

**Aplicação do Método de PENMAN Modificado no  
Cálculo da Evapotranspiração Potencial para Quatro  
Estações Meteorológicas do Estado do Paraná**

**PENMAN Modified Method's application in the potential  
evapotranspiration calculus for four meteorological  
stations in Paraná State**

**Masato Kobiyama**

Doutor em Engenharia Florestal pela UFPR  
Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – UFSC  
*kobiyama@ens.ufsc.br*

**Leandro Redin Vestena**

Mestre em Geografia pela UFPR  
Departamento de Geografia – UNICENTRO  
*lvestena@unicentro.br*

*(Recebido em 21 de junho de 2004)*

Resumo: A partir da aplicação do método de Penman, modificado a evapotranspiração potencial (ETP) diária, foi estimada para quatro estações meteorológicas do Estado do Paraná: Piraquara (Pinhais), Cascavel, Guarapuava e Paranavaí, no período de 1990 a 2000. Essas estações foram adotadas por apresentarem características físicas distintas, como: a altitude, a latitude, a precipitação e a temperatura. Estimou-se a média mensal, o desvio padrão e o coeficiente de variação. Os valores da ETP média anual para Pinhais, Guarapuava, Cascavel e Paranavaí foram de 1137 mm, 1212 mm, 1271 mm e 1580 mm, respectivamente.

**Palavras-chave:** Evapotranspiração Potencial; Penman-Montheith; Penman-Doorenbos e Pruitt.

**Abstract:** By using the modified Penman method, the daily potential evapotranspiration (ETP) was estimated for four meteorological stations of the Paraná State: Piraquara (Pinhais), Cascavel, Guarapuava and Paranavaí, during the period from 1990 to 2000. Those stations were adopted because of the fact that they possess different geographical characteristics such as the altitude, the latitude, the precipitation and the temperature. The monthly average, the standard deviation and the variation coefficient were calculated. The values of mean annual ETP for Pinhais, Guarapuava Cascavel and Paranavaí were 1137 mm, 1212 mm, 1271 mm and 1580 mm, respectively.

**Key words:** Potential Evapotranspiration; Penman-Montheith; Penman-Doorenbos e Pruitt.

## 1 Introdução

A evapotranspiração é a perda de água por evaporação do solo e a transpiração da planta, sendo um elemento climatológico fundamental que corresponde ao processo oposto da chuva (THORNTHWAITE, 1946). Como a água potável está se tornando cada vez mais escassa e conseqüentemente cara, o estudo das perdas hídricas por evapotranspiração torna-se de grande importância na gestão dos recursos hídricos das inúmeras atividades humanas.

A relação entre chuva e evapotranspiração resulta no balanço hídrico climatológico. No aspecto agrônômico, essa relação indica excessos e deficiências de umidade ao longo do ano ou da estação de crescimento das culturas (PEREIRA et al., 1997). O conhecimento da distribuição espacial e temporal da evapotranspiração possibilita a melhor determinação das lâminas de água a serem usadas na irrigação e nos turnos de rega, diminuindo os desperdícios e mantendo o solo em uma faixa de umidade adequada as plantas. Portanto, facilita o estabelecimento de políticas objetivando o uso racional da água.

A evapotranspiração pode ser classificada em dois tipos: a evapotranspiração real e a evapotranspiração potencial (ETP). A primeira é a quantidade de água transferida para a atmosfera por evaporação, nas condições reais de fatores atmosféricos e umidade do solo (TUCCI e BELTRAME, 2000). A segunda é a quantidade de água transferida à atmosfera por evaporação e transpiração, na unidade de tempo de uma superfície extensa e completamente coberta por vegetação de porte baixo e bem suprida de água, ou seja, considerando condições ideais para a mesma (PENMAN, 1956).

A estimativa da ETP pode ser obtida por métodos diretos e indiretos. Os diretos são geralmente utilizados em projetos de pesquisa extensos devido ao elevado custo dos equipamentos. Os indiretos são menos onerosos e se baseiam na aplicação de métodos matemáticos que utilizam dados climatológicos medidos em estações meteorológicas (PEREIRA et al., 1997).

O método de Penman (1948) foi o primeiro método indireto que combinou os efeitos do balanço de energia com o poder evaporante do ar e, é denominado por essa razão de método combinado. Pereira et al. (1997) dizem que ele é baseado em princípios físicos corretos. Apesar de não ser operacionalmente perfeito e correto, ele é considerado, por muitos, como modelo padrão, ou seja, é a melhor opção para estimar a ETP (TUCCI e BELTRAME, 2000).

O método de Penman apresenta boa precisão, porém exige a determinação de grande número de dados meteorológicos e o seu cálculo é bastante trabalhoso (BERNARDO, 2002). Segundo Vanzela et al. (2007), os bons resultados obtidos devem-se a forte influência da radiação solar no processo de evapotranspiração. A maior limitação ao seu emprego reside na dificuldade em se obter todos os dados meteorológicos necessários, o que tem levado vários pesquisadores a sugerirem modificações almejando aperfeiçoar e simplificar o método de Penman. Entre eles destacam-se Monteith (1965) e Doorenbos e Pruitt (1977).

No Estado do Paraná, Müller (1995) estimou a ETP para vinte e quatro estações meteorológicas usando cinco diferentes métodos, bem como traçou isolinhas da evapotranspiração potencial para o Estado. No entanto, os dados estimados referiram-se até o ano de 1992, havendo a necessidade de estimativas que envolvam dados mais recentes. Além disso, a mesma autora concluiu que o método de Penman modificado por Monteith (1965) foi o que apresentou os melhores resultados. Entretanto, como este método requer muitos parâmetros, sua aplicação é normalmente dificultada por exigir um grande número de dados meteorológicos.

Aplicando 5 métodos, Oliveira (1999) estimou a ETP na região litorânea paranaense e indicou o método de Penman modificado por Doorenbos e Pruitt (1977) como o melhor método. Esse método requer menos parâmetros do que o de Penman modificado por Monteith (1965). Fato esse que justifica ser o método de Penman modificado por Doorenbos e Pruitt (1977) mais prático do que o de Penman modificado por Monteith (1965).

Sendo assim, o objetivo do presente estudo foi estimar a ETP diária das estações meteorológicas de Cascavel, Guarapuava, Paranavaí e Piraquara (Pinhais) no Estado do Paraná pelo uso do método de Penman modificado por Doorenbos e Pruitt (1977).

As estações foram escolhidas por representarem regiões do Estado do Paraná que se destacam na produção agrícola e estarem localizadas em compartimentos geomorfológicos distintos (MAACK, 2002). O conhecimento da água perdida por evapotranspiração é fundamental para se estabelecer o balanço hídrico de cada uma das regiões. A partir da disponibilidade hídrica, pode-se, então, determinar se essa região é indicada para o cultivo de determinada espécie vegetal ou se é necessário o uso de irrigação. Com base na quantidade de evapotranspiração pode-se, também, dimensionar sistemas de irrigação e adotar-se critérios definidos no local para o manejo da irrigação, com o uso eficiente de água e energia.

Dessa forma, à medida que se conhece a ETP diária obtém-se subsídios à tomada de decisão e a um planejamento mais racional dos recursos hídricos e das atividades agrícolas, em cada uma destas regiões paranaenses.

## 2 Material e Métodos

Para estudo da ETP, foram usadas quatro estações meteorológicas do Estado do Paraná, localizadas nas cidades de Cascavel, Guarapuava, Paranavaí e Piraquara (Pinhais) (Figura 1). A escolha das estações foi realizada objetivando avaliar o comportamento da ETP diária em regiões geograficamente diferentes do Estado do Paraná. Estas estações meteorológicas apresentam diferentes altitudes, latitudes, temperaturas e precipitações (Tabela 1).

Foram utilizados os dados observados diariamente nessas estações para o período de 1990 a 2000. Somente no caso da estação de Cascavel, usou-se os dados do período de 1994 a 2000, devido à inexistência e a inconsistência dos dados meteorológicos obtidos no período de 1990 a 1993. Os parâmetros utilizados no cálculo da ETP com o método de PENMAN modificado foram os dados diários de: temperatura média (°C), radiação solar média (Watts/m<sup>2</sup>), insolação (horas/dia), velocidade média do vento (km/h) e umidade relativa do ar (%), bem como os dados referentes a posição da estação meteorológica, como a latitude e a altitude.

Figura 1. Localização das estações meteorológicas utilizadas do Estado do Paraná

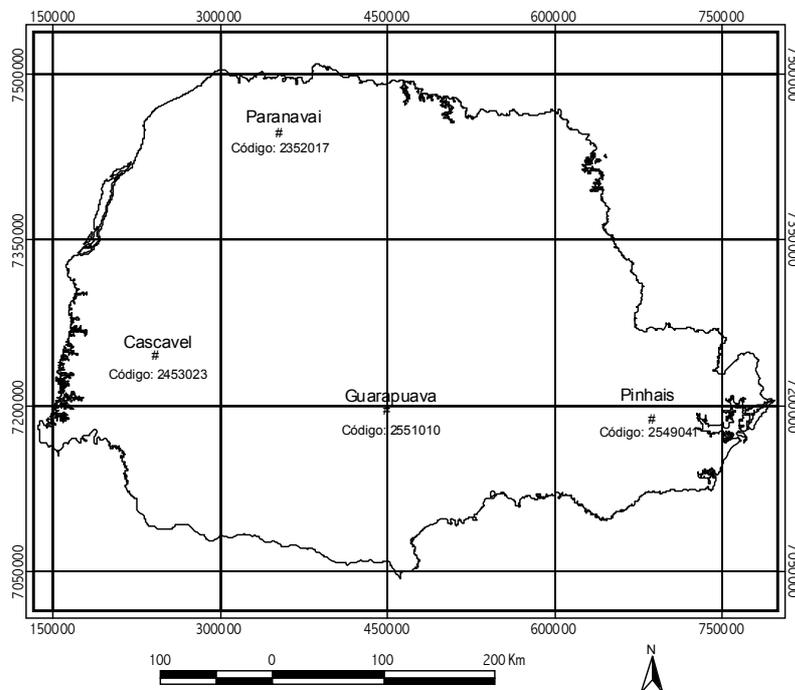


Tabela 1. Descrições das estações meteorológicas

| Código  | Nome da Estação | Local (município) | Latitude | Longitude | Altitude (metros) | Data início | Data Final |
|---------|-----------------|-------------------|----------|-----------|-------------------|-------------|------------|
| 2549041 | Piraquara       | Pinhais           | 25°25' S | 49°08' W  | 930               | Fev/1970    | *          |
| 2551010 | Guarapuava      | Guarapuava        | 25°21' S | 51°30' W  | 1020              | Jun/1972    | *          |
| 2352017 | Paranavaí       | Paranavaí         | 23°05' S | 52°26' W  | 480               | Jun/1971    | *          |
| 2453023 | Cascavel        | Cascavel          | 24°53' S | 53°33' W  | 660               | Out/1972    | *          |

Nota: \* Estação em operação

A equação do método de Penman modificado por Doorenbos e Pruitt (1977) é descrita pela equação (1):

$$ETP = C[W \cdot R_n + (1-W) \cdot f(u) \cdot (e_a - e_d)] \quad (1)$$

em que  $ETP$  é a evapotranspiração potencial (mm/dia);  $C$  é o fator de correção da fórmula (adimensional) para compensar o efeito do dia e da noite em condições climáticas, e relaciona a radiação solar, a umidade relativa máxima e a velocidade do vento diária e noturna. No presente trabalho, adotou-se o valor de 1,10;  $W$  é o fator de ponderação relacionado com a temperatura e altitude (adimensional);  $R_n$  é a radiação líquida (mm/dia);  $f(u)$  é a função relacionada com o vento (adimensional);  $u$  é a velocidade média diária do vento (km/h);  $e_a$  é a pressão de saturação do vapor d'água (mbar);  $e_d$  é a pressão de saturação real do vapor no ar (mbar).

As estações meteorológicas automáticas instaladas a partir de 1997 deixaram de medir o número de horas incidentes, um dos parâmetros de entrada no método de Penman modificado. Em consequência, utilizou-se a equação proposta por Dias e Kan (1999) que converteram a radiação solar diária em número de horas incidentes diárias:

$$R_s \downarrow = R_{sea} \left( a + b \frac{n}{N} \right) \quad (2)$$

em que  $R_s \downarrow$  é a radiação solar incidente (Watts/m<sup>2</sup>);  $R_{sea}$  é a radiação solar extra-atmosférica (mm/dia);  $a$  e  $b$  são parâmetros estabelecidos para a latitude (adimensional);  $n$  é o número de hora de brilho do sol medido num heliógrafo ao longo do dia; e  $N$  é a duração do dia em horas possível de insolação.

Os valores dos parâmetros  $a = 0,214$  e  $b = 0,852$  foram adotados com base em Tubelis e Nascimento (1984), os de  $W$  e  $C$  com referência em Doorenbos e Pruitt (1977) e o valor da  $N$  foi determinada segundo Dias e Kan (1999).

A descrição detalhada do método de PENMAN modificado por Doorenbos e Pruitt (1977) pode ser visto em Vestena (2002).

Para comparar quantitativamente os dados de ETP obtidos pelos métodos de PENMAN-MONTHEITH (MÜLLER, 1995) e de PENMAN-DOORENBOS e PRUITT para cada estação meteorológica utilizou-se da diferença relativa ( $DR$ ) e do coeficiente ( $k$ ), descritos pelas equações (3) e (4):

A tabulação, a organização dos dados e os cálculos estatísticos foram realizados no programa *Microsoft Office Excel*. O desvio padrão e o coeficiente de variação da ETP foram obtidos a partir da média dos valores estimados no período, do dia do ano de referência, mês e ano.

### 3 Resultados e Discussão

A figura 2 apresenta consideráveis variações dos valores mensais da ETP para cada estação. Os meses de junho, julho e agosto, em média, apresentaram índices inferiores de ETP, opondo-se aos meses de novembro, dezembro e janeiro. Na estação de Piraquara (Pinhais), situada no Primeiro Planalto Paranaense, a ETP mostrou-se inferior as demais estações.

A tabela 2 apresenta as médias mensais da ETP, da temperatura e da precipitação, para o período de 1990 a 2000. Observa-se que Paranavaí possui a maior temperatura média anual e a maior ETP anual, enquanto, Guarapuava e Cascavel as maiores precipitações e Piraquara a menor ETP anual, sendo que os valores médios da ETP anual em Piraquara (Pinhais), Guarapuava, Cascavel e Paranavaí foram de 1137 mm, 1212 mm, 1271 mm e 1580 mm, respectivamente.

Figura 2. Média mensal da ETP, para o período de 1990 a 2000. A média mensal da ETP de Cascavel corresponde ao período de 1994 a 2000

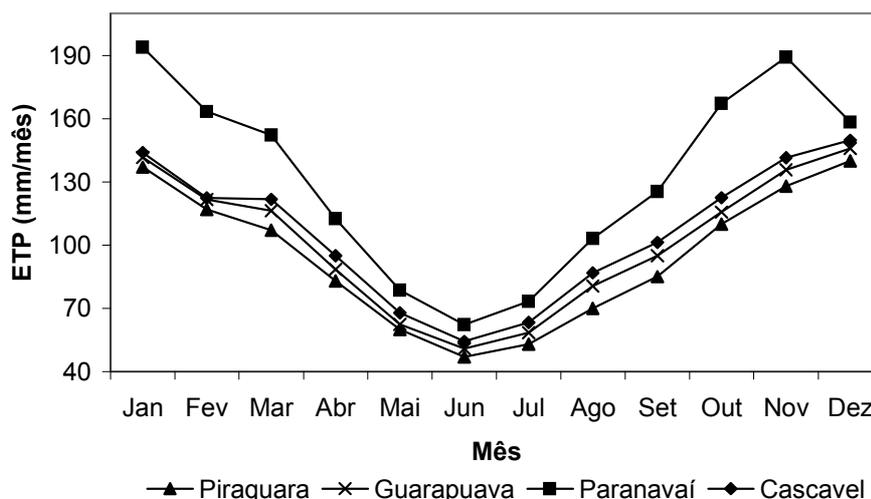


Tabela 2. Média mensal da evapotranspiração potencial (ETP), da temperatura (T) e da precipitação (P) para as estações meteorológicas de Piraquara, Guarapuava, Paranavaí e Cascavel, no período de 1990 - 2000

| Mês   | Estações Meteorológicas |           |           |             |           |           |             |           |           |             |           |           |
|-------|-------------------------|-----------|-----------|-------------|-----------|-----------|-------------|-----------|-----------|-------------|-----------|-----------|
|       | Piraquara               |           |           | Guarapuava  |           |           | Paranavaí   |           |           | Cascavel    |           |           |
|       | ETP<br>(mm)             | T<br>(°C) | P<br>(mm) | ETP<br>(mm) | T<br>(°C) | P<br>(mm) | ETP<br>(mm) | T<br>(°C) | P<br>(mm) | ETP<br>(mm) | T<br>(°C) | P<br>(mm) |
| Jan   | 137                     | 19,8      | 253       | 142         | 20,9      | 229       | 194         | 25,3      | 189       | 144         | 21,5      | 183       |
| Fev   | 117                     | 19,9      | 172       | 121         | 20,5      | 176       | 164         | 24,8      | 185       | 122         | 21,3      | 171       |
| Mar   | 107                     | 18,7      | 137       | 116         | 19,6      | 157       | 152         | 24,0      | 143       | 122         | 20,5      | 153       |
| Abr   | 83                      | 16,8      | 71        | 88          | 17,3      | 161       | 113         | 21,9      | 116       | 95          | 18,4      | 169       |
| Mai   | 60                      | 13,8      | 93        | 62          | 14,1      | 145       | 79          | 19,2      | 107       | 68          | 15,4      | 209       |
| Jun   | 47                      | 12,6      | 97        | 51          | 13,0      | 157       | 62          | 18,0      | 101       | 54          | 14,1      | 136       |
| Jul   | 53                      | 11,9      | 112       | 58          | 12,4      | 130       | 73          | 18,0      | 53        | 63          | 13,8      | 115       |
| Ago   | 70                      | 12,8      | 87        | 81          | 14,4      | 89        | 103         | 20,2      | 46        | 87          | 15,3      | 94        |
| Set   | 85                      | 13,8      | 176       | 95          | 15,6      | 213       | 125         | 21,4      | 152       | 101         | 16,6      | 194       |
| Out   | 110                     | 15,9      | 149       | 116         | 17,7      | 232       | 167         | 22,8      | 183       | 123         | 18,1      | 275       |
| Nov   | 128                     | 17,1      | 140       | 136         | 19,1      | 144       | 189         | 24,0      | 106       | 142         | 19,3      | 168       |
| Dez   | 140                     | 18,8      | 196       | 146         | 20,6      | 203       | 159         | 25,2      | 166       | 150         | 20,7      | 199       |
| Anual | 1137                    | 16,0      | 1683      | 1212        | 17,1      | 2036      | 1580        | 22,1      | 1547      | 1271        | 17,9      | 2066      |

Nota. As médias obtidas para a Estação de Cascavel referem-se ao período de 1994 a 2000.

Nesse sentido, estabeleceu-se correlação entre a ETP mensal e a temperatura e a ETP e a precipitação, para cada estação (Tabela 3). Constatou-se que a ETP e a precipitação apresentaram baixa correlação em todas as estações, enquanto, a ETP e a temperatura mostraram boas correlações. Especialmente, em Guarapuava e Paranavaí, encontra-se a ETP mais influenciada pela temperatura.

Tabela 3. Dados da análise de regressão linear obtido na relação de ETP com a temperatura e a precipitação mensal

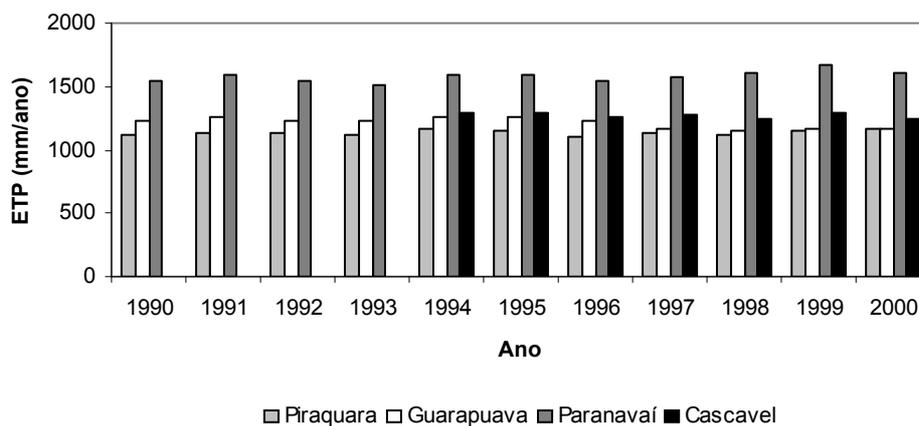
| Estação Meteorológica | ETP                    |                | ETP                    |                |
|-----------------------|------------------------|----------------|------------------------|----------------|
|                       | Equação                | R <sup>2</sup> | Equação                | R <sup>2</sup> |
| Piraquara             | $y = 6,6175x - 11,072$ | 0,5238         | $y = 0,1207x + 78,761$ | 0,1019         |
| Guarapuava            | $y = 9,4585x - 60,74$  | 0,8393         | $y = 0,0693x + 89,276$ | 0,041          |
| Paranavaí             | $y = 14,361x - 185,07$ | 0,8081         | $y = 0,1521x + 111,45$ | 0,0912         |
| Cascavel              | $y = 6,2319x - 5,7155$ | 0,5039         | $y = 0,0816x + 92,084$ | 0,0744         |

Nota: A equação é da regressão linear e o R<sup>2</sup> é o coeficiente de determinação.

Nessa correlação, observou-se que a temperatura apresentou maior influência na ETP em situações extremas, ou seja, Guarapuava que apresenta a menor temperatura média anual e Paranavaí a maior. Isso indica que quando a temperatura é alta ou baixa, a contribuição dela torna-se maior na determinação da ETP. Quando a temperatura é média, outros fatores meteorológicos participam mais na determinação da ETP.

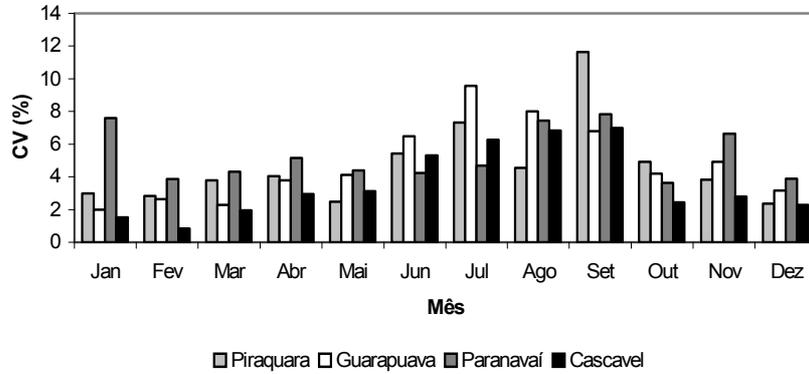
A figura 3 mostra a ETP anual ao longo do período de estudo. Embora há diferença entre as estações, observa-se que há pequena variação desse valor ao longo do tempo em cada estação. Os valores de coeficiente de variação anual foram de 1,65, 1,68, 2,74 e 4,12% para Piraquara (Pinhais), Cascavel, Paranavaí e Guarapuava, respectivamente.

Figura 3. Evapotranspiração potencial anual, no período de 1990 a 2000. A evapotranspiração potencial anual de Cascavel corresponde ao período de 1994 a 2000



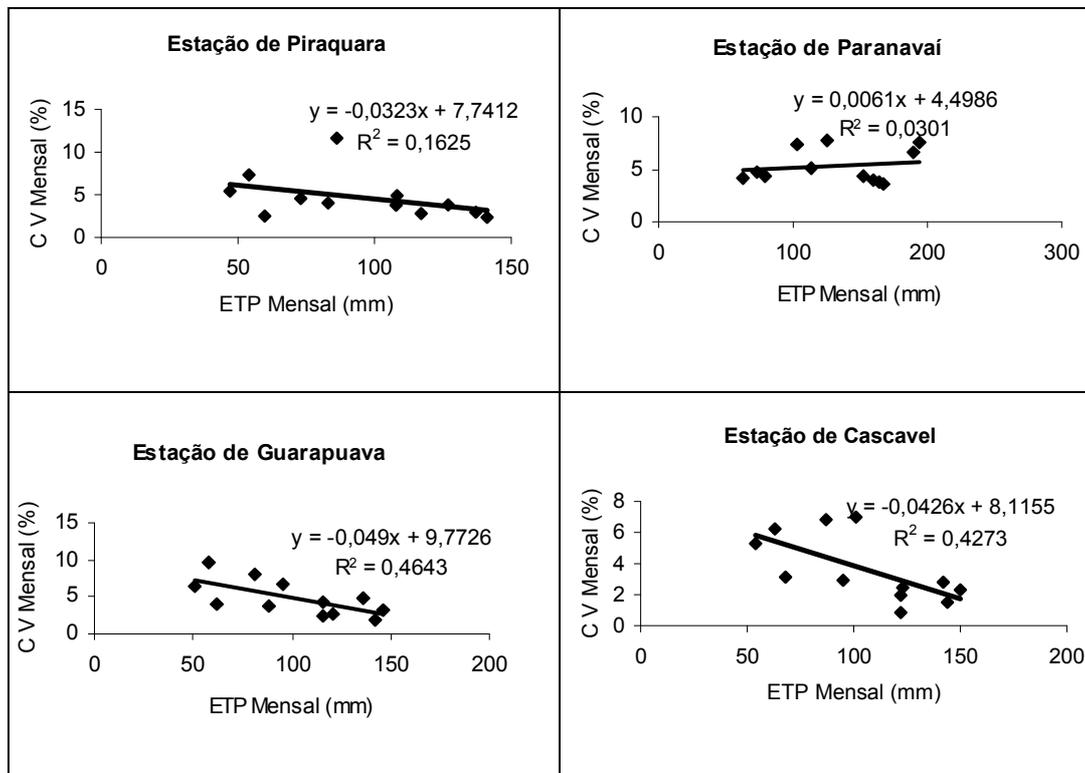
Quando se analisa o coeficiente de variação mensal, constata-se que a estação de Paranavaí apresenta os maiores índices de variação em janeiro, agosto, setembro e novembro, Guarapuava e Cascavel nos meses de inverno (julho, agosto e setembro) e Piraquara em julho e setembro (Figura 4). Então, pode-se dizer que em geral a ETP mensal varia mais no inverno. Isso pode ser explicado pelo fato de no inverno ocorrer maiores oscilações nas condições meteorológicas, principalmente, na temperatura.

Figura 4. Coeficiente de variação mensal da ETP, no período de 1990 a 2000. O coeficiente de variação de Cascavel corresponde ao período de 1994 a 2000



Os coeficientes de variação mensal quando correlacionados com a ETP média mensal apresentaram baixa relação nas estações de Piraquara e Paranavaí, no entanto, as estações de Guarapuava e Cascavel mostraram um pequeno índice de correlação (Figura 5).

Figura 5. Correlação entre coeficiente de variação mensal e a ETP média mensal, para o período de 1990 a 2000. A média mensal da ETP de Cascavel corresponde ao período de 1994 a 2000



O coeficiente de variação ao longo de cada ano, a partir dos dados mensais ficou para todas as estações entre 29,5 a 38,4 %. As estações de Paranavaí e Piraquara apresentaram maior coeficiente de variação anual, do que as estações de Guarapuava e Cascavel (Figura 6).

As tabelas 4, 5, 6 e 7 comparam os valores obtidos da ETP pelo presente trabalho e pelo método de Penman-Montheith feito por Müller (1995) para Pinhais, Guarapuava, Paranavaí e Cascavel, respectivamente.

Figura 6. Coeficiente de variação anual da ETP mensal

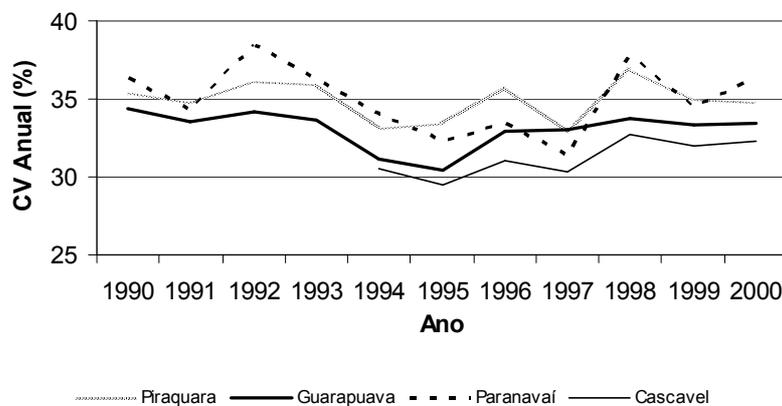


Tabela 4. Resultados da ETP (mm) pelo método de Penman-Montheith e Penman-Doorenbos e Pruitt, na estação meteorológica de Piraquara (Pinhais), no período de 1990 – 2000

| Método    | Penman-Montheith*   | Penman-Doorenbos e Pruitt (1979) | Diferença Relativa                 | Coefficiente da Correlação |
|-----------|---------------------|----------------------------------|------------------------------------|----------------------------|
| Mês       | Feb/70 a Nov/92 (A) | Jan/90 a Dez/2000 (B)            | $(DR) = \frac{B - A}{B} \cdot 100$ | $(k) = \frac{B}{A}$        |
| Janeiro   | 124                 | 137                              | 9,489                              | 1,105                      |
| Fevereiro | 97                  | 117                              | 17,094                             | 1,206                      |
| Março     | 90                  | 107                              | 15,888                             | 1,189                      |
| Abril     | 66                  | 83                               | 20,482                             | 1,258                      |
| Maio      | 48                  | 60                               | 20,000                             | 1,250                      |
| Junho     | 39                  | 47                               | 17,021                             | 1,205                      |
| Julho     | 45                  | 53                               | 15,094                             | 1,178                      |
| Agosto    | 58                  | 70                               | 17,143                             | 1,207                      |
| Setembro  | 70                  | 85                               | 17,647                             | 1,214                      |
| Outubro   | 94                  | 110                              | 14,545                             | 1,170                      |
| Novembro  | 107                 | 128                              | 16,406                             | 1,196                      |
| Dezembro  | 115                 | 140                              | 17,857                             | 1,217                      |
| Total     | 953                 | 1137                             | 16,183                             | 1,193                      |

Nota: \* Os dados de Penman-Montheith, referenciados são obtidos de Müller (1995)

Tabela 5. Resultados da ETP (mm) pelo método de Penman-Monteith e Penman-Doorenbos e Pruitt, na estação meteorológica de Guarapuava, no período de 1990 - 2000

| Método    | Penman-Monteith*    | Penman-Doorenbos E Pruitt (1979) | Diferença Relativa                 | Coefficiente da Correlação |
|-----------|---------------------|----------------------------------|------------------------------------|----------------------------|
| Mês       | Jun/73 a Out/92 (A) | Jan/90 a Dez/2000 (B)            | $(DR) = \frac{B - A}{B} \cdot 100$ | $(k) = \frac{B}{A}$        |
| Janeiro   | 126                 | 142                              | 11,268                             | 1,127                      |
| Fevereiro | 106                 | 121                              | 12,397                             | 1,142                      |
| Março     | 101                 | 116                              | 12,931                             | 1,149                      |
| Abril     | 71                  | 88                               | 19,318                             | 1,239                      |
| Maio      | 49                  | 62                               | 20,968                             | 1,265                      |
| Junho     | 38                  | 51                               | 25,490                             | 1,342                      |
| Julho     | 45                  | 58                               | 22,414                             | 1,289                      |
| Agosto    | 63                  | 81                               | 22,222                             | 1,286                      |
| Setembro  | 48                  | 95                               | 49,474                             | 1,979                      |
| Outubro   | 105                 | 116                              | 9,483                              | 1,105                      |
| Novembro  | 118                 | 136                              | 13,235                             | 1,153                      |
| Dezembro  | 124                 | 146                              | 15,068                             | 1,177                      |
| Total     | 1024                | 1212                             | 15,512                             | 1,184                      |

Nota: \* Os dados de Penman-Monteith, referenciados são obtidos de Müller (1995)

Tabela 6. Resultados da ETP (mm) pelo método de Penman-Monteith e Penman-Doorenbos e Pruitt, na estação meteorológica de Paranavaí, no período de 1990 - 2000

| Método    | Penman-Monteith *   | Penman-Doorenbos e Pruitt (1979) | Diferença Relativa                 | Coefficiente da Correlação |
|-----------|---------------------|----------------------------------|------------------------------------|----------------------------|
| Mês       | Jun/74 a Out/92 (A) | Jan/90 a Dez/2000 (B)            | $(DR) = \frac{B - A}{B} \cdot 100$ | $(k) = \frac{B}{A}$        |
| Janeiro   | 162                 | 194                              | 16,495                             | 1,198                      |
| Fevereiro | 135                 | 164                              | 17,683                             | 1,215                      |
| Março     | 138                 | 152                              | 9,211                              | 1,101                      |
| Abril     | 106                 | 113                              | 6,195                              | 1,066                      |
| Maio      | 78                  | 79                               | 1,266                              | 1,013                      |
| Junho     | 66                  | 62                               | -6,452                             | 0,939                      |
| Julho     | 81                  | 73                               | -10,959                            | 0,901                      |
| Agosto    | 106                 | 103                              | -2,913                             | 0,972                      |
| Setembro  | 112                 | 125                              | 10,400                             | 1,116                      |
| Outubro   | 147                 | 167                              | 11,976                             | 1,136                      |
| Novembro  | 160                 | 189                              | 15,344                             | 1,181                      |
| Dezembro  | 158                 | 159                              | 0,629                              | 1,006                      |
| Total     | 1449                | 1580                             | 8,291                              | 1,090                      |

Nota: \* Os dados de Penman-Monteith, referenciados são obtidos de Müller (1995).

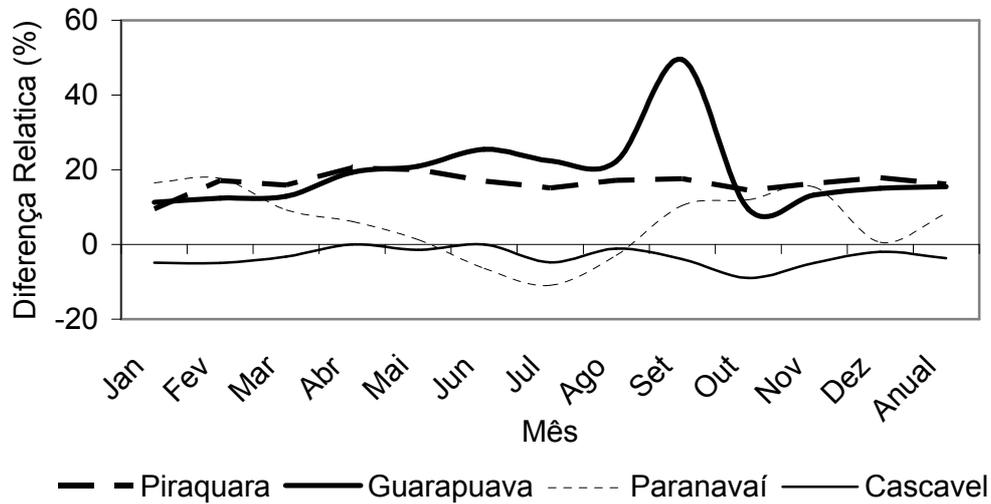
Tabela 7. Resultados da ETP pelo método de Penman-Montheith e Penman-Doorenbos e Pruit, na estação meteorológica de Cascavel, no período de 1994 - 2000

| Método    | Penman-Montheith*<br>Nov/72 a Dez/92<br>(A) | Penman-Doorenbos e Pruit<br>(1979)<br>Jan/94 a Dez/2000<br>(B) | Diferença Relativa<br>(DR) = $\frac{B - A}{B} \cdot 100$ | Coefficiente da<br>Correlação<br>(k) = $\frac{B}{A}$ |
|-----------|---|--|--|--|
| Mês       |   |  |  |  |
| Janeiro   | 151   | 144  | -4,861   | 0,954  |
| Fevereiro | 128   | 122  | -4,918   | 0,953  |
| Março     | 126   | 122  | -3,279   | 0,968  |
| Abril     | 95  | 95   | 0,000  | 1,000  |
| Mai       | 69  | 68   | -1,471   | 0,986  |
| Junho     | 54  | 54   | 0,000  | 1,000  |
| Julho     | 66  | 63   | -4,762   | 0,955  |
| Agosto    | 88  | 87   | -1,149   | 0,989  |
| Setembro  | 105   | 101  | -3,960   | 0,962  |
| Outubro   | 134   | 123  | -8,943   | 0,918  |
| Novembro  | 149   | 142  | -4,930   | 0,953  |
| Dezembro  | 153   | 150  | -2,000   | 0,980  |
| Total     | 1318  | 1271   | -3,698   | 0,964  |

Nota: \* Os dados de Penman-Montheith, referenciados são obtidos de Müller (1995).

A figura 7 graficamente mostra a diferença relativa entre as ETP obtidas pelos métodos modificados por Montheith e Doorenbos e Pruit para cada mês. As médias mensais da ETP estimada por Penman-Doorenbos e Pruit, apresentam resultados mensais superiores em Guarapuava e Piraquara, e inferiores em Cascavel àquelas estimadas por Penman-Montheith. Na estação de Paranavaí, a DR foi negativa nos meses de inverno (junho, julho e agosto). Isso pode estar relacionado a condições climáticas diferenciadas de cada região, em Paranavaí e Cascavel as temperaturas geralmente são superiores as apresentadas em Guarapuava e Piraquara.

Figura 7. Diferença relativa mensal da ETP para as estações meteorológicas de Piraquara, Guarapuava, Paranavaí e Cascavel



#### 4 Conclusões

Os valores médios da ETP anual em Piraquara (Pinhais), Guarapuava, Cascavel e Paranavaí foram de 1137 mm, 1212 mm, 1271 mm e 1580 mm, respectivamente.

A estação situada a noroeste (Paranavaí) apresentou médias mensais superiores quando comparadas às estações do oeste (Cascavel), centro-sul (Guarapuava) e leste (Piraquara).

A estação de Paranavaí foi a que apresentou maior ETP. Nessa região, são registradas temperaturas e pluviosidade mais elevadas que as demais regiões estudadas.

A ETP estimada apresentou uma elevada correlação com a temperatura e praticamente nenhuma correlação com a precipitação.

#### Agradecimentos

Os autores agradecem Adriana Souza dos Santos, Elaine Swarofshy e Paulo Eugênio Pachechenik, mestrandos do Curso de Ciência de Solos da Universidade Federal do Paraná, pelo auxílio na tabulação dos dados meteorológicos e pelas contribuições nas primeiras discussões.

## 5 Referências

- BERNARDO, S. **Manual de Irrigação**. 6.ed. Viçosa: UFV, 2002. 657p.
- DIAS, N. L. e KAN, A. Evaporação e Evapotranspiração: I – Conceitos Fundamentais. In: **A água em Revista: Revista Técnica e Informativa da CPRN**. Belo Horizonte, n° 11, p. 37 - 48, nov. 1999.
- DOOREMBOS, J. e PRUITT, W.O. Guidelines for predicting Crop Water Requirements. **FAO Irrigation and Drainage Paper**, n. 24, 2ª ed. Rome, 1977. 144p.
- MAACK, R. **Geografia Física do Estado do Paraná**. 3ª ed. Curitiba: Banco de Desenvolvimento do Paraná, Universidade Federal do Paraná, Instituto de Biologia e Pesquisa Tecnológica, 2002. 438p.
- MONTEITH, J. L. Evaporation and environment. **Symp. Soc. Expl. Biol.**, n. 19, p. 205 - 234, 1965.
- MÜLLER, I. I. **Métodos de Avaliação da Evaporação e Evapotranspiração - Análise Comparativa para o Estado do Paraná**. Curitiba, 1995. 171f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Hidráulica) – Centro de Hidráulica e Hidrologia Prof. Parigot de Souza, Universidade Federal do Paraná.
- OLIVEIRA, S. M. **Análise do Processo Chuva-Vazão de duas Bacias Hidrográficas na Região Litorânea do Estado do Paraná, através do Modelo de Tanque**. Curitiba, 1999. 116f. Dissertação (Mestrado em Ciências do Solo) – Universidade Federal do Paraná.
- PENMAN, H. L. Evaporation : an Introductory Survey. **Neth. J. Agric. Sci**, n. 4, p. 9 – 29. 1956.
- \_\_\_\_\_. Natural Evaporation from Open Water, Bare Soil and Grass. **Proc. R. Soc. London, Series A**, v. 193, p. 120 – 146, 1948.
- PEREIRA, A. R.; VILLA NOVA, N. A. e SEDIYAMA, G. C. **Evapotranspiração**. Piracicaba: FEALQ, 1977. 183p.
- THORNTHWAITE, C. W. The Moisture Factor in Climate. **Am Geophys Union Trans.**, v. 27, p. 41 – 48, 1946.
- TUBELIS, A.; NASCIMENTO, F. J. L. **Meteorologia Descritiva: Fundamentos e Aplicações Brasileiras**. São Paulo: Nobel, 1984. 374p.
- TUCCI, C. E. M. e BELTRAME, L. F. S. Evaporação e Evapotranspiração. In: TUCCI, C. E. M. **Hidrologia Ciência e Aplicação**. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul (ABRH), 2000. p. 253-287.

VANZELA, L. S.; HERNANDEZ, F. B. T.; FERREIRA, E. J. S. Desempenho da Estimativa da Evapotranspiração de Referência em Ilha Solteira – SP. In: **XXXVI Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola**, 2007, Bonito - MS. Disponível em: <[http://www.agr.feis.unesp.br/pdf/conbea2007\\_evapotraspiracao.pdf](http://www.agr.feis.unesp.br/pdf/conbea2007_evapotraspiracao.pdf)> Acesso em: 15 mai. 2007.

VESTENA, L. R. **Balanço Hídrico da Bacia do Rio Ribeirão da Onça, no Município de Colombo – PR**. Curitiba, 2002. 103f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Setor Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná.