

## **BALANÇO HÍDRICO CLIMATOLÓGICO COMPARATIVO PARA A CIDADE DE QUILLOTA (CHILE) COM ESTIMATIVAS DE EVAPOTRANSPIRAÇÃO OBTIDAS PELOS MÉTODOS DE PENMAN-MONTEITH E PELO TANQUE CLASSE A**

**Francisco F. N. Marcussi<sup>1</sup>; Eduardo Salgado Varas<sup>2</sup>; Edson Wendland<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>*Departamento de Hidráulica e Saneamento, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, SP, [marcussi@sc.usp.br](mailto:marcussi@sc.usp.br), [ew@sc.usp.br](mailto:ew@sc.usp.br)*

<sup>2</sup>*Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, Casila 4 – D, Quillota, Chile*

### **1 RESUMO**

Tendo em vista a falta de chuvas na quinta região do Chile, onde se localiza a cidade de Quillota (latitude 32°53'S, longitude 71°15'O e 350 metros de altura), o fornecimento artificial de água por sistemas de irrigação torna-se de grande importância. Na produção agrícola irrigada, o balanço hídrico é utilizado na determinação de períodos de excesso ou escassez de água e, principalmente, na quantificação das deficiências hídricas para uma cultura em uma determinada localidade. O objetivo deste estudo foi apresentar um balanço hídrico mensal com uma análise crítica do mesmo para a cidade de Quillota, na quinta região do Chile, para o ano de 2003, pelo método de Penman-Monteith e pelo tanque classe A, com dados diários obtidos por uma estação meteorológica. Os resultados mostram que houve diferença nas estimativas obtidas pelo método de Penman-Monteith e do tanque classe A tanto para a evapotranspiração e evaporação como para o balanço hídrico. Nos meses de maio e de junho observou-se excesso d'água ocasionado pela baixa perda d'água por evapotranspiração, sendo esta condicionada por baixas taxas de radiação solar e baixas temperaturas.

**UNITERMOS:** evapotranspiração, irrigação, evaporação.

**MARCUSSI, F.F.N.; SALGADO, E.V.; WENDLAND, E. CLIMATOLOGIC WATER BALANCE FOR QUILLOTA CITY (V REGION IN CHILE) WITH EVAPOTRANSPIRATION ESTIMATES OBTAINED FROM PENMAN-MONTEITH AND CLASS A PAN EVAPORATION METHODS**

### **2 ABSTRACT**

In view of the rain deficiencies in the fifth region of Chile, the area of Quillota (32°53' S latitude, 71°15'W longitude and 115 meters of altitude), the artificial water supply through irrigation systems has great importance. In irrigated agriculture, water balance is used to obtain crop water deficiencies in one determined location. The objective of this study was to present a monthly water balance with a critical analysis for the area of Quillota, in the fifth region of Chile, for the year 2003. Penman-Monteith and class A pan evaporation methods were used with daily data from an automatic meteorological station. Differences in evapotranspiration were found between both methods and also when they were compared to the water balance. In May and June, water excess resulting from less evapotranspiration due to low solar radiation rates and low temperatures was observed.

**KEYWORDS:** evapotranspiration, irrigation, evaporation.

### 3 INTRODUÇÃO

A cidade de Quillota, no Chile, grande produtora de frutas de clima temperado, sofre com a falta de chuvas periódicas e bem distribuídas durante o ano sendo, portanto o fornecimento artificial de água, por sistemas de irrigação, revestido de grande importância. Segundo Novoa e Villaseca (1989), o clima de Quillota, no vale do Aconcagua, é mediterrâneo, o qual apresenta chuvas concentradas no período frio, com o período seco na estação quente e um regime térmico marinho. A temperatura média anual é de 15,3°C, com máxima média no mês mais quente (janeiro) de 27°C e uma mínima média no mês mais frio (julho) de 5,5°C. O regime hídrico se caracteriza por uma precipitação anual média de 473 mm, sendo junho o mês mais chuvoso, com uma média de 125 mm. A evaporação média anual chega a 1.361 mm, com uma máxima mensal em dezembro de 219,3 mm, e uma mínima de 36,1 mm em junho. A estação de seca dura oito meses (setembro a abril).

Num projeto de irrigação, a evapotranspiração da cultura (ETc) é a variável mais importante, pois indica a quantidade de água a ser repostada à cultura de modo a garantir um retorno satisfatório ao produtor. Medeiros (2002) cita que, sendo a ETc função da evapotranspiração de referência (ETo), a determinação desta passa a ser importante nos projetos, no planejamento e no manejo da irrigação.

A Comissão Internacional de Irrigação e Drenagem (ICID) e a Organização das Nações Unidas para a Agricultura e Alimentação (FAO) consideram o método de Penman-Monteith como padrão para estimativas de evapotranspiração de referência, a partir de dados meteorológicos, sendo utilizado também para avaliar outros métodos (Smith, 1991). O balanço hídrico é uma metodologia muito utilizada para se avaliar o armazenamento de água no solo e quantificar déficits e excessos hídricos ao longo do tempo. O balanço hídrico é um sistema contábil de monitoramento da água do solo e resulta da aplicação do princípio de conservação da massa em um volume de solo vegetado (Pereira *et al.*, 1997). A variação do armazenamento representa o balanço entre as entradas e saídas de água do volume de controle, em um intervalo de tempo. Os resultados de balanço hídrico podem ser utilizados no zoneamento agroclimático, na determinação da demanda hídrica potencial das culturas irrigadas, no planejamento da pesquisa e para identificar o regime hídrico de uma região (Aguilar *et al.*, 1986).

Objetivou-se fazer um balanço hídrico mensal simples (precipitação menos a evapotranspiração - não se considerou o escoamento superficial e nem a “água gravitacional” – além da profundidade alcançada das raízes) e uma análise crítica do mesmo para a área de Quillota, na quinta região do Chile, para o ano de 2003, com o método de Penman-Monteith e pelo tanque classe A, através de dados diários obtidos por uma estação meteorológica. Optou-se por mostrar os dados em períodos mensais devido à pouca variabilidade dos dados climatológicos obtidos, que são típicos da região em estudo, de clima mediterrâneo (verão seco e inverno chuvoso).

### 4 MATERIAL E MÉTODOS

Este estudo baseou-se em dados de uma estação meteorológica localizada na Faculdade de Agronomia da Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, localizada na área

de Quillota no Chile, na quinta região (latitude 32°53'S, longitude 71°15'O e 350 metros de altitude). A precipitação e os demais elementos meteorológicos utilizados na estimativa da evapotranspiração por Penman-Monteith (temperatura, umidade relativa do ar, radiação solar e velocidade do vento) foram coletados de dez em dez minutos, com o uso de Data Logger. Os dados correspondem ao ano Juliano de 2003, sendo posteriormente processados para se obter um balanço hídrico mensal.

O tanque classe A foi instalado ao lado da estação meteorológica, e os dados de evaporação foram coletados uma vez ao dia, obtendo-se pro somatório os dados de evaporação mensal a fim de se fazer uma análise comparativa com a evapotranspiração calculada por Penman-Monteith, segundo o objetivo proposto no trabalho.

A evapotranspiração de referência pelo método do tanque classe A foi calculada (1) pela seguinte equação (Conceição, 2002):

$$ET_o = K_p \cdot E_{pan} \quad (1)$$

Em que:

ET<sub>o</sub> - evapotranspiração de referência, mm d<sup>-1</sup>;

K<sub>p</sub> - coeficiente do tanque classe A;

E<sub>pan</sub> - evaporação tanque classe A;

O coeficiente do tanque classe A (K<sub>p</sub>) foi calculado para a estação climatológica em questão para o ano de 2003 pela seguinte equação (Allen *et al.*, 1998):

$$K_p = 0,108 - 0,0286 u_2 + 0,0422 \ln(FET) + 0,1434 \ln(RH_{mean}) - 0,000631 [\ln(FET)]^2 \ln(RH_{mean}) \quad (2)$$

Em que:

K<sub>p</sub> – coeficiente do tanque classe A;

u<sub>2</sub> - velocidade média do vento coletada a 2 m de altura, m s<sup>-1</sup>;

FET – grama ao redor do tanque (raio), m;

RH<sub>mean</sub> – umidade relativa média, %.

A evapotranspiração de referência foi estimada pelo método FAO Penman-Monteith foi determinada (3), conforme metodologia apresentada por Allen *et al.* (1998):

$$ET_o = \frac{0,408 \Delta (R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} U_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma (1 + 0,34 u_2)} \quad (3)$$

Em que:

ET<sub>o</sub> - evapotranspiração de referência, mm d<sup>-1</sup>;

R<sub>n</sub> - saldo de radiação, MJ m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup>;

G – fluxo de aquecimento do solo pela densidade (adotou-se zero), MJ m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup>;

T - temperatura média do ar a 2 m, °C;

u<sub>2</sub> - velocidade média do vento coletada a 2 m de altura, m s<sup>-1</sup>;

e<sub>s</sub> - pressão de saturação do vapor d'água, kPa;

e<sub>a</sub> - pressão atual do vapor d'água, kPa;

Δ - tangente da curva de pressão de saturação do vapor d'água no ponto correspondente à temperatura do ar, kPa °C<sup>-1</sup>;

γ - constante psicrométrica, 0,0639 kPa °C<sup>-1</sup>.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 1 observa-se que os dados de umidade relativa média do ar mantiveram-se sempre acima dos 70,7%, mesmo nos meses sem chuva, devendo-se esse fator aos ventos úmidos vindos do Oceano Pacífico pela proximidade da cidade de Quillota do litoral (aproximadamente 30 km). Constatou-se que durante o ano de 2003 não houve uma grande variação entre a umidade mínima observada (70,7%) e a umidade máxima (88,5%) e que, como esperado para a região, os meses de inverno, onde se concentra o período chuvoso, foram os meses de maior umidade relativa observada.

Nos dados de radiação solar da Tabela 1, nas quais observou-se uma grande variação de sua intensidade durante o ano, tendo sido observado o mínimo de 0,3 W/m<sup>2</sup> em julho e o máximo de 311,6 W/m<sup>2</sup> em dezembro. Essa variável tem grande influência nos dados de evapotranspiração de referência calculados pelo método de Penman-Monteith e pelo método do tanque classe A. Observa-se que os valores de radiação tendem a diminuir com os meses de inverno para o hemisfério sul e aumentarem com os meses quentes.

**Tabela 1.** Dados mensais, para o ano de 2003, umidade relativa média, radiação solar, velocidade do vento, precipitação e evapotranspiração de referência por Penman-Monteith e tanque classe A.

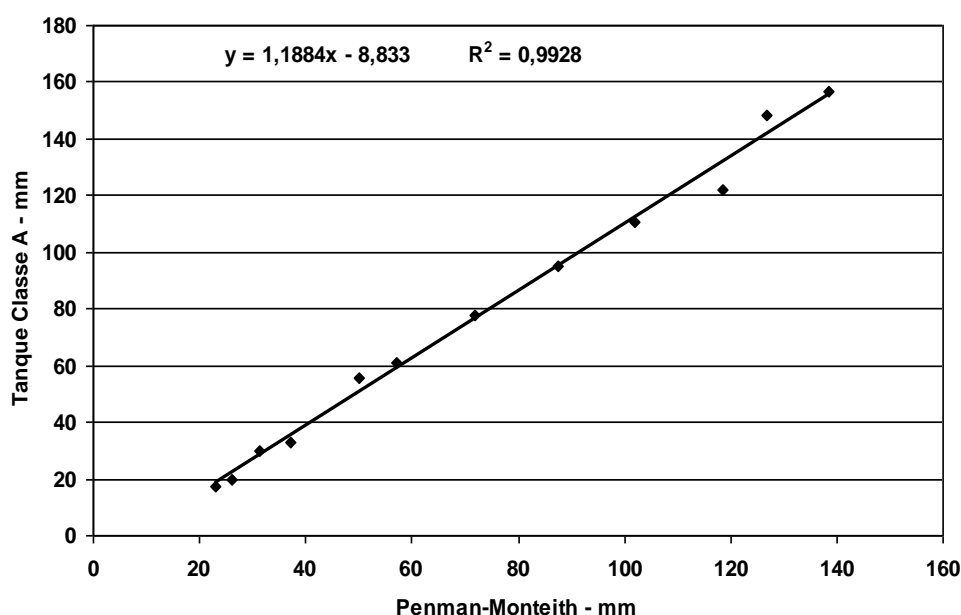
Mês	Temp.	U.R.	Radiação	Vento	Precip.	Penman-	Tanque
	Média	Média				Monteith	Classe A
	°C	(%)	(W/m <sup>2</sup> )	(m/s)	(mm)	ET <sub>o</sub>	ET <sub>o</sub>
						(mm/mês)	(mm/mês)
<b>Janeiro</b>	19,5	70,7	270,5	1,1	0,0	126,8	148,5
<b>Fevereiro</b>	17,2	71,4	252,4	1,1	0,0	102,1	110,9
<b>Março</b>	16,5	82,0	160,3	0,9	0,2	71,9	77,9
<b>Abril</b>	14,0	78,3	126,4	0,6	0,0	50,0	55,8
<b>Mai</b>	11,2	82,7	89,0	0,4	73,8	31,2	30,1
<b>Junho</b>	12,7	88,5	69,7	0,3	57,6	23,2	17,3
<b>Julho</b>	10,1	86,0	0,3	1,8	25,8	26,2	19,8
<b>Agosto</b>	10,7	83,5	105,6	0,4	8,8	37,2	32,7
<b>Setembro</b>	13,0	80,0	145,2	0,6	2,6	57,2	60,8
<b>Outubro</b>	15,6	74,6	196,3	0,8	0,0	87,5	95,1
<b>Novembro</b>	16,9	79,5	276,6	1,9	0,0	118,4	122,3
<b>Dezembro</b>	17,4	79,7	311,6	2,6	0,0	138,5	156,9
<b>Anual</b>	14,6	79,7	167,0	1,0	168,8	870,3	928,1

Com os dados de velocidade de vento da Tabela 1, observou-se uma média anual de 1,0 m/s, sendo sua velocidade máxima registrada em dezembro com 2,6 m/s e a mínima em junho com 0,3 m/s. Observa-se uma tendência de menor velocidade do vento nos meses mais frios do ano, exceto para o mês de julho (1,8 m/s), sendo o inverso verdadeiro.

Os dados de precipitação da Tabela 1, com os de evapotranspiração da Figura 1, mostram uma das características naturais que tornam a região uma grande produtora de frutas temperadas, ou seja, chuva apenas nos meses frios, o que inibe o aparecimento de pragas e doenças. Observou-se uma precipitação total, no ano de 2003, de 168,8 mm, muito aquém das necessidades de água para uma produção agrícola regular, e uma temperatura média anual de 14,6°C, caracterizando um clima muito favorável ao cultivo de fruteiras de clima temperado

com o fornecimento de água via irrigação. Verifica-se que o ano de 2003 foi um ano atípico. Nova e Villaseca (1989) citam que a média anual de precipitação está em torno de 473 mm.

Os dados de evapotranspiração da Tabela 1, e as equações de regressão polinomial, de ordem quatro, para Penman-Monteith ( $y = -0,0601x^4 + 1,5233x^3 - 8,9855x^2 - 7,8335x + 142$  e  $R^2 = 0,9989$ ) e do tanque classe A ( $y = -0,0704x^4 + 1,8078x^3 - 8,6108x^2 - 37,138x + 259,07$  e  $R^2 = 0,9976$ ), mostram a mesma tendência de evolução durante o ano de 2003, ou seja, há uma correlação direta entre os dados de evaporação coletados no tanque classe A e os dados calculados de evapotranspiração por Penman-Monteith (Figura 1). Conceição (2002), em um estudo realizado com tanque classe A no noroeste do Estado de São Paulo (19°53'S e 50°19'W), Brasil, verificou uma correlação alta entre dados de evaporação coletados por tanque classe A e a evapotranspiração calculada por Penman-Monteith.



**Figura 1.** Correlação entre os dados de evapotranspiração de referência de Penman-Monteith e tanque classe A.

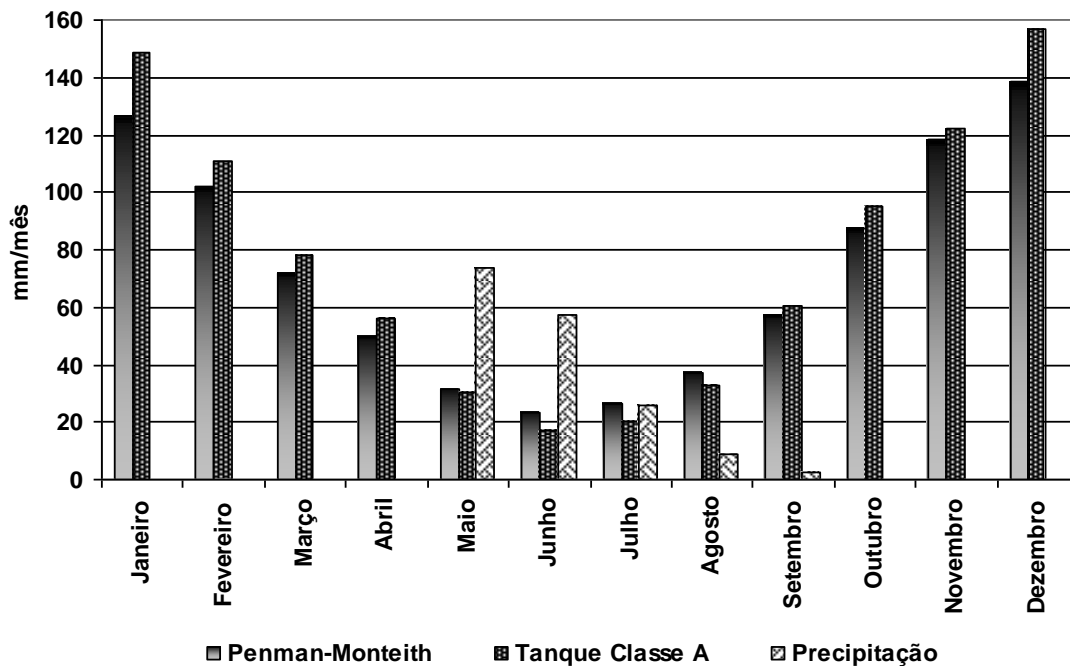
Em relação aos dados de temperatura (Tabela 1), verifica-se uma grande amplitude térmica, entre temperatura mínima e máxima, durante todos os meses do ano, tendo uma temperatura média mensal variando de 10,1 a 19,5°C (típico de clima temperado). A temperatura média no mês de janeiro (mais quente do ano) possui uma mínima média de 11,7°C e uma máxima média de 28,3°C, apresentando amplitude térmica média de 16,6°C. No mês de julho (mês mais frio), a temperatura possui uma mínima média de 4,0°C e uma máxima média de 18,1°C, apresentando uma amplitude térmica média de 12,1°C. Esta grande variação na temperatura é excelente para a fruticultura irrigada de clima temperado.

Contudo, os mesmos dados da Tabela 1 mostram uma evapotranspiração maior para o tanque classe A em relação à evapotranspiração pelo método de Penman-Monteith, exceto nos meses frios do ano. A menor diferença entre os dois valores observados foi em junho, com 0,2 mm/mês, e a maior em dezembro, com 99,5 mm/mês. Nos meses mais quentes do ano, quando se observa precipitação zero e maior radiação solar as diferenças dos valores de evaporação do tanque classe A e evapotranspiração por Penman-Monteith se acentuam, sendo nos meses mais frios do ano, quando se observa uma pequena precipitação, o inverso

verdadeiro. Cunha (2003) em estudo realizado no Estado de São Paulo (22°15'S e 47°40'W), no Brasil, obteve uma grande correlação entre dados de evapotranspiração observados em lisímetro, e calculados por Penman e por Thornthwaite durante os meses do ano de 2003. Contudo, os resultados obtidos de lisímetro (651 mm/ano) ficaram muito aquém dos obtidos pelo método Penman (1667,6 mm/ano) e por Thornthwaite (1169,5 mm/ano).

Na Figura 2, apresenta-se a evapotranspiração mensal calculada pelos métodos de Penman-Monteith e do tanque classe A. O coeficiente do tanque classe A, para a região de Quillota, obteve uma média anual de 0,71. Nota-se que apenas em maio e junho o ganho de água por precipitação superou a perda de água por evapotranspiração calculada pelos dois métodos. No mês de julho, a evapotranspiração superou a perda de água pelo método do tanque classe A e praticamente igualou ao método de Penman-Monteith. Nota-se que nos meses de maio a agosto, quando há um pouco de precipitação, a perda de água para a atmosfera, pela evapotranspiração, calculada pelo método de Penman-Monteith supera a calculada pelo tanque classe A, sendo que nos demais meses do ano, o inverso é verdadeiro, ou seja, as baixas temperaturas nestes meses do ano atreladas à precipitação afetam os resultados dos métodos analisados.

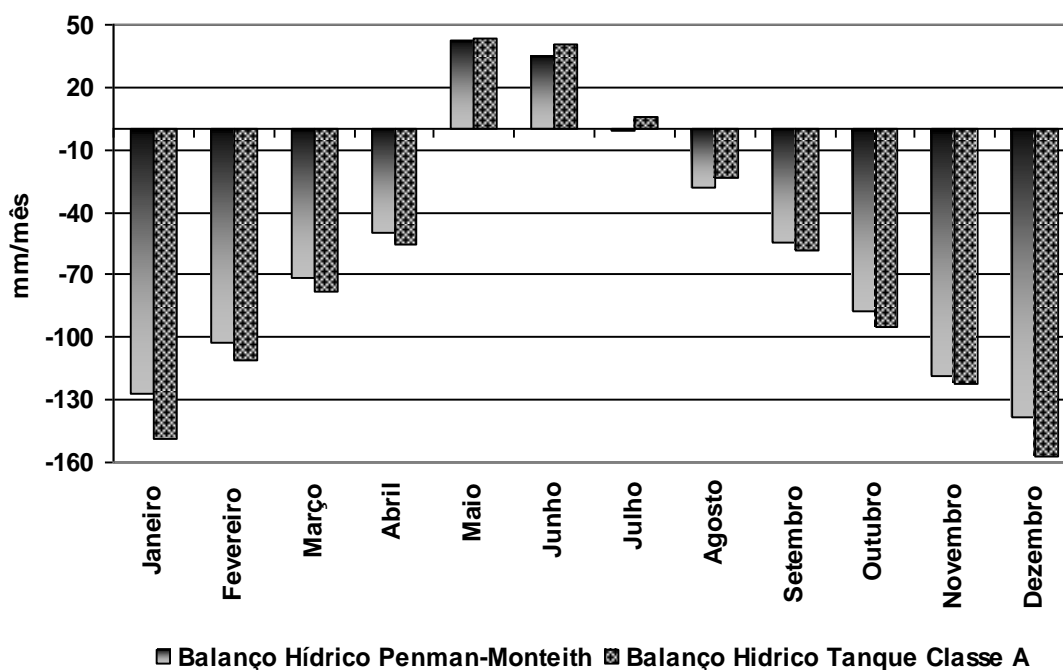
A praticidade do tanque classe A é um fator importante para a sua utilização na determinação da evapotranspiração de referência em campo.



**Figura 2.** Precipitação e evapotranspiração de referência calculada pelos métodos de Penman-Monteith e tanque classe A para o ano de 2003.

Na Figura 3 observa-se o balanço hídrico simples (precipitação menos a evapotranspiração) pelo método de Penman-Monteith e do tanque classe A. Apenas em maio e junho não foram observados déficits hídricos. No mês de dezembro o déficit hídrico foi maior para os dois métodos, chegando a atingir, para o tanque classe A e para o método de Penman-Monteith, respectivamente, 238 mm/mês e 139 mm/mês. Nos meses de maio e junho de 2003 observaram-se precipitações maiores que a evaporação do tanque classe A e a evapotranspiração calculada por Penman-Monteith. O mês de julho apresentou valores muito

próximos de zero para o balanço hídrico, indicando um equilíbrio entre evapotranspiração, evaporação e precipitação.



**Figura 3.** Balanço hídrico (precipitação menos evapotranspiração) pelo método de Penman-Monteith e o tanque classe A para o ano de 2003.

### 6 CONCLUSÕES

Conclui-se que os valores de evapotranspiração de referência do método de Penman-Monteith e do tanque classe A apresentam diferenças entre si, mesmo possuindo uma mesma tendência de evolução durante os meses de um ano Juliano e uma alta correlação entre os dados. Para culturas com  $K_c$  igual a 1, não haveria necessidade de irrigação suplementar nos meses de maio, junho e julho para a cidade de Quillota na quinta região no Chile.

### 7 AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem aos revisores anônimos que muito contribuíram para a melhoria deste trabalho, ao DAAD (Serviço Alemão de Intercâmbio Acadêmico), pelo fomento do intercâmbio de pós-graduação entre professores e alunos e ao CNPq (processo 141159/2006-5).

### 8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGUILAR, D.J. *et al.* **Determinação da evapotranspiração potencial e balanço hídrico climático da região da Grande Dourados, MS.** Dourados: EMBRAPA, UEPAE, 1986. 150p.

ALLEN, R.G. *et al.* **Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements.** Rome: FAO, 1998. 297p. (FAO. Irrigation and Drainage Paper, 56).

CONCEIÇÃO, M.A.F. Reference evapotranspiration base on class A pan evaporation. *Scientia Agrícola*, Piracicaba, v.59, n.3, p.417-420, jul./set. 2002.

CUNHA, A.T. **Estimativa experimental da taxa de recarga na zona de afloramento do aquífero Guarani, para a região de São Carlos-SP.** 2003. 117p. Dissertação (Mestrado em Hidráulica e Saneamento) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2003.

MEDEIROS, A.T. **Estimativa de evapotranspiração de referência a partir da equação de Penman-Monteith, de medidas lisimétricas e de equações empíricas, em Paraipaba, CE.** 2002. 103p. Tese (Doutorado em Irrigação e Drenagem) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, 2002.

NOVOA, R.; VILLASECA, S. **Mapa agroclimático de Chile.** Instituto de Investigaciones Agropecuárias. Santiago de Chile. 1989. 221p.

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

SMITH, M. **Report on the expert consultation on procedures for revision of FAO guidelines for prediction of crop water requirements.** Rome: FAO, 1991. 54p.