

# INFLUÊNCIA DO MÉTODO DE ESTIMATIVA DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO POTENCIAL NO DIMENSIONAMENTO ECONÔMICO DE SISTEMAS DE DRENAGEM<sup>1</sup>

Késia Oliveira da SILVA<sup>2</sup>, Jarbas Honorio de MIRANDA<sup>3</sup>, Sergio Nascimento DUARTE<sup>4</sup>

## RESUMO

Existem inúmeros métodos para se estimar a evapotranspiração potencial (ETP). Os métodos mais simplificados apresentam limitações quanto à precisão dos resultados obtidos, enquanto que os mais complexos apresentam a dificuldade de se dispor de todos os dados necessários ao cálculo da ETP. Cabe ao usuário decidir qual o método a utilizar de acordo com a sua conveniência. No presente trabalho foram comparados os métodos de Thornthwaite e Camargo com o método de Penman-Monteith, com o objetivo de verificar qual a influência da utilização de cada método na obtenção da ETP diária sobre o dimensionamento econômico de um sistema de drenagem, utilizando o modelo de simulação SISDRENA para gerar dados de produtividade relativa para a cultura da cana-de-açúcar em condições de sequeiro. Diante dos resultados obtidos observou-se que o método de Thornthwaite e Camargo apresentaram uma tendência a subestimar os valores da ETP e conseqüentemente os déficits de água, em relação ao método de Penman-Monteith, o que resultou em uma superestimativa dos valores de produtividade relativa. Entretanto estas diferenças não afetaram sensivelmente a obtenção do espaçamento econômico entre drenos.

**PALAVRAS-CHAVE:** Evapotranspiração, drenagem, espaçamento entre drenos.

## INTRODUÇÃO

A água é o componente mais abundante nas plantas, representando de 80 a 90 % do peso fresco na maioria das espécies herbáceas, sendo responsável pelo mantimento da turgescência, ou pressão, nas células, atuando também como dissolvente na maior parte dos solutos presentes nas mesmas, consumindo ainda uma porção considerável da energia solar incidente pela evaporação nas folhas (transpiração), evitando que as mesmas se esquentem excessivamente. Considerando que é geralmente difícil separar os processos de evaporação e transpiração, processos mutuamente

---

<sup>1</sup> Trabalho realizado no Departamento de Engenharia Rural – ESALQ/USP.

<sup>2</sup> Eng.Agrícola, Aluna de Pós-Graduação em Agrometeorologia, Departamento de Ciências Exatas - ESALQ/USP, bolsista CNPq, Av. Pádua Dias n.11, cx: 09, CEP: 13.418-970, Piracicaba-SP, e-mail: kosilva@carpa.ciagri.usp.br.

<sup>3</sup> Eng.Agrônomo, Doutorando em Irrigação e Drenagem, Departamento de Engenharia Rural, ESALQ/USP, bolsista CNPq, e-mail: jhmirand@carpa.ciagri.usp.br.

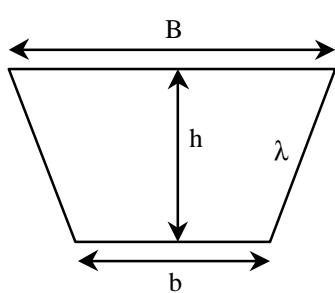
<sup>4</sup> Professor Doutor do Departamento de Engenharia Rural, ESALQ/USP, e-mail: snduarte@carpa.ciagri.usp.br.

dependentes, eles são reunidos e tratados como se fossem um único processo, chamado evapotranspiração. Segundo Pereira et al. (1997), a evapotranspiração é controlada pela disponibilidade de energia, pela demanda atmosférica e pelo suprimento de água do solo às plantas. Existem inúmeros métodos para a determinação da evapotranspiração potencial, sendo que cada um apresenta suas limitações. Cabe ao usuário decidir qual o método a utilizar de acordo com a sua conveniência. No presente trabalho foram comparados os métodos de Thornthwaite e Camargo com o método de Penman-Monteith. Segundo Pereira (1997) os dois primeiros são classificados como métodos empíricos e o terceiro como um método combinado. Os resultados obtidos por cada método na estimativa da evapotranspiração potencial diária foram utilizados como dados de entrada para o modelo de simulação SISDRENA (Miranda, 1997). Este modelo realiza simulações envolvendo o balanço hídrico do solo em uma área onde se supõe implantado um sistema de drenagem subterrânea. Os resultados obtidos permitem que se realize uma análise econômica de forma que o espaçamento entre drenos, mais viável, seja identificado de acordo com a cultura a ser implantada. O objetivo do presente trabalho foi verificar qual a influência da utilização de cada método de estimativa da evapotranspiração potencial na obtenção do espaçamento entre drenos mais econômico.

## **MATERIAL E MÉTODOS**

Foram realizadas simulações utilizando-se dados climáticos diários da Região de Piracicaba-SP (Lat.22°42'S, Long.47°38'W e altitude de 546 m) constituindo uma série histórica de 16 anos (1979 a 1994). A evapotranspiração potencial foi determinada pelos métodos de Thornthwaite, Camargo e Penman-Monteith. As simulações envolveram três tipos de solo de perfil homogêneo e 5 metros de profundidade, apresentando condutividade hidráulica saturada de 1,0; 0,5 e 0,1 m/dia, cujas curvas de retenção são apresentadas por Miranda (1997). O modelo SISDRENA utiliza uma modificação do método do número da curva para estimar o escoamento superficial. Os valores dos coeficientes (CN) aplicados foram 64, 85 e 90 para os solos 1, 2 e 3 respectivamente. Foram simulados espaçamentos entre drenos abertos de 10 a 100 metros, com intervalos de 10 metros. Na Figura 1 são apresentados os parâmetros geométricos dos drenos e os seus respectivos valores.

Considerou-se que uma cultura de cana-de-açúcar com ciclo de um ano seria plantada em outubro e colhida em setembro, com três estádios de desenvolvimento definidos por Scardua, (1985): estabelecimento vegetativo (125 dias), formação da produção (120 dias) e maturação (120 dias).



$$B = B = (b + (2 \cdot h \cdot \lambda)) + 1,0$$

$$h = 1,4 \text{ m}$$

$$\lambda = 1,25:1 \text{ (solo 1), } 1,0:1 \text{ (solo 2) e } 0,75:1 \text{ (solo 3)}$$

$$b = 0,4 \text{ m}$$

**Figura 1** - Representação esquemática dos parâmetros geométricos dos drenos abertos.

sendo

B = base superior da valeta, m;

b = base inferior da valeta, m;

h = profundidade do dreno, m; e

$\lambda$  = inclinação do talude.

Os valores diários de evapotranspiração obtidos pelos diferentes métodos foram aplicados para contabilizar os efeitos da deficiência hídrica nos respectivos estádios da planta utilizando a função de produção proposta por Scardua (1985), cuja expressão apresenta coeficientes referentes a cada estágio de desenvolvimento da cultura (eq. 1). O valor de quebra na produção obtido pela eq. 1 permitiu estimar o valor da produtividade relativa ao déficit utilizando a eq. 2.

$$Y = 0,0620 + 0,6610 X_1 + 0,2762 X_2 - 0,0306 X_3 \quad (1)$$

$$YRD = (1 - Y) \cdot 100 \quad (2)$$

$$X_1, X_2, X_3 = \left( 1 - \frac{\sum ETR}{\sum ETP} \right) \text{déficit de evapotranspiração do 1º, 2º e 3º estágio, decimal;} \quad (3)$$

em que

Y = quebra de produção da cultura da cana-de-açúcar devido ao déficit de umidade, decimal;

YRD = produtividade relativa ao déficit, %;

$\sum ETR$  = somatório da evapotranspiração real anual de acordo com cada estágio de desenvolvimento da cultura da cana,  $\text{mm} \cdot \text{dia}^{-1}$ ;

$\sum ETP$  = somatório da evapotranspiração potencial anual de acordo com cada estágio de desenvolvimento da cultura da cana,  $\text{mm} \cdot \text{dia}^{-1}$ ; e

$X_1, X_2, X_3$  = parâmetros da função de produção.

Os valores de  $\Sigma ETR$  foram fornecidos pelo modelo SISDRENA realizando-se um balanço hídrico na zona radicular da cultura. A produtividade relativa ao excesso foi calculada por uma relação experimental obtida por Carter (1985) (eq. 4).

$$YRW = 100 - 0,02771 \cdot SEW_{30} \quad (4)$$

em que

$YRW$  = produtividade relativa ao excesso, %.

Esta equação possui como parâmetro básico o índice  $SEW_{30}$  que contabiliza o efeito do excesso de água na produtividade da cultura implantada sob condições em que o lençol freático atinja a sua zona radicular. De posse dos valores das produtividades relativas ao déficit e ao excesso torna-se possível calcular a produtividade relativa total, eq. 5.

$$YT = \frac{YRD \cdot YRW}{100} \quad (5)$$

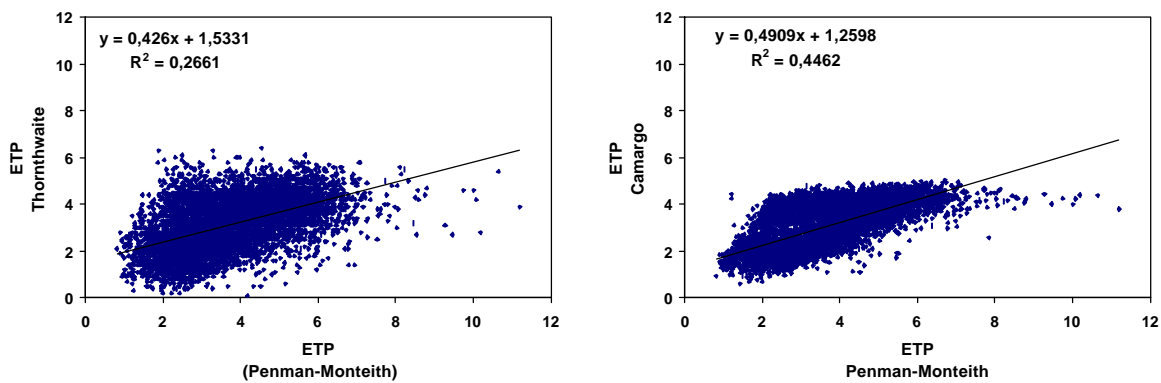
em que

$YT$  = produtividade relativa total, %.

Com os valores obtidos de  $YT$  (%) para cada ano, calculou-se o valor médio ( $YT_m$ ) e o valor esperado com 80% de probabilidade de sucesso ( $YT_{80}$ ). De posse dos valores de  $YT_{80}$  para cada espaçamento entre drenos procedeu-se à análise econômica baseada no cálculo do índice valor presente.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

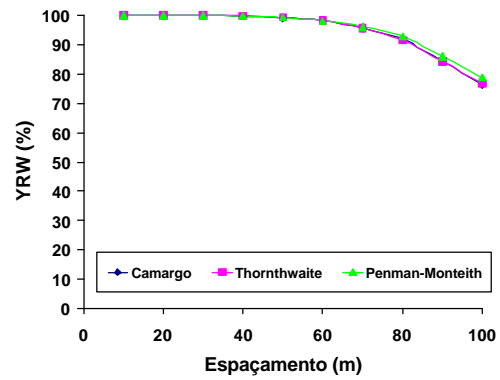
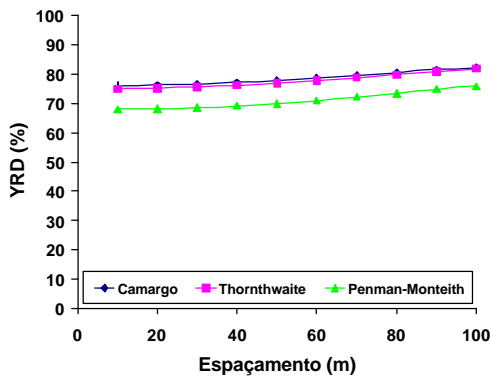
Inicialmente os métodos de Thornthwaite e Camargo foram comparados com o método de Penman-Monteith pelo fato deste último ser bastante utilizado atualmente e de maior confiabilidade. Para tal foram obtidas as dispersões dos valores de ETP pelos respectivos métodos (Figura 2). Observou-se que o coeficiente de determinação para a dispersão dos dados do método de Camargo em relação ao método de Penman-Monteith apresentou-se um pouco superior ao do método de Thornthwaite em relação a este. Este resultado se deve possivelmente ao fato dos dois primeiros métodos considerarem o efeito da radiação diretamente, enquanto que o método de Thornthwaite baseia-se apenas em dados medidos de temperatura.



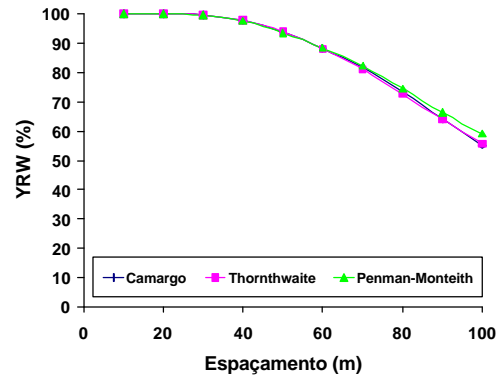
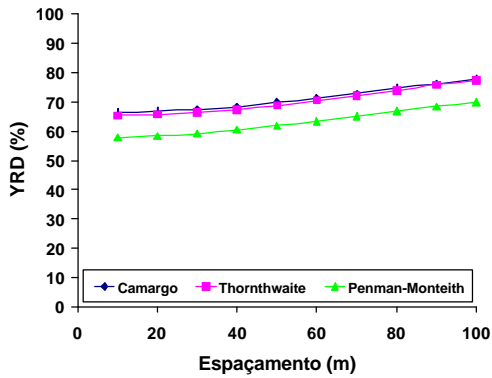
**Figura 2** - Representação gráfica das dispersões dos valores diários de evapotranspiração potencial para o período de 1979-1994, obtidos pelos métodos de Thornthwaite e Camargo tomando como base o método de Penman-Monteith, para Piracicaba-SP.

Verificou-se também que houve uma tendência dos métodos de Thornthwaite e Camargo fornecerem estimativas de evapotranspiração potencial inferiores àquelas obtidas pelo método de Penman-Monteith.

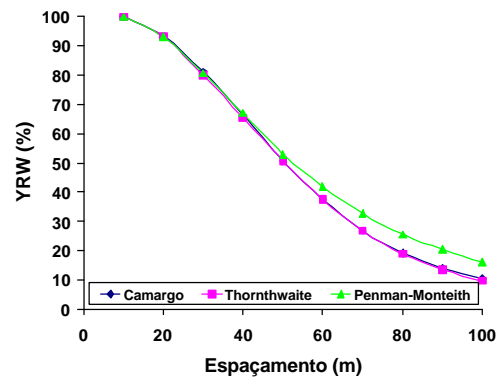
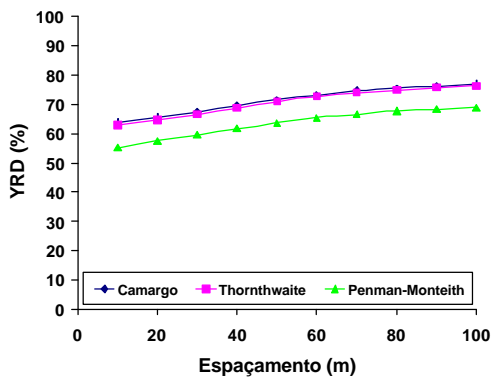
Para auxiliar na discussão dos resultados obtidos na análise econômica, procurou-se avaliar os efeitos da aplicação dos diferentes métodos nos índices YRD, YRW e YTm. Pode-se constatar pela Figura 3 que o uso do método de Thornthwaite e Camargo gerou maiores valores de produtividade relativa da cultura devido à falta de água (YRD), principalmente para espaçamentos entre drenos menores. Por outro lado o índice YRW foi pouco influenciado pelos diferentes métodos de estimativa da ETP. As maiores diferenças foram obtidas para os maiores espaçamentos entre drenos, condição esta em que o efeito do excesso de água é mais acentuado. Verifica-se que o uso dos métodos de Thornthwaite e Camargo resultaram em maiores valores de YTm. Este resultado se deve ao fato do uso destes métodos terem gerado uma superestimativa de YRD maior do que a subestimativa de YRW. Procedendo-se às análises econômicas baseadas nos valores de  $YT_{80}$ , obtiveram-se os resultados seguintes que são apresentados no Quadro 2. Para o solo 1 os métodos de Thornthwaite e Camargo não causaram diferenças sensíveis em relação ao método de Penman-Monteith, pois apresentaram espaçamentos mais econômicos de 60 e 50 metros, respectivamente, enquanto que o método de Penman-Monteith forneceu o valor de 60 metros. Para o solo 2 o método de Camargo apresentou o mesmo espaçamento econômico entre drenos em relação ao método de Penman-Monteith, ou seja 50 metros. Para o solo 3 não houve diferença no espaçamento econômico determinado pelos métodos de Thornthwaite e Camargo em relação ao método de Penman-Monteith. Pode-se notar também que devido ao fato de subestimativa de ETP, os métodos de Thornthwaite e Camargo superestimaram ligeiramente as produtividades relativas com 80% de probabilidade de sucesso para os espaçamentos mais econômicos.



(A)



(B)



(C)

**Figura 3** - Representação esquemática dos valores médios de YRD e YRW para os solos 1 (a), 2 (b) e 3 (c) e os respectivos espaçamentos.

## CONCLUSÕES

Diante da metodologia utilizada e dos resultados obtidos pode-se concluir que os métodos de Thornthwaite e Camargo apresentaram uma tendência geral de subestimarem a evapotranspiração potencial quando comparados com o método de Penman-Monteith. Estas subestimativas refletiram em uma tendência nítida de subestimar o efeito do estresse por falta d'água, acarretando resultados de produtividade superiores aos obtidos com o método de Penman-Monteith. Entretanto, ao se realizar a análise econômica visando-se obter os espaçamentos entre

drenos mais viáveis verificou-se que estas diferenças foram amenizadas. Obtiveram-se portanto espaçamentos mais econômicos aproximadamente semelhantes para os três métodos (Quadro 2).

**Quadro 2** - Espaçamentos entre drenos mais econômicos, valores de produtividade relativa com 80% de probabilidade e valores presentes para os três tipos de solos simulados na localidade de Piracicaba-SP, utilizando dados diários de ETP obtidos pelos métodos de Thornthwaite, Camargo e Penman-Monteith, para uma série de 16 anos.

<b>Método de Penman-Monteith SOLOS</b>	<b>Espaçamentos (m)</b>	<b>YT<sub>80</sub> (%)</b>	<b>Valor Presente (R\$.ha<sup>-1</sup>)</b>
1	60	60,91	4.476,92
2	50	52,76	2.426,25
3	20	48,59	383,59
<b>Método de Thornthwaite SOLOS</b>	<b>Espaçamentos (m)</b>	<b>YT<sub>80</sub> (%)</b>	<b>Valor Presente (R\$.ha<sup>-1</sup>)</b>
1	60	69,91	6.726,30
2	30	63,58	4.248,61
3	20	55,21	1.869,97
<b>Método de Camargo SOLOS</b>	<b>Espaçamentos (m)</b>	<b>YT<sub>80</sub> (%)</b>	<b>Valor Presente (R\$.ha<sup>-1</sup>)</b>
1	50	72,33	7.033,85
2	50	60,25	4.293,48
3	20	56,91	2.251,67

Assim sendo, existe viabilidade na aplicação de métodos menos complexos para a determinação dos valores diários de evapotranspiração potencial visando o dimensionamento econômico de sistemas de drenagem.

## BIBLIOGRAFIA

- CARTER, C.E.; IRVINE, J.E; McDANIEL, V.; DUNCKELMAN, J. Yield response of sugarcane to stalk density and subsurface drainage treatments. **Transactions of the ASAE**, p.172-177, 1985.
- MIRANDA, J.H. Modelo para simulação da dinâmica da água em sistemas de drenagem subterrânea e cálculo do espaçamento econômico entre drenos. Piracicaba, 1997. 89 p. Dissertação (Mestrado) Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz.
- PEREIRA, A.R.; VILLA NOVA, N.A.; SEDIYAMA, G.C. Evapo(transpi)ração –Piracicaba - FEALQ, 1997, 183 p.
- SCARDUA, R. O clima e a irrigação na produção agro-industrial da cana-de-açúcar (*Saccharum spp*). Piracicaba, 1985. 122 p. Tese (Livre-Docente) Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz.