias (dezembro de 2009 a janeiro de 2010), a evapotranspiração total da cultura foi 121 mm, com valores médios de 3,64 mm.dia⁻¹ e valores máximos de 6,11 mm.dia⁻¹ durante o experimento. A média dos valores obtidos de Kc foram de 0,82 e 0,83 pelo método de Penman-Monteith, 0,99 e 1,00 pelo método do Tanque Classe A, para os lisímetros 1 e 2, respectivamente. Os valores de Kc obtidos utilizando-se a ETo estimada pelo método do tanque classe A foram maiores em 20% em relação aos valores de Kc obtidos com a ETo estimada pelo método de Penman-Monteith

FAO. Pode-se concluir que os valores de ET_c determinados pelos lisímetros corrobora com valores encontrados em outros estudos por diferentes métodos na região. Os lisímetros de pesagem apresentaram excelente desempenho para detecção das variações de massa na escala diária para determinação da evapotranspiração da videira de vinho, podendo ser utilizados como base para o manejo da irrigação no Vale do Submédio São Francisco.

Palavras-chave: lisimetria de pesagem, instalação, calibração, necessidade hídrica, uva de vinho

DEVELOPMENT AND PERFORMANCE ANALYSIS OF WEIGHING LYSIMETERS TO THE ESTIMATIVE OF EVAPOTRANSPIRATION OF WINE GRAPE cv. SYRAH (*Vitis vinifera* L.)

Author: Eliel Ferreira da Nascimento

Adviser: Francisco Adriano de Carvalho Pereira, DSc.

SUMMARY: The objectives of this research work were: the installation, calibration and performance analysis of three load cell based weighing lysimeters, to monitoring the water demand of wine grape, the measuring of crop evapotranspiration (ET_c) and crop coefficient (K_c) on initial development stages of wine grape cv. Syrah (*Vitis vinifera* L.) in Petrolina, Pernambuco State, Brazil. Three weighing lysimeters were constructed, with surface area of 2.4 m² (1.2 m wide, 2.0 m long, 1.0 m deep), after the vineyard establishment of grape cv. Syrah grafted on rootstock 1103 Paulsen, in a grid spacing of 3 x 1 m, and irrigated by drip, with two emitters per plant, 2.5 L.h⁻¹ flow. The reference evapotranspiration was estimated by Penman-Monteith FAO and class A pan methods. The lysimeters presented very good performance, a high linearship between load cell signals and lysimeter weight changes, excellent determination coefficient ($r^2=0.99$), and low hysteresis. The lysimeters presented enough sensitivity to measure weight variation related to a 0.11 mm depth, with accuracy of 0.4, 0.6, and 1 mm for lysimeters 1,2, and 3, respectively. For a 33 days experimental time, the total ET_c was 121 mm, with average values of 3.64 mm.day⁻¹ and highest values of 6.11 mm.day⁻¹. The average K_c values were 0.82 and 0.83 by Penman-Monteith FAO method,; and 0.99 and 1.00 by class A pan method, using lysimeters 1, 2, and 3, respectively. The K_c values obtained using the ETo estimative by class A pan method were 20% higher than those values obtained by ETo estimative Penmam-Monteith FAO method. It was concluded that the values determined by lysimeter ET_c corroborates with the values found in other studies by different methods in the region. The lysimeters presented excellent performance to measure the weight changes on daily basis to estimate wine grape

evapotranspiration and can be used as a basis for irrigation in the valley of São Francisco.

Key-words: weighing lysimeter, installation, calibration, water demand, wine grape

INTRODUÇÃO

O cultivo da videira (*Vitis* spp. L.) vem desde a antiguidade. Vasos sagrados desenterrados em escavações na Turquia, na antiga cidade comercial de Kannish, mostraram que a viticultura era praticada desde a idade do bronze, há cerca de 3.500 anos antes de Cristo (LEÃO & POSSÍDIO, 2000). A uva e o vinho, pelo seu papel relevante, foram definitivamente incorporados ao cotidiano de muitos povos, especialmente o europeu. As grandes descobertas estabelecidas com o avanço da navegação e a conseqüente expansão da colonização resultaram no transporte da videira, como item fundamental, para todos os continentes e na sua introdução no Brasil, por Martin Afonso de Souza em 1532 (POMMER & MAIA, 2003).

Foi a partir da segunda metade do século XIX que a vitivinicultura brasileira passou a ter importância comercial, desenvolvendo-se pólos vitivinícolas em São Paulo, Minas Gerais, Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul, impulsionados pelas correntes imigratórias italianas. No Nordeste brasileiro, nos Estados da Bahia e Pernambuco, a videira alcançou expressão econômica nas ilhas de Itaparica e Itamaracá, respectivamente. Do litoral a viticultura avançou para o interior até as fronteiras do agreste e sertão. Nas áreas de clima seco do interior pernambucano e do Nordeste como um todo, a videira encontrou ambiente propício ao seu desenvolvimento, o que pode ser observado nos dias atuais (LEÃO & POSSÍDIO, 2000).

Originária no Oriente, a videira pode ser classificada em dois tipos: a européia (*Vitis vinífera* L.) do centro da Ásia Central, em regiões que possuem o clima típico mediterrâneo, e a videira americana (*Vitis labrusca* L. e outras espécies) do continente norte americano (POMMER & MAIA, 2003). É uma planta perene pertencente à família *Vitaceae*, que abrange mais de 90 espécies, das quais as de origem americana (*Vitis labrusca* L.) e européia (*Vitis vinífera* L.) destacam-se pelo seu valor econômico (LAHVE & JOHNSON, 1989).

As videiras *Vitis viníferas*, produzem uvas denominadas finas ou nobres, de alta qualidade para produção de vinhos finos ou nobres. As cepas que se aclimataram bem na região do Submédio São Francisco foram a Syrah, Cabernet Sauvignon, Tannat, Chenin Blanc, Moscato Cannelli e a Moscato Itália. As videiras *Vitis labrusca* são mais resistentes que as viníferas, produzem maior quantidade de uvas, mas sua qualidade é muito inferior, sendo denominadas uvas comuns, originando vinhos de mesa. Uma das cultivares mais difundida é a Isabel, bastante cultivada no Rio Grande do Sul.

Existem cerca de 10 mil variedades de videira, adaptadas a vários tipos de solo e clima, o que possibilita o cultivo em quase todas as regiões do mundo. Embora amplamente cultivadas, as uvas são bastante sensíveis e variam de acordo com as condições edafoclimáticas em que se desenvolvem, apresentando características diferenciadoras como sabor, acidez, doçura, formato, coloração, resistência da casca, tamanho, quantidade de sementes e formato dos cachos (QUEIROZ-VOLTAN & PIRES, 2003).

A videira pode ser cultivada para diferentes finalidades, sendo classificada comercialmente em: uvas para mesa (consumo *in natura*), para vinificação, para passas e para sucos (LEÃO, 2000).

Dentre as uvas finas para vinho, a Syrah ou Shiraz (*Vitis vinífera* L.) é umas das principais variedades de uvas utilizadas na elaboração de vinhos finos. De origem controversa (acreditava-se que poderia ser originária de Siracusa, na Itália, ou de Shiraz, no Irã), recentes estudos analisando o DNA indicam que a 'Syrah' é uma uva autóctone do norte do Vale do Ródano ou de Dauphiné, surgida a partir do cruzamento natural entre 'Mondeuse Blanche' (uva branca) e 'Dureza' (uva tinta) (GIOVANNINI, 2008).

A planta caracteriza-se por possuir porte semi-ereto e sua identificação é facilmente percebida devido à presença abundante de pêlos de coloração verde clara e folhas adultas penta lobadas, com seio peciolar aberto. Seus ramos são frágeis, de coloração verde clara e entre-nós longos. Seus cachos são longos, medianamente compactos e as bagas de coloração negra e de forma elíptica. Trata-se de uma cultivar muito vigorosa, produtiva, respondendo bem à poda curta em regiões quentes. Possui um curto período de maturação e revela-se bastante sensível à podridão no final da maturação (ENTAV, 1995).

A Syrah origina vinhos de coloração intensa, aromáticos, finos e complexos, aptos ao envelhecimento e de grande qualidade. Na França é a principal cultivar das denominações de origem Cotes Rôtiê, Hermitage e Tain Hermitage (ENTAV, 1995). No Brasil, praticamente não é cultivada na Serra Gaúcha do Rio Grande do Sul, por apresentar desenvolvimento irregular e grande sensibilidade às podridões dos cachos. No Nordeste começa a ganhar expressão no Vale do Rio São Francisco, notadamente no pólo Petrolina/Juazeiro (SOUZA et al., 2002).

Os limites de difusão da cultura da videira, nas diversas regiões do mundo, estão condicionados particularmente pela temperatura, luminosidade, umidade do ar e disponibilidade hídrica no solo (COSTACURTA & ROSELLI, 1980). A radiação solar atua nos processos de fotossíntese, de movimento e de formação (TEIXEIRA, 2001). Coombe (1967) aponta a temperatura do ar como o fator ambiental mais significativo no comportamento da cultura da videira, porém a umidade do ar durante o ciclo é também muito importante por favorecer o surgimento de doenças (TEIXEIRA, 2001). Em termo de exigência hídrica, a videira é muito resistente à seca, graças ao seu sistema radicular, que é capaz de atingir grandes profundidades (COSTACURTA & ROSELLI, 1980).

A videira tem sido considerada como planta adaptada a regiões de clima temperado, pelo fato de ter folhas decíduas. No entanto, é cultivada atualmente em enorme diversidade de condições climáticas, a exemplo dos desertos da Califórnia e no Submédio São Francisco, onde temperaturas muito elevadas são comuns. No Brasil, a videira é cultivada desde o extremo Sul, principalmente Rio Grande do Sul e Santa Catarina, até o Nordeste, em regiões anteriormente consideradas climaticamente inaptas. Com o emprego da irrigação, o Submédio São Francisco, na Bahia e Pernambuco e em extensas áreas de Minas Gerais tornou-se excelente região produtora de uva (PEDRO JÚNIOR & SENTELHAS, 2003), destacando-se pela expansão da área cultivada e do volume de produção e, principalmente, pelos altos rendimentos alcançados e qualidade da uva produzida (SILVA & CORREIA, 2000). O repouso vegetativo, nessa região do Submédio São Francisco, é dado pela época seca, e o manejo de irrigação, aliado ao clima quente, permite ao viticultor obter duas colheitas sucessivas no mesmo ano (PEDRO JÚNIOR & SENTELHAS, 2003).

O Vale do São Francisco é a principal região vitícola tropical do Brasil, destacando-se os pólos produtores da mesorregião Norte de Minas Gerais (que inclui as microrregiões de Januária, Janaúba e Pirapora) e as microrregiões de Juazeiro, BA, e Petrolina, PE, com áreas de 3.981, e 5.126 ha, respectivamente (IBGE, 2007). A produção de uva no Submédio São Francisco concentra-se, principalmente, nos municípios de Petrolina e Santa Maria da Boa Vista, em Pernambuco, com 54% da área cultivada e Juazeiro, Curaçá, Sento Sé e Casa Nova, na Bahia, que detém os 46% restantes de área (SILVA & CORREIA, 2000).

Os vários fatores que intervêm na produção vitícola podem ser agrupados em elementos culturais ou permanentes. Dentre estes, destacam-se os elementos permanentes, que são divididos em fatores impostos, como: o clima, o solo e o meio biológico ou fatores determinados, como: escolha das variedades, porta-enxertos, densidade e disposição de plantio. Dentro dos fatores permanentes impostos, o clima exerce forte influência sobre a videira e é o que determina com maior intensidade as possibilidades e a potencialidade vitícola do local, em relação às exigências das variedades cultivadas (HIDALGO, 1993).

O potencial de cultivo da cultura da videira na região do Submédio São Francisco tem sido incrementado a cada ano, por iniciativas públicas e privadas, visando às demandas dos mercados interno e externo. Este crescimento das áreas cultivadas com videira na região, também é decorrente das condições climáticas altamente favoráveis à produção de uva e à irrigação, que compensa a heterogeneidade do regime pluviométrico desta região (Teixeira & Azevedo, 1996).

Tanto a deficiência como o excesso hídrico afetam de maneira marcante o comportamento dos estádios fenológicos da cultura da videira. A deficiência, quando ocorre durante o período inicial de crescimento das bagas, proporciona redução na multiplicação celular e, quando acontece durante a maturação, condiciona redução no tamanho das células e, conseqüentemente, a redução do tamanho das bagas, além de favorecer a queima dos frutos pelo sol. Na fase final de maturação das bagas o consumo hídrico da videira diminui (VAADIA & KASIMATIS, 1961, apud WINKLER et al., 1974). O excesso hídrico, combinado com temperaturas elevadas, torna a cultura da videira muito susceptível a doenças fúngicas e pragas (WINKLER et al., 1974).

Conhecer o consumo de água da videira é fundamental para se obter sucesso em investimentos na viticultura. Isso pode ser feito a partir de pesquisa que tenha o objetivo de estudar o manejo da irrigação, determinando as necessidades hídricas da cultura em cada estágio fenológico, visando obter a melhor produtividade possível maximizando o uso da água e a preservação ambiental.

O consumo hídrico de um parreiral é uma função complexa dos balanços hídrico do solo e de energia da superfície cultivada (HEILMAN et. al., 1994). Para determinação e estimativa do consumo hídrico da cultura da videira no Vale do Submédio São Francisco, tem sido utilizados métodos principalmente baseados no solo (balanço hídrico) e métodos micrometeorológicos (razão de bowen, Penman Monteith) por Teixeira et al. (1999), Teixeira et al. (2003), Ávila Netto et al. (2000) e outros.

O método do balanço hídrico parte do princípio de contabilização das entradas e saídas de água num dado volume de solo durante um determinado período de tempo. Para se obter a evapotranspiração por esse método, deve se realizar um balanço entre as contribuições da precipitação, irrigação e a variação no armazenamento de água no solo e subtrair a drenagem e o escoamento superficial. De acordo Quaglia (2005), é necessária uma cuidadosa medição da umidade do solo e determinação dos potenciais de água para a estimativa dos fluxos de água no perfil de solo para obtenção de bons resultados. É um método bastante trabalhoso e, muitas vezes envolve o uso de metodologia complexa para o monitoramento da umidade e potencial da água do solo.

O método de balanço de energia, com base no princípio da conservação de energia, destaca-se na determinação do consumo de água por uma comunidade vegetal. Apesar de suas limitações, tem sido utilizado por muitos autores. Segundo Sedyama (1996) esse método que se baseia nas propriedades conservativas da camada limite da planta, apresentam dificuldades, por que envolvem medições e correlações de fluxos turbulentos e componentes da razão de Bowen, em condições específicas de tal forma que os fluxos horizontais sejam insignificantes. Na cultura da videira este método foi empregado por Oliver & Sene (1992), Heilman et al. (1994), Teixeira et al. (1997) e Teixeira et al. (1999).

Para evitar incertezas de medições envolvidas em alguns métodos de estimativa do consumo hídrico das culturas é que vários autores tem recorrido ao

uso da lisimetria. Segundo Campeche (2002), o uso de lisímetros de pesagem serve como uma ferramenta padrão de estudos de perda de água das culturas, pois tais equipamentos medem diretamente a evapotranspiração de culturas agrônômicas que cobrem ou não totalmente o solo. Esses equipamentos quando bem desenhados, calibrados e manejados medem precisamente e representativamente a evapotranspiração das culturas, integrando fatores ambientais que regem tal processo. Segundo Faria et al. (2006) os lisímetros de pesagem são considerados equipamentos padrão para aferição dos demais métodos de determinação da evapotranspiração.

Os lisímetros são grandes “*containers*” preenchidos com solo (ou incluso um bloco de solo) localizado no campo, para representar o ambiente local, com superfície vegetada ou em solo nu, para determinação da evapotranspiração de uma cultura em crescimento, ou de uma cobertura vegetal de referência ou, ainda, da evaporação a partir de um solo não vegetado (Aboukhaled et al., 1982).

Segundo Bernardo (1989), o método lisimétrico é bastante preciso na determinação da evapotranspiração, desde que os equipamentos sejam instalados de maneira correta. De acordo Pereira et al. (1997) as condições físicas do solo do lisímetro devem aproximar-se das condições do solo da área externa, tanto no que se refere ao tipo de solo e de planta, como nas condições de umidade desse solo.

Um dos passos importantes antes do funcionamento de lisímetros de pesagem em campo é a calibração, que tem por finalidade estabelecer uma relação entre o sinal de saída da célula de carga e a massa do sistema, e verificar a linearidade e histerese da célula de carga, devendo ser preferencialmente calibrados *in situ*, nas mesmas condições climáticas do seu funcionamento, por adição e retirada de pesos previamente conhecidos (CAMPECHE, 2002).

Malone et al. (2000) mencionam que para qualquer uso dos dados de evapotranspiração computados por lisímetros de pesagem, as incertezas associadas a estes valores registrados devem ser conhecidos e reportadas. Wheeler & Ganji (1996) ressaltam que é muito importante conhecer os erros associados ao sistema de medição, os quais devem ser o quanto menor possível, possibilitando o uso dos dados com confiabilidade para os fins propostos.

A obtenção de uma determinação adequada de evapotranspiração tem fundamental importância para o desenvolvimento agrícola, pois consiste em

parâmetro indispensável ao dimensionamento e manejo de sistemas de irrigação, já que contabiliza a quantidade de água utilizada pelas plantas que retorna a atmosfera através da transpiração e através da evaporação da água da superfície do solo e das plantas.

A água consumida pelas culturas é denominada de evapotranspiração da cultura, que é a evaporação do solo somada à transpiração das plantas. É muito comum usar a evapotranspiração de referência e o coeficiente de cultura para se estabelecer a evapotranspiração da cultura, considerando que a evapotranspiração de referência refere-se a uma cultura padronizada, mantida sob condições ideais de crescimento. A razão entre a evapotranspiração da cultura (que pode ser determinado pela lisimetria de pesagem) e a evapotranspiração de referência origina os coeficientes de cultura, que dependem do estágio de desenvolvimento da cultura, do sistema de irrigação, da configuração de plantio e das condições meteorológicas reinantes. Esses coeficientes podem ser utilizados quando já estiverem sido determinados para a cultura de interesse, na estimativa da evapotranspiração da cultura, necessitando-se apenas de dados meteorológicos referentes à demanda atmosférica. A obtenção dos coeficientes de cultura é feita sob condições de não limitação hídrica, ou de qualquer outro fator climático ou fisiológico (WRIGHT, 1988).

De acordo com Ávila Netto (1997) o consumo de água da cultura da videira variedade Itália, sob irrigação por gotejamento, na região do Submédio São Francisco, determinado pelo método do balanço de água no solo, foi da ordem de 332,8 mm, cujos valores de K_c aos 18 dias após a poda era de 0,62, evoluiu acentuadamente atingindo o valor máximo de 0,74 no subperíodo de desenvolvimento das bagas, quando então passou a decrescer gradativamente, tendo alcançado o valor mínimo de 0,50, por ocasião do final do subperíodo de maturação dos frutos, os quais se assemelham aos valores obtidos por Doorenbos & Pruitt (1977) apud Ávila Netto (1997).

Essas informações de consumo hídrico da cultura em suas diferentes fases fenológicas, levando-se em consideração as condições meteorológicas locais dominantes, é importante para o planejamento e operação eficiente de sistema de irrigação. A determinação do consumo hídrico da videira através do método de lisimetria de pesagem, no Vale do Submédio São Francisco, ainda não foi desenvolvido em nenhum estudo, mesmo sendo esse método considerado por

diversos autores, a ferramenta padrão de determinação da evapotranspiração, devido à sua praticidade e precisão.

Sendo assim, a determinação da necessidade hídrica da cultura da videira de vinho, cv. Syrah, para a região do Submédio São Francisco, pela lisimetria de pesagem baseado em célula de carga, possibilitará a obtenção de informações científicas importantes para o manejo, qualidade final do produto e aumento da produtividade, constituindo, portanto, numa contribuição ao conhecimento do comportamento da planta à aplicação de água nessa região.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABOUKHALED, A.; ALFARO, A.; SMITH, M. **Lysimeters**. Rome: FAO, 1982. 68p. (FAO. Irrigation and Drainage Paper, 39)

ÁVILA NETTO, J. **Necessidades hídricas da videira na região do Submédio São Francisco**. 1997. 86f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande, 1997.

ÁVILA NETTO, J.; AZEVEDO, P. V.; SILVA, B. B.; SOARES, J. M. e TEIXEIRA, A. H. C. EXIGÊNCIAS HÍDRICAS DA VIDEIRA NA REGIÃO DO SUBMÉDIO SÃO FRANCISCO. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.35, n.8, p.1559-1566, 2000.

BERNARDO, S. O. **Manual de irrigação**. 5. ed. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, Imprensa Universitária, 1989, 596p.

CAMPECHE, L.F.S.M. **Construção, calibração e análise de funcionamento de lisímetros de pesagem para determinação da evapotranspiração da cultura da lima ácida 'Tahiti' (*Citrus latifolia* Tan.)**. 2002. 67f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura Luis de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002.

COOMBE, B.G. Influence of temperature on composition and quality of grapes. **Acta Horticulturae**, The Hague, v. 5, n. 206, p. 23-35, 1967.

COSTACURTA, A.; ROSELLI, G. Critères climatiques et édaphiques pour l'établissement des vignobles. **Bulletin De L' Office International Du Vin**, Paris, v. 53, n. 596, p. 773-786, 1980.

ETABLISSEMENT NATIONAL TECHNIQUE POUR L'AMELIORATION DE LA VITICULTURE – ENTAV. **Catalogue des variétés et clones de vigne cultivées en France**. Le Grau du Roi: ENTAV, 1995. 357 p.

FARIA, R. T.; CAMPECHE, F. S. M.; CHIBANA, E. Y. Construção e calibração de lisímetros de alta precisão. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.10, n.1, p.237-242, 2006.

GIOVANNINI, Eduardo. Syrah. **Sociedade da Mesa**, São Paulo, v.67, p. 6-7, out. 2008.

HEILMAN, J. L.; McINNES, K. J.; SAVAGE, M. J.; GESH, R. W.; LASCANO, R. J. Soil and canopy energy balances in a west Texas vineyard. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v, 71, p, 99-114, 1994.

HILDALGO, L. **Tratado de viticultura**. Madrid: Ediciones Mundi-Prensa, 1993.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Produção Agrícola Municipal**. Rio de Janeiro, 2007. Disponível em <<http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/agric/default.asp?z=t&o=11&i=P>> Acesso em: 17 dez. 2009.

LAHVE, J. H. & JOHNSON, R. S. **Peaches, plums and nectarines**: growing and handling for fresh market, California: Division of Agriculture and Natural Resources, 1989.

LEÃO, P. C. S. Principais variedades. In: LEÃO, P. C. de S.; SOARES, J.M. (Eds.). **A viticultura no Semi-árido brasileiro**. Petrolina: Embrapa Semi-Árido, 2000. p. 45-64.

LEÃO, P. C. S.; POSSÍDIO, E. L. Histórico da viticultura. In: LEÃO, P. C. de S.; SOARES, J. M. (Eds.). **A viticultura no Semi-árido brasileiro**. Petrolina: Embrapa Semi-Árido, 2000. p.13-17.

MALONE, R. W.; BONTA, J. V.; STEWARDSON, D. J.; NIELSEN, T. **Error analysis and quality improvement of the Coshocton weighing lysimeters**. Transactions of the ASAE, St Joseph, v,43, n.2, p.271-280, 2000.

OLIVER, H.R.; SENE, K.J. Energy and water balances of developing vines. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 61, n.2, p. 167-185, 1992.

PEDRO JÚNIOR, M. J.; SENTELHAS, P. C. Clima e Produção. In: POMMER, C.V. (Ed.). **Uva**: tecnologia de produção, pós-colheita, mercado. Porto Alegre: Cinco Continentes, 2003. p. 63-107.

PEREIRA, A. R.; VILLA NOVA, N. A.; SEDIYAMA, G. C. **Evapo(transpi)ração**. Piracicaba: FEALQ, 1997. 183p.

POMMER, C. V.; MAIA, M. L. Introdução. In: POMMER, C. V. (Ed.). **Uva: tecnologia de produção, pós-colheita, mercado**. Porto Alegre: Cinco Continentes Editora Ltda, 2003. p. 11-35.

QUAGLIA, L. **Calibração de um lisímetro de pesagem para monitoramento da evaporação do solo sem cobertura vegetal**. 2005. 104f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura Luis de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2005.

QUEIROZ-VOLTAN, R. B; PIRES, E. J. P. A videira. In: POMMER, C. V. (Ed.). **Uva: tecnologia de produção, pós-colheita, mercado**. Porto Alegre: Cinco Continentes, 2003. p. 37-61.

SEDIYAMA, G. C. Estimativa da evapotranspiração: Histórico, evolução e análise crítica. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria. V.4, n.1, p.i-xii, 1996.

SILVA, P. C. G.; CORREIA, R. C. Caracterização social e econômica da videira. In: LEÃO, P. C. de S.; SOARES, J. M. **A viticultura no semi-árido brasileiro**. Petrolina: Embrapa Semi-Árido, 2000. p. 19-32.

SOUZA, C. M.; REGINA, M. A.; PEREIRA, G. E.; FREITAS, G. F. Indicação de cultivares de videira para o sul de Minas Gerais. In REGINA, M. A. (Coord.). **Viticultura e enologia** – atualizando conceitos. Caldas: EPAMIG-FECD, 2002. p. 277-286.

TEIXEIRA, A. H. de; AZEVEDO, P. V. de. Zoneamento agroclimático para a videira européia no Estado de Pernambuco, Brasil. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 4, p.139-145, 1996.

TEIXEIRA, A. H. C.; AZEVEDO, P. V.; SILVA, B. B.; SOARES, J. M. Balanço de energia na cultura da videira, cv. "Itália". **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.5, n.2, p.137-141, 1997.

TEIXEIRA, A. H. C.; AZEVEDO, P. V.; SILVA, B. B. & SOARES, J. M. CONSUMO HÍDRICO E COEFICIENTE DE CULTURA DA VIDEIRA NA REGIÃO DE PETROLINA, PE. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.3, n.3, p.413-416, 1999.

TEIXEIRA, A. H. C. Exigências climáticas da cultura da videira. In: LEÃO, P. C. de S.; SOARES, J. M. (Eds.) **A viticultura no Semi-árido brasileiro**. Petrolina: Embrapa Semi-Árido, 2001. p. 33-44.

TEIXEIRA, A. H. C.; BASSOI, L. H.; SILVA, T. G. F. **Estimativa da evapotranspiração da videira para vinho utilizando o balanço de energia e a metodologia proposta pela FAO**. In: Congresso Nacional de Irrigação, 13, 2003, Juazeiro. Juazeiro : ABID.

WHEELER, A. J.; GANJI, A. R. **Introduction to engineering experimentation**. New Jersey: Prentice Hall, 1996. 415 p.

WINKLER, A. J.; COOK, J. A.; KLIEWER, W.M.; LIIDER, L. A. **General viticulture**. 2d. ed. Berkeley: University of California Press., 1974, 710 p.

WRIGHT, J. L. New evapotranspiration crop coefficients. **Journal of Irrigation and Drainage Division**, New York, v. 108, n. IR2, p. 57-74, 1988.

CAPITULO 1

CONSTRUÇÃO E CALIBRAÇÃO DE LISÍMETROS DE PESAGEM PARA DETERMINAÇÃO DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO E COEFICIENTE DE CULTIVO EM VIDEIRA DE VINHO cv. SYRAH (*Vitis vinífera* L.)¹

¹ Artigo ajustado e submetido ao Comitê Editorial do periódico científico: Revista Irriga

CONSTRUÇÃO E CALIBRAÇÃO DE LISÍMETROS DE PESAGEM PARA DETERMINAÇÃO DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO E COEFICIENTE DE CULTIVO EM VIDEIRA DE VINHO cv. SYRAH (*Vitis vinífera* L.)

RESUMO: Este trabalho teve como objetivo a instalação, calibração e análise de desempenho de três lisímetros de pesagem para estudo da demanda hídrica da cultura da videira (*Vitis vinífera* L.), cv. Syrah. Os lisímetros, com dimensões 1,20 m de largura, 2 m de comprimento e 1,0 m de profundidade, foram instalados no Campo Experimental de Bebedouro da Embrapa Semi-árido, em Petrolina-PE (9° 9' de latitude sul, 40° 29' de longitude oeste), durante o período de julho a outubro do ano de 2009. Os lisímetros foram construídos com chapas de aço galvanizado e instalados sobre uma estrutura metálica montada sobre barras transversais, a fim de concentrar a massa do conjunto sobre uma célula de carga localizada no centro do sistema. Após instalado em um fosso escavado e revestido de alvenaria, o lisímetro foi preenchido com camadas de 0,10m, sendo a última camada com brita, e acima foi colocada uma manta geotextil de Bidin, no intuito de facilitar a drenagem da caixa lisimétrica. As demais camadas foram preenchidas com solo mantendo a disposição original das mesmas no perfil. Após o preenchimento do lisímetro, realizou-se a sua calibração, utilizando sacos com brita com massa conhecida, visando verificar a relação existente entre a saída de sinal das células de carga (mV) e a massa dos equipamentos. Verificou-se linearidade para os sinais entre célula de carga e a massa do equipamento, com um alto coeficiente de determinação e baixa histerese. Os lisímetros apresentaram sensibilidade suficiente para detecção de mudança de massa correspondente a lamina de 0,11 mm com valores de exatidão de 0,4, 0,6 e 1 mm para os lisímetros 1, 2 e 3, respectivamente. Os lisímetros detectaram variações de massa provocada por chuva, irrigação e evapotranspiração, de forma que os erros de acurácia encontram-se dentro de limites aceitáveis, mostrando-se adequados para o estudo da demanda hídrica da cultura da videira.

Palavras-chave: lisimetria de pesagem, necessidade hídrica, uva de vinho

CONSTRUCTION AND CALIBRATION OF WEIGHING LYSIMETERS TO ESTIMATION OF CROP EVAPOTRANSPIRATION AND CROP COEFFICIENT OF WINE GRAPES cv. SYRAH (*Vitis vinifera* L.)

SUMMARY: The objective of this work was the construction, installation, calibration and evaluation of three weighing lysimeters, from July to October 2009, to estimate the water demand of wine grapes (*Vitis vinifera* L.) cv. Syrah. The lysimeters, 1.2 m width, 2.0 m long, and 1.0 depth, were set up in the Bebedouro Experimental Field, at Embrapa Tropical Semi-Arid, in Petrolina, Pernambuco State, Brazil (9° 9' S, 40° 29' W). The lysimeters were constructed with galvanized steel sheets and set up on a metallic infrastructure, with the purpose to link the lysimeter weight with the load cell located in the central portion of the metallic infrastructure. The soil was excavated according to the lysimeter dimensions and brick and cement walls were constructed to the lysimeter setting. The lysimeter was initially filled with a 0.1 m depth layer of grit and a thin envelope material (polyester) layer to facilitate the drainage and then with nine 0.1 m soil depth layers, maintaining the previous position of these layers in the soil profile. The calibration was performed with grit bags with known weights to establish the relationship between the electrical signal from load cell (mV) and lysimeter weight. The linearship was observed, with high determination coefficient and low hysteresis. The lysimeters presented sensitivity to detect weight change as a consequence of 0.11 m water depth, with accuracy of 0.4, 0.6 and 1 mm for lysimeters 1, 2, and 3, respectively. The lysimeters detected weight variations caused by rain, irrigation and evapotranspiration, and the accuracy errors are within acceptable intervals. Hence, the lysimeters are set up in an adequate way to estimate water demand of wine grapes.

Keywords: weighing lysimeters, water requirement, wine grape

INTRODUÇÃO

A quantificação do fluxo de vapor d'água para a atmosfera proveniente de superfícies úmidas em combinação com a transpiração das plantas em áreas cultivadas é de grande interesse para determinação das necessidades hídricas de cultivos e disponibilidade hídrica do solo.

Dentre os vários métodos disponíveis, o método direto mais comum utilizado na determinação da evapotranspiração da cultura é o método lisimétrico utilizando evapotranspirometros ou lisímetros, que consiste de um tanque enterrado no solo (REICHARDT & TIMM, 2004), por meio de variação balanço de massa ou volume de água, determinam a evaporação ou evapotranspiração.

Quanto ao tipo, Silva (1996) cita que os lisímetros usualmente são agrupados em pesáveis (lisímetros de pesagem de forma continuada ou intermitente, onde a variação de massa é determinada por um mecanismo de pesagem) e não pesáveis (lisímetro de drenagem e de lençol freático em nível constante).

Os lisímetros de pesagem podem determinar a evapotranspiração pelo balanço de massa em intervalos de cerca de 1h e, em função da sua precisão, são considerados equipamentos padrões para aferição dos demais métodos (FARIA et al., 2006). Pruitt & Lourence (1985) mostraram a necessidade de avaliação minuciosa das culturas para representar alta qualidade dos dados de evapotranspiração, sendo que os erros deveriam ser conhecidos e quantificados, mesmo em lisímetros com grande precisão. Wheeler & Ganji (1996) relatam que é muito importante conhecer os erros associados ao sistema de medição, os quais devem ser o quanto menor possível, possibilitando o uso dos dados com confiabilidade para os fins propostos.

Payero & Irmak (2008) afirmam que o tamanho dos lisímetros de pesagem varia significativamente, sendo o mesmo uma função da intenção de uso e da resolução requerida ou desejada. Segundo Campeche (2002) equipamentos com área menor que 2m² vem sendo muito utilizados atualmente em pesquisas de evapotranspiração, pois além de serem mais facilmente construídos, os custos também são menores.

Um dos passos importantes antes do funcionamento de lisímetros de pesagem em campo é a calibração, que tem por finalidade estabelecer uma

relação entre o sinal de saída da célula de carga e a massa do sistema, visando verificar a linearidade e histerese das células de carga, devendo ser preferencialmente calibrados *in situ*, nas mesmas condições climáticas do seu funcionamento, por adição e retirada de pesos previamente conhecidos (CAMPECHE, 2002). Deve-se utilizar equações próprias para cada lisímetro instalado, pois ocorrem variações decorrentes das características específicas do extensômetro elétrico de cada célula de carga e do peso morto do lisímetro em estudo (FARIA et al., 2006).

O método lisimétrico é bastante preciso na determinação da evapotranspiração, desde que os equipamentos sejam instalados de maneira correta (BERNARDO, 1989), sendo fundamental que as condições internas do equipamento se assemelhem ao máximo das condições externas do ambiente, tanto no que se refere ao tipo de solo e de planta, como nas condições de umidade desse solo (PEREIRA et al., 1997).

O objetivo do presente trabalho foi a instalação, calibração e avaliação de desempenho de três lisímetros de pesagem baseados em célula de carga, para o estudo da demanda hídrica da cultura da videira de vinho (*Vitis vinífera* L.), cv. Syrah, cultivada no vale do Submédio São Francisco.

MATERIAL E MÉTODOS

Descrição da área experimental

O experimento foi instalado na área do Campo Experimental de Bebedouro da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária do Trópico Semi-árido (EMBRAPA-CPATSA), no vale do Submédio São Francisco, no município de Petrolina, PE, com as seguintes coordenadas geográficas: 9° 9' de latitude sul, 40° 29' de longitude oeste, com uma altitude de aproximadamente 365,6 metros. O solo da área experimental foi classificado como Latossolo Vermelho-Amarelo (EMBRAPA, 1999) textura média, apresentando relevo plano.

A região, de acordo com a classificação climática de Köppen apresenta clima do tipo BSw^h' (REDDY & AMORIM NETO, 1993). Nessa região, geralmente, a estação chuvosa compreende os meses de novembro a abril, com precipitação média anual em torno de 530 mm, irregularmente distribuída. A

umidade relativa média anual é de 66% e a temperatura do ar média anual é de 26,5°C, apresentando os maiores picos entre outubro e dezembro, enquanto julho é o mês mais frio.

Escavação para instalação dos lisímetros

Para instalação dos três lisímetros de pesagem realizou-se a escavação manualmente de uma área de 2,50 m por 2,10 m com profundidade de 1,85 m (Figura 1a). Foram separadas somente as 9 primeiras camadas de solo com 0,10 m cada, para posteriormente recompor o perfil do solo no lisímetro nas respectivas profundidades. As camadas de solo foram acondicionadas em lonas plásticas, identificadas e armazenadas no próprio local (Figura 1b). Como a caixa lisimétrica possui 1 m de profundidade, a 10ª camada a ser preenchida, foi com brita, completando assim, todo espaço dentro da caixa lisimétrica. É importante salientar que a metodologia utilizada na escavação, separação e acondicionamento do solo foi necessária para reconstituição das condições iniciais do solo, mantendo a mesma sequência do perfil original.

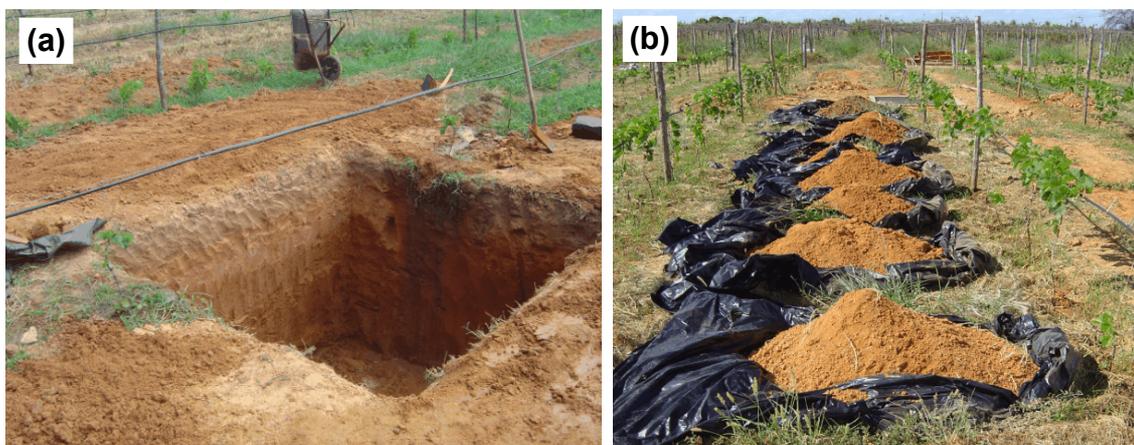


Figura 1 – Cavidade no terreno para receber o sistema lisimétrico (a) e solo separado por camadas (b).

Estrutura das paredes externas dos lisímetros

Depois de finalizada a escavação, paredes de alvenaria em formato retangular foram construídas com blocos de cerâmica interligados por massa de cimento, com 0,1 m de espessura e 2,48 m de comprimento, por 2,1 m de largura e 1,85 m de profundidade (Figura 2). Cada fosso comportou 4 colunas de

concreto, sendo uma em cada parede, importantes por imprimir as paredes uma maior firmeza. Esse procedimento foi necessário para que fosse evitado qualquer tipo de desmoronamento futuro das paredes do fosso e também uma possível passagem de água por drenagem lateral para dentro do fosso.



Figura 2 – Parede de alvenaria com colunas de concretos para receber o sistema lisimétrico.

Construção das sapatas

Foram projetadas quatro sapatas para sustentação das células de carga e do sistema de alavancas e contrapesos, conforme metodologia aplicada por Faria et al. (2006) (Figura 3). As sapatas foram construídas à base de concreto e malhas de ferro. A armação de ferro foi confeccionada com ferro de 1/4" na vertical e com estribos de 3/16" na horizontal, sendo feita a amarração dos ferros com arame cozido. Essa estrutura de sustentação teve como objetivo evitar o deslocamento vertical do sistema de pesagem devido às deformações do solo. É importante frisar que as sapatas foram construídas em nível com as demais, para que o sistema lisimétrico não sofresse nenhuma modificação no seu funcionamento. Na parte inferior do fosso colocou-se uma camada de brita de 0,1m de espessura, para evitar o empoçamento de água e facilitar a drenagem da água de chuva.



Figura 3 – Vista superior das sapatas em construção (a) e prontas para receber o sistema lisimétrico (b).

Sistema de contrapesos e alavancas

Cada caixa lisimétrica foi sustentada por um sistema de balança de fabricação comercial constituída, na parte superior, por um quadro metálico em viga L laminada de 0,1 m, do mesmo comprimento e largura do tanque e, na parte inferior, por um conjunto de transmissão de forças composto de quatro conjuntos oscilantes, ligados a um mecanismo de três alavancas metálicas de redução de massa, apoiadas em cinco suportes, colocados sobre as sapatas de concreto (Figura 4). No sistema de transmissão de forças, o atrito devido à mobilidade das estruturas é minimizado pelo conjunto de “navalha” e coxim em cada ponto de articulação. O sistema de redução de pesos proporciona redução aproximada de 45 vezes a massa total que é registrada por célula de carga de capacidade de 100 Kg.

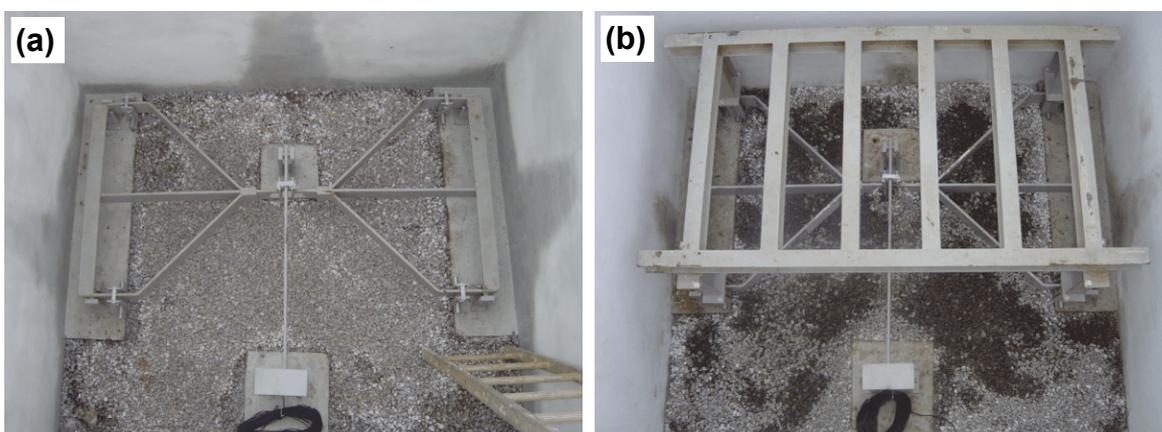


Figura 4 – Sistema de balança constituída (a), na parte superior, por um quadro metálico para sustentação da caixa lisimétrica (b).

Construção das caixas lisimétricas

Foram confeccionadas três caixas lisimétricas em material de aço galvanizado, chapa nº 20, revestida com tinta epóxi, visando aumentar a sua durabilidade. A caixa lisimétrica possui dimensões de 2,0 m por 1,2 m e profundidade de 1,0 m, totalizando uma área de 2,4 m² de superfície e volume total de 2,4 m³. Para reforço da caixa lisimétrica foi utilizado externamente uma tubulação de aço galvanizado de 1 polegada, fixado através de soldagem por fusão na lateral e fundo do tanque, garantindo uma maior sustentação ao sistema lisimétrico (Figura 5).



Figura 5 – Momento da instalação da caixa lisimétrica em campo.

Preenchimento do lisímetro com solo e sistema de drenagem

Após a construção dos lisímetros realizou-se o seu preenchimento com solo previamente separadas por camadas. No fundo de cada lisímetro foi adicionada uma camada de 0,1 m de brita nº 1. Acima da camada de brita foi colocada uma manta geotextil de Bidin, para não permitir que o solo se misturasse com a brita, promovendo assim a drenagem de água dentro do sistema, através de uma torneira que foi instalada na parte inferior da lateral do lisímetro (Figura 6).



Figura 6 – Torneira instalada na lateral inferior do lisímetro para drenagem da água percolada.

Posteriormente, foram adicionadas as camadas de solos na ordem inversa da sua retirada (Figura 7a). Para cada camada completada, o solo recebeu uma leve compactação para que promovesse uma maior acomodação deste solo dentro da caixa lisimétrica, conforme metodologia aplicada por Cruz (2005) (Figura 7b). Esse procedimento foi semelhante em todos os lisímetros, sendo realizado com o solo seco, de modo que se evitasse a compactação excessiva.

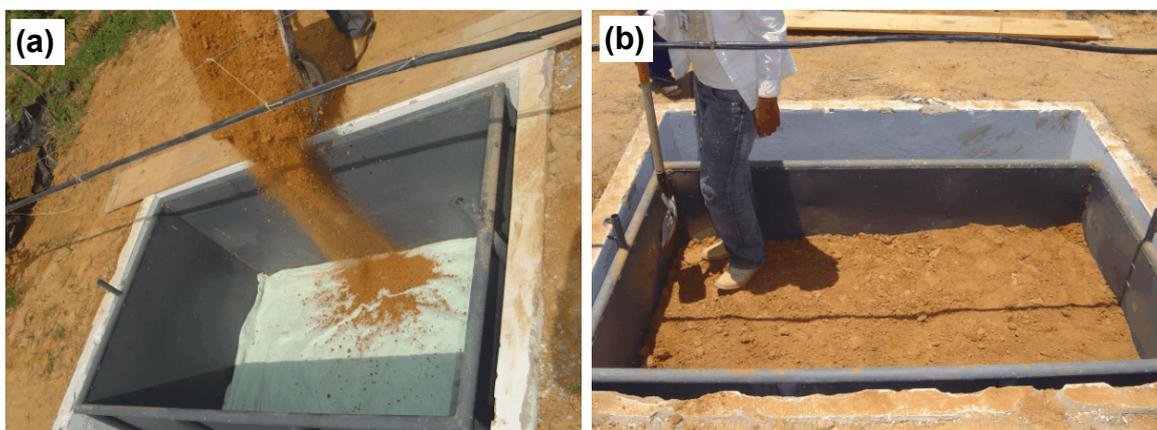


Figura 7 – Preenchimento da caixa lisimétrica (a) e leve compactação para melhor acomodação do solo (b).

Instrumentação e coleta de dados

O elemento sensível de cada lisímetro de pesagem constituiu-se de uma célula de carga, modelo SV100 (Alfa Instrumentos Eletrônicos Ltda.)², com capacidade de 100 Kg, calibrada previamente na fábrica e posteriormente no conjunto lisimétrico. As células de cargas são seladas contra umidade e com dispositivo para compensação contra variações de temperatura na faixa de 0 a 50°C.

Os sinais elétricos gerados pela célula de carga foram coletados por meio de um sistema automático de coleta, Datalogger CR10X (Campbell Scientific, USA) programado para efetuar aquisições a cada segundo e armazenamento das médias a cada trinta minutos, sendo posteriormente coletados com módulo de armazenamento e transferidos para microcomputador usando como interface um software para a conversão dos valores de entrada e saída de massa. A potencia elétrica para o sistema é fornecida por placa solar, com bateria de 12 V. Utilizou-se 1000 mV de excitação para que a faixa de leitura do sinal fosse em torno de 7,5 mV apresentando uma melhor performance, com maior sensibilidade.

Calibração dos lisímetros

A calibração dos três lisímetros de pesagem foi realizada conforme metodologia apresentada por Campeche (2002). Para evitar a mudança de massa do sistema devido à evaporação da água do solo, os lisímetros foram cobertos com uma lona plástica. A massa do lisímetro no início foi a mesma no final do teste.

Iniciou-se o ensaio com a obtenção da leitura de voltagem em cada lisímetro descarregado (somente com o solo de preenchimento); a seguir, a variação de massa foi obtida com a adição e retirada de sacos plásticos com brita secada ao ar, hermeticamente fechados, de diferentes massas e pesados em balança de acuracidade de 0,01 g. Os acréscimos ou retiradas de massa foram realizados a cada 2 minutos, descartando-se da análise as leituras registradas durante o primeiro minuto, já que incluíam as oscilações provocadas pela variação de massa. Desenvolveu-se um algoritmo computacional para automatizar as leituras e armazenar os resultados no datalogger. As leituras

² O uso da marca não teve como finalidade a propaganda do equipamento pelo autor.

foram realizadas a cada segundo, com média a cada minuto e com opção para alta resolução para saída de dados.

Os pesos foram acrescentados aos lisímetros em seqüência de carga de massa equivalente a 7 mm de água sobre a superfície do lisímetro ($2,4 \text{ m}^2$), obtida pela adição de quatro sacos de brita de 4,2 kg, até alcançar 70 mm, seguidos de acréscimos de 1 mm, produzidos pela adição de um saco de brita de 2,4 kg, até atingir a massa equivalente a 80 mm. A partir de 80 mm, os acréscimos voltaram a ser de 7 mm, até atingir 150 mm; em seguida, os sacos com brita foram retirados em intervalos também de 2 minutos, na mesma seqüência da adição, até a descarga completa e, assim, foram obtidos 60 pares de pontos para confecção da curva de calibração (mV x mm). O tempo total da operação de calibração transcorreu em duas horas.



Figura 8 – Calibração do lisímetro de pesagem em campo.

Análise do desempenho

A exatidão dos equipamentos foi determinada por meio do erro padrão, que caracteriza a dispersão dos valores de massa mensurados pelos lisímetros em relação aos valores das massas padrões (sacos de brita). Os dados referentes às massas-padrão aplicadas e as respectivas leituras da balança do lisímetro foram submetidos à análise estatística de regressão. A precisão foi determinada por meio do coeficiente de determinação (r^2) obtida pela regressão linear de cada equipamento.

A resolução é inerente ao conjunto célula de carga-datalogger, sendo a menor escala da divisão ou o último dígito que pode ser lido pelo equipamento de medição. Foi obtido por meio de dados coletados em um dia normal, sendo calculado e verificado a menor leitura que o equipamento pode realizar na diferença do menor valor de tempo (30 minutos).

A sensibilidade foi obtida pela observação da menor variação do sinal elétrico emitido pelo sistema quando detectado mudança de massa do equipamento, determinado a partir dos dados plotados numa planilha eletrônica.

Sistema de condução da videira

O sistema de condução da videira na área foi em espaldeira (sistema de condução no qual a ramagem e a produção da videira ficam expostas de forma vertical), com espaçamento entre linhas de 3 m e entre plantas de 1 m, na direção norte-sul. Porém, em cada lisímetro construiu-se uma estrutura de suporte específica para as plantas, independente daquela empregada no sistema de condução das plantas vizinhas (Figura 9). Os suportes foram construídos com 1,8 m de altura, feitos com tubos de aço galvanizado de 25 mm de diâmetro e adaptados a caçamba metálica com três fios de arame como suporte ao desenvolvimento vegetativo da cultura, somando-se a massa total do lisímetro. Desta maneira, a variação de leitura dava-se em função da variação de massa de água perdida por evapotranspiração, evitando a interferência das demais plantas sobre o lisímetro.



Figura 9 – Lisímetro de pesagem após o plantio da videira e montagem do sistema de condução.

Sistema de irrigação

O sistema de irrigação utilizado no parreiral foi do tipo gotejamento em linha, com emissores espaçados de 0,5 m, vazão de 2,5 l/h e uma linha lateral por fileira de planta, com frequência de irrigação diária. Nos lisímetros a irrigação foi realizada manualmente com um regador de 8 litros. Esse procedimento foi necessário porque o tempo de irrigação com regador é muito inferior (0,5 hora) ao realizado com o sistema de irrigação da área experimental, que dura em média 2,5 horas. Como o sistema automático de coleta de dados foi programado para aquisições a cada segundo e armazenamento das médias a cada trinta minutos, esse procedimento evitou que 5 pontos da curva de evapotranspiração da cultura plotados no gráfico no momento da avaliação fossem descartados, já que no momento da irrigação não houve como separar o volume de água que foi aplicado e evapotranspirado concomitantemente. Esse procedimento visa garantir uma melhor qualidade nos dados coletados e reduzir os descartes de dados nos dias de irrigação.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Calibração dos Lisímetros

Conforme metodologia apresentada procedeu-se a calibração dos três lisímetros em campo, sendo obtida alta correlação entre leituras da célula de carga (mV) e a massa do conjunto (mm). Verificou-se que o modelo linear descreveu adequadamente a relação entre a saída da célula de carga, em milivoltagem (mV) e o equivalente em milímetros de água para os três lisímetros de pesagem, tendo em vista o elevado coeficiente de determinação (r^2), conforme Figura 10. Constatou-se excelente linearidade com as massas adicionadas em cada lisímetro e o sinal obtido da célula de carga com histerese mínima. Allen & Fisher (1991) e Howell et al. (1995) utilizando lisímetros de pesagem com características de montagem semelhantes ao utilizado neste trabalho encontraram resultados também satisfatórios para a série de variação de acréscimo e decréscimo de pesos, não observando efeito significativo de histerese. Houve também elevada semelhança de resultados entre os três

aparelhos. Resultados semelhantes foram encontrados por Rocha (2008), Cruz (2005) e Campeche (2002), utilizando metodologia semelhante na calibração.

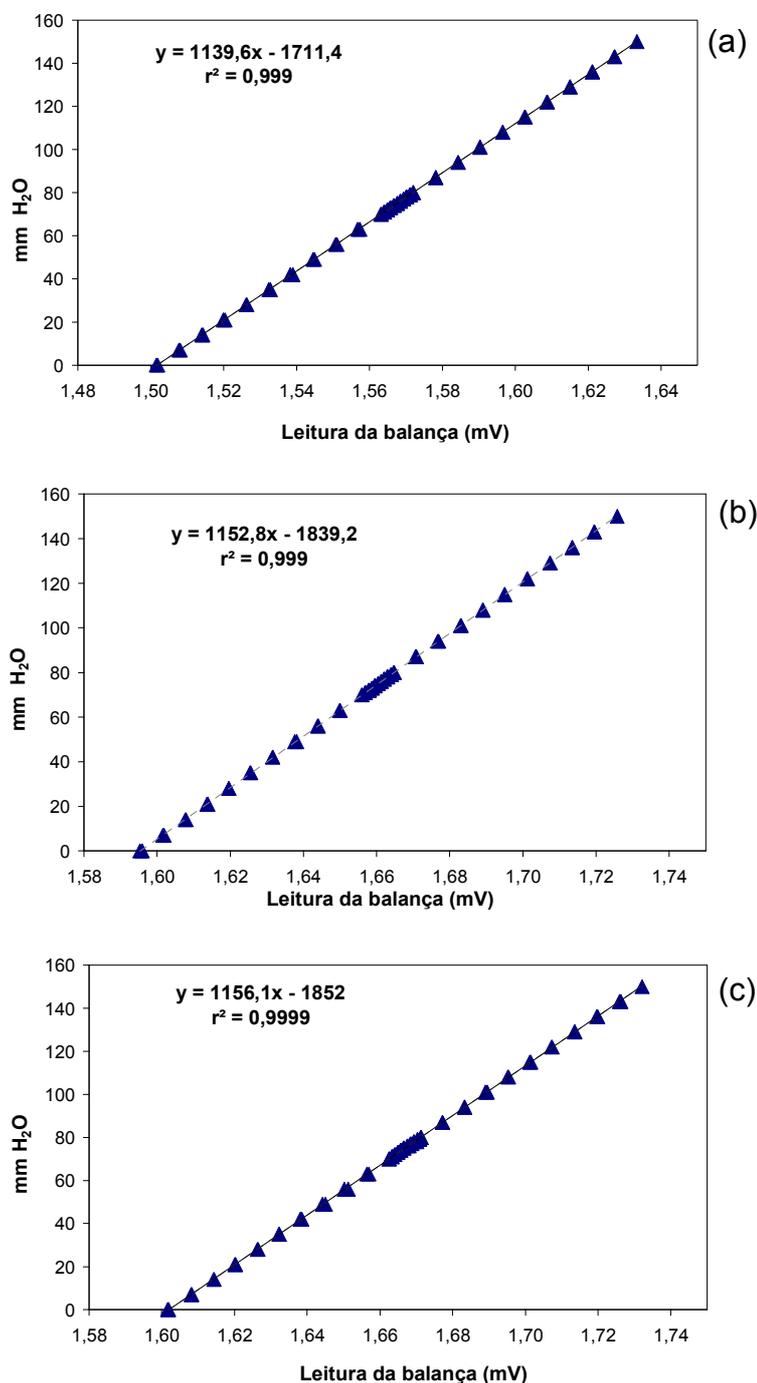


Figura 10 – Resultados de calibração para os lisímetros 1 (a), 2 (b) e 3 (c).

Os valores do coeficiente angular da equação de regressão entre massa e voltagem para os lisímetros 1, 2 e 3 foram de 1139,6, 1152,8 e 1156,1 mm mV⁻¹ (Figura 10), respectivamente. Essas diferenças são devidas principalmente às

características específicas do extensômetro elétrico de cada célula de carga e das dimensões das alavancas de redução de peso e das massas do conjunto contidas originalmente no momento inicial da calibração. Os valores dos coeficientes lineares, obtidos na regressão, foram 1711,4, 1839,2 e 1852 para os lisímetros 1, 2 e 3 respectivamente, sendo as diferenças devidas à massa estática (peso morto) de cada conjunto.

Na figura 11 apresentam-se os erros entre os pesos medidos pelos lisímetros e os pesos padrão adicionados e retirados durante a calibração. Os dados referentes às massas-padrão aplicadas e as respectivas leituras da balança do lisímetro foram submetidos à análise estatística de regressão, obtendo para os lisímetros 1, 2 e 3 os erros padrão de estimativa da regressão linear de 0,4, 0,6 e 1 mm, o que equivale a uma massa de 0,94, 1,44 e 2,4 Kg, respectivamente. Os valores para os erros padrão dos lisímetros 1 e 2 esta na mesma faixa de calibração encontrada por Miranda et al. (1999). Porém, o lisímetro 3 apresentou um erro, que na prática inviabiliza o seu uso, não sendo confiável para a determinação do consumo hídrico da videira. Isso porque um erro padrão de 1 mm poderá afetar o desenvolvimento da cultura, já que tanto a deficiência como o excesso hídrico afetam de maneira marcante o comportamento dos estádios fenológicos da cultura da videira.

De acordo o fabricante, o material utilizado para a fabricação do sistema de balança, pode ter ocasionado o elevado erro padrão obtido para o lisímetro 3. Após a montagem no campo e adição de solo dentro das caixas lisimétricas, o equipamento sofreu pequenas deformações proporcionando dessa forma, um erro significativo referentes às massas-padrão aplicadas e as respectivas leituras da balança do lisímetro. Dessa forma, deduz-se que o sistema de balança não ficou completamente livre para efetuar a redução de peso e movimentar o sistema para concentrar o peso na célula de carga.

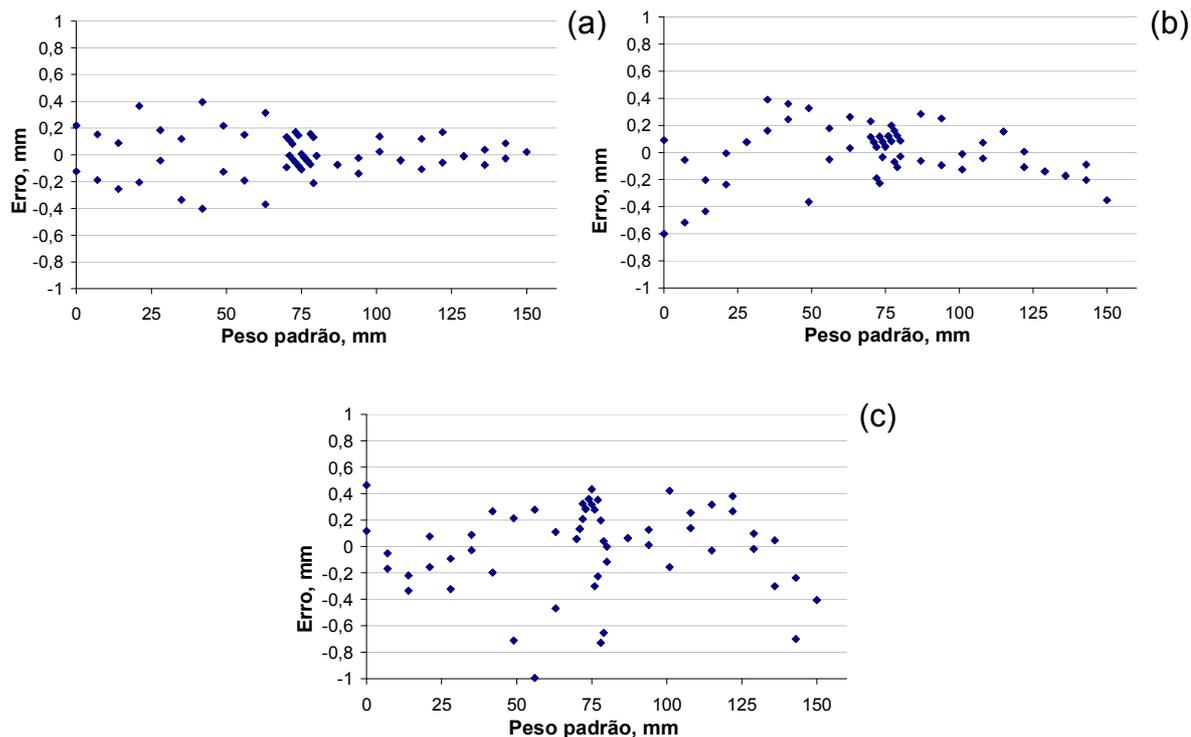


Figura 11 – Erro entre o peso medido pelos lisímetros 1 (a), 2 (b) e 3 (c) e o peso padrão durante a calibração.

A sensibilidade é a menor variação de grandeza (massa ou sinal elétrico) detectada que provoca uma mudança de leitura do sistema, sendo que as três células de carga utilizadas nos três lisímetros de pesagem apresentaram sensibilidade suficiente para detectar variações de 0,0001 mV, que representam uma variação de 0,00001 mm de lâmina líquida. Resultado semelhante foi encontrado por Carvalho et al. (2007), que na calibração de um lisímetro de pesagem utilizando metodologia semelhante, constatou que a cada massa adicionada ao lisímetro, a célula de carga apresentava variação média de sinal da ordem de 0,000105 a 0,000549 mV.

A resolução é a menor escala da divisão ou o último dígito que pode ser lido pelo equipamento de medição, sendo encontrado para os três equipamentos um resolução de 0,11 mm em intervalos de 30 minutos. Isso significa que a menor variação de massa detectada pelos lisímetros foi 0,244 Kg. Essa resolução pode ser considerada relativamente alta quando comparada à resolução de 0,45 mm obtida por Santos et al. (2007) na construção de um lisímetro móvel de pesagem com célula de carga hidráulica.

Análise de funcionamento em diferentes situações

Na Figura 12 são apresentados os decréscimos da variação da massa do lisímetro 1 ao longo de um dia e a velocidade do vento coletados em intervalos de 30 minutos. Pode-se observar que o dia 03/12/2009 foi um dia sem ocorrência de chuvas ou irrigações. A velocidade média do vento neste dia foi de $0,80 \text{ m s}^{-1}$, com um pico de $3,8 \text{ m s}^{-1}$ às 16:00h. O decréscimo de massa do lisímetro ocorreu gradativamente nas horas de maior demanda evapotranspirométrica. Percebe-se que a turbulência causada pelo vento foi mínima, não afetando os dados de evapotranspiração.

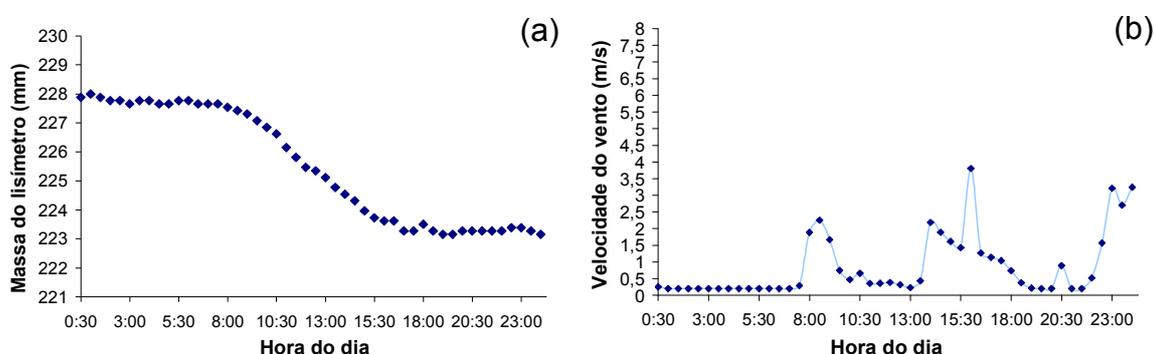


Figura 12 – Variação de massa do lisímetro 2 (a) e velocidade do vento (b) no dia 03/12/2009.

No dia 17/12/2009 (Figura 13), verificou-se uma velocidade média do vento de $3,04 \text{ m s}^{-1}$, com um pico médio de $4,58 \text{ m s}^{-1}$ às 11:30 h. Percebeu-se que o decréscimo da massa ocorreu de forma irregular, ou seja, ocorreram oscilações nas horas de maior demanda evapotranspirométrica mesmo com ausência de precipitação ou irrigação. Isso significa que a maior sensibilidade dos sensores e resolução do “datalogger” não implica necessariamente em melhor qualidade dos resultados, pois fatores incontrolláveis, como ventos fortes, afetam significativamente a exatidão das medidas. Na Figura 13b, mostra um dia de ventos fortes, onde resultou em variações intermitentes na massa do lisímetro gerando acréscimos e decréscimos alternados em curto intervalo de tempo sem que tenha realmente ocorrido saída ou entrada de água (Figura 13a).

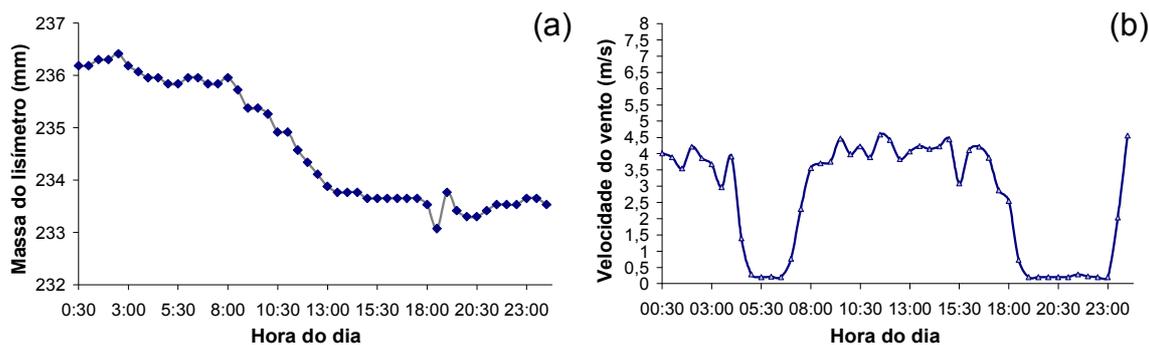


Figura 13 – Variação de massa no lisímetro 2 (a) e velocidade do vento (b) no dia 17/12/2009.

Segundo Howell et al. (1995), a recomendação para diminuir o efeito causado pela ação do vento nos valores de evapotranspiração seria o uso de um período maior de integração das médias. Essa medida causaria um amaciamento dos valores de massa, resultando em sensível melhora dos dados. Pruitt & Angus (1960), van Bavel & Myers (1962), Rosenberg (1969), Bergamaschi et al. (1997) e Campeche (2002) relataram problemas causados por ventos que provocaram oscilações nas medidas do lisímetro.

A Figura 14 apresentou variação decrescente contínua de massa ocorrida nos lisímetros 1 (a), 2 (b) e 3 (c) entre os dias 03 a 05/12/2009. Verificou-se decréscimo gradual da massa dos lisímetros durante o período diurno refletindo a evapotranspiração ocorrida. Esta variação em lisímetros de pesagem é típica em dias em que ocorrem maiores demanda evapotranspirométrica e ausência de chuvas ou irrigação. Pereira (1998), trabalhando com lisímetro de pesagem para determinação da evapotranspiração de referência, constatou que em torno de 85% da evapotranspiração diária ocorre durante o período diurno. Observou-se por meio dos gráficos que durante o período noturno a massa do sistema foi quase constante, pois a radiação líquida, principal variável meteorológica envolvida no processo evapotranspirométrico, é negativa ou insuficiente para promover energia necessária para tal processo, ficando o processo de evapotranspiração dependente das condições aerodinâmicas do ar e da energia acumulada pelo sistema. Segundo Pereira (1998), em média 15% da evapotranspiração diária ocorre durante o período noturno.

A redução da massa registrada no período de 72 horas na Figura 14 foi de 27,36, 27,38 e 34,68 kg, correspondendo a evapotranspiração de uma lâmina de água de 11,40, 11,41 e 14,45 mm, nos lisímetros 1, 2 e 3, respectivamente. Torna-se evidente que o lisímetro 3 superestimou os dados de evapotranspiração. Esse comportamento já era esperado, pelo fato do equipamento ter apresentado um erro padrão de 1 mm de lâmina de água. Camargo (1962) e van Bavel & Myers (1962) sugerem que para determinação da evapotranspiração sejam utilizados três lisímetros para que se tenha uma estimativa do erro de medida, embora isso nem sempre seja viável na prática.

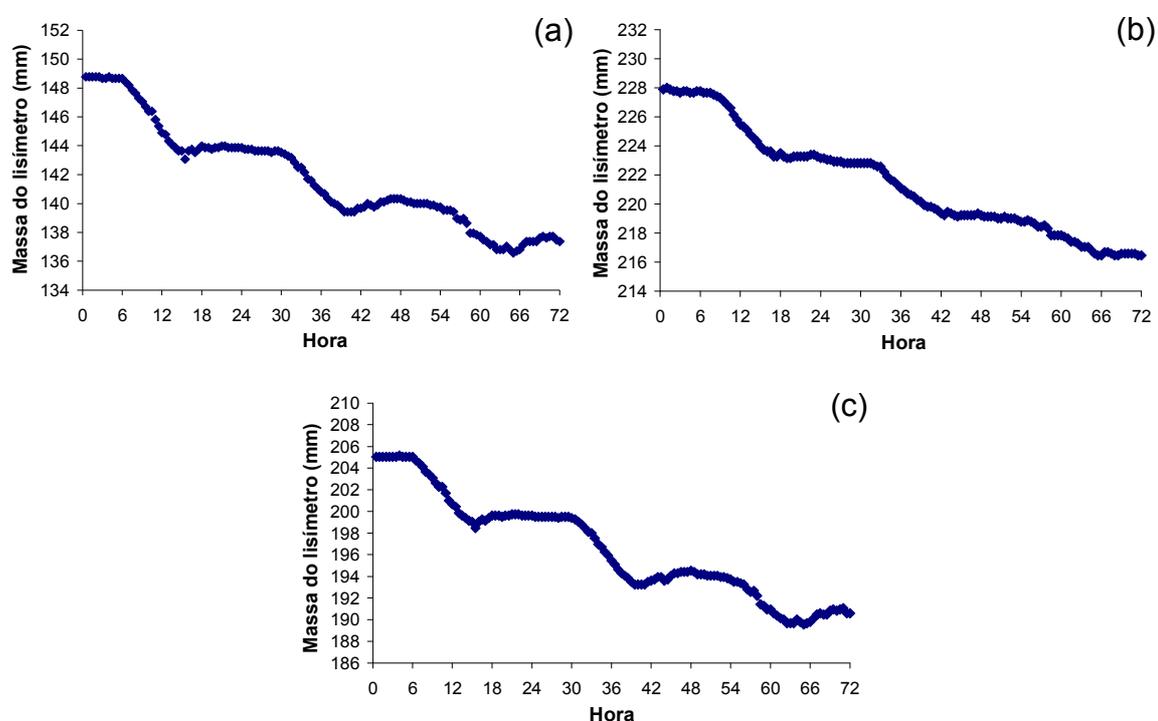


Figura 14 – Variação de massa decrescente contínua dos lisímetro 1 (a), 2 (b) e 3 (c) entre os dias 03 e 05/12/2009 em condições típicas de funcionamento.

Na Figura 15 observou-se a presença de um ponto discrepante nos valores de evapotranspiração logo antes da irrigação. Constatou-se que esse ponto foi devido a turbulência causada pela pressão por um pequeno animal sobre o lisímetro. Campeche (2002), afirma que mesmo com coletas automatizadas de dados, é indispensável uma avaliação manual e visual dos dados para evitar erros grosseiros na determinação diária da evapotranspiração.

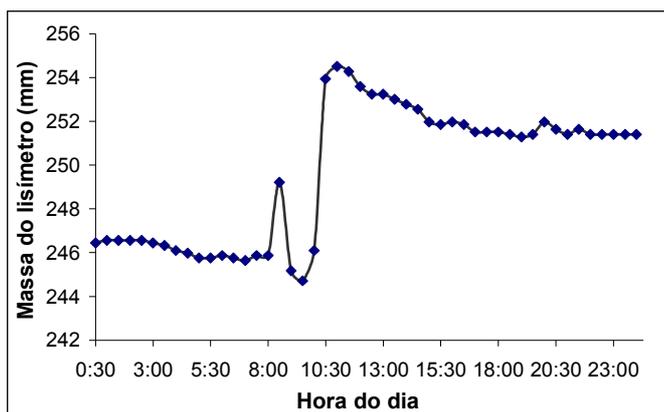


Figura 15 – Desempenho do lisímetro 2 em dia com ocorrência de anomalia e irrigação no dia 07/01/2010.

A Figura 16 mostra o funcionamento do lisímetro 2 em dias de ocorrência de irrigação e evapotranspiração, bem como o comportamento da variável climática radiação solar global nos dias 17 e 18 de novembro de 2009. Na Figura 16a, observou-se que no período de tempo entre as 13:30 até as 15:00 horas ocorreu aumento na lâmina armazenada, de aproximadamente 7 mm, devido a irrigação. A partir das 15:00h e ao longo do dia, a lâmina d'água decresce devido às perdas por evapotranspiração, que nestes dois dias alcançaram 10,01 mm. As taxas de variação da evapotranspiração apresentaram valores mais elevados durante o período entre 10 e 15 h, em decorrência da maior radiação neste horário, conforme registros da Estação Meteorológica Automática de Bebedouro (Figura 16b), localizada numa área próxima aos lisímetros.

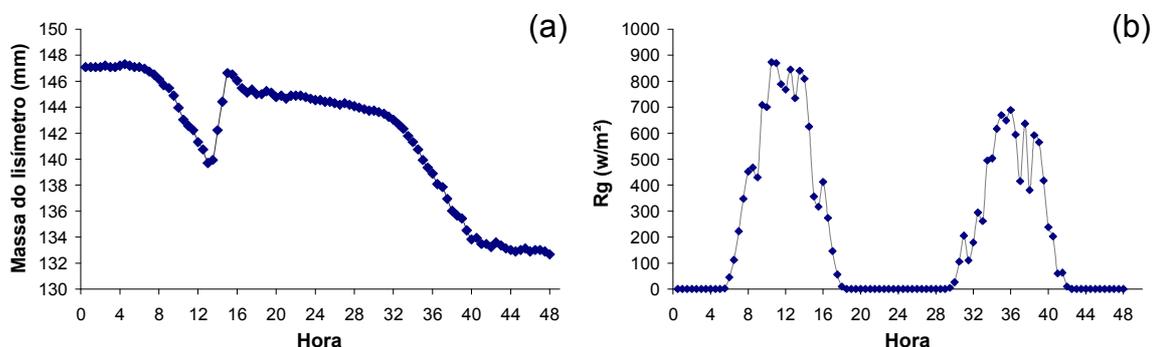


Figura 16 – Desempenho do lisímetro 2 em dias com ocorrência de irrigação e evapotranspiração (a) e comportamento da radiação global (b) nos dias 17 e 18/11/2009.

As Figuras 17 (a, b, c e d) apresentam um período em que ocorreu chuva e evapotranspiração no dia 02/12/2009. Nota-se que no período de tempo entre as 3:30 até as 11:00 horas houve aumento na lâmina armazenada, de aproximadamente 16 mm; de fato, neste período foi registrada, pelo pluviógrafo da estação automática de Bebedouro, uma precipitação de 15 mm. A partir das 11:00h e ao longo do dia, a lâmina d'água decresce suavemente devido às perdas por evapotranspiração, que neste dia alcançaram 1,8 mm.

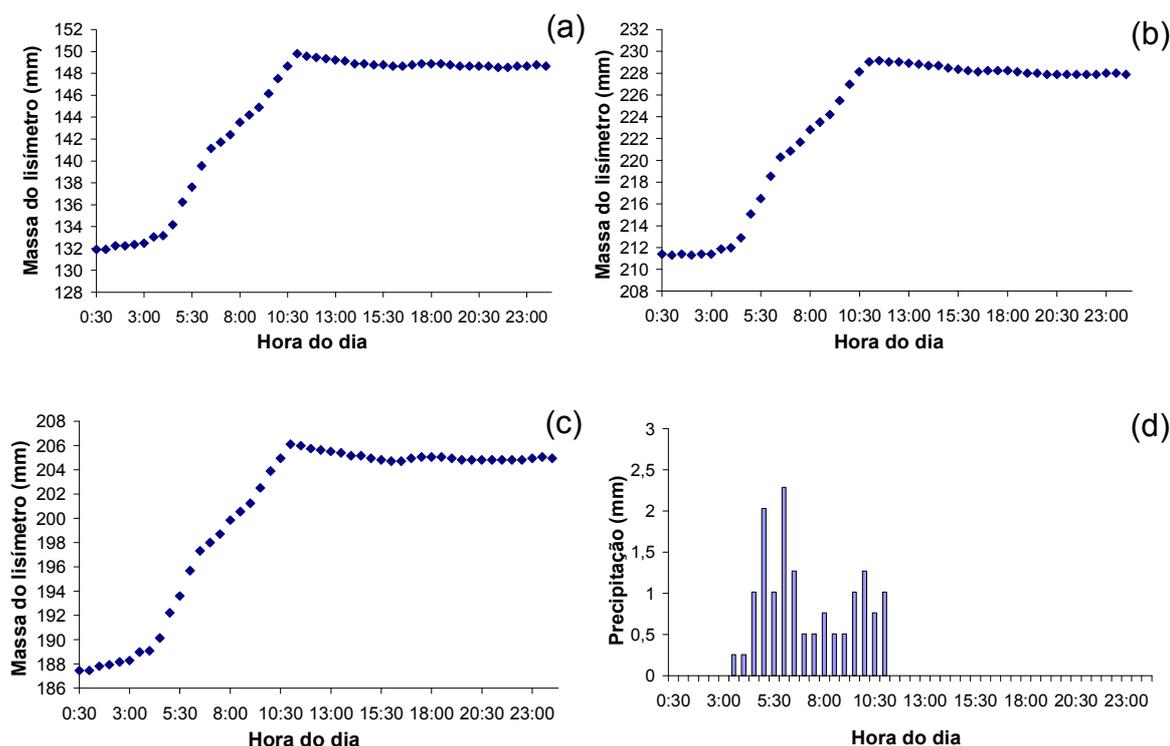


Figura 17 – Variação da lâmina d'água armazenada nos lisímetros 1 (a), 2 (b) e 3 (c) durante o dia 02/12/2009 e registro de precipitação (d).

CONCLUSÕES

Os três lisímetros de pesagem instalados e calibrados, obtiveram alto coeficiente de determinação na equação de calibração, excelente sensibilidade e resolução, detectando variações de massa devido a chuva, irrigações, evapotranspiração e vento, durante períodos inferiores a 1 hora.

Os lisímetros 1 e 2 obtiveram exatidão dentro dos níveis aceitáveis, respondendo às pequenas mudanças de massa de forma confiável, tornando possível a sua utilização para o estudo da demanda hídrica da cultura da videira cultivada no Vale do Submédio São Francisco.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALLEN, R.G., FISHER, D.K. Direct load cell-based weighing lysimeter system. In: ALLEN, R.G.; HOWELL, T.A.; PRUITT, W.O et al. (Ed.) **Lysimeter for evapotranspiration and environmental measurements**. New York: American Society of Civil Engineers, 1991. P.114-124.

BERGAMASCHI, H., et al. Automação de um lisímetro de pesagem através de estação meteorológica, a campo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 10, Piracicaba, 1997. **Anais...** Piracicaba: SBA, 1997. p. 222-224.

BERNARDO, S.O. **Manual de irrigação**. 5. ed. Viçosa: Imprensa Universitária, 1989, 596p.

CAMARGO, A.P. Contribuição para a determinação da evapotranspiração potencial no Estado de São Paulo. **Bragantia**, Campinas, v. 21, p. 163-213, 1962.

CAMPECHE, L.F.S.M. **Construção, calibração e análise de funcionamento de lisímetros de pesagem para determinação da evapotranspiração da cultura da lima ácida 'Tahiti' (*Citrus latifolia* Tan.)**. 2002. 67f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura Luis de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002.

CARVALHO, D.F.; SILVA, L.D.B.; GUERRA, J.G.M.; CRUZ, F.A.; SOUZA, A.P. INSTALAÇÃO, CALIBRAÇÃO E FUNCIONAMENTO DE UM LISÍMETRO DE PESAGEM. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.27, n.2, p.363-372, maio/ago. 2007.

CRUZ, F.A. **Instalação e calibração de lisímetro de pesagem e determinação da evapotranspiração de referência para a região de Seropédica - RJ**. 2005.

79 f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2005.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília, DF: Embrapa Produção da Informação, 1999. 412 p.

FARIA, R.T.; CAMPECHE, L.F.S.M.; CHIBANA, E.Y. Construção e calibração de lisímetros de alta precisão. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.10, n.1, p.237-242, 2006.

HOWELL, T.A.; SCHNEIDER, A.D.; DUSEK, D.A.; MAREK, T.H.; STEINER, J.L. Calibration and scale performance of Bushland weighing lysimeters. **Transactions of the ASAE**, v.38, n.4, p.1019-1024, 1995.

MIRANDA, F.R.; YODER, R.E.; SOUZA, F. INSTALAÇÃO E CALIBRAÇÃO DE UM LISÍMETRO DE PESAGEM NO PROJETO DE IRRIGAÇÃO CURUPARAIPABA, CE. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.3, n.1, p.107-110, 1999.

PAYERO, J.O.; IRMAK, S. **Construction, installation, and performance of two repacked weighing lysimeters**. Irrigation Science, Heidelberg, v.26, n.2, p.191-202, 2008.

PEREIRA, F.A.C. **Desempenho do modelo de Penman-Monteith e de dois evaporímetros na estimativa da evapotranspiração de referencia (ET_o) em relação a um lisímetro de pesagem**. Piracicaba, 1998. 87f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura Luis de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1998.

PEREIRA, A.R.; VILLA NOVA, N.A.; SEDIYAMA, G.C. **Evapo(transpi)ração**. Piracicaba: FEALQ, 1997. 183p.

PRUITT, W.O.; ANGUS, D.E. Large weighing lysimeter for measuring evapotranspiration. **Transactions of the American Society of Agricultural Engineers**, Saint Joseph, v. 3, n. 2, p. 13-18, 1960.

PRUITT, W.O., LOURENCE, F.G. Experiences in lysimeter for ET and surface drag measurements. In: NATIONAL CONFERENCE ON ADVANCES IN

EVAPOTRANSPIRATION, Chicago, 1985: **Advances in evapotranspiration: proceedings**. St Joseph: ASAE, 1985. P.51-69. (ASAE. Publication, 14-85)

REEDY, S.J.; AMORIM NETO, M.S. **Dados de precipitação, evapotranspiração potencial, radiação solar global de alguns locais e classificação climática do Nordeste do Brasil**. Petrolina: Embrapa-CPATSA, 1993. 280p.

REICHARDT, K.; TIMM, L.C. **Solo, planta e atmosfera: conceitos, processos e aplicações**. 1. Ed. Barueri: Ed. Manole, 2004. 478p.

ROCHA, F.J. **Resposta da lima ácida 'Tahiti' (*Citrus latifolia* Tan.) a diferentes porcentagens de área molhada**. 2008. 56f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura Luis de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2008.

ROSENBERG, N.J. Evaporation and condensation on bare soil under irrigation in the East Central Great Plains. **Agronomy Journal**, Madison, v. 61, p. 557-561, 1969.

SANTOS, R.A.; FOLEGATTI, M.V.; BOTREL, T.A.; ATARASSI, R.T.; ALVES JÚNIOR, J. Projeto, construção e calibração de um lisímetro móvel de pesagem, com célula de carga hidráulica, para determinação de demanda hídrica de mudas cítricas em casa de vegetação. **Irriga**, Botucatu, v.12, n.2, p.202-215, 2007.

SILVA, F.C. **Uso de dispositivos lisimétricos para medida da evapotranspiração de referência**. 1996. 70f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura Luis de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1996.

Van BAVEL, C.H.M.; MYERS, L.E. An automatic weighing lysimeter. **Agricultural Engineering**, Saint Joseph, v. 43, p. 580-583, 586-588, 1962.

WHEELER, A.J.; GANJI, A.R. **Introduction to engineering experimentation**. New Jersey: Prentice Hall, 1996. 415 p.

CAPITULO 2

DETERMINAÇÃO DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO E COEFICIENTE DE CULTIVO DA VIDEIRA DE VINHO cv. SYRAH (*Vitis vinifera* L.) COM O USO DE LISÍMETROS DE PESAGEM³

³ Artigo ajustado e submetido ao Comitê Editorial do periódico científico: Revista Irriga

DETERMINAÇÃO DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO E COEFICIENTE DE CULTIVO DA VIDEIRA DE VINHO cv. SYRAH (*Vitis vinífera* L.) COM O USO DE LISÍMETROS DE PESAGEM

RESUMO: Este trabalho teve como objetivo a determinação da evapotranspiração da videira de vinho cv. Syrah (*Vitis vinífera* L.) e o coeficiente de cultivo (K_c) na fase inicial de implantação de um parreiral, por meio de lisímetros de pesagem. O experimento foi realizado no Campo Experimental de Bebedouro da Embrapa Semi-árido, em Petrolina-PE (9° 9' de latitude sul, 40° 29' de longitude oeste), de dezembro de 2009 a janeiro de 2010, em um parreiral de uva de vinho de 0,5 hectare no espaçamento 3 X 1 m com irrigação por gotejamento. Foram utilizados dois lisímetros de pesagem, com dimensões 1,20 m de largura, 2 m de comprimento e 1,0 m de profundidade. A evapotranspiração de referência foi estimada pelos métodos de Penman-Monteith FAO e Tanque Classe A. A evapotranspiração da cultura média durante o período experimental foi de 3,64 e 3,68 mm.dia⁻¹, os valores médios obtidos de K_c foram 0,81 e 0,83 quando a ETo foi estimada pelo método de Penman-Monteith e 0,99 e 1,00 quando a ETo foi estimada pelo método do Tanque Classe A, para os lisímetros 1 e 2, respectivamente. Os métodos de estimativas da evapotranspiração de referência alteraram os valores dos coeficientes de cultivo para o período avaliado. Em média, o método do Tanque Classe A superestimou em 20% o coeficiente de cultivo em relação ao método de ETo de Penman-Monteith FAO. Os lisímetros de pesagem apresentaram excelente desempenho para detecção das variações de massa na escala diária para determinação da evapotranspiração da videira de vinho, podendo ser utilizados como base para o manejo da irrigação no Vale do Submédio São Francisco.

Palavras-chave: evapotranspiração da cultura, lisimetria de pesagem, uva de vinho

DETERMINATION OF EVAPOTRANSPIRATION AND CROP COEFFICIENT OF WINE GRAPES cv. SYRAH (*Vitis vinifera* L.) USING WEIGHING LYSIMETER

SUMMARY: The objective of this research work was to determine the evapotranspiration (ET_c) and the crop coefficient (K_c) of wine grape cv. Syrah (*Vitis vinifera* L.) in the first stages of the establishment period of a vineyard, using weighing lysimeters. The experiment was carried out at Bebedouro Experimental Field (9° 9' S latitude, 40° 29' W longitude), Embrapa Tropical Semi-Arid, Petrolina, Pernambuco State, Brazil, from December 2009 to January 2010, in a 0,5 ha vineyard, with plants spaced on 1.0 x 3.0 m and irrigated by drip. Two weighing lysimeters 1.2 m wide, 2 m long, and 1.0 m depth, were used. The reference evapotranspiration (ET_o) was estimated by Penman-Monteith FAO and class A pan methods. The average ET_c values were 3.64 and 3.68 mm.day⁻¹, and the average K_c values were 0.81 and 0.83 for ET_o estimated by Penman-Monteith FAO method, and 0.99 and 1.00 for The methods for ET_o estimative influenced K_c values for the analyzed period of time. ET_o estimated by class A pan method, using lysimeters 1 and 2, respectively. On average, the method of class A pan evaporation overestimated by 20% the crop coefficient for the method of ET_o Penman-Monteith FAO. The weighing lysimeters presented very good performance to measure weight changes on daily basis to estimate wine grape evapotranspiration and can be used as a basis for irrigation in the valley of San Francisco.

Key words: crop evapotranspiration, weighing lysimeters, wine grape

INTRODUÇÃO

A fruticultura é uma das principais atividades agrícolas da região do Submédio São Francisco, cuja área de cultivo da videira (*Vitis vinifera L.*) tem apresentado significativo aumento graças, em parte, às condições edafoclimáticas da região e à prática da irrigação (SOARES & NASCIMENTO, 1998). Desse modo, torna-se necessário o conhecimento das relações entre a água, o solo, a planta e a atmosfera para a obtenção de produtividades economicamente rentáveis e de frutos que atendam às exigências dos mercados, bem como o aprimoramento de sistemas de produção visando a produção de vinhos regionais de qualidade. Nessas relações, é de grande importância a obtenção de informações referentes a quantificação do fluxo de vapor d'água para a atmosfera provenientes do cultivo da videira, visando o manejo adequado de água no solo e auxílio na concepção de sistemas de irrigação.

O consumo hídrico de uma cultura é a quantidade de água requerida pela mesma, em determinado período de tempo, de modo a não limitar seu crescimento e produção, considerando as condições climáticas locais. Existem diversos métodos diretos e indiretos para a sua determinação, sendo a medição direta obtida geralmente pelas formas propostas pelos métodos do lisímetro e a indireta em modelos físico-matemáticos que se baseiam em elementos climáticos provenientes de estações meteorológicas, para proceder ao cálculo da evapotranspiração, e com base nesta e nos coeficientes de cultura, estimar a evapotranspiração da cultura.

Dentre os métodos indiretos utilizados para determinação da evapotranspiração, destaca-se o do balanço de energia, que se baseia no princípio de conservação de energia. Nesse método, a energia disponível que está associada à diferença entre o saldo de radiação e o fluxo de calor no solo, é repartida entre os processos de evapotranspiração ou calor latente e o aquecimento do ambiente. Segundo Sedyama (1996) esse método que se baseia nas propriedades conservativas da camada limite da planta, apresenta dificuldades, por envolver medições e correlações de fluxos turbulentos e componentes da razão de Bowen, em condições específicas de tal forma que os fluxos horizontais sejam insignificantes. Na cultura da videira este método já foi

empregado por Oliver & Sene (1992), Heilman et al. (1994), Teixeira et al. (1997) e Soares (2003).

Para evitar incertezas de medições envolvidas em alguns métodos de estimativa do consumo hídrico das culturas é que vários autores tem recorrido ao uso da lisimetria. O lisímetro é o método direto mais comum utilizado na quantificação do fluxo de vapor d'água para a atmosfera proveniente de superfícies úmidas em combinação com a transpiração das plantas em áreas cultivadas, pelo qual através do balanço de massa ou volume de água, determinam a evaporação ou evapotranspiração. O emprego de lisímetros de pesagem estabelece relações diretas entre a perda de água pela cultura e as variáveis climáticas envolvidas no processo (CAMPECHE, 2002), considerados equipamentos padrão para aferição dos demais métodos de determinação da evapotranspiração (FARIA et al., 2006).

Para Allen et al. (1998), a evapotranspiração da cultura é determinada pela aproximação do coeficiente de cultivo considerando que os efeitos das variáveis climáticas são incorporadas à evapotranspiração de referência. Segundo esses mesmos autores, o efeito da transpiração da cultura e evaporação do solo, é integrado em um único coeficiente de cultivo, calculado empiricamente a partir de dados lisimétricos.

O conhecimento da evapotranspiração da cultura e do coeficiente de cultivo é fundamental para se outorgar, dimensionar e manejar a irrigação de uma cultura e, uma vez que estes valores variam conforme a disponibilidade energética do local, tipo de solo, variedade e idade da planta são importantes à obtenção de valores regionalizados (SILVA et al., 2006).

Já existem recomendações de coeficiente de cultivo para algumas cultivares de uva no Vale do Submédio São Francisco (TEIXEIRA et al., 1999; TEIXEIRA et al., 2003; ÁVILA NETTO et al., 2000), mas ainda não há nenhuma recomendação para a videira de vinho cv. Syrah. Ainda nenhum desses trabalhos foi realizado com lisimetria de pesagem, sendo considerado, por diversos autores, a ferramenta padrão devido à sua praticidade e precisão (HOWELL et al., 1991; CAMPECHE, 2002).

Desta maneira, o objetivo do presente trabalho foi determinar a evapotranspiração da videira de vinho (*Vitis vinífera* L.) cv. Syrah, utilizando lisímetros de pesagem baseado em célula de carga, durante o estágio inicial de

desenvolvimento, bem como, a determinação do coeficiente de cultivo em plantas cultivadas no vale do Submédio São Francisco.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado na área do Campo Experimental de Bebedouro da Embrapa Semi-árido, no Submédio São Francisco, no município de Petrolina, PE, com as seguintes coordenadas geográficas: 9° 9' de latitude sul, 40° 29' de longitude oeste, com uma altitude de aproximadamente 365,6 metros acima do nível do mar. Conforme a classificação de Köppen a região apresenta clima do tipo BSw^h' (REDDY & AMORIM NETO, 1993). Nessa região, geralmente, a estação chuvosa compreende os meses de novembro a abril, com precipitação média anual em torno de 530 mm, irregularmente distribuída. A umidade relativa média anual é de 66% e a temperatura do ar média anual é de 26,5°C, apresentando os maiores picos entre outubro e dezembro, enquanto julho é o mês mais frio. O solo da área experimental foi classificado como Latossolo Vermelho-Amarelo (EMBRAPA, 1999) textura média, apresentando relevo plano.

As medidas a campo foram realizadas numa área de 5.000 m² cultivados com videira de vinho cv. Syrah, tendo instalados na sua parte central uma bateria com 2 lisímetros de pesagem.

A adubação da área foi feita em cova no momento do plantio, sendo aplicado à lanço 0,15 kg de calcário dolomítico juntamente com 0,05 kg de superfosfato simples por planta. A fonte de matéria orgânica foi o esterco curtido de caprino (12 dm³/planta).

A cultura da videira de vinho, foi implantada no início de dezembro de 2009 em uma parcela experimental de aproximadamente 0,5 hectare (Figura 1). As mudas são da variedade Syrah enxertadas sobre porta-enxerto Paulsen 1103, transplantadas com 2 meses de idade, no espaçamento de 3 m X 1 m, totalizando 1680 plantas na área. O sistema de irrigação utilizado no parreiral foi por gotejamento, com emissores com vazão de 2,5 L h⁻¹, espaçados de 0,5 m. Como foi utilizado dois emissores por planta a vazão para cada planta foi de 5 L h⁻¹.

Dentro dos lisímetros a irrigação foi realizada manualmente com regador. Esse procedimento foi necessário porque o tempo de irrigação com o regador é

muito inferior (0,5 hora) ao realizado com o sistema de irrigação da área experimental, que dura em média 2,5 horas. Como o sistema automático de coleta de dados foi programado para aquisições a cada segundo e armazenamento das médias a cada trinta minutos, esse procedimento evitou que 5 pontos da curva de evapotranspiração da cultura plotados no gráfico no momento da avaliação fossem descartados, já que no momento da irrigação não houve como separar o volume de água que foi aplicado e evapotranspirado concomitantemente. Esse procedimento visa garantir uma melhor qualidade nos dados coletados e reduzir os descartes de dados nos dias de irrigação.



Figura 1 – Parreiral de videira de vinho no Campo Experimental de Bebedouro, Petrolina-PE.

Para determinação da evapotranspiração da cultura foram utilizados dois lisímetros de pesagem com dimensões 2,0 m de comprimento por 1,2 m de largura e 1,0 m de profundidade. Os lisímetros foram construídos com chapas de aço galvanizado e instalados sobre uma estrutura metálica montada sobre barras transversais, a fim de concentrar a massa do conjunto sobre uma célula de carga localizada no centro do sistema. Após instalado em um fosso escavado e revestido de alvenaria, o lisímetro foi preenchido com camadas de 0,10m, sendo a última camada com brita, e acima foi colocada uma manta geotextil de Bidin, no intuito de facilitar a drenagem da caixa lisimétrica. As demais camadas foram preenchidas com solo mantendo a disposição original das mesmas no perfil. Após

o preenchimento do lisímetro, realizou-se a sua calibração, utilizando sacos com brita com massa conhecida, visando verificar a relação existente entre a saída de sinal das células de carga (mV) e a massa dos equipamentos. Os lisímetros apresentaram sensibilidade para detecção de massa de 0,00001 mm, resolução igual a 0,11 mm e exatidão de 0,4, 0,6 mm de lâmina de água, para os lisímetros 1 e 2, respectivamente.

Todos os equipamentos estavam providos de uma célula de carga, modelo SV100 da Alfa Instrumentos Eletrônicos Ltda⁴. Para coleta de dados, foi utilizado um sistema automático de armazenamento, Datalogger CR10X da Campbell Scientific, que foi programado para efetuar aquisições a cada segundo e armazenar médias a cada trinta minutos, sendo posteriormente coletados com módulo de armazenamento e transferidos para microcomputador usando como interface um software para a conversão dos valores de entrada e saída de massa.

Os dados de evapotranspiração de referência diária, foi obtido da estação automática agrometeorológica do Campo Experimental de Bebedouro da Embrapa Semi-árido distante aproximadamente 80 metros dos lisímetros, com sensores de radiação líquida, temperatura e umidade relativa do ar, velocidade do vento, precipitação e placa de fluxo de calor do solo. Próxima a estação automática havia instalado um Tanque Classe A com 10 m de bordadura de grama.

A evapotranspiração de referência foi estimada aplicando-se o método Penman-Monteith FAO (ET_o PM) (ALLEN et al., 1998) e por meio da evaporação do Tanque Classe A (ET_o TCA), utilizando-se um fator de ajuste do tanque (K_p) de acordo com a recomendação de Doorenbos & Pruitt (1997).

A determinação da evapotranspiração nos lisímetros de pesagem, foi realizada de acordo com a metodologia apresentada por Medeiros et al. (2003), Campeche (2002), Alves Júnior (2006) e Silva (2003), que para efeito do cálculo da evapotranspiração, os dados dos lisímetros foram tomados a partir da diferença entre o peso registrado no início do dia, zero hora e o peso no final do dia (24h).

Todas as leituras dos lisímetros foram analisadas diariamente para que valores inconsistentes fossem detectados e descartados do cálculo da

⁴ O uso da marca não teve como finalidade a propaganda do equipamento pelo autor.

evapotranspiração, principalmente em dias com precipitação intermitente em período de luz. Foram coletados 34 dias de leituras, e considerado para efeito de avaliação 33 dias. Uma vez realizado este procedimento para cada dia, a massa era obtida da transformação do sinal elétrico, utilizando a equação de calibração.

Foram determinados os coeficientes de cultivo da videira de vinho cv. Syrah para a fase inicial de desenvolvimento, pela razão entre a evapotranspiração da cultura, que foi determinado pelo método do lisímetro de pesagem, e a evapotranspiração de referência, que foi estimado pelos métodos de Penman-Monteith e Tanque Classe A.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Condições meteorológicas durante o experimento

A radiação solar, temperatura, umidade relativa do ar e velocidade do vento, foram aqui apresentados de modo a caracterizar o local do experimento, por que são elementos essenciais nos estudos de determinação da demanda hídrica da cultura da videira. De acordo Medeiros (2002) a radiação solar é a responsável pelo aporte de energia necessária para que o processo físico ocorra, a temperatura e a umidade relativa do ar, juntas definem o déficit de pressão de vapor próximo à superfície evaporante, e a velocidade do vento é a responsável pela renovação do ar junto à superfície em questão.

Com relação a radiação solar global (Figura 2), durante o período de realização do estudo em campo, ocorreram variações entre 8,41 a 27,89 MJ.m².dia⁻¹, sendo os valores mais baixos correspondentes aos dias nublados e, portando, com menor demanda evapotranspirativa. A presença de nuvens é um dos principais fatores responsáveis por esta variação, interferindo nas trocas de energia radiante entre o sol e a superfície do solo.

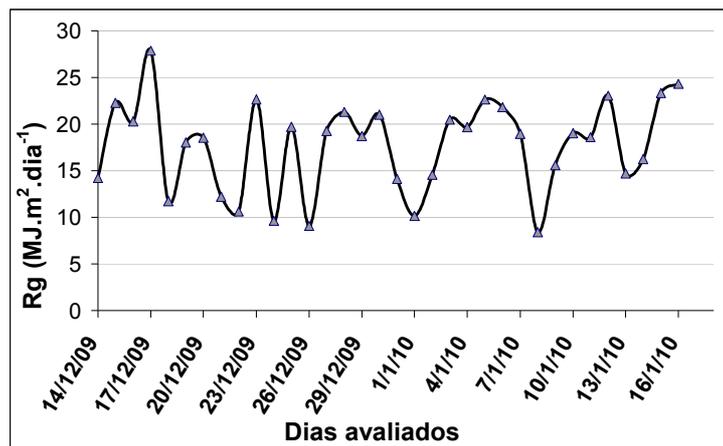


Figura 2 – Radiação global durante o período experimental.

Verificou-se que a temperatura do ar (Figura 3) variou de 19,9 a 28,8 °C, caracterizando, portanto, um ambiente de calor elevado, com contribuição significativa para o processo de evapotranspiração. A umidade relativa do ar apresentou variação de 48,2 a 83,1%. Observou-se que com o aumento da temperatura do ar, ocorreu grande redução nos valores da umidade relativa do ar, favorecendo a maior evapotranspiração das plantas, em resposta a elevação da demanda atmosférica. Os valores de temperatura e umidade relativa do ar foram característicos dos meses de dezembro a janeiro, próximo das normais climatológicas da região (INMET, 2009).

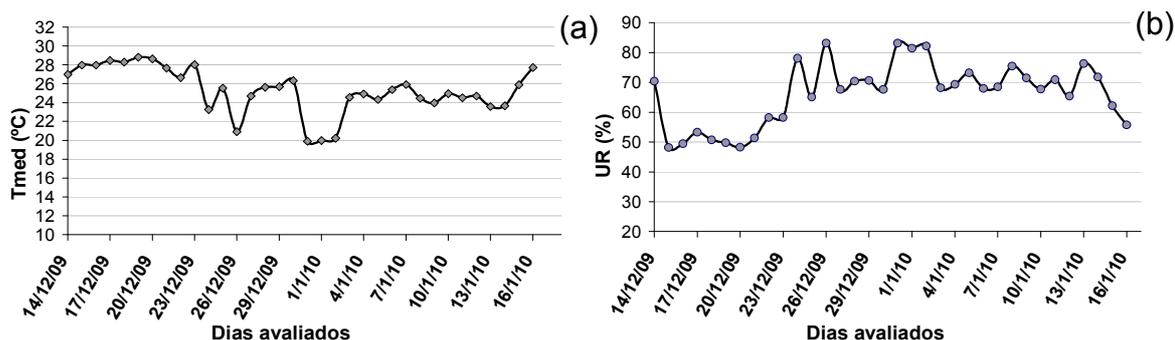


Figura 3 – Temperatura média do ar (°C) (a) e umidade relativa média do ar (%) (b) durante o período experimental.

A velocidade do vento no período experimental é apresentada na Figura 4, observando-se que a velocidade média diária variou de 0,32 a 3,04 m s⁻¹.

Segundo Pereira (1998) a velocidade do vento é um elemento meteorológico muito importante no processo da evapotranspiração, estando sua influencia relacionada com a resistência aerodinâmica ao transporte de calor sensível e vapor de água.

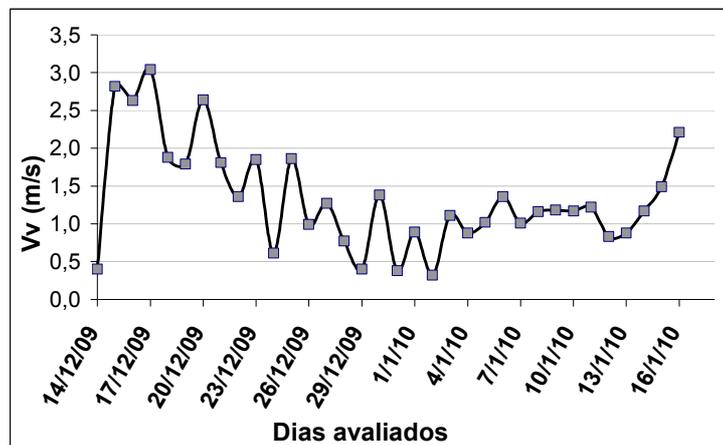


Figura 4 – Velocidade média do vento do período experimental.

Observa-se na Figura 5, que os resultados encontrados corroboram com outros estudos, que no período de luz solar os valores da velocidade do vento média diária são mais elevados. Segundo Varejão-Silva (2005), nas proximidades da interface superfície-atmosfera, o vento é altamente influenciado pelas características geométricas e pelo estado de aquecimento da própria superfície subjacente. Desta maneira, durante o dia, ocorreu obviamente maior perda de água no sistema solo-planta para a atmosfera.

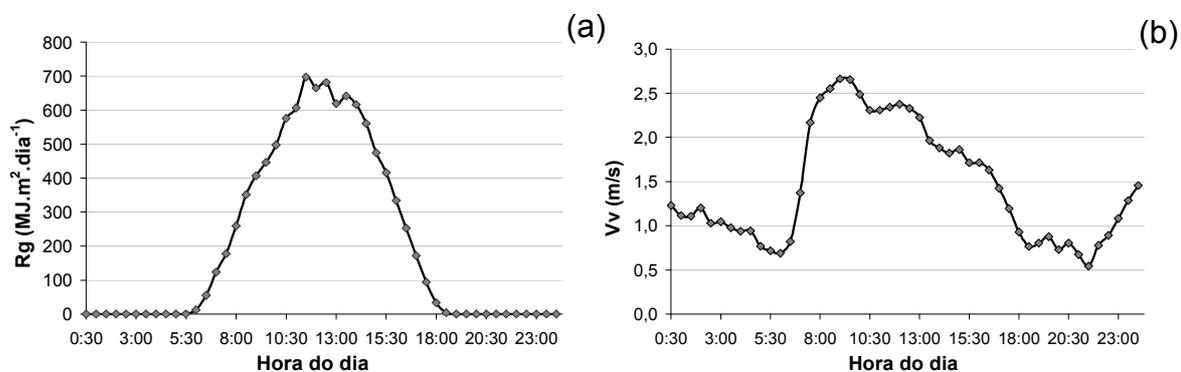


Figura 5 – Valores de radiação global média diária (a) e velocidade do vento média diária (b) do período de estudo.

Evapotranspiração de referencia e evapotranspiração da cultura

As variações diárias da evapotranspiração da videira medidas no lisímetro de pesagem, da evapotranspiração de referência (ET_o) estimada pelo método de Penman-Monteith FAO e Tanque Classe A são mostradas na Tabela 1. As médias diárias de ET_o variaram de um valor de 2,54 a 7,28 mm dia⁻¹ e de 1,52 a 8,22 mm dia⁻¹ durante o período de estudo, estimados pelos métodos de Penman-Monteith e Tanque Classe A, respectivamente. Nota-se, que os valores de ET_o do período de 14 a 29 de dezembro, obtido pela evapotranspiração do Tanque Classe A, foram ligeiramente superiores aos valores de ET_o obtido pelo método Penman-Monteith. A partir do dia 31 de dezembro a 16 de janeiro, esse comportamento inverteu, onde foi encontrado valores de ET_o superiores para a evapotranspiração estimada pelo método Penman-Monteith. Segundo Allen et al. (1998) essa diferença nos valores de ET_o nos dois métodos de estimativa é possível por que existem diferenças entre a evaporação que ocorre no tanque e evapotranspiração na planta. O caminho percorrido pelo vapor apresenta-se diferente com relação às resistências de perdas de vapor d'água, além do aspecto da transmissão de calor para o corpo do tanque. Observou-se que no período de 14 a 29 de dezembro as condições atmosféricas (UR_{med} = 62,05%, T_{med} = 26,31°C, R_{gmed} = 17,57 MJ.m².dia⁻¹, V_v = 1,50 m.s⁻¹) favorecia os maiores valores de evaporação do Tanque Classe A. Já no período de 31 de dezembro a 16 de janeiro de 2010, as condições climáticas (UR_{med} = 70,48%, T_{med} = 24,28°C, R_{gmed} = 17,99 MJ.m².dia⁻¹, V_v = 1,12 m.s⁻¹) não foi favorável para que o tanque Classe A superestimasse os dados de evapotranspiração, ocorrendo nesse caso uma subestimativa dos valores de evapotranspiração por esse método.

A ET_c foi menor que a ET_o, em torno de 70% e 50% nos dias do período observado, para os métodos de Penman-Monteith e Tanque Classe A, respectivamente, conforme apresentada na Tabela 1. Dessa maneira, a ET_c aproximou ou superou a ET_o em aproximadamente 30% e 50% dos dias observados, para os métodos de Penman-Monteith e Tanque Classe A, respectivamente. Essa diferença entre os dois métodos é justificado por Allen et al. (1998) como sendo a evaporação que ocorre no tanque e evapotranspiração na planta diferentes e influenciados pelas condições aerodinâmicas do local. A evapotranspiração da cultura durante o período experimental variou de 1,54 a

5,59 mm.dia⁻¹ e de 1,38 a 6,11 mm.dia⁻¹, para os lisímetros 1 e 2, respectivamente, correspondendo a um valor médio de 5,28 litros por planta por dia. Para o período de 14 a 29 de dezembro os valores de ET_c foi inferior aos valores de ET_o estimado pelos métodos do tanque classe A e Penman-Monteith FAO. A partir desse período até o dia 16 de janeiro os valores de evapotranspiração foi muito próximo ou ligeiramente superior aos valores de ET_o.

Tabela 1 – Estimativa diária da evapotranspiração de referência pelo método de Penman-Monteith (PM) e Tanque Classe A (TCA) e evapotranspiração da cultura (ET_c) pelo método lisimétrico e consumo da planta em litros/dia (L/pl.).

Dia	ET _o (mm)		ET Cultura (mm)			
	PM FAO	TCA	Lis 1		Lis 2	
			mm	L/pl.	Mm	L/pl.
14/12/09	3,55	5,15	2,06	2,47	2,19	2,63
15/12/09	6,06	8,22	3,76	4,51	4,39	5,27
16/12/09	5,99	7,89	3,31	3,97	2,88	3,46
17/12/09	7,28	7,17	2,28	2,74	2,66	3,19
18/12/09	4,39	5,67	4,44	5,33	3,81	4,57
19/12/09	5,22	7,02	2,51	3,01	2,42	2,90
20/12/09	6,01	7,58	2,74	3,29	2,30	2,76
21/12/09	4,46	4,81	3,07	3,68	3,23	3,88
22/12/09	3,58	4,06	2,62	3,14	2,30	2,76
23/12/09	5,72	6,32	2,50	3,00	3,81	4,57
24/12/09	2,54	2,12	1,54	1,85	1,38	1,66
25/12/09	5,14	6,32	4,11	4,93	3,45	4,14
27/12/09	4,63	5,72	4,90	5,88	5,30	6,36
28/12/09	4,80	6,09	5,01	6,01	4,50	5,40
29/12/09	4,25	4,20	3,30	3,96	3,45	4,14
30/12/09	5,07	4,13	4,78	5,74	4,96	5,95
31/12/09	3,16	1,72	3,76	4,51	2,88	3,46
01/01/10	2,58	2,03	2,40	2,88	2,88	3,46
02/01/10	3,26	1,52	2,97	3,56	3,22	3,86
03/01/10	4,79	3,57	5,59	6,71	4,96	5,95
04/01/10	4,65	3,25	5,02	6,02	5,42	6,50
05/01/10	5,14	3,61	3,99	4,79	4,96	5,95
06/01/10	5,21	4,15	4,78	5,74	4,72	5,66
07/01/10	4,65	3,07	4,79	5,75	3,22	3,86
08/01/10	2,60	4,21	2,05	2,46	2,19	2,63

09/01/10	3,91	3,03	3,53	4,24	4,04	4,85
10/01/10	4,56	1,61	3,99	4,79	4,61	5,53
11/01/10	4,50	2,70	2,90	3,48	3,11	3,73
12/01/10	4,96	4,15	5,59	6,71	5,42	6,50
13/01/10	3,66	2,37	2,06	2,47	1,96	2,35
14/01/10	3,98	2,89	3,19	3,83	3,34	4,01
15/01/10	5,47	4,86	5,47	6,56	6,11	7,33
16/01/10	6,30	4,49	5,13	6,16	5,42	6,50
Média	4,61	4,41	3,64	4,37	3,68	4,42

Verifica-se nas curvas da Figura 6a o consumo, em litros planta⁻¹ dia⁻¹, para os lisímetros 1 e 2 durante o período experimental. Este consumo equivale a transpiração da cultura somado a evaporação do solo de uma área de 2,4 m². Observa-se que os menores valores registrados de consumo são explicados pela baixa disponibilidade de radiação (Figura 6b) e consequentemente pela menor demanda climática nestes dias. Observa-se que as plantas dos lisímetros 1 e 2, não apresentaram diferenças acentuadas no consumo de água.

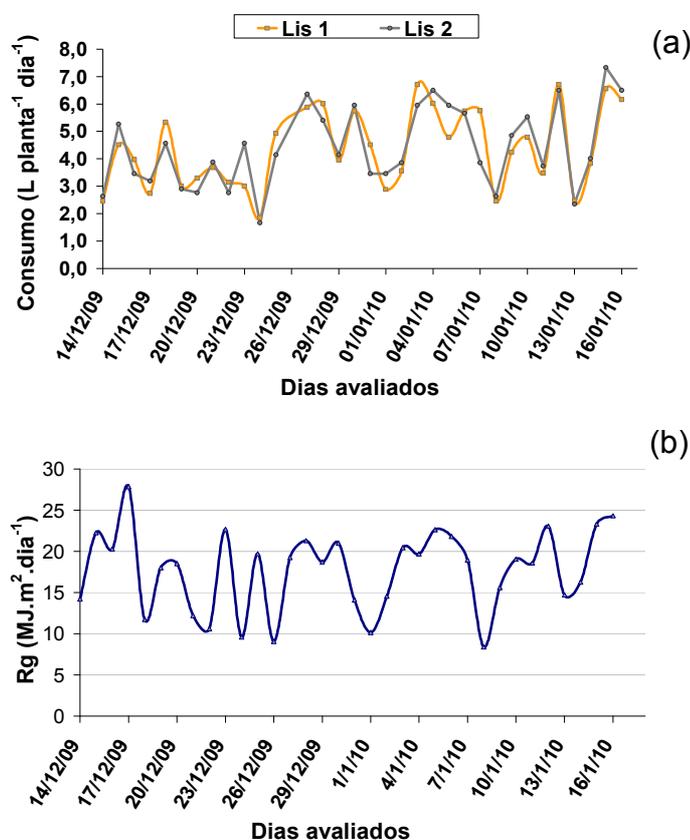


Figura 6 – Variação do consumo diário da videira (L planta dia⁻¹), determinados pelos lisímetros 1 e 2 (a) e valores de radiação global média diária (b).

A Figura 7 mostra as relações entre os valores de evapotranspiração da cultura determinados pelos lisímetros 1 e 2. Analisando, observou-se que a determinação da evapotranspiração da cultura pelo lisímetro 1 foi semelhante ao determinado pelo lisímetro 2. O bom desempenho apresentado é referenciado pela aproximação da reta de ajuste de regressão com a reta 1:1 e pelo elevado valor de coeficiente de determinação. Os lisímetros apresentaram desempenho satisfatório em virtude da pequena dispersão dos valores medidos em torno da reta de ajuste da equação de regressão. Esse resultado indica que o uso da metodologia do lisímetro de pesagem, constitui uma alternativa adequada para o manejo da irrigação na região.

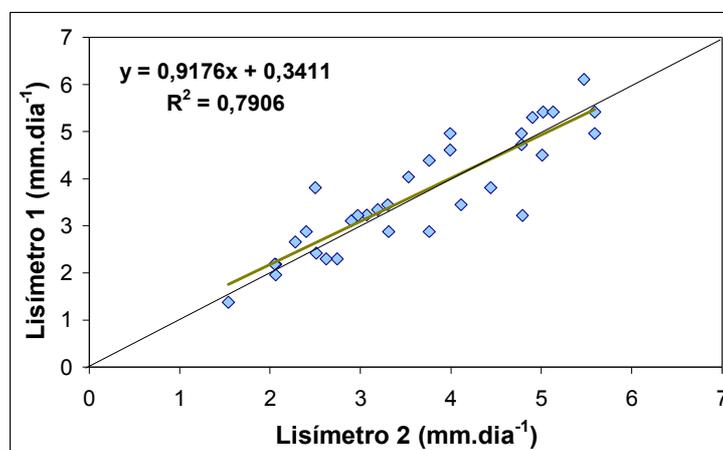


Figura 7 – Relações entre a evapotranspiração da cultura medida no lisímetro 1 e lisímetro 2 durante o período experimental.

Evapotranspiração da cultura nos períodos de 24 horas e de luz

A partir dos dados apresentados na Tabela 2, pode-se separar o fluxo evapotranspirativo para os período de 24 horas e de luz, que corresponde ao período das 6:00 as 18:30 horas (período em que a radiação líquida tornou se positiva). Verificou-se que o maior percentual de perda de água no sistema solo-planta ocorreu no período de radiação líquida positiva, perfazendo na média, aproximadamente 88% do total. Pereira (1998), trabalhando com grama encontrou resultados semelhantes, onde o percentual de perda de água no período diurno, atingiu em média 85% do total.

A perda de água no período noturno é representada somente por aproximadamente 12% do percentual total, que segundo Pereira (1998), esta

associada a ação dos ventos, os quais condicionam os fatores aerodinâmicos, influenciando desta forma a evapotranspiração e a umidade do solo. De acordo o mesmo autor, do total desse percentual de perda de água no período noturno cabe ao processo evaporativo do solo, haja visto que a transpiração via estômatos, é desprezível durante o período sem energia solar.

Tabela 2 – Evapotranspiração da cultura média dos lisímetros de pesagem, para o período de 24 horas e de luz e o percentual da ETc que ocorre fora do período de radiação.

Data	ET med Lis mm.dia ⁻¹	ET med Lis mm.p.luz ⁻¹	Δ ET Lis mm	Δ ET Lis %
14/12/09	2,13	1,84	0,29	13,41
15/12/09	4,08	3,46	0,61	15,09
16/12/09	3,10	2,55	0,55	17,61
17/12/09	2,47	2,23	0,24	9,72
18/12/09	4,13	3,35	0,78	18,79
19/12/09	2,47	2,30	0,17	6,69
20/12/09	2,52	2,17	0,35	13,89
21/12/09	3,15	2,88	0,27	8,57
22/12/09	2,46	1,95	0,51	20,73
23/12/09	4,40	3,46	0,94	21,36
24/12/09	1,46	1,34	0,12	8,22
25/12/09	3,78	2,88	0,90	23,81
27/12/09	5,10	4,93	0,17	3,33
28/12/09	4,76	4,27	0,49	10,20
29/12/09	3,38	2,99	0,39	11,41
30/12/09	4,87	4,18	0,69	14,17
31/12/09	3,32	2,61	0,71	21,39
01/01/10	2,64	2,19	0,45	17,05
02/01/10	2,64	2,07	0,57	21,59
03/01/10	5,28	4,38	0,90	16,97
04/01/10	5,22	4,84	0,38	7,28
05/01/10	4,48	4,15	0,32	7,26
06/01/10	4,75	4,49	0,26	5,47
07/01/10	4,01	3,50	0,51	12,61
08/01/10	2,12	1,96	0,16	7,55
09/01/10	3,79	3,23	0,56	14,66

10/01/10	4,61	4,38	0,23	4,99
11/01/10	3,00	2,76	0,24	8,00
12/01/10	5,51	5,18	0,33	5,90
13/01/10	2,01	1,64	0,37	18,41
14/01/10	3,27	2,85	0,42	12,71
15/01/10	5,79	5,54	0,25	4,32
16/01/10	5,28	5,09	0,19	3,51
Médias	3,69	3,26	0,43	12,32

Coefficiente de cultivo (Kc)

De acordo a Tabela 3, os valores de Kc obtido da relação entre a evapotranspiração da cultura, determinado pelo lisímetro de pesagem e a evapotranspiração de referência, obtido pelo método de Penman-Monteith, variou de 0,31 a 1,17 e de 0,37 a 1,17 e pelo método do Tanque Classe A variou de 0,32 a 2,48 e de 0,30 a 2,87, para os lisímetro 1 e 2, respectivamente. A média dos valores observados de Kc foram 0,82 e 0,83 determinado pelo método de Penman-Monteith, 0,99 e 1,00 estimado pelo método do Tanque Classe A, para os lisímetros 1 e 2, respectivamente.

Os métodos de estimativa da evapotranspiração de referência alterou os valores dos coeficientes de cultivo para o período avaliado. Em média, o método do Tanque Classe A superestimou em 20% o coeficiente de cultivo em relação ao método de ETo de Penman-Monteith FAO. Este valor esta muito próximo encontrado por Pereira (1998), num trabalho desenvolvido com grama. A superestimativa máxima encontrada foi de 145% e o desvio padrão foi de 0,17 e 0,55 para os lisímetro 1 e 2, respectivamente. Pereira (1998) e Pereira (1997), afirmam que o agrupamento de dados em períodos de 3 a 5 dias promovem reduções nos valores de desvio padrão.

Nota-se ainda na Tabela 3, que os valores de Kc do período de 14 a 29 de dezembro, obtido pela evapotranspiração do Tanque Classe A, foi ligeiramente inferiores aos valores de Kc obtido pelo método Penman-Monteith. A partir do dia 30 de dezembro a 16 de janeiro, essa tendência se inverteu, em que foi encontrado valores de Kc superiores para a evapotranspiração estimada pelo método do Tanque Classe A.

Tabela 3 – Valores de Coeficiente de cultivos estimado pelos métodos de Penman-Monteith e Tanque Classe A.

Dia	Coeficiente de cultivo (Kc)			
	Penman-Monteith		Tanque Classe A	
	Lis 1	Lis 2	Lis 1	Lis 2
14/12/09	0,58	0,62	0,40	0,43
15/12/09	0,62	0,72	0,46	0,53
16/12/09	0,55	0,48	0,42	0,36
17/12/09	0,31	0,37	0,32	0,37
18/12/09	1,01	0,87	0,78	0,67
19/12/09	0,48	0,46	0,36	0,34
20/12/09	0,46	0,38	0,36	0,30
21/12/09	0,69	0,72	0,64	0,67
22/12/09	0,73	0,64	0,65	0,57
23/12/09	0,44	0,67	0,40	0,60
24/12/09	0,61	0,54	0,73	0,65
25/12/09	0,80	0,67	0,65	0,55
27/12/09	1,06	1,14	0,86	0,93
28/12/09	1,04	0,94	0,82	0,74
29/12/09	0,78	0,81	0,79	0,82
30/12/09	0,94	0,98	1,16	1,20
31/12/09	1,19	0,91	2,18	1,67
01/01/10	0,93	1,12	1,18	1,42
02/01/10	0,91	0,99	1,95	2,12
03/01/10	1,17	1,04	1,57	1,39
04/01/10	1,08	1,17	1,55	1,67
05/01/10	0,78	0,96	1,11	1,37
06/01/10	0,92	0,91	1,15	1,14
07/01/10	1,03	0,69	1,56	1,05
08/01/10	0,79	0,84	0,49	0,52
09/01/10	0,90	1,03	1,16	1,33
10/01/10	0,88	1,01	2,48	2,87
11/01/10	0,64	0,69	1,08	1,15
12/01/10	1,13	1,09	1,35	1,30
13/01/10	0,56	0,54	0,87	0,83
14/01/10	0,80	0,84	1,11	1,16
15/01/10	1,00	1,12	1,13	1,26
16/01/10	0,81	0,86	1,14	1,21
Média	0,81	0,83	0,99	1,00

A determinação da evapotranspiração da cultura e coeficiente de cultivo na fase inicial de desenvolvimento da cultura da videira não é citado na literatura. Os valores de K_c determinados neste trabalho, mesmo sendo determinados para a fase inicial de desenvolvimento da cultura, estão dentro da faixa de medição encontrado por alguns pesquisadores como Teixeira et al. (1999), Teixeira et al. (2003) e Soares (2003), que desenvolveram trabalhos de determinação do consumo hídrico da videira em fase de produção, por meio da metodologia do balanço de energia com base na razão de Bowen, para a região do Submédio São Francisco.

Teixeira et al., (1999) por meio de um trabalho com a videira Itália (*Vitis vinífera*), constatou que os valores de K_c elevaram-se de 0,62 (18 dias após a poda - DAP) até 1,15 (94 DAP – 2ª fase de desenvolvimento do fruto).

Teixeira et al. (2003), desenvolveu um experimento com a videira de vinho Petite Syrah na determinação da evapotranspiração e constatou que os valores de K_c elevaram-se de 0,70 (período de brotação) até um máximo de 0,97 (início da 2ª fase de desenvolvimento do fruto) quando então tendeu a decrescer gradualmente até 0,76 aos 136 DAP.

Soares (2003) desenvolvendo experimento utilizando videira variedade Superior Seedless, constatou que os valores de K_c elevaram-se de 0,59 (período de brotação) para 1,10 (1ª fase de desenvolvimento do fruto), quando então decresceu para 0,93, mas que elevou-se novamente para 1,12 (2ª fase de crescimento do fruto), decresceu para 1,0 (maturação final do fruto) e em seguida para 0,75 (repouso fenológico).

CONCLUSÕES

A evapotranspiração média de referência foi superior à evapotranspiração média da cultura durante o período estudado, utilizado sistema de irrigação por gotejamento. Em média, o método do Tanque Classe A superestimou em 20% o coeficiente de cultivo em relação ao método de ETo de Penman-Monteith FAO.

Os lisímetros de pesagem apresentaram excelente desempenho para detecção das variações de massa na escala diária para determinação da

evapotranspiração da videira de vinho, podendo ser utilizados como base para o manejo da irrigação no Vale do Submédio São Francisco.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMUTH, M. **Crop Evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements**, Rome: FAO, 1998, 301p. Irrigation and Drainage Paper 56.

ALVES JÚNIOR, J. **Necessidade hídrica e resposta da cultura de lima ácida 'Tahiti' a diferentes níveis de irrigação**. 2006. 100f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2006.

ÁVILA NETTO, J.; AZEVEDO, P. V.; SILVA, B. B.; SOARES, J. M. e TEIXEIRA, A. H. C. EXIGÊNCIAS HÍDRICAS DA VIDEIRA NA REGIÃO DO SUBMÉDIO SÃO FRANCISCO. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.35, n.8, p.1559-1566, 2000.

CAMPECHE, L. F. S. M. **Construção, calibração e análise de funcionamento de lisímetros de pesagem para determinação da evapotranspiração da cultura da lima ácida 'Tahiti' (Citrus latifolia Tan.)**. 2002. 67f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002.

DOORENBOS, J. & PRUITT, W. O. **Guidelines for predicting crop water requirements**. Rome: FAO, 1997. 179p. (FAO. Irrigation and Drainage Paper, 24).

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília, DF: Embrapa Produção da Informação, 1999. 412 p.

FARIA, R. T.; CAMPECHE, F. S. M.; CHIBANA, E. Y. Construção e calibração de lisímetros de alta precisão. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.10, n.1, p.237-242, 2006.

HEILMAN, J. L.; McINNES, K. J.; SAVAGE, M. J.; GESH, R. W.; LASCANO, R. J. Soil and canopy energy balances in a west Texas vineyard. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v, 71, p, 99-114, 1994.

HOWELL, T. A.; SCHNEIDER, A. D.; JENSEN, M. E. History of lysimeter design and use for evapotranspiration measurements. In: ALLEN, R. G. et al. (Ed). **Lysimeter for evapotranspiration and environmental measurements**. New York: American Society of Civil Engineers, 1991. P. 1-9.

INMET - Instituto Nacional de Meteorologia. **Normais Climatológicas**: 1961 a 1990. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/html/clima/mapas/?mapa =evap>> Acesso em: dez, 2009.

MEDEIROS, A. T. **Estimativa da evapotranspiração de referência partir da equação de Penman-Monteith, de medidas lisimétricas e de equações empíricas em Paraibapa, CE**. 2002. 103f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Escola Superior "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002.

OLIVER, H.R.; SENE, K.J. Energy and water balances of developing vines. **Agricultural and Foret Meteorology**, Amsterdam, v. 61, n.2, p. 167-185, 1992.

PEREIRA, A. R.; VILLA NOVA, N. A.; SEDIYAMA, G. C. **Evapo(transpi)ração**. Piracicaba: FEALQ, 1997. 183p.

PEREIRA, F. A. C. **Desempenho do modelo de Penman-Monteith e de dois evaporímetros na estimativa da evapotranspiração de referencia (ETo) em relação a um lisímetro de pesagem**. 1998. 87f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura "Luis de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1998.

REEDY, S. J.; AMORIM NETO, M. S. **Dados de precipitação, evapotranspiração potencial, radiação solar global de alguns locais e classificação climática do Nordeste do Brasil**. Petrolina: Embrapa-CPATSA, 1993. 280p.

SEDIYAMA, G. C. Estimativa da evapotranspiração: Histórico, evolução e análise crítica. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria. V.4, n.1, p.i-xii, 1996.

SILVA, C. R.; ALVES JUNIOR, J.; SILVA, T. J. A.; FOLEGATTI, M. V.; CAMPECHE, L. F. S. M. Variação sazonal na evapotranspiração de plantas jovens de lima ácida 'Tahiti'. **Irriga**, Botucatu, v.11, n.1, p.26-35, 2006.

SILVA, L.D.B. **Evapotranspiração do capim Tanzânia (*Panicum maximum* Jacq.) e grama batatais (*Paspalum notatum* Flugge) utilizando o método do balanço de energia e lisímetro de pesagem**. 2003. 93f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2003.

SOARES, J. M. **Consumo hídrico da videira Festival sob intermitência de irrigação no Submédio São Francisco**. 2003. 309p. Tese (Doutorado em Recursos Naturais) - Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2003.

SOARES, J. M. & NASCIMENTO, T. Distribuição do sistema radicular da videira em vertissolo sob irrigação localizada. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.2, n.2, p.142-147, 1998.

TEIXEIRA, A. H. C.; AZEVEDO, P. V.; SILVA, B. B.; SOARES, J. M. Balanço de energia na cultura da videira, cv. “Itália”. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.5, n.2, p.137-141, 1997.

TEIXEIRA, A. H. C.; AZEVEDO, P. V.; SILVA, B. B. & SOARES, J. M. CONSUMO HÍDRICO E COEFICIENTE DE CULTURA DA VIDEIRA NA REGIÃO DE PETROLINA, PE. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.3, n.3, p.413-416, 1999.

TEIXEIRA, A. H. C.; BASSOI, L. H.; SILVA, T. G. F. **Estimativa da evapotranspiração da videira para vinho utilizando o balanço de energia e a metodologia proposta pela FAO**. In: Congresso Nacional de Irrigação, 13, 2003, Juazeiro. Juazeiro: ABID.

VAREJÃO-SILVA, M. A. **Meteorologia e Climatologia**, Versão Digital 1. Brasília, DF: INMET, 2005. 1 v.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

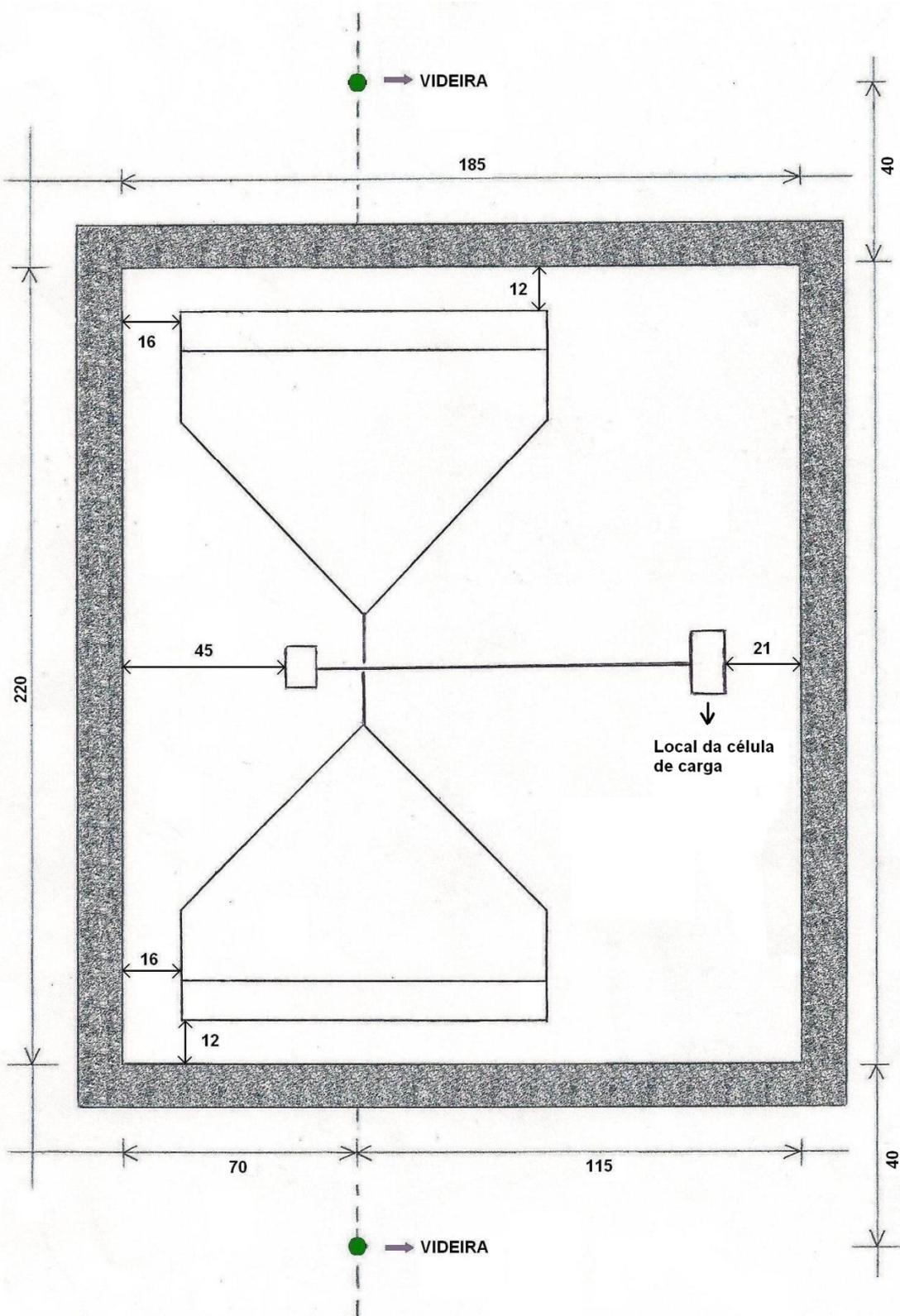
O conhecimento das relações entre a água, o solo, a planta e a atmosfera é de grande interesse para determinação das necessidades hídricas das culturas, em suas diferentes fases de desenvolvimento vegetativo, permitindo a obtenção de produtividades economicamente rentáveis, frutos que atendam as exigências dos mercados e o uso racional dos recursos hídricos. As informações referentes a quantificação do fluxo de vapor d'água para a atmosfera provenientes das culturas, depende diretamente das condições climáticas da região de estudo, do solo, da cultura e das próprias práticas culturais, sendo fundamental para o manejo adequado de água no solo e auxílio na concepção de sistemas de irrigação.

O método direto considerado mais preciso para a quantificação do fluxo de vapor d'água para a atmosfera é a lisimetria de pesagem, considerado por muitos autores como o método padrão em estudos de perda de água das culturas, seja na determinação da evapotranspiração, como também na calibração de modelos agrometeorológicos de estimativa. Com os baixos custos de produção de célula de cargas obtidos atualmente e a facilidade de conexão com os sistemas de aquisição de dados, tornou-se viável a construção de lisímetros de pesagem com boa precisão, fácil montagem e baixo custo. Assim, os estudos de demanda hídrica das culturas são facilitados, apresentando alta precisão e confiabilidade.

A videira de vinho Syrah é umas das principais variedades de uvas utilizadas na elaboração de vinhos finos no Vale do Submédio São Francisco. Nessa região, considerada semi-árida, a irrigação é a principal fonte de água para a cultura. Como na cultura da videira, tanto a deficiência como o excesso hídrico afetam de maneira marcante o comportamento dos estádios fenológicos e conseqüentemente a qualidade do vinho produzido, torna-se imprescindível o estudo das relações hídricas nas suas fases de desenvolvimento e produção, permitindo regionalizar os valores de coeficiente de cultivo e duração das fases fenológicas para as condições edafoclimáticas da região.

ANEXOS

ANEXO C – Disposição do sistema de balança e célula de carga dentro do fosso.



ANEXO D – Valores obtidos na calibração do lisímetro 1, no momento da carga e descarga dos pesos padrão.

Ordem	Massa (mm)	Massa (Kg)	Leitura (mV)
1	0	0	1,5019
2	7	16,8	1,5081
3	14	33,6	1,5143
4	21	50,4	1,5204
5	28	67,2	1,5264
6	35	84	1,5328
7	42	100,8	1,5390
8	49	117,6	1,5449
9	56	134,4	1,5511
10	63	151,2	1,5574
11	70	168	1,5633
12	71	170,4	1,5641
13	72	172,8	1,5649
14	73	175,2	1,5659
15	74	177,6	1,5668
16	75	180	1,5677
17	76	182,4	1,5685
18	77	184,8	1,5694
19	78	187,2	1,5703
20	79	189,6	1,5713
21	80	192	1,5720
22	87	208,8	1,5782
23	94	225,6	1,5843
24	101	242,4	1,5903
25	108	259,2	1,5966
26	115	276	1,6026
27	122	292,8	1,6087
28	129	309,6	1,6150
29	136	326,4	1,6211
30	143	343,2	1,6272
31	150	360	1,6334
32	143	343,2	1,6273
33	136	326,4	1,6212
34	129	309,6	1,6150
35	122	292,8	1,6089
36	115	276	1,6028
37	108	259,2	1,5966
38	101	242,4	1,5904
39	94	225,6	1,5844
40	87	208,8	1,5782
41	80	192	1,5720
42	79	189,6	1,5710
43	78	187,2	1,5701
44	77	184,8	1,5694
45	76	182,4	1,5685
46	75	180	1,5676
47	74	177,6	1,5666
48	73	175,2	1,5657
49	72	172,8	1,5650
50	71	170,4	1,5640
51	70	168	1,5631
52	63	151,2	1,5568
53	56	134,4	1,5508
54	49	117,6	1,5446
55	42	100,8	1,5383
56	35	84	1,5324
57	28	67,2	1,5262
58	21	50,4	1,5199
59	14	33,6	1,5140
60	7	16,8	1,5078
61	0	0	1,5016

ANEXO E – Valores obtidos na calibração do lisímetro 2, no momento da carga e descarga dos pesos padrão.

Ordem	Massa (mm)	Massa (Kg)	Leitura (mV)
1	0	0	1,5953
2	7	16,8	1,6015
3	14	33,6	1,6077
4	21	50,4	1,6136
5	28	67,2	1,6196
6	35	84	1,6256
7	42	100,8	1,6316
8	49	117,6	1,6382
9	56	134,4	1,6440
10	63	151,2	1,6500
11	70	168	1,6560
12	71	170,4	1,6569
13	72	172,8	1,6578
14	73	175,2	1,6586
15	74	177,6	1,6595
16	75	180	1,6604
17	76	182,4	1,6612
18	77	184,8	1,6621
19	78	187,2	1,6629
20	79	189,6	1,6638
21	80	192	1,6647
22	87	208,8	1,6706
23	94	225,6	1,6767
24	101	242,4	1,6830
25	108	259,2	1,6890
26	115	276	1,6950
27	122	292,8	1,7013
28	129	309,6	1,7074
29	136	326,4	1,7135
30	143	343,2	1,7196
31	150	360	1,7258
32	143	343,2	1,7195
33	136	326,4	1,7135
34	129	309,6	1,7074
35	122	292,8	1,7012
36	115	276	1,6950
37	108	259,2	1,6891
38	101	242,4	1,6831
39	94	225,6	1,6770
40	87	208,8	1,6709
41	80	192	1,6648
42	79	189,6	1,6640
43	78	187,2	1,6631
44	77	184,8	1,6620
45	76	182,4	1,6612
46	75	180	1,6604
47	74	177,6	1,6596
48	73	175,2	1,6589
49	72	172,8	1,6580
50	71	170,4	1,6569
51	70	168	1,6559
52	63	151,2	1,6498
53	56	134,4	1,6438
54	49	117,6	1,6376
55	42	100,8	1,6315
56	35	84	1,6254
57	28	67,2	1,6196
58	21	50,4	1,6138
59	14	33,6	1,6079
60	7	16,8	1,6019
61	0	0	1,5959

ANEXO F – Valores obtidos na calibração do lisímetro 3, no momento da carga e descarga dos pesos padrão.

Ordem	Massa (mm)	Massa (Kg)	Leitura (mV)
1	0	0	1,6016
2	7	16,8	1,6082
3	14	33,6	1,6143
4	21	50,4	1,6201
5	28	67,2	1,6263
6	35	84	1,6322
7	42	100,8	1,6385
8	49	117,6	1,6450
9	56	134,4	1,6513
10	63	151,2	1,6569
11	70	168	1,6625
12	71	170,4	1,6633
13	72	172,8	1,6640
14	73	175,2	1,6649
15	74	177,6	1,6657
16	75	180	1,6665
17	76	182,4	1,6680
18	77	184,8	1,6688
19	78	187,2	1,6701
20	79	189,6	1,6709
21	80	192	1,6713
22	87	208,8	1,6772
23	94	225,6	1,6832
24	101	242,4	1,6890
25	108	259,2	1,6952
26	115	276	1,7012
27	122	292,8	1,7072
28	129	309,6	1,7135
29	136	326,4	1,7196
30	143	343,2	1,7263
31	150	360	1,7321
32	143	343,2	1,7259
33	136	326,4	1,7199
34	129	309,6	1,7136
35	122	292,8	1,7073
36	115	276	1,7015
37	108	259,2	1,6953
38	101	242,4	1,6895
39	94	225,6	1,6833
40	87	208,8	1,6772
41	80	192	1,6712
42	79	189,6	1,6703
43	78	187,2	1,6693
44	77	184,8	1,6683
45	76	182,4	1,6675
46	75	180	1,6666
47	74	177,6	1,6657
48	73	175,2	1,6649
49	72	172,8	1,6641
50	71	170,4	1,6633
51	70	168	1,6625
52	63	151,2	1,6564
53	56	134,4	1,6502
54	49	117,6	1,6442
55	42	100,8	1,6381
56	35	84	1,6323
57	28	67,2	1,6265
58	21	50,4	1,6203
59	14	33,6	1,6144
60	7	16,8	1,6081
61	0	0	1,6019

ANEXO G – Dados meteorológicos referentes ao período experimental no Campo Experimental Bebedouro, Petrolina/PE.

Dia	Tmed (°C)	Tmax (°C)	Tmin (°C)	URmax (%)	URmin (%)	Rg (MJ/m²)	V.vent (m/s)	Prec (mm)
14/12/09	26,97	33,73	23,71	87,20	41,51	14,23	0,40	2,29
15/12/09	27,97	34,89	21,56	77,40	20,49	22,29	2,82	0
16/12/09	27,97	33,65	22,20	77,10	26,16	20,3	2,63	0
17/12/09	28,44	34,39	22,20	83,90	28,40	27,89	3,04	0
18/12/09	28,28	34,23	22,84	71,70	28,89	11,72	1,88	0
19/12/09	28,81	35,59	22,72	75,70	26,42	18,04	1,79	0
20/12/09	28,62	34,38	22,96	72,20	27,37	18,54	2,64	0
21/12/09	27,64	31,42	24,26	67,86	37,31	12,23	1,81	0
22/12/09	26,64	30,22	22,20	76,30	41,47	10,62	1,36	0
23/12/09	28,00	35,51	22,17	84,90	27,63	22,66	1,85	0,51
24/12/09	23,25	28,14	19,51	91,90	51,59	9,61	0,61	1,27
25/12/09	25,53	32,78	19,12	91,00	40,92	19,71	1,86	0
26/12/09	20,92	24,65	15,85	95,30	65,87	9,08	0,99	22,35
27/12/09	24,69	31,75	17,41	92,60	41,56	19,26	1,27	0
28/12/09	25,63	33,31	19,24	92,30	37,81	21,3	0,77	0
29/12/09	25,69	32,07	18,73	93,60	44,41	18,72	0,40	0
30/12/09	26,32	33,05	18,58	93,30	40,41	21,03	1,38	7,37
31/12/09	19,90	26,21	13,63	95,80	63,20	14,12	0,38	0
01/01/10	19,97	25,65	15,69	95,30	63,03	10,17	0,89	0
02/01/10	20,21	26,71	15,03	95,10	57,89	14,56	0,32	5,33
03/01/10	24,54	30,94	19,52	86,20	42,12	20,48	1,11	0
04/01/10	24,91	31,02	20,01	85,10	46,32	19,69	0,88	0
05/01/10	24,31	30,36	18,86	89,70	50,70	22,64	1,02	0
06/01/10	25,37	31,39	19,39	87,30	45,13	21,83	1,36	0
07/01/10	25,89	30,98	20,61	83,50	49,31	18,95	1,01	0
08/01/10	24,45	27,57	19,55	91,10	63,65	8,41	1,16	0
09/01/10	23,95	29,25	18,93	89,00	48,72	15,59	1,18	0
10/01/10	24,95	32,66	19,57	87,20	36,67	19,05	1,17	0
11/01/10	24,51	31,81	20,64	88,50	40,22	18,59	1,22	0,51
12/01/10	24,68	32,41	14,55	95,00	38,12	23,06	0,83	0,25
13/01/10	23,58	30,42	20,42	88,60	50,39	14,72	0,88	1,52
14/01/10	23,65	29,53	17,59	91,90	48,19	16,27	1,17	0
15/01/10	25,87	32,58	19,11	91,00	35,30	23,33	1,49	0
16/01/10	27,71	33,78	21,10	79,40	32,74	24,32	2,21	0