

Avaliação da Taxa Diária de Evapotranspiração da Macrófita Aquática *Zizaniopsis Bonariensis*

Carlos Scuderi, Adolfo Villanueva e David Motta Marques

Instituto de Pesquisas Hidráulicas – UFRGS

cscuderi@fceia.unr.edu.ar

Recebido: 19/08/10 - revisado: 01/05/11 - aceito: 03/03/12

RESUMO

O presente trabalho estima a taxa diária de evapotranspiração (ET) da macrófita aquática *Zizaniopsis Bonariensis*, espécie dominante em cobertura no Banhado do Taim, através do uso de tanques enterrados. Para isto foi montado um experimento, nas condições climáticas da região de Porto Alegre (RS), em que foram empregados três tanques: uma caixa com vegetação, uma caixa sem vegetação e um tanque classe A. Para medir o consumo de água nos tanques, foram utilizados sensores transmissores de pressão. No período avaliado (julho de 2004 até março de 2005) a taxa média diária de ET para *Zizaniopsis Bonariensis* na caixa com vegetação foi de 5,2 mm.dia⁻¹, enquanto a taxa média diária de evaporação para a caixa sem vegetação foi de 3,1 mm.dia⁻¹ e para o tanque classe A se obteve um valor de 3,8 mm.dia⁻¹. A instalação conjunta do tanque classe A permitiu estabelecer razões de evapotranspiração/evaporação para esta pesquisa, no período completo a razão foi de 1,37, ao passo que para as estações de inverno, primavera e verão foi de 0,95, 1,52 e 1,36, respectivamente. Enquanto o tanque classe A e a caixa sem vegetação consomem quantidades de água semelhantes, a caixa com vegetação consome mais água.

Palavras-chave: evapotranspiração, macrófitas, tanques enterrados.

INTRODUÇÃO

O hidroperíodo é considerado a função de força que dirige todos os processos e padrões biológicos observados em banhados. Esta hipótese pressupõe que a alteração da dinâmica da água (nível) ao longo do tempo e espaço induz mudanças nas comunidades biológicas e processos do sistema. Entretanto, também se pode esperar que comunidades biológicas promovam alterações em processos de movimentação da água, ou sua quantidade no banhado. Deste modo à pergunta formulada por Mitsch e Gosselink (1986) “A presença de vegetação nos banhados incrementa ou diminui a perda de água que ocorreria num corpo aberto de água?” seria aplicável ao Banhado do Taim? Para responder a esta questão, foi montado um experimento no qual foram utilizados tanques para estimar o consumo de água da macrófita aquática emergente *Zizaniopsis Bonariensis*, dominante em cobertura no Banhado do Taim, Sistema Hidrológico do Taim (Motta Marques et al., 2002).

Diferentes pesquisadores (Dolan et al., 1984; Koerselman e Beltman, 1988; Campbell e Williamson, 1997) coincidem em que a ET é o componente do ciclo hidrológico que representa a mai-

or perda de água nos banhados, daí a necessidade de estimá-la em forma precisa. A bibliografia consultada indica que a quantificação da ET é dificultosa devido à inacessibilidade destes lugares, o requerimento de equipamento de alto custo, longos períodos de tempo (mínimo uma ou duas estações de crescimento), pessoal técnico para manutenção dos aparelhos e científico para interpretação dos resultados (Rushton, 1996; van der Molen, 1988). Portanto, a compreensão deste processo é escassa (Acreman et al., 2003) e os resultados obtidos pouco confiáveis (Gavin e Agnew, 2003). Por outra parte, vários autores indicam que a taxa de ET em terras úmidas está fortemente ligada à vegetação presente (Dolan et al., 1984; Snyder e Boyd, 1987; Sambasiva Rao, 1988), pelo que o conhecimento da transpiração e sua regulação pelas plantas é substancial para achar estimativas corretas do consumo de água (Allen, 1998 e Busch, 2000). Neste sentido, Sánchez-Carrillo et al. (2004) sugerem que a ET depende das flutuações no nível de água que modificam a razão entre superfície de água livre e macrófitas.

Existem diferentes enfoques utilizados para avaliar a ET em banhados, baseados tanto em princípios físicos e fisiológicos como em equações empíricas (Berlato e Molion, 1981), não obstante uma

Tabela 1 - Taxas de ET (mm.dia⁻¹) e razão ET/E para distintas macrófitas ou banhados

Fonte	Local / Vegetação	Metodologia	ET	ET/E
Dolan et al. (1984)	Flórida / freshwater marsh	Lençol de água	3,3	0,7
Rushton (1996)	Flórida / freshwater marsh	Balanço hídrico	3,5	0,8
Parkhurst et al. (1998)	Dakota / prairie grasses and herbs	Balanço de energia	3,6	0,8
Timmer e Weldon (1967)	Flórida / water hyacinth	Tanque de cultivo	14,4	3,7
DeBusk et al. (1983)	Flórida / <i>Eichhornia crassipes</i> (Mart.) Solms	Tanque de cultivo	7,5	1,7
	Flórida / <i>Lemna minor</i> L.	Tanque de cultivo	4,1	0,9
Boyd (1987)	Alabama / <i>Alternanthera philoxeroides</i>	Tanque de cultivo	5,2	1,3
Lallana et al. (1987)	Argentina / <i>Eichhornia crassipes</i> (Mart.) Solms	Tanque de cultivo	19,6	2,7
	Argentina / <i>Pistia stratiotes</i> L.	Tanque de cultivo	8,4	1,1
	Argentina / <i>Salvinia herzogii</i> de la Sota	Tanque de cultivo	8,7	1,2
	Argentina / <i>Azolla caroliniana</i> Willd.	Tanque de cultivo	7,1	1,0
Snyder e Boyd (1987)	Alabama / <i>Eichhornia crassipes</i> (Mart.) Solms	Tanque de cultivo	7,1	1,5
Sambasiva Rao (1988)	Índia / <i>Eichhornia crassipes</i> (Mart.) Solms	Tanque de cultivo	6,4	1,5
	Índia / <i>Salvinia molesta</i> D.S. Mitchell	Tanque de cultivo	4,2	1,0
	Índia / <i>Nymphaea lotus</i> (L.) Willd.	Tanque de cultivo	4,1	0,9
Boyd (1987)	Alabama / <i>Panicum Regidulum</i>	Tanque de cultivo	6,6	1,6
	Alabama / <i>Juncus effusus</i>	Tanque de cultivo	6,3	1,5
	Alabama / <i>Carex lúrida</i>	Tanque de cultivo	5,5	1,3
	Alabama / <i>Justicia americana</i>	Tanque de cultivo	4,9	1,2
Snyder e Boyd (1987)	Alabama / <i>Typha latifolia</i> L.	Tanque de cultivo	7,1	1,4
Koerselman e Beltman (1988)	Utrecht / <i>Typha latifolia</i> L.	Lisímetro	2,5	1,7
	Utrecht / <i>Carex diandra</i> Schrank	Lisímetro	2,7	1,8
Price (1994)	Ontário / lakeshore marsh, <i>Typha latifolia</i> L.	Razão de Bowen	4,8	1,0
Abtew (1996)	Flórida / <i>Typha domingensis</i>	Lisímetro	3,6	1,0
German (1999)	Flórida, Everglades / cattails	Razão de Bowen	3,0	0,8
	Flórida, Everglades / sparse sawgrass	Razão de Bowen	3,5	0,9
Pauliukonis e Schneider (2001)	Nova York / <i>Typha latifolia</i> L.	Lisímetro	5,8	2,5
Sánchez-Carrillo et al. (2001)	Espanha / <i>Cladium mariscus</i> (L.) Pohl	Porômetro	7,4	2,3
	Espanha / <i>Phragmites australis</i>	Porômetro	3,8	1,5
	Espanha / <i>Typha domingensis</i> Pers.	Porômetro	2,7	0,8
Mao et al. (2002)	Flórida / <i>Cladium jamaicense</i>	Lisímetro	3,7	1,2
	Flórida / <i>Typha domingensis</i>	Lisímetro	3,3	1,0

regra comum a todos é que quanto mais preciso seja o método maior será a quantidade de dados requeridos para sua utilização. O fato da disponibilidade de dados é muito importante, chegando a condicionar a eleição de um método sobre outro. Embora o número de estudos para determinar a ET em macrófitas aquáticas em banhados é cada vez maior, uma questão ainda sem resolver é a seguinte: que paisagem gasta mais água, uma superfície de água livre ou um banhado?. A bibliografia consultada fornece resultados não confiáveis e às vezes contraditórios, abrangendo uma ampla faixa com razões de ET/E desde 0,6 até 12,5. Na Tabela 1 se apresentam diferentes valores de taxas de ET, onde também

são informados a razão ET/E, a metodologia empregada, o local e a vegetação utilizadas e o pesquisador.

Diversos autores (Boyd, 1987; Price, 1994; Pauliukonis e Schneider, 2001; Mao et al., 2002) indicam que experimentos baseados em medidas lisimétricas exibem relações ET/E > 1. Contrariamente, outros pesquisadores justificam a relação ET/E > 1 pela aparição de efeitos advectivos (Linacre, 1976 apud Dolan et al., 1984; Idso, 1981 apud Rushton, 1996). Idso e Anderson (1988) sugeriram que a razão ET/E > 1 pode ser por causa da contribuição da área lateral do próprio grupo de vegetação experimental. Estimativas de ET baseadas no

balanço de energia ou métodos aerodinâmicos fornecem valores de $ET/E < 1$ (Lafleur, 1990; Kadlec, 1993 apud Rushton, 1996; Campbell e Williamsom, 1997), por estarem menos influenciadas pela advecção local.

MATERIAIS E MÉTODOS

Local do experimento

A pesquisa foi desenvolvida dentro da Estação Recuperadora de Qualidade Ambiental (ER-QA), no Campus da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre (Brasil). A cidade encontra-se nas coordenadas $30^{\circ} 02'$ latitude Sul e $51^{\circ} 22'$ longitude Oeste, a uma altitude de 47 m sobre o nível do mar. O clima é caracterizado como temperado e úmido sem período seco (Cfa na classificação de Koeppen), sendo a temperatura média anual de $19,5^{\circ} \text{C}$ e a precipitação média de 1347 mm.ano^{-1} (INMET, 1992).

As datas de começo e finalização da pesquisa foram o dia 23 de junho de 2004 e o dia 12 de março de 2005 respectivamente, com uma duração total de 263 dias, abrangendo as estações de inverno e primavera do ano 2004 e o verão do biênio 2004 - 2005. O local da pesquisa (Figura 1) é caracterizado por estar, ao leste, próximo a uma superfície de água; não obstante nos outros pontos cardinais é rodeado por vegetação herbácea de aproximadamente 40 a 80 cm de altura.

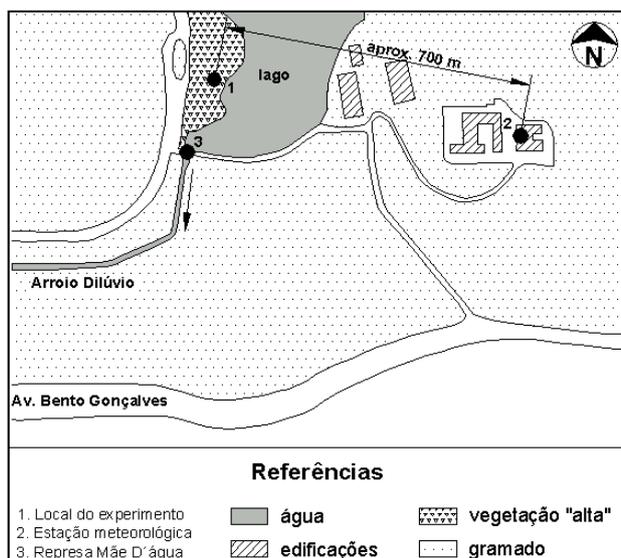


Figura 1 - Localização do experimento

Equipamentos empregados e coleta de dados

Utilizaram-se duas caixas d'água de polietileno com forma cilíndrica de 775 mm de profundidade e 1471 mm de diâmetro ($1,70 \text{ m}^2$ de superfície); uma delas contendo somente água (caixa sem vegetação ou CSV) e a outra contendo solo e vegetação (CCV). Além disso, foi disposto um tanque classe A (TCA) por ser o tanque padrão utilizado rotineiramente na maioria dos países, para obter estimativas pontuais de evaporação. Para quantificar a chuva caída no lugar, foi utilizada uma estação meteorológica (marca Davis modelo GroWeather) localizada no prédio do Instituto de Pesquisas Hidráulicas (IPH), distante 700 m do local da pesquisa. Em correspondência com cada recipiente, foi empregado um sensor transmissor de pressão marca WIKA modelo S-10 para medir as flutuações do nível de água. Além disso, foi medida a temperatura superficial da água com uma sonda de temperatura por imersão. O tempo de amostragem dos sensores de níveis e de temperatura da água foi de um minuto, contudo registraram-se valores médios calculados a partir de 15 medições através de um logger IPH. Como fonte de energia, foi utilizada uma bateria elétrica.

Características da vegetação utilizada

A espécie utilizada na pesquisa é uma macrófita aquática emergente denominada *Zizaniopsis Bonariensis* (Bal. & Poitr.) Speg., que se encontra no sul da América do Sul, sendo que no estado de Rio Grande do Sul acontece só no Litoral Sul, mais precisamente no Banhado do Taim e em banhados do Canal de São Gonçalo (Brasil, 1972 e Irgang et al, 1984 citados em Giovannini, 1997). As mudas empregadas na pesquisa foram coletadas no Banhado do Taim e fornecidas pelo professor Motta Marques. Sobre os aspectos taxonômicos, Irgang e Gastal Jr. (1996) citam que esta macrófita pertence à família Poaceae (Gramineae), tribo Oryzeae, e gênero *Zizaniopsis* (espécie única); de nome popular palha ou espadana. Quanto aos aspectos morfológicos, Cook (1974) destaca que é uma planta perene com rizomas resistentes e rasteiros, e colmos entre 1 e 3 m de altura, herbáceos, não ramificados e folhas não agregadas na base, com lâminas foliares lineares largas e esponjosas no interior, de 10 a 30 mm de largura, achatadas sem cruzamento de nervuras. Inflorescência larga com panículas entre 30 e 120 cm de comprimento, abertas mas um pouco apertadas.

das, com numerosas ramificações (Finkler Ferreira, 2005).

Montagem do experimento e depuração dos dados

O tanque classe A foi instalado em forma padrão, ou seja, nivelado sobre dois pedaços de madeira de 6 x 6 polegadas de seção transversal, respeitando desta maneira a altura entre fundo de tanque e superfície do solo de 15 cm. As caixas de água foram enterradas aproximadamente 60 cm no solo, deixando uma diferença entre a superfície do solo e a borda superior delas de 15 cm para evitar o ingresso de água e outras partículas por escoamento superficial, que adulterariam os resultados (Figura 2). O nível de água dentro dos recipientes foi mantido entre 5 e 15 cm por baixo da borda superior.



Figura 2 - Disposição dos tanques

Os dados de níveis e temperaturas de água coletados registraram-se num logger IPH a cada 15 minutos, obtendo um total de 96 medições diárias para cada sensor (três sensores de nível e dois sensores de temperatura). O período de registro dos níveis de água esteve compreendido entre 23 de junho de 2004 e 12 de março de 2005. A variação diária nos níveis de água em cada tanque (TCA, CSV e CCV) foi calculada pela diferença de leituras à meia noite, entre dois dias consecutivos. Os dados foram submetidos ao seguinte tratamento: eliminação dos dias com chuva, de limpeza dos tanques, e de falhas elétricas nos sensores (análise preliminar), verificação e supressão de dias com advecção, descarte de dados duvidosos, procura de possíveis *outliers*, e unificação das datas das séries para comparação:

- a) **Análise preliminar:** eliminaram-se os dias que apresentaram problemas devido às variações de nível na superfície de água dentro dos tanques, produzidas pela precipitação: o critério adotado foi descartar os dias com chuvas superiores a $0,2 \text{ mm.dia}^{-1}$, por ser esse um registro freqüente na estação meteorológica, o que pode ser indicativo de processos de condensação na mesma. Outras fontes de perda de dados foram os dias com falhas elétricas apresentadas pelos sensores transmissores de pressão e a limpeza e o transbordamento dos tanques após a ocorrência de chuvas.
- b) **Supressão dos dias com advecção:** para verificar dias com condições de advecção, ou seja, valores excessivos na taxa de ET (em relação à radiação solar líquida R_n) devido a contribuições de fontes de calor laterais ao local do experimento, foi calculada a razão ET/R_n . A literatura consultada (Davies e Allen, 1973; Macquarrie e Nkemdirim, 1991 e Sánchez-Carrillo et al., 2004) indica que quando a razão ET/R_n supera a unidade pode acontecer um ingresso de energia ao sistema, através da advecção dos arredores, sendo utilizado este limite para eliminar os dias que apresentaram este comportamento.
- c) **Eliminação de dados duvidosos:** consideraram-se dados duvidosos quando são observados incrementos no nível da água sem uma razão aparente; como por exemplo, a ocorrência de chuva ou a limpeza dos tanques. Estes dados foram descartados da série de dados.
- d) **Procura de outliers:** uma vez aplicados os procedimentos anteriores a cada amostra obtida em cada tanque, foram procurados possíveis *outliers*, ou seja, observações que se afastam significativamente da maioria dos valores medidos (Liu et al., 2004). Para isso foi utilizado o método baseado no intervalo interquartilico ou 'box-plot' (Montgomery e Runger, 2003).
- e) **Unificação das datas das séries:** o último procedimento efetuado foi unificar as datas comuns às três séries de dados, tanque classe A (TCA), caixa sem vegetação (CSV) e caixa com vegetação (CCV), eliminando das séries os dias com dados que apresentaram pelo menos falha numa das três. Isto foi feito com motivo de poder comparar as taxas de E e ET medidas.

Tratamento estatístico dos dados

As séries de dados depuradas foram caracterizadas através de uma análise estatística, na qual se calcularam os seguintes parâmetros (Goldenfum, 2000): a média (eq. 1), seu intervalo de confiança através da aplicação da distribuição t de Student (eq. 2), o desvio padrão (eq. 3) e o coeficiente de variação (eq. 4).

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \tag{1}$$

$$\Delta\bar{x} = \pm t\left(n-1, \frac{\alpha}{2}\right) \cdot \frac{S}{\sqrt{n}} \tag{2}$$

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \tag{3}$$

$$CV = \frac{S}{\bar{x}} \tag{4}$$

onde \bar{x} é o valor médio da amostra, x_i é cada valor da amostra, n é a quantidade de valores da amostra, S é o desvio padrão da amostra, $\Delta\bar{x}$ é o intervalo de confiança do valor médio da amostra, t é o coeficiente da distribuição de Student correspondente a (n – 1) graus de liberdade e para um nível de confiança de 95 %, e CV é o coeficiente de variação. A avaliação das taxas de E e ET, para cada série foi realizada em dois estágios, o primeiro considerando o período completo de dados, e o segundo analisando as diferentes estações (inverno, primavera e verão).

RESULTADOS OBTIDOS E DISCUSSÃO

Durante o período de medição foram obtidos um total de 263 dias com dados. Daqueles dias foram descartados 79 dias por chuva, 19 devido à

limpeza dos tanques, e 11 dias por falha elétrica, ficando de maneira preliminar uma nova amostra com 154 dias.

A partir dessa série de medições, foi analisada a ocorrência de dias com advecção através da razão ET_CCV/Rn, que indica que existem condições de advecção quando esta supera a unidade. O valor da radiação solar recebida foi medido cada 15 minutos, com a estação meteorológica automática, enquanto para o cálculo da radiação líquida foi considerado um albedo $\alpha = 0,17$ correspondente a macrófitas em banhados. Valores encontrados na literatura flutuam entre 0,12 a 0,23 (Sambasiva Rao, 1988; Allen et al., 1998; Burba et al., 1999). Descartando os dias com advecção (33), os dias com falha na estação meteorológica (8) e os dias com valores de radiação líquida (Rn) negativa (5), obteve-se uma outra série com 108 dias. A seguir foram verificados os dias que apresentaram um comportamento duvidoso e posteriormente, aplicou-se a metodologia de detecção de *outliers*, os resultados obtidos são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 - Dados duvidosos e outliers

	TCA	CSV	CCV
Duvidosos	2	4	8
Outliers	1	3	-

É interessante notar que ambos dos últimos dados (duvidosos e *outliers*) não aconteceram todos nas mesmas datas. Uma vez unificadas as datas das três amostras, para permitir a sua comparação, ficou utilizável uma série com 81 dias válidos (31% dos dados originais). As séries assim obtidas são plotadas nas Figuras 3, 4 e 5 para o TCA, CSV e CCV, respectivamente.

A partir das figuras citadas podem ser feitas algumas observações qualitativas:

- a) os três recipientes apresentam um comportamento semelhante quanto à tendência seguida ao longo do período de análise,
- b) o tanque classe A (TCA) e a caixa sem vegetação (CSV) consomem quantidades de água ‘bastante’ parecidas,
- c) a caixa com vegetação (CCV) tem uma taxa de ET maior que os outros dois tanques.

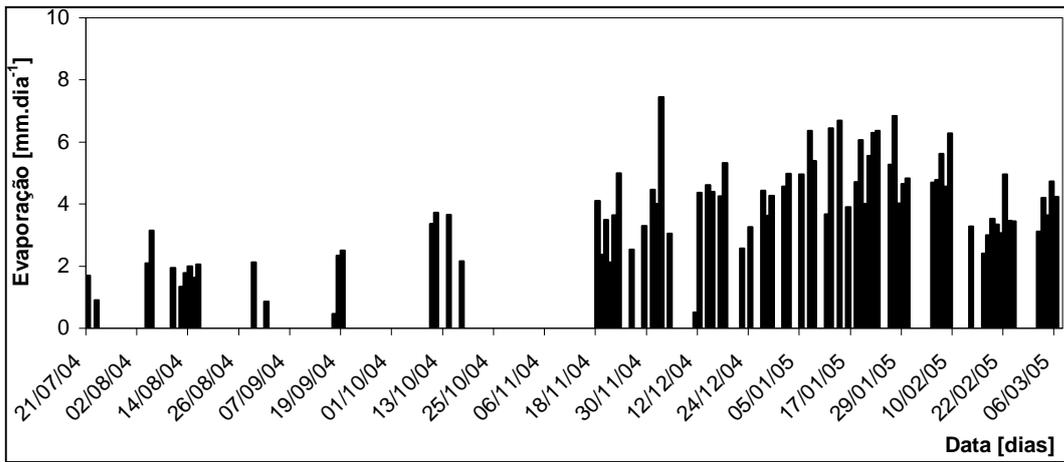


Figura 3 - Evaporação diária medida no TCA

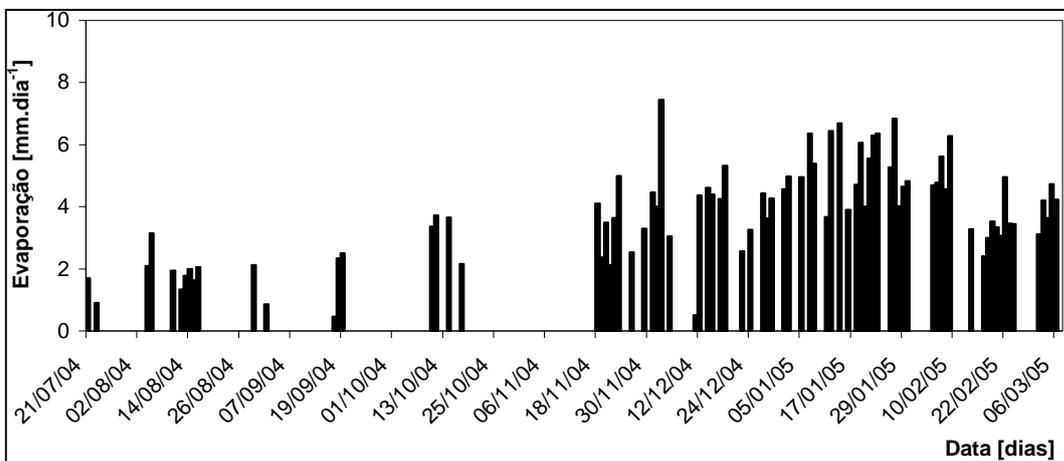


Figura 4 - Evaporação diária medida na CSV

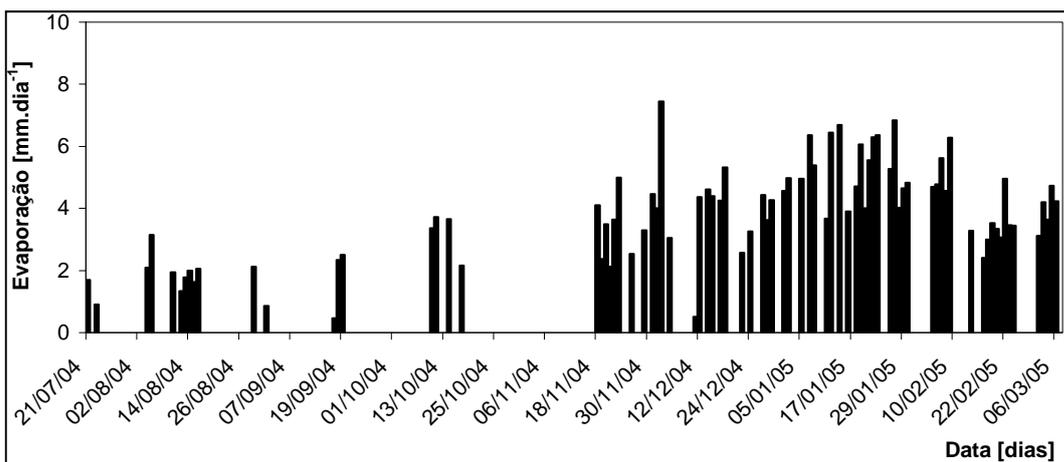


Figura 5 - Evapotranspiração diária medida na CCV

Para conhecer a evolução temporal das taxas de E e ET medidas, na Figura 6 são plotados os dados válidos acumulados para os três recipientes. Nessa figura pode ser inferido que no período de inverno, os três tanques apresentaram uma evolução no consumo d'água muito próxima. Na primavera a taxa de ET na CCV começa a se afastar dos outros dois recipientes, que seguem uma tendência semelhante. No verão, a diferença entre o consumo dos tanques é mais evidente. A CCV é o recipiente que mais consome água neste último período, seguido pelo TCA e, em terceiro lugar a CSV.

O maior consumo do TCA em relação à CSV, no verão, pode ser explicado pela maior disposição que apresenta o TCA (menor volume de água e instalação sobre a superfície do terreno) a ser aquecido em seu perímetro quando comparado com a CSV (maior volume de água e enterrado no solo). Este aquecimento, devido à maior radiação recebida nas laterais do TCA, é muito provável que incremente a taxa de evaporação nesse tanque. Por outro lado, no que diz respeito à diferença entre consumos da CCV e da CSV, a única diferença entre os recipientes é a presença de vegetação na CCV, tornando evidente que este fator é o responsável pelo incremento no consumo de água da primeira caixa.

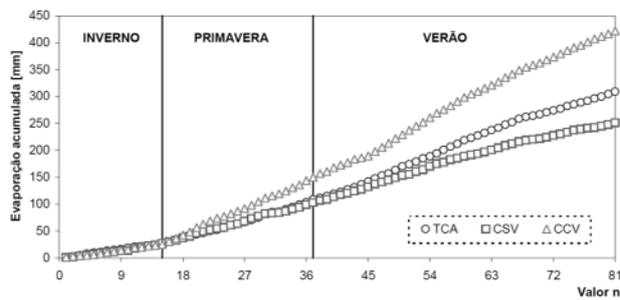


Figura 6 - Taxas de E e ET diárias acumuladas

Posteriormente, o comportamento das séries foi examinado em função do período do ano, dividindo-as em três períodos: inverno desde 21/07 até 19/09, primavera desde 10/10 até 18/12, e verão desde 22/12 até 06/03. Na Figura 7 são representados os três períodos, sendo que os pontos correspondem aos valores diários medidos de E e ET, e as linhas tracejadas indicam o valor médio sazonal das taxas de E e ET para cada recipiente (vermelho para o TCA, azul para a CSV e verde para a CCV).

Analisando a Figura 7, pode ser inferido que os menores valores médios pertencem ao período

de inverno, e que nesta estação os consumos médios dos três recipientes estiveram muito próximos (diferença menor que 6%). Na primavera, as médias foram maiores, com a particularidade que o TCA e a CSV apresentarem médias bastante próximas (diferença em torno de 8%), enquanto a média para a CCV é cerca de 58% maior que as outras. No verão, pode ser observado que, em média, os valores da CCV foram os maiores, enquanto o TCA apresenta valores intermediários e a CSV os menores. Uma observação que surge a partir da Figura 7 é a alta variabilidade nos valores diários das taxas de E e ET medidas em todos os recipientes.

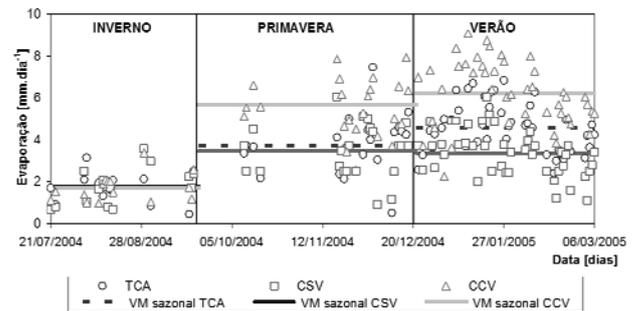


Figura 7 - Taxas de E e ET diárias e médias sazonais

Foram calculados, para as séries obtidas a partir dos diferentes recipientes TCA, CSV, e CCV, as seguintes estatísticas: valor médio com seu intervalo de confiança, desvio padrão e coeficiente de variação, além dos valores máximos e mínimos medidos. Estes parâmetros foram aplicados à série completa (n = 81) e às séries parceladas segundo a época do ano: inverno (n = 15), primavera (n = 22) e verão (n = 44). Os resultados desta análise são apresentados na Tabela 3.

Considerando o período completo, a CCV é o recipiente que consome mais água, com uma taxa média de ET de 5,2 mm.dia⁻¹, enquanto o TCA evapora 3,8 mm.dia⁻¹ e, por último, a CSV apresenta uma taxa média de E de 3,1 mm.dia⁻¹. Estes dados indicam que o consumo dos recipientes que não contêm vegetação é relativamente próximo (diferença de 23%), enquanto o recipiente que contém macrófitas consome uma maior quantidade de água que os outros (da ordem do 51% maior). Quanto à variação das taxas diárias de ET na CCV, os registros flutuaram entre um valor mínimo de quase 1 mm.dia⁻¹ no inverno, e um valor máximo da ordem de 9 mm.dia⁻¹ no verão, demonstrando assim, a ampla faixa na que flutua esta magnitude.

Tabela 3 - Taxas de E e ET (mm.dia⁻¹)

	x	Δx	S	CV	min	max
período completo (n = 81)						
TCA	3,81	0,34	1,55	0,41	0,45	7,45
CSV	3,10	0,28	1,27	0,41	0,67	6,04
CCV	5,21	0,48	2,16	0,42	0,97	9,05
inverno (n = 15)						
TCA	1,79	0,38	0,69	0,39	0,45	3,15
CSV	1,77	0,48	0,87	0,49	0,67	3,56
CCV	1,69	0,37	0,67	0,39	0,97	3,38
primavera (n = 22)						
TCA	3,72	0,61	1,38	0,37	0,51	7,45
CSV	3,46	0,57	1,29	0,37	0,90	6,04
CCV	5,66	0,55	1,23	0,22	3,44	7,92
verão (n = 44)						
TCA	4,55	0,34	1,18	0,26	2,40	6,83
CSV	3,37	0,35	1,09	0,32	1,11	6,00
CCV	6,19	0,46	1,56	0,25	2,26	9,05

Avaliando os resultados em forma sazonal, a CCV é a que apresenta a maior taxa de ET, exceto no inverno, aumentando a medida que se acrescentam os valores de radiação, temperatura do ar e temperatura superficial da água, ou seja, do inverno para verão. A diferença entre os valores médios dos consumos do TCA e da CSV também depende do período do ano, sendo que no inverno apresentaram um comportamento quase idêntico, na primavera os consumos também foram bastante parecidos e, no verão, o consumo do TCA é aproximadamente 35% maior do que a CSV. No inverno o consumo d'água diminui fortemente, já que nesta estação acontecem os menores valores, tanto de radiação como de temperatura, variáveis que fornecem a maior parte da energia que participa no processo evaporativo. A prova disto é que neste período, se registraram os menores valores de consumo de água em cada recipiente. Em contrapartida, nas estações de primavera e verão, onde foram registrados maiores valores de radiação, temperatura do ar, e temperatura superficial de água, se verificaram os maiores registros nas taxas de E e ET.

O coeficiente de variação (CV), é uma medida do grau de dispersão que apresenta cada amostra, permitindo compará-las entre si. Se observarmos para a Tabela 3, vemos que apesar de ter elevados CV, os menores valores pertencem à estação de verão, coincidentemente com a maior quantidade de registros, razão pela qual esta época do ano é a que apresenta uma maior confiabilidade dos dados. A

seguir, na Tabela 4, são apresentadas as razões entre consumos dos diferentes tanques (CCV/TCA, CCV/CSV e CSV/TCA), as mesmas foram calculadas considerando os valores acumulados respectivos para o período completo e para cada estação do ano.

Tabela 4 - Razões entre consumos

período	CCV/TCA	CCV/CSV	CSV/TCA
completo	1,37	1,68	0,81
inverno	0,95	0,96	0,95
primavera	1,52	1,64	0,93
verão	1,36	1,84	0,74

Observa-se que para o período completo a CCV evapotranspira 37% a mais do que evapora o TCA e 68% mais que evapora a CSV. Sazonalmente, a CCV evapotranspira mais que o TCA, num intervalo de -5% a 52%, enquanto a CCV evapotranspira mais que o CSV, num intervalo de -4% a 84%. Das diferentes razões indicadas na Tabela 3, a razão CCV/TCA tem uma importância prática relevante, já que na grande maioria dos casos somente se acha disponível o valor do consumo de água medido num tanque classe A. Portanto, se quisermos estimar uma taxa de ET, esta razão permite obter um valor de referência, a partir do valor do tanque classe A, desde que as condições meteorológicas sejam semelhantes às da presente pesquisa. Além do mais, se compararmos a razão CCV/TCA = 1,37, encontrada nesta pesquisa, com a revisão bibliográfica mostrada na Tabela 1, pode observar-se que o mencionado valor se localiza dentro da faixa obtida pelos diferentes autores, por exemplo para *Typha*, 0,8 (Sánchez-Carrillo et al., 2001) até 2,5 (Pauliukonis e Schneider, 2001).

CONCLUSÕES

Este trabalho estimou a taxa diária de ET, na escala de tanque, para a macrófita aquática *Zizaniopsis Bonariensis*, submetida às condições climáticas da região da cidade de Porto Alegre. Para todo o período de medição (23/06/2004 a 12/03/2005) se obteve para a caixa com vegetação (CCV) um consumo de 5,2 mm.dia⁻¹, sendo que se obtiveram taxas de 1,7, 5,7 e 6,2 mm.dia⁻¹ para as estações de inverno, primavera e verão respectivamente. A instalação conjunta de um tanque classe A

permitiu medir a taxa de evaporação e possibilitou estabelecer razões de ET/E para esta macrófita. As taxas de E medidas no tanque classe A foram de 3,8, 1,8, 3,7 e 4,6 mm.dia⁻¹, para o período completo, inverno, primavera e verão, respectivamente. A razão de ET/E obtida para o período completo foi de 1,4, enquanto para as estações de inverno, primavera e verão foram de 0,9, 1,5 e 1,3 respectivamente.

Desta forma, a pergunta que inicia este trabalho pode ser respondida afirmativamente, concluindo que a macrófita em estudo consome mais água que uma superfície de água livre, submetida às condições meteorológicas presentes no sítio da pesquisa. A estimativa da taxa de ET em macrófitas aquáticas constitui um trabalho complexo devido à grande quantidade de variáveis, tanto físicas, como biológicas, envolvidas no processo. Além disso, a interação entre elas dificulta ainda mais a compreensão do fenômeno. A utilização de tanques para avaliar esta grandeza é uma ferramenta prática, de relativamente fácil manutenção e com baixo custo, que permite medir, em forma diária, o consumo de água das plantas. Conseguiu-se registrar dados durante as estações de primavera e verão, sendo esse o período de interesse, já que é onde se produz o maior consumo de água.

O uso de um tanque classe A (TCA), permitiu estimar a razão entre a taxa de E produzida nele e o consumo de água da espécie vegetal em estudo. Devido à utilização rotineira do TCA, a razão obtida é de importância prática, porque permite estimar a taxa de ET desta macrófita, a partir de um valor de evaporação de tanque classe A. É importante enfatizar que isso é possível considerando a representatividade das características meteorológicas presentes no local, onde se pretende extrapolar o valor da taxa de ET. Contudo, deve ser analisada a recomendação efetuada por Koerselman e Beltman (1988), que indicam que apesar de ser amplamente utilizado para medir evaporação, o tanque classe A não fornece resultados consistentes para comparação. Ainda mais, outros pesquisadores afirmam que a taxa de ET das macrófitas confinadas em pequenos tanques pode ser muito maior que em ambientes naturais, devido a efeitos de advecção, sugerindo a utilização de medições *in situ* ou tanques de grande superfície (Idso, 1979 citado por Snyder e Boyd, 1987; Pribán e Ondok, 1985 apud Sánchez-Carrillo, 2001; Idso, 1979 apud Idso e Anderson, 1988).

No que diz respeito ao tratamento dos níveis medidos, destaca-se a importância dos procedimentos utilizados para depurar a série original de registros, eliminando os dias com chuva, com falha elétrica, de limpeza dos tanques, com condições de

advecção, e com valores que se afastam significativamente dos valores medidos (*outliers*). A diminuição produzida nos dados, após aplicar a metodologia anterior, parece indicar que o período de medição deve ser mais longo para obter um maior tamanho de amostra. Além disso, quase a metade dos dados válidos, pertence à estação verão, período onde existem os maiores valores de radiação e temperatura, que são duas das principais variáveis envolvidas no processo da evapotranspiração.

A obtenção de séries de E e ET consistentes, implica o desenvolvimento de um programa de medições de longa duração. Este programa deve ter comprometido em forma permanente instrumental e pessoal adequados para chegar a resultados satisfatórios. Algumas recomendações a seguir sobre experimentos destas características são: (a) considerar um período de medição de pelo menos dois anos, para poder avaliar duas estações de crescimento, (b) utilizar tanques replicados, ou seja, dois tanques para medir cada grandeza, (c) efetuar a limpeza dos tanques em dias diferentes, (d) incorporar uma régua em cada tanque para controle ou substituição temporária do sensor, (e) implementar uma fonte alternativa de energia (como energia solar), e (f) instalar uma estação meteorológica no local do experimento.

As taxas de ET obtidas nesta pesquisa, estimadas nas condições meteorológicas da cidade de Porto Alegre, não são necessariamente representativas da mesma espécie nas condições meteorológicas presentes no banhado do Taim. Assim, propõe-se iniciar um programa de medições no próprio banhado instalando um esquema de recipientes, como o utilizado nesta pesquisa, em forma duplicada nas margens do banhado e outra instalação semelhante num estrado flutuante para avaliar as diferenças nas taxas de ET medidas entre a margem e o interior do banhado.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho forma parte da Dissertação de Mestrado “Estimativa da taxa de evapotranspiração da macrófita aquática *Zizaniopsis Bonariensis*. Aplicação à simulação do nível de água do longo período do BANHADO DO TAIM (RS)” elaborada pelo autor do artigo. O autor agradece ao Instituto de Pesquisas Hidráulicas, aos orientadores Adolfo Vilanueva e David da Motta Marques e à CAPES.

REFERÊNCIAS

- ABTEW, W. 1996. Evapotranspiration measurements and modeling for three wetland systems in south Flórida. *Water Resources Bulletin*, v.32, n. 3, p. 465-473, 1996.
- ACREMAN, M. C.; HARDING, R. J.; LLOYD, C. R.; McNEIL, D. D. Evaporation characteristics of wetlands: experience from a wet grassland and a reedbed using eddy correlation measurement. *Hydrology and Earth System Sciences*, v.7, n.1, p. 11-21, 2003.
- ALLEN, R. G. Predicting evapotranspiration demands for wetlands. In: ASCE Wetlands Engineering and River Restoration Conference, 1998, Denver, Colorado, March 20-29, 1998. 15 p.
- ALLEN, R.G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M.. Guidelines for computing crop water requirements. Irrigation and Drainage Paper 56, 1988, Roma, FAO, 1998. 300 p.
- BERLATO, M. A.; MOLION, L. C. B.. Evaporação e evapotranspiração. Boletim Técnico 7. Porto Alegre: Instituto de Pesquisas Agronômicas (IPAGRO), 1981. 95 p.
- BOYD, C. E. Evapotranspiration/Evaporation (E/Eo) ratios for aquatic plants. *Journal of Aquatic Plant Management*, v. 25, p. 1-3, 1987.
- BURBA, G. G.; VERMA, S. B.; KIM, J. Surface energy fluxes of *Phragmites australis* in a prairie wetland. *Agricultural and Forest Meteorology*, v. 94, p. 31-51, 1999.
- BUSCH, J. Canopy Transpiration Rates in Eutrophic Wetlands Dominated by Sedges (*Carex* spp.) Differ in a Species Specific Way. *Physics and Chemistry of the Earth (B)*, v. 25, n. 7-8, p. 605-610, 2000.
- CAMPBELL, D. I.; WILLIAMSON, J. L.. Evaporation from a raised peat bog. *Journal of Hydrology*, v.193, p. 142-160, 1997.
- COOK, C. D. K. Water Plants of the World. *A manual for the identification of the genera of freshwater macrophytes*. The Hague, Dr. W. Junk b. v., Publishers, 1974. 561 p.
- DAVIES, J. A., ALLEN, C. D. Equilibrium, Potential and Actual Evaporation from Cropped Surfaces in Southern Ontario. *Journal of Applied Meteorology*, v. 12, p. 649-657, 1973.
- DeBUSK, T. A.; RYTHYER, J. H.; WILLIAMS, L. D. Evapotranspiration of *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms and Lemna minor L. in central Flórida: relation to canopy structure and season. *Aquatic Botany*, v. 16, p. 31-39, 1983.
- DOLAN, T. J., HERMANN, A. J., BAYLEY, S. E., ZOLTEK Jr., J. Evapotranspiration of a Flórida, U.S.A., freshwater wetland. *Journal of Hydrology*, v. 74, p. 355-371, 1984.
- FINKLER FERREIRA, T. *Ecologia e aplicabilidade de métodos para avaliação da produção primária de Zizaniopsis Bonariensis: uma macrófita aquática emergente, no Sistema Hidrológico do Taim*. 2005. 142f. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Biociências, Programa de Pós-Graduação em Ecologia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Porto Alegre, RS, 2005.
- GAVIN, H.; AGNEW, C. T. Evaluating the reliability of point estimates of wetland reference evaporation. *Hydrology and Earth System Sciences*, v. 7, n. 1, p. 3-10, 2003.
- GERMAN, E. R. Regional evaluation of evapotranspiration in the Everglades. In *Proc. Int. Symp. Ecohydraulics*, 3rd, 13-16 July, Salt Lake City, UT [CD-ROM], 1999. 14 p.
- GIOVANNINI, S. G. T. *Estabelecimento e desenvolvimento das macrófitas aquáticas Scirpus californicus, Typha subulata e Zizaniopsis bonariensis sob condições experimentais de regimes hídricos diferenciados*. 1997. 153f. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Pesquisas Hidráulicas (IPH), Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Porto Alegre, RS, 1997.
- GOLDENFUM, J. A.. *Hidrologia Estatística II. Porto Alegre, Instituto de Pesquisas Hidráulicas (IPH)*. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Volume do curso de Recursos Hídricos e Meio Ambiente, 2000. 27p.
- IDSO, S. B.; ANDERSON, M. G. A comparison of two recent studies of transpirational water loss from emergent aquatic macrophytes. *Aquatic Botany*, v. 31, p. 191-195, 1988.
- INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGÍA (INMET). *Normas Climatológicas do Brasil (1961-1990)*. Brasília: Arquivo digital. 1992.
- IRGANG, B. E.; GASTAL JR., C. V. S. *Macrófitas Aquáticas da Planície Costeira do RS*. Porto Alegre: Ed. dos Autores, 1996. 290 p.
- KOERSELMAN, W., BELTMAN, B. Evapotranspiration from fens in relation to Penman's potential free water evaporation (E0) and pan evaporation. *Aquatic Botany*, v. 31, p. 307-320, 1988.

- LAFLEUR, P. M. Evapotranspiration from sedge-dominated wetland surfaces. *Aquatic Botany*, v. 37, p. 341-353, 1990.
- LALLANA, V. H.; SABATTINI, R. A.; LALLANA, M. C. Evapotranspiration from Eichhornia Crassipes, Pistia Stratiotes, Salvinia Herzogii and Azolla Caroliniana during summer in Argentina. *Journal of Aquatic Plant Management*, v. 25, p. 48-50, 1987.
- LIU, H.; SHAH, S.; JIANG, W.. On-line outlier detection and data cleaning. *Computers and Chemical Engineering*, v. 28, p.1635-1647, 2004.
- MacQUARRIE, P.; NKEMDIRIM, L. C. Potential, actual, and equilibrium evapotranspiration in a wheat field. *Water Resources Bulletin*, v. 27, n.1, p. 73-82, 1991.
- MAO, L. M.; BERGMAN, M. J.; TAI, C. C. Evapotranspiration measurement and estimation of three wetland environments in the Upper St. Johns River Basin, Flórida. *Journal of the American Water Resources Association*, v.38, n. 5, p. 1271-1285, 2002.
- MITSCH, W. J.; GOSELINK, J. G. Wetlands. New York: Van Nostrand Reinhold, 1986. 539p.
- MONTGOMERY, D. C.; RUNGER, G. C. *Applied Statistics and Probability for Engineers*. 3rd edition, New York: John Wiley & Sons, Inc., 2003. 706p.
- MOTTA MARQUES, D. M.; TUCCI, C. E.; CALAZANS, D.; CALLEGARO, V. L.; VILLANUEVA, A. O. *O Sistema Hidrológico do Taim - Site 7*. Pp. 125-144. In: SEELIGER, U. C. V.
- CORDAZZO; BARBOSA, F. (Eds.) *Os sites e o programa Brasileiro de pesquisas ecológicas de longa duração*. Belo Horizonte: MCT-CNPq, 2002. 184p.
- PARKHURST, R. S.; WINTER, T. C.; ROSENBERRY, D. O.; STURROCK, A. M. Evaporation from a small prairie wetland in the Cottonwood Lake area, North Dakota - an energy budget study. *Wetlands*, v. 18, n. 2, p. 272-287, 1998.
- PAULIUKONIS, N.; SCHNEIDER, R. Temporal patterns in evapotranspiration from lysimeters with three common wetland plant species in the eastern United States. *Aquatic Botany*, v. 71, p. 35-46, 2001.
- PRICE, J. S. Evapotranspiration from a lakeshore Typha marsh on Lake Ontario. *Aquatic Botany*, v. 48, p. 261-272, 1994.
- RUSHTON, B. Hydrologic budget for a freshwater marsh in Flórida. *Water Resources Bulletin*, v. 32, n. 1, p. 13-21. 1996.
- SAMBASIVA RAO, A. Evapotranspiration rates of Eichhornia crassipes (Mart.) Solms, Salvinia Molesta D.S. Mitchell and Nymphaea lotus (L) Willd. Linn. in a humid tropical climate. *Aquatic Botany*, v. 30, p. 215-222, 1988.
- SÁNCHEZ-CARRILLO, S.; ALVAREZ-COBELAS, M.; BENÍTEZ, M.. A simple method for estimating water loss by transpiration in wetlands. *Hydrological Sciences*, v. 46, n. 4, p. 537-552, 2001.
- SÁNCHEZ-CARRILLO, S.; ANGELER, D. G.; SÁNCHEZ ANDRÉS, R.; ALVAREZ-COBELAS, M.; GARATUZA-PAYÁN, J. Evapotranspiration in semi-arid wetlands: relationships between inundation and the macrophyte-cover: open-water ratio. *Advances in Water Resources*, v. 27, p. 643-655, 2004.
- SNYDER, R. L.; BOYD, C. E.. Evapotranspiration by Eichhornia crassipes (Mart.) Solms and Typha latifolia L.. *Aquatic Botany*, v. 27, p. 217-227, 1987.
- van der MOLEN, W. H. Hydrology of natural wetlands and wet nature reserves. *Agricultural Water Management*, v. 14, p. 357-364, 1988.
- TIMMER, C. E.; WELDON, L. W. Evapotranspiration and Pollution of water by Water Hyacinth. *Hyacinth Control Journal*, v. 6, p. 34-37, 1967.

Assessment of the Daily Evapotranspiration Rate of Aquatic Macrophyte Zizaniopsis Bonariensis

ABSTRACT

The present study estimates the daily evapotranspiration (ET) rate of the aquatic macrophyte Zizaniopsis Bonariensis, a dominant species in the cover of the Taim Wetlands, by using buried tanks. An experiment was set up for this purpose according to the climatic conditions in the region of Porto Alegre (RS), where three tanks were used: a box with vegetation, a box without vegetation and a class A tank. Pressure transmitter sensors were used to measure water consumption in the tanks. During the period assessed (July 2004 to March 2005), the daily mean rate of ET for Zizaniopsis Bonariensis in the box with vegetation was 5.2 mm. day⁻¹, while the daily mean rate of evaporation for the box without vegetation was 3.1 mm. day⁻¹, and for the class A tank a value of 3.8 mm day⁻¹. was obtained. The joint installation of the class A tank made it possible to establish evapotranspiration/evaporation ratios for this

research. During the complete period the ratio was 1.37, whereas for the winter, spring and summer seasons it was 0.95, 1.53 and 1.36 respectively. While the class A tank and the box without vegetation consume similar amounts of water, the box with vegetation consumes more water.

Key-words: *evapotranspiration, macrophytes, buried tanks.*