

Recebido em 25 de Junho de 1984

Quantificação de alguns dos parâmetros necessários para o cálculo da evapotranspiração potencial mensal

por

E. P. CARDOSO FRANCO

Professor auxiliar convidado do Instituto Superior de Agronomia
Investigador do Centro de Estudos de Pedologia Tropical do IICT

RESUMO

Aborda-se o problema da automatização do cálculo da evapotranspiração potencial mensal (*ETP*) pelos métodos de THORNTHWAITE, de PENMAN e de TURC, salientando o trabalho — sempre penoso e, na dependência do tipo de *hardware*, nem sempre possível de levar a cabo — que representa a introdução nos respectivos programas de um número de dados extremamente elevado — todos os valores tabelados para o factor de ajustamento da *ETP* tendo em atenção a duração real da insolação astronómica mensal (parâmetro *f* no método de THORNTHWAITE) ou todos os valores tabelados relativos à média diária, em cada mês, da radiação solar no topo da atmosfera e da insolação astronómica (parâmetros *QX* e *Ia* nos métodos de PENMAN e de TURC) —.

A alternativa proposta para simplificação do trabalho de programação baseia-se na quantificação directa dos parâmetros *f* (ou *Ia*) e *QX* para um hipotético «dia médio» de cada mês, a partir de um único valor mensal atribuído à variável δ das equações 1 e 4 e ao parâmetro $(\bar{d}/d)^2$ da equação 4. Tais valores, a que nenhum significado real é conferido, foram fixados por tentativas — de forma independente para latitudes N e para latitudes S — de modo a que os erros de avaliação de *f* (ou *Ia*) e de *QX*, por comparação com os valores tabelados, se situassem a um nível aceitável do ponto de vista prático.

SYNOPSIS

The programmes for the evaluation of the potential evapotranspiration generally involve the introduction under the heading of DATA of a great number of values — concerning the *ETP* adjustment factor *f* in the THORNTHWAITE method or the solar radiation at top of atmosphere *QX* and the length of day *Ia* in the PENMAN and TURC methods —.

An alternative and simpler process is presented in this paper. Such a process is founded in the direct quantification of *f* (or *Ia*) and *QX* parameters for a hypothetical «mean day» in each month using single monthly values both for the δ variable in equations 1 and 4 and for $(\bar{d}/d)^2$ in equation 4. These values, that are without real significance, were tentatively established — separately for north and south latitudes — in such a way that the deviations between the tabulated and estimated values were of no practical significance.

1. Introdução

De entre os métodos mais divulgados para avaliação da evapotranspiração potencial (*ETP*) com base em dados climatológicos poderão citar-se o método de THORNTHWAITE, o método de PENMAN e o método de TURC. A aplicação de qualquer destes processos exige a quantificação prévia de certos parâmetros meteorológicos que, por excessivamente trabalhosa, é normalmente feita com recurso a tabelas apropriadas. Assim, no método de THORNTHWAITE torna-se necessário conhecer os valores do parâmetro *f* — factor de ajustamento da *ETP* tendo em atenção a duração média do resplendor solar possível expresso em unidades de 30 dias de 12 horas de sol cada um —; nos métodos de PENMAN e de TURC (além de outros) é indispensável a quantificação dos parâmetros *QX* — radiação solar no topo da atmosfera — e *Ia* — insolação astronómica — seja diariamente seja através dos valores médios diários para cada mês.

Considerando a automatização dos cálculos inerentes à aplicação de qualquer dos processos referidos, ou os valores tabelados dos parâmetros em questão são introduzidos nos próprios programas ou esses valores são considerados como *input*. A primeira solução, viável ou não na dependência do número de valores a introduzir e do tipo de *hardware* utilizado, é no entanto tarefa penosa de realizar e nem sempre compensada pela frequência de uso do programa estabelecido; repare-se que, por exemplo, no caso do parâmetro *QX* referente ao valor médio diário em cada mês, para uma variação grau a grau entre 30° N e 30° S de latitude, seria necessário introduzir 732 dados.

A segunda solução, obrigando à consulta prévia e sistemática das tabelas, não permitiria que se alcançasse completa automatização.

O objectivo do presente trabalho é o de apresentar, como alternativa a tais soluções, uma forma simples de gerar, no decorrer da execução dos próprios programas, valores aproximados para os parâmetros em questão.

2. Quantificação do parâmetro f (I_a implícito)

Os valores da *ETP* calculados pelas fórmulas propostas por THORNTHWAITE (THARNTHWAITE, 1948; CEPT, 1966; BROCHET et GERBIER, 1974) referem-se a um mês padrão de 30 dias de 12 horas de sol acima do horizonte. Como os meses não têm todos o mesmo número de dias e como o número de horas de sol acima do horizonte depende do dia e da latitude do local considerados, torna-se necessário, para dispor dos valores de *ETP* ajustados, multiplicar os valores directamente calculados por um factor de ajustamento representando a razão entre a insolação astronómica no mês real considerado e a insolação astronómica no mês padrão.

A avaliação do parâmetro f é pois indissociável da avaliação do parâmetro I_a , pelo que os resultados à frente apresentados só de forma explícita se referem ao primeiro.

Entre as latitudes correspondentes aos círculos polares, qualquer que seja o dia considerado no decurso do ano, a medida do arco descrito pelo Sol entre o momento em que surge no horizonte e o momento da sua passagem no meridiano do local (culminação) é dado pela expressão

$$\cos H = - \operatorname{tg} \delta . \operatorname{tg} \varphi \quad \text{eq. 1}$$

em que H representa a medida em graus do referido arco, δ a declinação do Sol no dia considerado e φ a latitude do local (PÉGUY, 1961; SELLERS, 1972).

A duração em horas — I_a — de um qualquer dia real será então dada pela relação

$$I_a = 2H/15 .$$

Vê-se assim que para um dado local — φ constante — a duração de um dia real depende apenas da declinação do Sol a qual, no entanto, varia diariamente e apresenta uma variação máxima em 24 horas inferior a $0,5^\circ$. Desta forma, o factor de ajustamento para o período de tempo de 1 mês será então dado por

$$f = \sum_1^n I_a / 360 ,$$

em que o numerador representa o somatório, entre o primeiro e o último dia do mês, do número de horas de sol acima do horizonte (insolação astronômica do mês real), e o denominador representa o número de horas de sol acima do horizonte do mês padrão (30 dias a 12 horas cada).

Por outro lado, a declinação diária do Sol pode ser calculada (PALTRIDGE and PLATT, 1976) com recurso à equação de SPENCER

$$\begin{aligned} \delta = 0,006918 - 0,399912 \cos \theta_0 + 0,070257 \operatorname{sen} \theta_0 - 0,006758 \\ \cos 2\theta_0 + 0,000907 \operatorname{sen} 2\theta_0 - 0,002697 \cos 3\theta_0 + 0,001480 \\ \operatorname{sen} 3\theta_0 \end{aligned} \quad \text{eq. 2}$$

em que δ é a declinação do Sol em radianos e θ_0 (também em radianos) é dado por

$$\theta_0 = 2\pi dn / 365 \quad \text{eq. 3}$$

com $dn = 0$ para o dia 1 de Janeiro e $dn = 364$ para o dia 31 de Dezembro.

O processo de simplificação seguido no presente trabalho é semelhante ao que está implícito no critério que permite adoptar, para cada dia, um só valor de δ — quando de facto δ é uma função contínua do tempo —. Embora a variação de δ no período de 1 mês possa atingir um valor máximo de cerca de 12° , procurar-se-á encontrar, para cada mês, um único valor que esteja para o período de 1 mês como os valores adoptados dia a dia estão para o período de 1 dia.

Para uma primeira estimativa dos valores mais convenientes de δ seguiram-se 2 critérios diferentes: (a) utilização da fórmula de SPENCER para um valor de dn igual ao correspondente ao dia central

em cada mês; (b) recurso a tabelas de declinação do Sol por decên-
dios (STRAHLER, 1975) para obtenção de um valor de δ represen-
tativo do valor médio mensal.

No quadro 1 reúnem-se os valores de δ obtidos de acordo com
os critérios (a) e (b).

QUADRO 1

Valores de $\delta_{(a)}$ e $\delta_{(b)}$

| Mês | (a) | | (b) |
|-----|-----|----------|----------|
| | dn | δ | δ |
| JAN | 14 | -21,27 | -20,72 |
| FEV | 44 | -13,29 | -13,21 |
| MAR | 73 | -2,43 | -2,33 |
| ABR | 104 | 9,48 | 9,33 |
| MAI | 134 | 18,67 | 18,53 |
| JUN | 165 | 23,29 | 23,02 |
| JUL | 195 | 21,66 | 21,33 |
| AGO | 226 | 14,30 | 14,03 |
| SET | 257 | 3,34 | 3,40 |
| OUT | 287 | -8,22 | -8,20 |
| NOV | 318 | -18,30 | -17,90 |
| DEZ | 348 | -23,22 | -22,85 |

Os valores de $\delta_{(a)}$ e de $\delta_{(b)}$ foram em seguida usados para estimar
a duração da insolação astronómica no dia «médio» do correspondente
mês, para latitudes variando entre 50° N e 50° S, de acordo com

$$I_a (\text{dia}) = [2 \text{ arc cos } (- \text{tg} \delta \cdot \text{tg} \varphi)] / 15$$

e, considerando o mês formado por n «dias médios», estimar depois
a duração da insolação astronómica mensal.

$$I_a (\text{mês}) = n \cdot I_a (\text{dia}) .$$

Os valores de I_a assim obtidos, além de poderem ser directamente
utilizados para calcular a percentagem de insolação (como nos méto-

dos de PENMAN e de TURC), permitem também encontrar o factor de ajustamento da *ETP* mensal (método de THORNTHWAITE) de acordo com

$$f = Ia \text{ (mês)} / 360 .$$

Por desnecessários, os resultados obtidos nesta fase não são apresentados. Em relação a eles bastará referir que as diferenças entre os valores de f calculados e os valores de f tabelados, para os 12 meses do ano e para as latitudes constantes na tabela consultada (CEPT, 1966), variam entre 0,00 e -0,05. Isto significa que, para uma quantidade de *ETP* não ajustada de 100 mm mensais, o erro inerente à avaliação da *ETP* ajustada pelo processo considerado se situaria entre zero e -5 mm, portanto sem significado apreciável se se tiver em conta o rigor que se pode atribuir às próprias fórmulas de THORNTHWAITE para o cálculo da *ETP* não ajustada. Todavia, porque os erros cometidos na avaliação são sistematicamente negativos, poderá resultar, para a quantidade de *ETP* ajustada anual, um erro já importante. Tal facto aponta para a possibilidade dos valores de δ ensaiados não serem os mais favoráveis e, desta forma, para a necessidade de procurar melhorar tais valores.

Aceitando então que os valores de δ adoptados não eram os mais convenientes procurou-se encontrar, por tentativas e usando um programa de cálculo muito simples de estabelecer, os valores de δ mais adequados à minimização dos erros de avaliação de f . Os valores assim obtidos para δ — designados por $\delta_{(e)}$ — são totalmente empíricos, conduzem a uma boa avaliação de f (e, implicitamente de *Ia*) na gama de latitudes 50° N — 50° S mas são destituídos de qualquer significado real.

A experiência mostrou que para minimização dos erros na avaliação de f (e, implicitamente, de *Ia*) se tornava necessário considerar separadamente as latitudes N e as latitudes S, embora tal separação careça de qualquer base científica.

No quadro 2-N apresentam-se, para os valores $\delta_{(e)}$, seleccionados por tentativas para cada mês, as diferenças entre os correspondentes valores de f e os valores de f tabelados, em função da latitude e para o hemisfério N. No quadro 2-S apresentam-se resultados do mesmo tipo obtidos para o hemisfério S.

QUADRO 2-N

Valores de Δf para latitudes N

| φ(N) | δ(c) | J | F | M | A | M | J | J | A | S | O | N | D | "t" (Student) |
|---------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|------------------|
| 0 | -19,2 | -10,7 | -0,8 | 11,8 | 20,8 | 24,8 | 23,1 | 15,2 | 4,5 | -7,8 | -17,0 | -21,4 | 7,416(*) | |
| 2 | 0 | -0,01 | -0,01 | -0,01 | -0,01 | -0,01 | -0,01 | 0 | -0,01 | -0,01 | -0,01 | 0 | 2,803(*) | |
| 4 | 0 | 0 | 0 | -0,01 | -0,01 | -0,01 | -0,01 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3,317(*) | |
| 5 | -0,01 | -0,01 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | -0,01 | -0,01 | 5,745(*) | |
| 6 | -0,01 | -0,01 | 0 | -0,01 | -0,01 | -0,01 | -0,01 | 0 | 0 | 0 | -0,01 | -0,01 | 2,345(*) | |
| 7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3,924(*) | |
| 10 | 0 | -0,01 | 0 | 0 | 0 | -0,01 | -0,01 | -0,01 | -0,01 | -0,01 | -0,01 | -0,01 | 3,317(*) | |
| 11 | 0 | -0,01 | 0 | 0 | -0,01 | -0,01 | -0,01 | 0 | -0,01 | -0,01 | -0,01 | -0,01 | 4,690(*) | |
| 12 | -0,01 | -0,01 | 0 | 0 | -0,01 | -0,01 | -0,01 | 0 | -0,01 | -0,01 | 0 | 0 | 2,803(*) | |
| 13 | 0 | 0 | 0 | -0,01 | -0,01 | 0 | -0,01 | 0 | -0,01 | -0,01 | 0 | 0 | 2,803(*) | |
| 15 | 0 | -0,01 | 0 | 0 | -0,01 | -0,01 | -0,01 | 0 | -0,01 | -0,01 | 0 | 0 | 3,546(*) | |
| 16 | 0 | -0,01 | 0 | 0 | -0,01 | -0,01 | -0,02 | 0 | -0,01 | -0,01 | -0,01 | -0,01 | 1,915(*) | |
| 17 | 0 | 0 | 0 | -0,01 | -0,01 | 0 | -0,01 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1,915(*) | |
| 20 | 0 | -0,01 | 0 | -0,01 | -0,01 | 0 | -0,01 | -0,01 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2,345(*) | |
| 21 | 0 | -0,01 | 0 | 0 | 0 | -0,01 | -0,01 | -0,01 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1,483(*) | |
| 22 | 0 | -0,01 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1,000(*) | |
| 25 | 0 | -0,01 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,000(*) | |
| 30 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,000(*) | |
| 32 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1,483(*) | |
| 33 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | -0,01 | 0 | 0 | 0 | 0 | -0,01 | -0,01 | 0,561(*) | |
| 35 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1,000(*) | |
| 37 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1,915(*) | |
| 88 | 0 | +0,01 | 0 | 0 | 0 | 0 | +0,01 | 0 | +0,01 | 0 | +0,01 | +0,01 | 1,915(*) | |
| 89 | 0 | +0,01 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1,483(*) | |
| 40 | 0 | +0,01 | 0 | +0,01 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1,483(*) | |
| 41 | 0 | +0,01 | 0 | 0 | 0,01 | 0 | 0 | 0 | 0 | -0,01 | +0,01 | 0 | 1,393(*) | |
| 42 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | +0,01 | +0,01 | +0,01 | 0 | 0 | 0 | 2,345(*) | |
| 45 | 0 | +0,01 | 0 | +0,01 | 0 | +0,02 | +0,01 | 0 | +0,01 | +0,01 | +0,01 | +0,02 | 3,447(*) | |
| 50 | +0,01 | +0,02 | 0 | +0,01 | +0,01 | -0,01 | +0,01 | 0 | 0 | 0 | +0,01 | +0,01 | 4,180(*) | |
| Student | 1,684(*) | 1,490(*) | 1,440(*) | 1,941(*) | 1,978(*) | 1,651(*) | 1,236(*) | 1,361(*) | 1,651(*) | 1,963(*) | 1,797(*) | 1,653(*) | | |

(*) Não significativo. (†) Significativo. (‡) Muito significativo. (¶) Altamente significativo.

QUADRO 2-S

Valores de Δf para latitudes S

| $\delta(c)$ | J | F | M | A | M | J | J | A | S | O | N | D | "t" (Student) |
|------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| 0 | -23,0 | -15,2 | -3,8 | 7,2 | 17,1 | 21,7 | 19,0 | 10,6 | 0,6 | -12,1 | -21,0 | -24,9 | |
| -4 | -0,01 | -0,01 | -0,01 | -0,01 | -0,01 | -0,01 | -0,01 | -0,01 | -0,01 | -0,01 | -0,01 | -0,01 | 4,690 ⁽⁴⁾ |
| -5 | -0,01 | -0,01 | 0 | -0,01 | 0 | -0,01 | 0 | -0,01 | 0 | -0,01 | -0,01 | -0,01 | 2,803 ⁽²⁾ |
| -6 | 0 | 0 | 0 | -0,01 | 0 | -0,01 | -0,01 | -0,01 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2,803 ⁽²⁾ |
| -7 | 0 | 0 | 0 | -0,01 | -0,01 | -0,01 | 0 | 0 | 0 | 0 | -0,01 | 0 | 2,803 ⁽²⁾ |
| -8 | 0 | 0 | -0,01 | 0 | -0,01 | -0,01 | -0,01 | -0,01 | 0 | -0,01 | -0,01 | 0 | 3,317 ⁽²⁾ |
| -9 | 0 | 0 | -0,01 | 0 | -0,01 | -0,01 | 0 | -0,01 | 0 | 0 | -0,01 | 0 | 2,803 ⁽²⁾ |
| -10 | 0 | -0,01 | -0,01 | 0 | -0,01 | 0 | -0,01 | 0 | 0 | 0 | -0,01 | 0 | 2,803 ⁽²⁾ |
| -11 | 0 | -0,01 | -0,01 | -0,01 | -0,01 | -0,01 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3,317 ⁽²⁾ |
| -12 | 0 | 0 | -0,01 | -0,01 | -0,01 | -0,01 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2,345 ⁽²⁾ |
| -13 | 0 | 0 | -0,01 | 0 | 0 | -0,01 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | -0,01 | 1,915 ⁽²⁾ |
| -14 | -0,01 | -0,01 | -0,01 | 0 | -0,01 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | -0,01 | -0,01 | 3,317 ⁽²⁾ |
| -15 | -0,01 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1,483 ⁽²⁾ |
| -16 | -0,01 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1,483 ⁽²⁾ |
| -17 | 0 | -0,01 | 0 | 0 | 0 | -0,01 | 0 | 0 | 0 | +0,01 | -0,01 | 0 | 1,000 ⁽²⁾ |
| -18 | -0,01 | 0 | 0 | -0,01 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1,915 ⁽²⁾ |
| -19 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | -0,01 | 0 | 1,483 ⁽²⁾ |
| -20 | 0 | -0,01 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1,000 ⁽²⁾ |
| -21 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | -0,01 | 0 | 0,561 ⁽²⁾ |
| -22 | +0,01 | 0 | 0 | 0 | +0,01 | 0 | 0 | -0,01 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,000 ⁽²⁾ |
| -23 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,000 ⁽²⁾ |
| -24 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1,000 ⁽²⁾ |
| -25 | -0,01 | 0 | 0 | 0 | -0,01 | +0,01 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,000 ⁽²⁾ |
| -26 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | -0,01 | 0 | 0 | +0,01 | 0 | 0,000 ⁽²⁾ |
| -27 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | +0,01 | 0 | 1,483 ⁽²⁾ |
| -28 | -0,01 | 0 | 0 | +0,01 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | -0,01 | 0 | 0 | 0,000 ⁽²⁾ |
| -29 | 0 | -0,01 | 0 | +0,01 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,432 ⁽²⁾ |
| -30 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | -0,01 | 0 | 0 | 1,000 ⁽²⁾ |
| -35 | 0 | +0,01 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | +0,01 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1,483 ⁽²⁾ |
| -40 | 0 | +0,01 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | +0,01 | 0 | 0 | +0,01 | +0,01 | 2,345 ⁽²⁾ |
| -45 | +0,01 | +0,01 | +0,01 | 0 | +0,01 | +0,01 | 0 | +0,01 | 0 | +0,01 | +0,01 | +0,01 | 6,745 ⁽²⁾ |
| -50 | +0,01 | +0,01 | +0,01 | +0,01 | +0,02 | +0,02 | +0,02 | +0,01 | 0 | +0,01 | +0,01 | +0,01 | 7,000 ⁽²⁾ |
| ets (Student) | 1,516 ⁽²⁾ | 1,408 ⁽²⁾ | 1,515 ⁽²⁾ | 1,524 ⁽²⁾ | 1,531 ⁽²⁾ | 1,978 ⁽²⁾ | 0,329 ⁽²⁾ | 0,902 ⁽²⁾ | 1,000 ⁽²⁾ | 0,329 ⁽²⁾ | 1,438 ⁽²⁾ | 1,639 ⁽²⁾ | |

(1) Não significativo. (2) Significativo. (3) Muito significativo. (4) Altamente significativo.

Os valores da declinação do Sol fixados por tentativas para cada mês de modo a minimizar os erros de avaliação do parâmetro f (e, implicitamente do parâmetro Ia) são diferentes consoante se trata de latitudes N ou de latitudes S; curiosamente porém, a média deles resultante aproxima-se, em geral, dos valores de δ designados por $\delta_{(a)}$ ou $\delta_{(b)}$ para os mesmos meses. Note-se ainda que, no mês de Junho no hemisfério N e no mês de Dezembro no hemisfério S, os valores de $\delta_{(c)}$ se situam fora dos limites da declinação solar possível. Neste, como aliás nos restantes casos, os valores de $\delta_{(c)}$ carecem de qualquer significado real.

No que se refere aos erros de avaliação do parâmetro f com recurso aos valores de $\delta_{(c)}$, verifica-se que, para latitudes variando entre 50° N e 50° S, estão sempre compreendidos entre $+0,02$ e $-0,02$ sendo os valores extremos verificados quase exclusivamente para latitudes iguais ou superiores a 45° (N ou S). Parece assim ser possível gerar para cada mês, a partir de um só valor da declinação do Sol, valores do parâmetro f (e, implicitamente de Ia) muito semelhantes aos tabelados para as várias latitudes. Para latitude constante, os erros de avaliação de f verificados no decurso do ano conduzem, por cada 100 mm de ETP não ajustada por hipótese ocorridos em cada um dos 12 meses, a uma estimativa da quantidade de ETP ajustada anual com um erro compreendido entre $+14$ e -12 mm.

Na última linha dos quadros 2-N e 2-S estão registados os valores obtidos para o ensaio de significância — teste t — da média das diferenças mensais Δf ; na última coluna dos mesmos quadros apresentam-se dados de igual índole mas relativos a uma análise realizada no decurso do ano, para cada latitude. No primeiro caso os valores de t — tanto no hemisfério N como no hemisfério S — apontam para a falta de significado da média das diferenças ou, dito de outro modo, que não existe uma diferença média entre os valores de f tabelados e os valores de f estimados pelo procedimento adoptado. No segundo caso, *grosso modo* para as zonas de latitude $15-40^\circ$ N ou S, verifica-se outro tanto; no entanto, para as latitudes baixas, por um lado, e para as latitudes elevadas, por outro, os valores obtidos para t já apontam para a existência de uma diferença média entre os referidos valores de f ou, dito de outro modo, que existe uma elevada probabilidade de não ser indiferente tomar os valores de f tabelados ou os valores de f estimados. Tendo porém em consideração a incerteza inerente às próprias fórmulas estabelecidas por THORNTHWAITTE para o cálculo da quantidade de ETP mensal não

ajustada, pensa-se que mesmo para as referidas latitudes o erro cometido na avaliação do parâmetro f não representa perda de rigor suficiente para invalidar a aplicação do processo.

Por outro lado deverá salientar-se que, no respeitante ao parâmetro Ia , o processo adoptado permite a sua avaliação com um erro máximo de $\pm 7,2$ horas ($\Delta f = \pm 0,02$). Isto significa que, tendo em atenção as latitudes e os meses em que se verificam tais desvios máximos, os erros de avaliação de Ia se situam entre $+3\%$ e $-1,8\%$ dos valores tabelados, facto que é destituído de significado prático para o cálculo da percentagem de insolação.

3. Quantificação do parâmetro QX

A radiação total diária incidente numa superfície horizontal no topo da atmosfera é calculada com base numa equação que pode assumir (SELLERS, 1972) a forma

$$QX = \frac{1440}{\pi} S \left(\frac{\bar{d}}{d} \right)^2 (H \sin \varphi \sin \delta + \cos \varphi \cos \delta \sin H) \text{ (ly/dia)} \quad \text{eq. 4}$$

em que H tem o significado referido na equação 1 mas é expresso em radianos, \bar{d} representa a distância média do Sol à Terra, d aquela mesma distância num dia específico, δ a declinação do Sol nesse dia específico, S é a constante solar e φ a latitude do local considerado.

Ainda de acordo com SELLERS (1972), como forma alternativa da equação 4 poderá usar-se a expressão

$$QX = \frac{1440}{\pi} S \left(\frac{\bar{d}}{d} \right)^2 (H - \text{tg}H) \sin \varphi \sin \delta \text{ (ly/dia)} \quad \text{eq. 4a}$$

Para calcular QX torna-se então necessário conhecer os valores da razão $(\bar{d}/d)^2$, e do parâmetro H , já que S é um valor constante e conhecido e os valores de φ e δ são fixados em função do local e dia considerados.

O cálculo de H faz-se com recurso à já conhecida expressão (eq. 1)

$$\cos H = -\text{tg}\varphi \cdot \text{tg}\delta$$

em que H vem expresso em graus.

A quantificação do parâmetro $(\bar{d}/d)^2$, em qualquer dia do ano, poderá ser feita ou recorrendo à equação da elipse em coordenadas polares, ou recorrendo a uma expressão matemática referida por PALTRIDGE e PLATT (1976).

A Terra realiza o seu movimento de translacção em torno do Sol descrevendo uma elipse com o Sol num dos focos. Dessa trajectória elíptica são conhecidos os seguintes parâmetros:

$$\begin{aligned} \bar{d} &= 149,5 \times 10^6 \text{ km (distância média Sol-Terra)} \\ d_1 &= 152 \times 10^6 \text{ km (distância Sol-Terra no afélio)} \\ d_2 &= 146,9 \times 10^6 \text{ km (distância Sol-Terra no periélio)} \\ 2a &= d_1 + d_2 = 298,9 \times 10^6 \text{ km (eixo maior da elipse)} \\ a &= 149,45 \times 10^6 \text{ km (semieixo maior da elipse)} \\ \epsilon &= 0,01675 \text{ (excentricidade da elipse)} . \end{aligned}$$

Recorde-se, por outro lado, que a equação da elipse em coordenadas polares — com o centro sobre o eixo das abcissas e com o foco, onde está o Sol, posicionado na origem das coordenadas — é dado por

$$r = \frac{a(1 - \epsilon^2)}{1 - \epsilon \cos \theta} \quad \text{eq. 5,}$$

em que r é o raio polar (distância do Sol à Terra), θ é o ângulo polar (dependente do dia do ano) e a e ϵ têm o significado atrás referido.

Então, os pontos de intercepção do eixo das abcissas — que passa pelos focos — com a elipse correspondem aos dias 3 de Janeiro (momento em que o Sol está no periélio) e 4 de Julho (momento em que o Sol está no afélio). Se se designar por x a medida em graus do ângulo correspondente ao arco da elipse descrita pelo Sol a partir do periélio, o ângulo polar θ será dado por

$$\theta = 180 - x .$$

O valor x poderá ser conhecido com rigor apreciável, para qualquer dia do ano, recorrendo a fórmulas astronómicas. Porém, admitindo como simplificação, que a velocidade de translacção da Terra na sua órbita é uniforme, a correspondente velocidade angular — velocidade angular média — será

$$\omega = 0,9863 \text{ (}^\circ\text{/dia)}$$

e, para qualquer dia de ordem n ter-se-á então

$$x = 0,9863 \text{ dn} .$$

Desta forma é possível conhecer o valor diário de x e, portanto, determinar o correspondente valor de θ que facilmente conduzirá à avaliação de r , ou seja, da distância do Sol à Terra em um qualquer dia, e, finalmente, à estimativa do parâmetro $(\bar{d}/d)^2$.

Este mesmo parâmetro pode ser avaliado, de forma mais directa, recorrendo à equação (PALTRIDGE and PLATT, 1976)

$$\begin{aligned} (\bar{d}/d)^2 = & 1,000110 + 0,034221 \cos \theta_0 + 0,001280 \sin \theta_0 \\ & + 0,000719 \cos 2\theta_0 + 0,000077 \sin 2\theta_0. \end{aligned} \quad \text{eq. 6}$$

em que θ_0 é definido em termos do dia do ano pela expressão (eq. 3)

$$\theta_0 = 2\pi dn / 365$$

com $dn = 0$ para 1 de Janeiro e $dn = 364$ para 31 de Dezembro.

Conhecido o valor diário da razão $(\bar{d}/d)^2$ por um dos processos referidos, o cálculo final de QX pode então ser realizado e os correspondentes valores diários tabelados.

No caso do período de tempo considerado ser o mês e não o dia o procedimento normal é o de determinar, a partir dos valores de QX diários, os valores de QX para o «dia médio» de cada mês. Ter-se-á então:

$$QX \text{ (para o «dia médio» do mês)} = \frac{\sum_{i=1}^n QX \text{ (diário)}}{n}$$

em que n representa o número de dias do mês.

Os valores de QX assim obtidos — ou obtidos por processos gráficos de interpolação a partir de valores constantes em tabelas básicas — são designados por valores médios diários da radiação solar no topo da atmosfera e encontram-se divulgados em vários trabalhos. No que se segue, e para efeitos de comparação, adoptam-se as tabelas publicadas por AZEVEDO *et al.* (1972), no que se refere ao hemisfério S, e as incluídas no trabalho de FERREIRA (1969) para o hemisfério N. Em ambos os casos os valores de QX apresentados são baseados no valor 1,94 ly/dia atribuído à constante solar, motivo por que, no presente trabalho, se adopta também tal valor.

Um processo alternativo ao procedimento normal atrás descrito para o cálculo dos valores médios diários da radiação solar no topo

da atmosfera consiste em tentar realizar o cálculo de forma directa — a partir de um só valor mensal de $(\bar{d}/d)^2$ e de um só valor mensal de δ —. Este é, como se estabeleceu na introdução, um dos objectivos a alcançar com o presente trabalho.

Assim, no que concerne à declinação do Sol, serão aqui retomados, como uma primeira aproximação aos valores mais convenientes, os valores $\delta_{(a)}$ e $\delta_{(b)}$ constantes do quadro 1.

Relativamente ao parâmetro $(\bar{d}/d)^2$, usar-se-ão, também como primeira aproximação aos valores mais favoráveis, os valores obtidos por aplicação dos procediments atrás descritos ao dia central de cada mês. Esses valores constam do quadro 3.

QUADRO 3
Valores de $(\bar{d}/d)^2_{(a)}$ e $(\bar{d}/d)^2_{(b)}$

| Data | (a) | | | (b) | |
|--------|--------|----------|-----------------|-----|-----------------|
| | x | θ | $(\bar{d}/d)^2$ | dn | $(\bar{d}/d)^2$ |
| 15 JAN | 11,84 | 168,16 | 1,03433 | 14 | 1,03432 |
| 14 FEV | 41,42 | 138,58 | 1,02654 | 44 | 1,02597 |
| 15 MAR | 70,03 | 109,97 | 1,01272 | 73 | 1,01137 |
| 15 ABR | 100,60 | 79,40 | 0,99507 | 104 | 0,99323 |
| 15 MAI | 130,19 | 49,81 | 0,97970 | 134 | 0,97794 |
| 15 JUN | 160,76 | 19,23 | 0,96981 | 165 | 0,96836 |
| 15 JUL | 190,85 | -10,85 | 0,96856 | 195 | 0,96709 |
| 15 AGO | 221,42 | -41,42 | 0,97624 | 226 | 0,97430 |
| 15 SET | 252,00 | -72,00 | 0,99089 | 257 | 0,98859 |
| 15 OUT | 281,59 | -101,59 | 1,00798 | 287 | 1,00592 |
| 15 NOV | 312,16 | -132,16 | 1,02387 | 318 | 1,02269 |
| 15 DEZ | 341,75 | -161,75 | 1,03334 | 348 | 1,03306 |

Os valores de δ que figuram no quadro 1 foram então combinados com os valores do parâmetro $(\bar{d}/d)^2$ constantes do quadro 3 para, com recurso à equação 4 (ou 4a) encontrar os valores de QX no «dia médio» de cada mês, para latitudes variando entre 40° N e 30° S.

Os resultados obtidos permitiram organizar o quadro 4 em que apenas figuram os valores extremos da diferença entre os valores de QX tabelados (FERREIRA, 1969; AZEVEDO *et al.*, 1972) e os valores de QX estimados para as combinações dos parâmetros δ e $(\bar{d}/d)^2$ em cada caso especificados. Tais resultados não apontam para a vantagem nítida de uma qualquer das referidas combinações sobre

QUADRO 4

Valores extremos de AQX

| | JAN | FEV | MAR | ABR | MAI | JUN | JUL | AGO | SET | OUT | NOV | DEZ |
|-----------------|-----------|---------|---------|----------|----------|----------|-----------|---------|-----------|-----------|----------|----------|
| δ | -21,27 | -13,29 | -2,43 | 9,48 | 18,87 | 23,29 | 21,66 | 14,30 | 3,34 | -8,22 | -18,30 | -23,22 |
| $(\bar{d}/d)^2$ | 1,03432 | 1,02597 | 1,01137 | 0,99323 | 0,97794 | 0,96836 | 0,96709 | 0,97430 | 0,98859 | 1,00592 | 1,02269 | 1,03306 |
| 1 - 40° N | 0 -10 +3 | -9 +4 | +5 +11 | 0 +4 +7 | -2 +3 +1 | -1 -3 -8 | +7 -8 -11 | +10 0 | 0 +12 +3 | 0 +13 +3 | +3 +4 +2 | -5 +2 +8 |
| 2 - 30° S | +11 +1 | +14 +4 | +7 +7 | +1 +3 | -3 -3 | -8 -3 | -11 | 0 | -8 +3 | -6 +5 | -1 +7 | +2 +8 +1 |
| δ | -21,27 | -13,29 | -2,43 | 9,48 | 18,87 | 23,29 | 21,66 | 14,30 | 3,34 | -8,22 | -18,30 | -23,22 |
| $(\bar{d}/d)^2$ | 1,03433 | 1,02654 | 1,01272 | 0,99507 | 0,97970 | 0,96981 | 0,96856 | 0,97624 | 0,99089 | 1,00798 | 1,02387 | 1,03334 |
| 1 - 40° N | +1 -10 +3 | -9 +4 | +6 +12 | +2 +6 +8 | -1 +4 +4 | 0 +6 -1 | 0 +9 -10 | +11 +2 | +1 +14 +4 | +2 +15 +4 | +3 +3 | -1 +2 -5 |
| 2 - 30° S | +11 +1 | +14 +4 | +7 +7 | +2 +4 | -2 -1 | -8 -1 | -10 | +2 | -7 +5 | +1 +7 | +1 +8 | +3 +8 +1 |
| δ | -20,72 | -13,21 | -2,33 | 9,33 | 18,53 | 23,02 | 21,33 | 14,03 | 3,40 | -8,20 | -17,90 | -22,85 |
| $(\bar{d}/d)^2$ | 1,03432 | 1,02597 | 1,01137 | 0,99323 | 0,97794 | 0,96836 | 0,96709 | 0,97430 | 0,98859 | 1,00592 | 1,02269 | 1,03306 |
| 1 - 40° N | +7 -1 +3 | -8 +5 | +5 +10 | -1 +4 +3 | -4 +3 | -2 +2 | -2 +3 | +6 0 | 0 +13 0 | +14 +3 | +9 +2 | +7 +1 |
| 2 - 30° S | +7 +2 +13 | +4 +4 | +6 +7 | +3 +3 | -1 +1 | -4 -1 | -6 +2 | -4 +2 | -4 +3 | -7 +5 | -1 +5 | 0 +6 +1 |
| δ | -20,72 | -13,21 | -2,33 | 9,33 | 18,53 | 23,02 | 21,33 | 14,03 | 3,40 | -8,20 | -17,90 | -22,85 |
| $(\bar{d}/d)^2$ | 1,03433 | 1,02654 | 1,01272 | 0,99507 | 0,97970 | 0,96981 | 0,96856 | 0,97624 | 0,99089 | 1,00798 | 1,02387 | 1,03334 |
| 1 - 40° N | +7 -1 +4 | -8 +6 | +5 +11 | 0 +6 +8 | -2 +4 | 0 +5 | -1 +8 | +1 +8 | +1 +15 +2 | +15 +5 | +10 +4 | +7 +1 |
| 2 - 30° S | +7 +2 +14 | +5 +11 | +7 +9 | +4 +5 | 0 +1 | -4 0 | -6 +3 | -3 +5 | -3 +5 | -5 +7 | 0 +6 | +1 +6 +2 |

as restantes; sugerem, no entanto, que uma diminuição dos erros de avaliação poderá ser conseguida escolhendo, por tentativas, os valores daqueles parâmetros que se mostrem mais favoráveis a tal objectivo, mesmo que esses valores sejam destituídos de significado real, como aliás será de esperar.

Os valores de δ e de $(\bar{d}/d)^2$ seleccionados, bem como os erros de avaliação de QX a que dão lugar, figuram no quadro 5-N (latitudes N) e no quadro 5-S (latitudes S). Na última coluna e na última linha destes quadros apresentam-se ainda os valores de t referentes às médias de ΔQX obtidas, respectivamente, para cada latitude (no decurso do ano) e para cada mês (nas diversas latitudes).

Os erros de avaliação de QX são nitidamente inferiores aos obtidos na primeira aproximação (quadro 4), situando-se entre +5 e -5 ly/dia no hemisfério N e entre +2 e -2 ly/dia no hemisfério S.

Por outro lado, a análise latitudinal dos valores de ΔQX respeitantes a cada um dos meses, mostra que a sua média é, quase sempre, não significativa — apenas fazem excepção os meses de Maio, Junho e Outubro no hemisfério S — o que indica que, em geral, não existe uma diferença média entre os valores de QX tabelados e estimados.

No que se refere à média de ΔQX obtida no decurso do ano, o panorama não é tão favorável, sobretudo para latitudes próximas ou iguais a 10°, 20° e 30° N ou S, situações em que se torna muito provável a existência de uma diferença média entre os valores de QX tabelados e avaliados. A este respeito não deixa de ser oportuno chamar a atenção para o facto de os valores tabelados — pelo menos no hemisfério S — terem sido calculados a partir dos valores médios mensais para as latitudes de 0°, 10°, 20° e 30°, estes obtidos por interpolação da tabela 132 das SMITHSONIAN METEOROLOGICAL TABLES (AZEVEDO *et al.*, 1972).

O efeito, sobre o valor calculado da quantidade de ETP mensal, de uma variação de QX da ordem de ± 5 ly/dia (em relação aos valores tabelados deste parâmetro) deverá ser, mesmo para as situações mais desfavoráveis — percentagem de insolação I_e/I_a aproximando-se da unidade —, destituído de significado prático. Os exemplos que a seguir se apresentam apontam nesse sentido:

- (a) MONTALEGRE, para o mês de Abril ($I_e/I_a = 0,56$)
 QX (tabelado) = 806 ly/dia ... $ETP = 73,4$ mm

$$\begin{aligned} QX + 5 &= 811 \text{ ly/dia} \dots ETP = 73,8 \text{ mm} \dots \Delta ETP = + 0,4 \text{ mm} \\ QX - 5 &= 801 \text{ ly/dia} \dots ETP = 73,2 \text{ mm} \dots \Delta ETP = - 0,2 \text{ mm} \end{aligned}$$

(b) BEJA, para o mês de Agosto ($I_e/I_a = 0,83$)

$$\begin{aligned} QX \text{ (tabelado)} &= 872 \text{ ly/dia} \dots ETP = 179,2 \text{ mm} \\ QX + 5 &= 877 \text{ ly/dia} \dots ETP = 180,1 \text{ mm} \dots \Delta ETP = + 0,9 \text{ mm} \\ QX - 5 &= 867 \text{ ly/dia} \dots ETP = 178,1 \text{ mm} \dots \Delta ETP = - 1,1 \text{ mm} \end{aligned}$$

(c) LUANDA, para o mês de Janeiro ($I_e/I_a = 0,55$)

$$\begin{aligned} QX \text{ (tabelado)} &= 927 \text{ ly/dia} \dots ETP = 158,4 \text{ mm} \\ QX + 5 &= 932 \text{ ly/dia} \dots ETP = 159,3 \text{ mm} \dots \Delta ETP = + 0,9 \text{ mm} \\ QX - 5 &= 922 \text{ ly/dia} \dots ETP = 157,7 \text{ mm} \dots \Delta ETP = - 0,7 \text{ mm} \end{aligned}$$

Mesmo admitindo que, para os exemplos considerados, se verificasse um erro de estimativa de QX igual a ± 5 ly/dia em cada um dos 12 meses — o que não é verdade nem sequer para um único mês — ter-se-ia, para a quantidade de ETP anual, um erro de avaliação que no máximo poderia ser de ± 12 mm.

QUADRO 5-N

Valores de ΔQX para latitudes N

| φ(N) | δ | J | F | M | A | M | J | J | A | S | O | N | D | t(s) (Student) |
|------------------------------|---|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| | | -20,9 | -12,7 | -2,0 | 9,5 | 18,95 | 23,2 | 21,35 | 13,9 | 2,89 | -8,8 | -18,4 | -23,2 | |
| 1 | | +2 | -1 | +3 | 0 | -1 | -1 | -1 | 0 | -1 | 0 | 0 | 0 | 0,616 ⁽¹⁾ |
| 5 | | +2 | +1 | +3 | +2 | -1 | +1 | 0 | 0 | +2 | -1 | +2 | +1 | 2,708 ⁽²⁾ |
| 10 | | 0 | 0 | -1 | -2 | -2 | -1 | -3 | -2 | -2 | -2 | -1 | -2 | 5,746 ⁽³⁾ |
| 11 | | 0 | 0 | 0 | -1 | 0 | 0 | -1 | -1 | 0 | 0 | -1 | 0 | 2,345 ⁽³⁾ |
| 12 | | +1 | +1 | +1 | +2 | +1 | 0 | 0 | +1 | 0 | +1 | +1 | +1 | 1,773 ⁽³⁾ |
| 15 | | +5 | +3 | +2 | +2 | +2 | +1 | 0 | 0 | +2 | 0 | 0 | 0 | 4,212 ⁽³⁾ |
| 16 | | +2 | +2 | +2 | +2 | +2 | +2 | +1 | +1 | +2 | +1 | +1 | +1 | 5,745 ⁽³⁾ |
| 17 | | +1 | +2 | 0 | 0 | +2 | +1 | 0 | 0 | +2 | +1 | +1 | 0 | 3,458 ⁽³⁾ |
| 20 | | 0 | -2 | +1 | -1 | -1 | -1 | -1 | -2 | 0 | -3 | -1 | -2 | 3,463 ⁽³⁾ |
| 22 | | 0 | +2 | 0 | 0 | +2 | +1 | 0 | +1 | +1 | 0 | -2 | +1 | 1,593 ⁽³⁾ |
| 25 | | -1 | +1 | +2 | +2 | +1 | +2 | +2 | +2 | +2 | 0 | -1 | +2 | 3,386 ⁽³⁾ |
| 30 | | -1 | -1 | 0 | -3 | -2 | -1 | -1 | -1 | +3 | -1 | -1 | 0 | 3,800 ⁽³⁾ |
| 33 | | -1 | +1 | 0 | 0 | +2 | +1 | 0 | 0 | +3 | 0 | -3 | 0 | 0,923 ⁽³⁾ |
| 37 | | -4 | +1 | +2 | 0 | +3 | +1 | +3 | +1 | +4 | +3 | +2 | -1 | 1,987 ⁽³⁾ |
| 38 | | -2 | 0 | +2 | +3 | -1 | +1 | +1 | +3 | +4 | -2 | -2 | 0 | 1,076 ⁽³⁾ |
| 39 | | -2 | +1 | -3 | -1 | +1 | +1 | +1 | +1 | -2 | -1 | -3 | -1 | 1,652 ⁽³⁾ |
| 40 | | 0 | -2 | -2 | 0 | +1 | 0 | -1 | +1 | -1 | -1 | 0 | -4 | 1,682 ⁽³⁾ |
| (\bar{d}/d) ² | | 1,0342 | 1,0200 | 1,00735 | 0,9890 | 0,9755 | 0,9676 | 0,9662 | 0,9730 | 0,9871 | 1,0042 | 1,0226 | 1,0331 | |
| t(s) (Student) | | 0,239 ⁽³⁾ | 1,411 ⁽³⁾ | 1,611 ⁽³⁾ | 0,457 ⁽³⁾ | 1,376 ⁽³⁾ | 1,941 ⁽³⁾ | 0,527 ⁽³⁾ | 0,746 ⁽³⁾ | 1,496 ⁽³⁾ | 0,864 ⁽³⁾ | 1,840 ⁽³⁾ | 0,675 ⁽³⁾ | |

(1) Não significativo. (2) Significativo. (3) Muito significativo. (*) Altamente significativo.

QUADRO 5-S

Valores de ΔQX para latitudes S

| φ (S) | 6 | J | F | M | A | M | J | J | A | S | O | N | D | t _s (Student) |
|-----------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|----------------------|-----------------------------|
| -2 | -1 | -20,7 | -12,7 | -2,0 | 9,5 | 18,5 | 22,6 | 20,8 | 13,7 | 2,8 | -8,6 | -17,9 | -22,6 | 0,886 ⁽¹⁾ |
| -4 | 0 | 0 | 0 | +2 | +1 | +1 | -2 | 0 | +2 | +1 | -3 | +1 | +1 | 1,773 ⁽¹⁾ |
| -6 | 0 | 0 | 0 | +2 | +2 | +1 | -1 | 0 | +1 | +1 | -1 | +2 | +2 | 1,465 ⁽¹⁾ |
| -8 | -1 | -1 | -1 | +1 | 0 | - | -1 | -1 | +1 | 0 | -2 | +1 | +1 | 0,821 ⁽¹⁾ |
| -10 | -3 | -3 | -3 | -2 | -2 | -2 | -3 | -2 | -2 | -2 | -4 | -1 | +1 | 22,997 ⁽¹⁾ |
| -12 | 0 | 0 | -1 | 0 | -1 | -1 | -2 | 0 | 0 | 0 | -2 | 0 | 0 | 2,548 ⁽¹⁾ |
| -14 | 0 | 0 | 0 | +1 | 0 | 0 | 0 | 0 | +1 | 0 | -1 | +1 | +2 | 1,483 ⁽¹⁾ |
| -16 | +1 | +1 | +1 | +1 | +1 | 0 | -1 | +1 | +1 | +1 | -1 | +1 | +1 | 2,548 ⁽¹⁾ |
| -18 | -1 | -1 | 0 | 0 | 0 | 0 | -1 | 0 | 0 | 0 | -2 | 0 | 0 | 1,773 ⁽¹⁾ |
| -20 | -2 | -2 | -2 | -3 | -3 | -2 | -2 | 0 | -1 | -2 | -4 | -3 | -2 | 7,288 ⁽¹⁾ |
| -21 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | +1 | 0 | -1 | -3 | -1 | -1 | 3,527 ⁽¹⁾ |
| -22 | 0 | 0 | +1 | -1 | -1 | -1 | -1 | 0 | 0 | 0 | -2 | -1 | 0 | 2,171 ⁽¹⁾ |
| -23 | +1 | +1 | +1 | 0 | -1 | -1 | -1 | +1 | +1 | +1 | -1 | 0 | +1 | 0,616 ⁽¹⁾ |
| -24 | +2 | +1 | +1 | 0 | 0 | -1 | 0 | +1 | +1 | +1 | -1 | 0 | +1 | 1,603 ⁽¹⁾ |
| -25 | +2 | +2 | +2 | +1 | 0 | -1 | 0 | +1 | +1 | +1 | 0 | 0 | +1 | 2,548 ⁽¹⁾ |
| -26 | +1 | +1 | +2 | 0 | -1 | 0 | 0 | +1 | 0 | +1 | 0 | 0 | +1 | 1,820 ⁽¹⁾ |
| -27 | +1 | +1 | +1 | 0 | -1 | 0 | 0 | +1 | 0 | +1 | 0 | -1 | 0 | 0,804 ⁽¹⁾ |
| -28 | +1 | +1 | +1 | -1 | -1 | -1 | 0 | 0 | 0 | 0 | -1 | -1 | 0 | 1,149 ⁽¹⁾ |
| -29 | 0 | 0 | -3 | -3 | -3 | -1 | 0 | +1 | 0 | -1 | -2 | -3 | -1 | 2,721 ⁽¹⁾ |
| -30 | -1 | -1 | -3 | -3 | -3 | -2 | -1 | 0 | -1 | -2 | -3 | -3 | -2 | 6,167 ⁽¹⁾ |
| t _s (Student) | 1,0290 | 1,0185 | 1,0643 | 0,9875 | 0,9744 | 0,9635 | 0,9637 | 0,9725 | 0,9847 | 0,9990 | 1,0190 | 1,0300 | 1,506 ⁽¹⁾ | |

(1) Não significativo. (2) Significativo. (3) Muito significativo. (4) Altamente significativo.

4. Conclusões

Os resultados obtidos em 2 e 3, bem como os comentários a que deram origem, apontam para a viabilização dos objectivos propostos, significando uma simplificação apreciável no estabelecimento dos programas para cálculo da quantidade de *ETP* por vários métodos.

Efectivamente, com base nos elementos apresentados é possível gerar, no decorrer dos próprios programas:

(a) estimativas suficientemente correctas do parâmetro *f* a aplicar no cálculo da quantidade de *ETP* mensal pelo método de THORNTHWAITE (e, de forma implícita, do parâmetro *Ia* a usar nos métodos de PENMAN e de TURC), recorrendo à introdução, no correspondente programa, de apenas 24 dados em lugar dos 720 que seriam necessários para cobrir a gama de latitudes entre 50° N e 50° S. Os dados a introduzir são os valores de $\delta_{(c)}$ considerados nos quadros 2-N e 2-S;

(b) estimativas suficientemente correctas do parâmetro *QX* necessário para o cálculo da quantidade de *ETP* pelos métodos de PENMAN e de TURC (entre outros), recorrendo à introdução, nos correspondentes programas, de apenas 48 dados em lugar dos 841 que seriam necessários para cobrir a gama de latitudes entre 40° N e 30° S. Os dados a introduzir são os valores de δ e de $(\bar{d}/d)^2$ considerados nos quadros 5-N e 5-S.

Em ambos os casos, os erros de avaliação da quantidade de *ETP* são destituídos de significado prático, quer considerando o rigor que se pode esperar das próprias fórmulas em que cada um dos métodos se baseia, quer considerando a magnitude dos erros determinados por outras causas. Entre estas últimas podem citar-se, por exemplo, a quantificação, tantas vezes pouco correcta, dos parâmetros *a* e *b* usados na expressão $a + b \cdot Ie/Ia$, tanto no método de PENMAN como no método de TURC; ou a utilização, sem base experimental, de certos valores para o factor de conversão da evaporação efectiva à superfície em *ETP*; ou a realização dos cálculos a partir de valores da radiação solar à superfície obtidos por leitura de cartas de radiação; ou ainda a divergência nos valores de *QX* quando se usam tabelas de diferente origem.

BIBLIOGRAFIA

- AZEVEDO, A. L. et al, 1972 — *Caracterização Sumária das Condições Ambientais de Angola*. Universidade de Luanda, Cursos Superiores de Agronomia e Silvicultura. Nova Lisboa.
- BROCHET, P. et GERBIER, N., 1974 — *L'Évapotranspiration. Aspect Agrométéorologique. Evaluation Pratique de l'Évapotranspiration Potentielle*. Monographie N.º 65 de la Météorologie Nationale. Paris.
- CEPT, 1966 — *Classificação Racional dos Climas de C. W. THORNTHWAITE* (CT, CT 1, CT 2, CT 2A, CT 3, CT 3A, CT 4, CT 5, CT 6, CT 6A, CT 7). Ciclostilado. Centro de Estudos de Pedologia Tropical. JICU/IICT. Lisboa.
- FERREIRA, M. A. de M., 1969 — *A Condução da Rega Comandada pela Medição do Teor de Humidade do Solo e pelas Condições Meteorológicas*. Relatório Final do Curso de Engenharia Agrónomo. Ciclostilado. Instituto Superior de Agronomia. Lisboa.
- PALTRIDGE, G. W. and PLATT, C. M. R., 1976 — *Radiative Processes in Meteorology and Climatology*. Elsevier Scientific Publishing Company. Amsterdam — Oxford — New York.
- PEGUY, Ch. P., 1961 — *Précis de Climatologie*. Masson & Cie, Éditeurs. Paris.
- SELLERS, W. D., 1972 — *Physical Climatology*. The University of Chicago Press. Chicago — London.
- STRAHLER, A. N., 1975 — *Physical Geography*. John Wiley and Sons, Inc. London.
- THORNTHWAITE, C. W., 1948 — An approach toward a rational classification of climate. *Geogr. Rev.* 38: 55-94.