

NILSON A. VILLA NOVA

ENGENHEIRO AGRÔNOMO

INSTRUTOR JUNTO A 1.ª CADEIRA

(Física e Meteorologia)

E. S. A. "Luiz de Queiroz" U. S. P.

A ESTIMATIVA DA EVAPORAÇÃO POTENCIAL NO ESTADO DE SÃO PAULO

Tese para Doutorado apresentada à
Escola S. Agricultura Luiz de Queiroz
Universidade de São Paulo

Piracicaba — Estado de São Paulo

B R A S I L

DEZEMBRO - 1967

À minha mãe
À memória de meu pai
À minha esposa

AGRADECIMENTOS

- Ao Prof. Admar Cervellini, pela orientação geral deste trabalho.
- Ao Prof. Jesus Marden dos Santos e Prof. Humberto de Campos, pelas sugestões apresentadas.
- Aos Engs. Agrs. Altino Aldo Ortolani e José Carlos Ometto, pela ajuda na obtenção dos resultados.
- À Secção de Climatologia Agrícola, do Instituto Agronômico de Campinas e ao Serviço de Meteorologia do Ministério da Agricultura, pelas facilidades na obtenção dos dados meteorológicos necessários.
- Aos demais colegas e funcionários da 1ª Cadeira Física e Meteorologia, que de uma forma ou outra concorreram para a realização deste trabalho.

C O N T E Ú D O

	Página
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. Medida Indireta com Tanques	1
1.2. Método de Cálculo de Penman	2
2. REVISÃO DA LITERATURA	3
3. MATERIAL	5
3.1. Dados Meteorológicos Comuns	5
3.1.1. Total diário de insolação	5
3.1.2. Temperatura média do ar	5
3.1.3. Umidade relativa média diária	5
3.1.4. Velocidade média diária do vento	6
3.2. Evaporação de Tanque	6
3.3. Regiões de Coleta de Dados	6
3.4. Dados Meteorológicos Coletados	7
4. MÉTODO	8
4.1. O Método de Penman	8
4.1.1. A equação do balanço de energia ra- diante	8
4.1.2. A equação de Penman	11
4.1.2.1. A obtenção dos termos	14
4.1.2.1.1. O balanço de ener- gia	14
4.1.2.1.2. O poder evaporante do ar	15
4.1.2.1.3. O valor Δ e Δ/δ ..	15
4.1.2.1.4. A aplicação da Ex- pressão de Penman ..	16
4.1.2.2. Método simplificado de cálculo ..	16
4.1.2.2.1. A resolução de H_0 ..	17
4.1.2.2.2. A resolução de h_0 ..	18
5. RESULTADOS OBTIDOS E CONCLUSÕES	19
5.1. A Variação Anual dos Componentes do Balanço de Energia	19
5.2. Comparação das Estimativas com Medidas	22

Continua

CONTÉUDO (Continuação)

	Página
5.2.1. Evaporação potencial estimada versus evaporação de tanque classe A	22
5.2.2. Evaporação potencial estimada versus evapotranspiração potencial medida	23
6. QUADROS E TABELAS	24
Quadro I - Coordenadas geográficas das estações de coleta de dados	24
Quadro II - Valores médios mensais de evaporação de tanque classe A, da estação de Piracicaba (1960 - 1965)	25
Quadro III - Médias diárias mensais de razão de insolação (1961 - 1966)	26
Quadro IV - Médias diárias mensais da temperatura (1961 - 1966)	27
Quadro V - Médias diárias mensais de umidade relativa (1961 - 1966)	28
Quadro VI - Médias diárias mensais de velocidade do vento (1961 - 1966)	29
Quadro VII - Nomograma para cálculo da radiação solar ao nível do solo (Q_s)	30
Quadro VIII - Nomograma para cálculo da radiação solar absorvida pela superfície do solo (G)	31
Quadros de IX a XIII - Nomogramas para cálculo da emissão efetiva terrestre (R_b) para valores da tensão atual de vapor (e_d) de 6 a 18 mm de Hg	32
Quadro XIV - Nomograma para cálculo do termo H_0 em função da energia líquida (H) e do fator Δ/γ	37
Quadro XV - Nomograma para cálculo do termo h_0 em função do déficit de saturação do ar (Δ_e) da velocidade do vento (U_2) e da temperatura média diária (T)	38

Continua

C O N T E U D O (Continuação)

Página

Quadro XVI - Distribuição média anual dos elementos componentes do balanço de energia 39

Quadro XVII - Distribuição anual dos valores médios mensais dos componentes do balanço de energia 51

Quadro XVIII - Relação (Z) entre os valores mensais médios (E_e) estimados pelo método de Penman e medidos pelo tanque classe A (E_m) no período 1961 a 1966, em Piracicaba 57

Quadro XIX - Relação (f) entre os valores mensais médios de E_e estimados pelo método de Penman (1961-1966) e medidos por evapotranspirômetros (ET) (1956-1959) em Campinas 57

Tabela nº 1 - Radiação Solar recebida na ausência da atmosfera em milímetros de evaporação equivalente no 15º dia de cada mês, para latitudes de 10º N e 40º S (valores de Q_0) 58

Tabela nº 2 - Duração máxima da insolação diária em horas, nos vários meses do ano e latitudes de 10º N e 40º S 59

Tabela nº 3 - Tensão máxima do vapor sobre a água, em mm, entre 0 e 40ºC 60

Tabela nº 4 - Valores de Δ/γ entre 1 e 40ºC 61

7. RESUMO 62

8. SUMMARY 62

9. LITERATURA CITADA E CONSULTADA 63

1. INTRODUÇÃO

Um dos problemas com os quais se defronta quando se pretende armazenar água em reservatórios abertos é aquele relativo à perda d'água por evaporação. Assim é que, em projetos de canais ou de reservatórios, deverão sempre ser previstas e deduzidas as perdas por evaporação.

De acôrdo com BERNARD (1956) pode-se definir como evaporação potencial a evaporação sofrida por uma superfície líquida d'água, exposta livremente às condições meteorológicas de:

- a) Radiação global (direta e difusa)
- b) Umidade do ar
- c) Vento

Assim definida, a evaporação natural de uma superfície líquida será denominada de evaporação potencial.

Preconizam-se diversos métodos de medida indireta e de cálculo da evaporação potencial, desde que a medida direta, embora seja possível e tenha largo uso em hidrologia, só é possível de ser realizada no próprio reservatório, não sendo pois um dado de ante-projeto.

A técnica atual, praticamente se serve de dois métodos, que são:

1.1. Medida Indireta com Tanques

O método de medida indireta mais em uso é aquele realizado através dos "Tanques de Evaporação". Um tanque de evaporação é um reservatório de dimensões padronizadas, com dispositivo preciso de medida de variação de nível d'água.

Vários são os tipos de tanques de evaporação propostos (Classe A, Young Screen, Colorado, G.G.I., etc) e a medida em todos eles varia em função da exposição e principalmente da diferença de capacidade calorífica com relação ao reservatório natural. / Dêste modo, coeficientes de conversão são introduzidos para tornar correta a sua medida.

1.2. Método de Cálculo de Penman

Situando-se entre os sistemas de cálculo de maior eficácia, recomendado por uma junta de trabalho organizada pela FAO e IAEA (1966) e verificado experimentalmente em trabalho realizado por STANHILL (1961), o método de Penman apoia-se em uma combinação do método do balanço de energia radiante e aerodinâmico. Estimado o balanço de radiação em uma superfície natural em função de dados meteorológicos usualmente medidos calcula-se a fração da mesma que é usada na evaporação. A influência do vento e do déficit de saturação do ar é estimada por uma equação aerodinâmica que engloba estes dois fatores.

Dêsde algum tempo a CEMIG (Centrais Elétricas de Minas Gerais) e o DAEE (Departamento de Águas e Energia Elétrica), vem se desdobrando no sentido de montar no Estado e no Brasil um maior número possível de estações evaporimétricas padrão que incluem tanque de evaporação, além de outros instrumentos auxiliares. Sendo o número de estações evaporimétricas ainda reduzido com relação às necessidades, o presente trabalho pretende, com informações obtidas em postos meteorológicos do CIA e do SNM, estimar o total anual de evaporação potencial para 24 estações do Estado de São Paulo, assim como a distribuição da mesma ao longo do ano.

No presente trabalho lançamos mão de todas as informações que pudemos obter junto aos serviços oficiais. Esta pesquisa poderá ser ampliada quando novas estações forem instaladas, e novos dados forem obtidos.

2. REVISÃO DA LITERATURA

É bastante extensa a bibliografia até agora editada e que se relaciona ao processo da evaporação de superfícies naturais e foi nossa intenção revisar aqueles trabalhos que se nos pareceram mais relevantes quanto à sua atualidade e importância.

Um ponto comum com o qual se depara em toda a literatura sobre o assunto, é que por necessidade, os autores e pesquisadores procuram resolver seus problemas através de modelos simplificados dos fenômenos, fatores ou elementos que entram em jogo no processo da evaporação. Devemos anotar que os modelos são, por vezes, armas perigosas pelas seleções, simplificações e ajustes, que o pesquisador se vê forçado a realizar, BOURKE (1966). Ao estabelecer-se um método e desenvolver a sua teoria, generalizações são feitas para maior amplitude na aplicação dos estudos realizados.

Existe um grande número de pesquisadores particularmente interessados na utilização da água pelos vegetais. Muitos deles têm tentado compreender as relações complexas entre a planta, o solo e a atmosfera e o tem feito tão bem que foram capazes de desenvolver métodos compreensíveis e aceitáveis baseados em parâmetros fisiológicos e físicos.

Bom exemplo destes modelos gerais e específicos podem ser encontrados nos trabalhos de WIT (1965), MONTEITH (1965), COWAN (1965), FUCHS e STANHILL (1963), PENMAN (1963), SLATIER (1962), TANNER e PELTON (1960), RIJTEMA (1966). Percebe-se que muitos destes métodos não podem ser aplicados em situações nas quais não se conhecem os parâmetros necessários ao cálculo a menos que se apliquem certas simplificações. Para utilizações regionais em nível geográfico, outros processos têm sido desenvolvidos e propostos por THORNTHWAITE (1948), PRESCOTT e THOMAS (1949), TURC (1955), MEIGS (1953).

Os estudos de evaporação podem ser realizados, pelo que vimos, através do estabelecimento de equações que se utilizam de vários fatores, elementos ou parâmetros que afetam direta ou indiretamente o processo.

Para que a evaporação possa ocorrer, são necessários uma força que permita o deslocamento das moléculas de água da superfície evaporante e uma fonte de energia para a necessária transformação de fase. A ausência de uma delas torna a outra ineficaz. A força citada é representada pela diferença de pressão do vapor entre a superfície evaporante e o ar que a envolve, sendo o balanço de radiação a fonte de energia para o processo. Segundo PENMAN (1963) o balanço de energia é responsável por três quartos do processo e apenas uma quarta parte é devida ao déficit de saturação associada ao efeito da transferência de massa.

Os trabalhos de BUDYKO (1956 e 1963), LEMON ... (1962), PRIESTLEY (1959), RIDER (1954) e ROBINSON (1956) demonstram a importância principalmente do balanço de energia nos processos evaporativos em superfícies naturais.

3. MATERIAL

O material que nos permitiu os estudos e determinações deste trabalho se constitui do seguinte:

3.1. Dados Meteorológicos Comuns

Das vinte e quatro estações meteorológicas padrões, localizadas em diferentes pontos do Estado de São Paulo, pertencentes quatorze à rede do Instituto Agronômico de Campinas e dez ao Serviço de Meteorologia do Ministério da Agricultura, coligimos no período de 1961 a 1966, os seguintes dados meteorológicos:

3.1.1. Total diário de insolação

A insolação foi medida com o heliógrafo de bola de cristal e computada em horas e décimos de horas.

3.1.2. Temperatura média diária do ar

Medida no abrigo termométrico padrão e calculada com base nas leituras das 7:00, 14:00 e 21:00 horas nos postos do Instituto Agronômico de Campinas e às 9:00, 15:00 e 21:00 horas nos postos do Serviço de Meteorologia do Ministério da Agricultura. As expressões de cálculo usadas foram as seguintes:

$$T_{m1} = \frac{t_7 + t_{14} + 2t_{21}}{4} \dots\dots\dots (CIA)$$

$$T_{m2} = \frac{t_9 + 2t_{21} + t_{max} + t_{min}}{5} \dots\dots\dots (SM-MA)$$

3.1.3. Umidade relativa média diária

Medida também no abrigo termométrico padrão, por intermédio do psicrômetro comum, de acordo com o horário preconizado pelo CIA e SM-MA. O cálculo das médias diárias foi realizado segundo as expressões:

$$UR_{m1} = \frac{UR_7 + UR_{14} + UR_{21}}{3} \dots\dots\dots (CIA)$$

$$UR_{m2} = \frac{UR_9 + UR_{15} + UR_{21}}{3} \dots\dots\dots (SM-MA)$$

3.1.4. Velocidade média diária do vento

Medida com o anemógrafo universal ou com o cata vento de Wild onde não havia o primeiro. Em ambos os casos foi tomada a 10 m de altura e a média diária calculada de acôrdo com as expressões:

$$V_{m1} = \frac{V_7 + V_{14} + V_{21}}{3} \dots\dots\dots (CIA)$$

$$V_{m2} = \frac{V_9 + V_{15} + V_{21}}{3} \dots\dots\dots (SM-MA)$$

3.2. Evaporação de Tanque

Distinguimo-la dos "dados meteorológicos comuns" pelo motivo de não ser medida normalmente nos postos agro-meteorológicos.

Para tal medida, realizada somente na estação de Piracicaba, utilizou-se um tanque padrão classe A, idêntico ao preconizado pelo U.S.WEATHER BUREAU (1919) e instalado de acôrdo com as normas do mesmo departamento. Os dados coligidos de 1960 a 1965 encontram-se no Quadro II.

3.3. Regiões de Coleta de Dados

As vinte e quatro regiões do Estado que foram eleitas, estão indicadas no Quadro I. Das estações existentes foram escolhidas aquelas que condicionaram a melhor distribuição possível dentro do Estado.

3.4. Dados Meteorológicos Coletados

Com os dados mensais coletados, razão de insolação, temperatura média do ar, umidade relativa e velocidade do vento, elaboraram-se médias para o período 1961-1966, que são relatadas nos Quadros de III a VI.

4. MÉTODO

Os cálculos que serão descritos são resultantes do método sugerido por PENMAN (1948) que nos permite estimar, em função de dados meteorológicos usualmente medidos em estações agro-meteorológicas, a evaporação sofrida por uma superfície livre d'água.

4.1. O Método de Penman

A equação proposta por PENMAN (1948) baseia-se no fato de que, uma vez determinado o balanço de energia radiante de uma superfície natural, durante um período qualquer, pode-se estimar a fração deste balanço que é usada na evaporação. Como elemento também atuante na evaporação ainda se inclui a ação do transporte pelo vento, do vapor d'água adjacente à superfície.

4.1.1. A equação do balanço de energia radiante

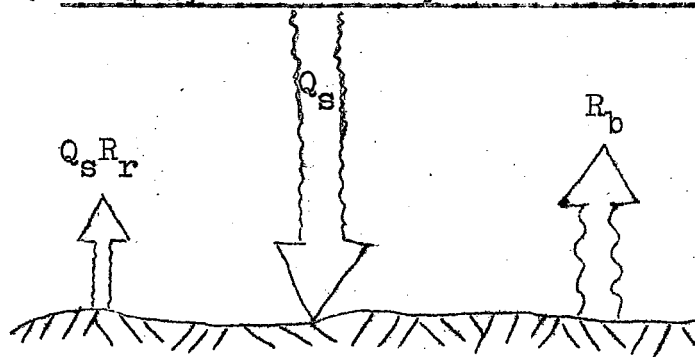


Fig. 1

Seja uma superfície natural qualquer (fig. 1) sobre a qual incide uma quantidade de radiação (Q_s) representada pela radiação direta e difusa de onda curta. Sendo R_r o poder refletor desta superfície, ela absorverá um total de energia G representado por:

$$G = Q_s (1 - R_r) \dots\dots\dots (1)$$

Em função de sua temperatura (T_s) a superfície emitirá também energia radiante na forma de onda longa, a qual denominaremos de R_b .

O balanço de energia radiante durante o período é assim definido:

$$H = G - R_b = Q_s(1 - R_r) - R_b \dots\dots\dots (2)$$

O valor H expressa a "energia líquida" disponível à superfície depois que tôdas as trocas de energia radiante foram efetuadas. O termo R_b , que se denomina "emissão efetiva terrestre", é determinado da seguinte maneira: supondo-se a superfície à temperatura T_s , a mesma emitirá na forma de onda longa, segundo a lei STEFAN-BOLTZMAN, um total de energia (N_s) expresso por:

$$N_s = E_s \sigma T_s^4 \dots\dots\dots (3)$$

E_s é o seu poder emissivo.

A atmosfera absorverá parte de N_s e emitirá onda longa (N_A) - na direção da superfície que, possuindo um poder refletor α_n , para a onda longa, reenviará na direção do espaço uma fração igual a $\alpha_n N_A$. A emissão efetiva terrestre para céu sem nuvem (N_o) será então:

$$N_o = N_s - N_A + \alpha_n N_A$$

ou ainda,

$$N_o = N_s - (1 - \alpha_n)N_A \dots\dots\dots (4)$$

e substituindo (3) em (4) teremos:

$$N_o = E_s \sigma T_s^4 - (1 - \alpha_n)N_A \dots\dots\dots (5)$$

Determinações de MORIKOFFER revelam que os corpos terrestres comportam-se quase como corpos negros, oscilando seus poderes emissivos e absorptivos entre 0,9 e 1 na maioria dos casos. Tomando-se então:

$$E_s \approx 1 \dots\dots\dots (6)$$

$$\alpha_n \approx 0, \text{ donde } (1 - \alpha_n) \approx 1 \dots\dots\dots (7)$$

Substituindo-se (6) e (7) na equação (5) teremos:

$$N_o = \sigma T_s^4 - N_A \dots\dots\dots (8)$$

Admitindo-se que o sistema esteja em equilíbrio térmico com o meio, teremos:

$$T_s \approx T_a \dots\dots\dots (9)$$

onde,

T_a representa a temperatura do ar à sombra, medida no abrigo meteorológico padrão. A aproximação (9) embora seja fonte de erro na estimativa de N_o (porque T_s pode diferir de T_a), permite o uso de dado normalmente mensurável como a temperatura do ar. Substituindo (9) em (8) teremos:

$$N_o = \sigma T_a^4 - N_A \dots\dots\dots (10)$$

Analisando a correlação entre os valores de $\frac{N_A}{\sigma T_a^4}$ e $\sqrt{e_d}$ (tensão atual de vapor), BRUNT (1932) encontrou uma equação do tipo:

$$\frac{N_A}{\sigma T_a^4} = a + b \cdot \sqrt{e_d} \dots\dots\dots (11)$$

onde, para e_d expresso em mm de Hg, observam-se os seguintes valores para a e b :

$$N_A = \sigma T_a^4 (0,44 + 0,09 \sqrt{e_d}) \dots\dots\dots (12)$$

Substituindo-se (12) em (10) obteremos a expressão:

$$N_o = \sigma T_a^4 - \sigma T_a^4 (0,44 + 0,09 \sqrt{e_d}) \quad \text{ou}$$

$$N_o = \sigma T_a^4 (1 - 0,44 - 0,09 \sqrt{e_d}) \quad \text{ou ainda}$$

$$N_o = \sigma T_a^4 (0,56 - 0,09 \sqrt{e_d}) \dots\dots\dots (13)$$

que é a expressão que estima a emissão efetiva terrestre para céu sem núvens. Para dias nublados, GEIGER (1950), introduz um fator de correção, K, estimado por:

$$K = 0,1 + 0,9 \frac{n}{N} \dots\dots\dots (14)$$

onde,

$\frac{n}{N}$ é a razão de insolação.

A equação completa da emissão efetiva terrestre torna-se então, multiplicando-se (14) por (13):

$$R_b = \sigma T_a^4 (0,56 - 0,09 \sqrt{e_d}) (0,1 + 0,9 \frac{n}{N}) \dots\dots (15)$$

Para o cálculo da radiação líquida teremos então, de acôrdo com (2), (13) e (14):

$$H = Q_s (1 - R_r) - \sigma T_a^4 (0,56 - 0,09 \sqrt{e_d}) (0,1 + 0,9 \frac{n}{N}) \dots\dots (16)$$

4.1.2. A equação de Penman

PENMAN estabelece e o trabalho de DECKER (1964) confirma, que dêse que o fator umidade não seja limitante, a a energia líquida disponível a um sistema qualquer, se distribui em quase sua totalidade em dois processos:

- a) energia gasta na evaporação (R_E)
- b) energia gasta para aquecer o ar (K)

Assim pôsto, a equação (2) poderá ser complementada:

$$H = K + R_E \dots\dots\dots (17)$$

Aplicando a clássica relação de BOWEN (1950) para superfícies livres dágua, Penman determina que:

$$\frac{K}{R_E} = \gamma \frac{(T_s - T_a)}{(e_s - e_d)} = B \dots\dots\dots (18)$$

cujo significado é o seguinte:

B = relação entre energia gasta no aquecimento do ar (K) e na evaporação (R_E).

γ = constante psicrométrica (0,5 mm Hg/°C).

- T_s = temperatura da superfície livre água ($^{\circ}K$).
- T_a = temperatura do ar sobre a superfície ($^{\circ}K$).
- e_s = tensão de saturação a temperatura da superfície.
- e_d = tensão atual de vapor do ar.

Combinando-se as equações (17) e (18) obtém-se a seguinte expressão:

$$\begin{aligned}
 H &= R_E + K && \text{e sendo,} \\
 K &= R_E B && \text{tem-se:} \\
 H &= R_E + R_E B && \text{ou ainda,} \\
 H &= R_E (1 + B) \dots\dots\dots (19)
 \end{aligned}$$

Segundo Penman, a energia gasta na evaporação de uma superfície livre água, ainda pode ser descrita em termos de uma equação do tipo:

$$R_E = f(u)(e_s - e_d) \dots\dots\dots (20)$$

onde $f(u)$ é uma função da velocidade do vento medida a 2,0 m acima da superfície evaporante. Se a mesma superfície for colocada à sombra, T_s se igualará a T_a , e a evaporação resultante, representada por R_{Ea} estará correlacionada com $f(u)$ da seguinte maneira:

$$R_{Ea} = f(u)(e_a - e_d) \dots\dots\dots (21)$$

onde e_a é a tensão de saturação à temperatura da superfície e o valor de R_{Ea} é chamado de "poder evaporante do ar à sombra".

Comparando-se então, as equações (20) e (21) o autor obteve:

$$\frac{R_{Ea}}{R_E} = \frac{e_a - e_d}{e_s - e_d} \dots\dots\dots (22)$$

Somando-se e subtraindo ao numerador da equação (22) o valor e_s ela não se altera, e tem-se:

$$\frac{R_{Ea}}{R_E} = 1 - \frac{e_s - e_a}{e_s - e_d} \dots \dots \dots (23)$$

ou ainda,

$$\frac{e_s - e_a}{e_s - e_d} = 1 - \frac{R_{Ea}}{R_E} \dots \dots \dots (24)$$

Das equações (19) e (18) tiramos:

$$R_E = \frac{H}{1 + B} = \frac{H}{1 + \gamma \frac{(T_s - T_a)}{(e_s - e_d)}} \dots \dots \dots (25)$$

Seja $\Delta = \frac{e_s - e_a}{T_s - T_a}$ a tangente a curva de tensão de saturação de vapores no ponto $T = T_a$, façamos então:

$$T_s - T_a = \frac{e_s - e_a}{\Delta} \dots \dots \dots (26)$$

substituindo agora (25) em (26) teremos:

$$R_E = \frac{H}{1 + \frac{\gamma}{\Delta} \frac{e_s - e_a}{e_s - e_d}} \dots \dots \dots (27)$$

e aplicando-se (22) em (27) obtem-se a expressão:

$$R_E = \frac{H}{1 + \frac{\gamma}{\Delta} \left(1 - \frac{R_{Ea}}{R_E} \right)}$$

que simplificada nos dará:

$$R_E = \frac{\Delta H + \gamma R_{Ea}}{\Delta + \gamma} \dots \dots \dots (28)$$

que é a equação proposta por Penman.

A equação (28) ainda pode ser colocada na forma:

$$R_E = \frac{\frac{\Delta}{\gamma} H + R_{Ea}}{\frac{\Delta}{\gamma} + 1} \dots \dots \dots (29)$$

quando R_E , H e R_{E_a} são expressos em milímetros de altura de água.

4.1.2.1. A obtenção dos termos

Com dados meteorológicos coletados em vinte quatro localidades do Estado de São Paulo, durante o período 1961-1966, relatados nos Quadros de III a VI, estimaram-se os termos da equação de Penman como se segue:

4.1.2.1.1. O balanço da energia (H)

Foi calculado através da equação (16):

$$H = Q_s (1 - R_r) - \sigma T_a^4 (0,56 - 0,09 \sqrt{e_d}) (0,1 + 0,9 \frac{n}{N})$$

onde os termos significam:

- a) Q_s (energia absorvida pelo sistema), estimada através da equação proposta por CERVELLINI, SALATI e GODOY (1960) para o Estado de São Paulo:

$$Q_s = Q_0 (0,24 + 0,58 \frac{n}{N}) \dots\dots\dots (30)$$

sendo Q_0 a energia recebida no tampo da atmosfera para cada dia do ano, a cada latitude calculada de acordo com SALATI et al (1966), expressa em milímetros de evaporação equivalente. No caso presente foi usado o valor de Q_0 para latitude fixa de 22°30'S que é a latitude média do Estado de São Paulo. Valores de Q_0 são descritos na Tabela nº 1.

- b) $\frac{n}{N}$ = razão de insolação, sendo n insolação média diária mensal e N o número de horas possíveis de insolação.

Os valores de N adotados foram as médias diárias mensais relatadas na Tabela nº 2.

- c) T_a = temperatura média diária mensal do ar à sombra (°K).

- d) e_d = tensão atual de vapor d'água, média diária mensal,

calculada através da umidade relativa média diária mensal e da tensão de saturação e_s à temperatura média diária mensal do ar (V. Tabela nº 3).

e) R_r = poder refletor da superfície. No caso presente, superfície livre d'água, foi usado o valor $R_r = 0,05$ como recomenda PENMAN.

4.1.2.1.2. R_{E_a} (poder evaporante do ar)

Foi estimado através da equação (21) cujos parâmetros, segundo Penman, são os seguintes:

$$R_{E_a} = 0,35 \left(0,5 + \frac{U_2}{160} \right) (e_s - e_d) \dots\dots\dots (31)$$

onde, U_2 = velocidade do vento a 2,0 m de altura em Km/dia. Como normalmente U é medido a 10 m de altura (U_{10}) utilizamo-nos da relação proposta por PASQUILL (1949):

$$\frac{U_2}{U_{10}} = \left(\frac{z_2}{z_{10}} \right)^{K_0} \dots\dots\dots (32)$$

onde,

z_2 e z_{10} são as alturas de tomadas da velocidade e K_0 uma constante igual a 1/7.

4.1.2.1.3. O valor Δ e $\frac{\Delta}{\gamma}$

O valor Δ , definido pela equação (26) é a tangente à curva de tensão de saturação de vapor d'água na temperatura do ar (T_a) considerada, e foi calculado através da derivação da equação proposta por KIEFFER (1941) como segue:

$$\log e_s = 24,67 + \frac{2990}{T} - 5,31 \log T \dots\dots\dots (33)$$

onde,

$$\Delta = \frac{de_s}{dT} = 6886 \frac{e_s}{T^2} - 5,31 \frac{e_s}{T} \dots\dots\dots (34)$$

Como nos cálculos foi usada a forma (29) da equa

ção de Penman, calcularam-se os valores de Δ / γ para temperatura do ar entre 0 e 40°C tabulados na Tabela nº 4.

4.1.2.1.4. A aplicação da expressão de Penman

Uma vez calculados H e R_{Ea} em milímetros de altura d'água, e com valores de Δ / γ obtidos na Tabela nº 4, calculamos a evaporação potencial para as regiões em aprêço, com auxílio da equação (29).

Convém frisar-se que segundo PENMAN a equação (29) nos permite também calcular evapotranspiração potencial, desde que observemos:

a) Na estimativa do balanço de energia (H) consideremos o valor do poder refletor adequado. Segundo MONTEITH (1959) o valor médio de R_r pode ser estimado como 0,75 para superfícies vegetadas.

b) Na estimativa do termo R_{Ea} ao invés da equação (31), deveremos usar a expressão:

$$R_{Ea} = 0,35 \left(1 + \frac{U}{160} \right) (e_s - e_d) \dots\dots\dots (31.a)$$

cujos termos tem mesmo significado da expressão (31) e onde a inclusão do fator 1 deve-se ao fato de que uma superfície vegetada provoca maior turbulência no ar adjacente, condicionando assim maior capacidade evaporativa do ar.

4.1.2.2. Método simplificado de cálculo

Devido ao fato da equação (29) ser de solução demorada, é proposto e utilizado neste trabalho, um método prático de resolução, baseado em ábacos construídos de acordo com as equações (1), (2), (15), (29) e (31), como se segue:

Seja a equação geral (29):

$$E = \frac{\frac{\Delta}{\gamma} H + R_{Ea}}{\frac{\Delta}{\gamma} + 1} \dots\dots\dots (29)$$

a qual pode ser escrita em dois t ermos,

$$E = \frac{\frac{\Delta}{\gamma} H}{\frac{\Delta}{\gamma} + 1} + \frac{R_{E_a}}{\frac{\Delta}{\gamma} + 1} \dots \dots \dots (35)$$

as quais representaremos por:

$$H_o = \frac{\frac{\Delta}{\gamma} H}{\frac{\Delta}{\gamma} + 1} \dots \dots \dots (36)$$

$$h_o = \frac{R_{E_a}}{\frac{\Delta}{\gamma} + 1} \dots \dots \dots (37)$$

que significam respectivamente:

H_o = evaporação devida ao balanço de energia.

h_o = evaporação devida ao poder evaporante do ar   sombra.

A equação (35) torna-se então:

$$E = H_o + h_o \dots \dots \dots (38)$$

A equação (29) assim simplificada constituirá de dois t ermos (H_o e h_o) que são resolvidos como se segue:

4.1.2.2.1. A resolução de H_o

Para resolver H_o temos que como primeiro passo procurar a solução de H.

De acôrdo com (2),

$$H = G - R_p \dots \dots \dots (2) \quad \text{sendo que:}$$

- a) A equação (1) que define G é resolvida gr ficamente pe los ábacos dos Quadros VII e VIII em função da Tabela n  1 (valores de Q_o) da razão de insolação (n/N) e do albedo do sistema (R_r).
- b) A equação (15) que define R_p é resolvida pelos ábacos

dos Quadros IX a XIII em função da temperatura do ar (t_a), razão de insolação (n/N) e tensão atual de vapor de 6 a 18 mm de Hg.

- c) Uma vez calculado H de acôrdo com (2) resolve-se H_0 com auxílio do ábaco do Quadro XIV em função de H e da temperatura média do ar (t_a).

4.1.2.2.2. A resolução de h_0

O termo h_0 definido por (37) é calculado pelo ábaco do Quadro XV em função do déficit de saturação do ar (Δ_e), da velocidade média do vento (U_2) e da temperatura média diária (t_a).

5. RESULTADOS OBTIDOS E CONCLUSÕES

Em função dos dados dos Quadros III, IV, V e VI e com auxílio dos ábacos dos Quadros de VII a XIII, obtivemos os seguintes resultados:

5.1. A Variação Anual dos Componentes do Balanço de Energia

Dos capítulos precedentes, conjugando-se as equações (2) e (17) obtém-se para expressão do balanço de energia:

$$H = G - R_p = K + R_E \dots\dots\dots (39)$$

Em função desta equação e do método de cálculo adotado, foram determinados os valores percentuais médios anuais, de cada elemento componente do balanço de energia. Estes valores são demonstrados nos gráficos do Quadro XVI. A interpretação geral dêste quadro é a seguinte:

"Para cada 100 unidades de energia (Q_s) que atingem uma superfície livre d'água, devemos esperar, em média, para a região em questão, durante o período de um ano, a seguinte distribuição:

- a) G unidades serão absorvidas pela superfície.
- b) R_p unidades serão emitidas pela superfície na forma de onda longa. O valor de R_p é representado pela diferença de áreas sob as curvas de G e H.
- c) H unidades, representando a energia líquida disponível a superfície, serão usadas no processo de evaporação (R_E unidades) e nos processos de aquecimento do ar ou da superfície (K unidades).

A distribuição anual dos valores médios mensais de cada componente, para cada estação é demonstrada no Quadro XVII. Separando-se as estações em grupo do litoral (Santos, Iguape e Cananéia) e grupo de altitude média do planalto (ressaltando exceto a de Campos de Jordão), conclui-se que:

- a) O valor médio mensal dos componentes do balanço de energia, para o grupo de estações do planalto, expressos em milíme

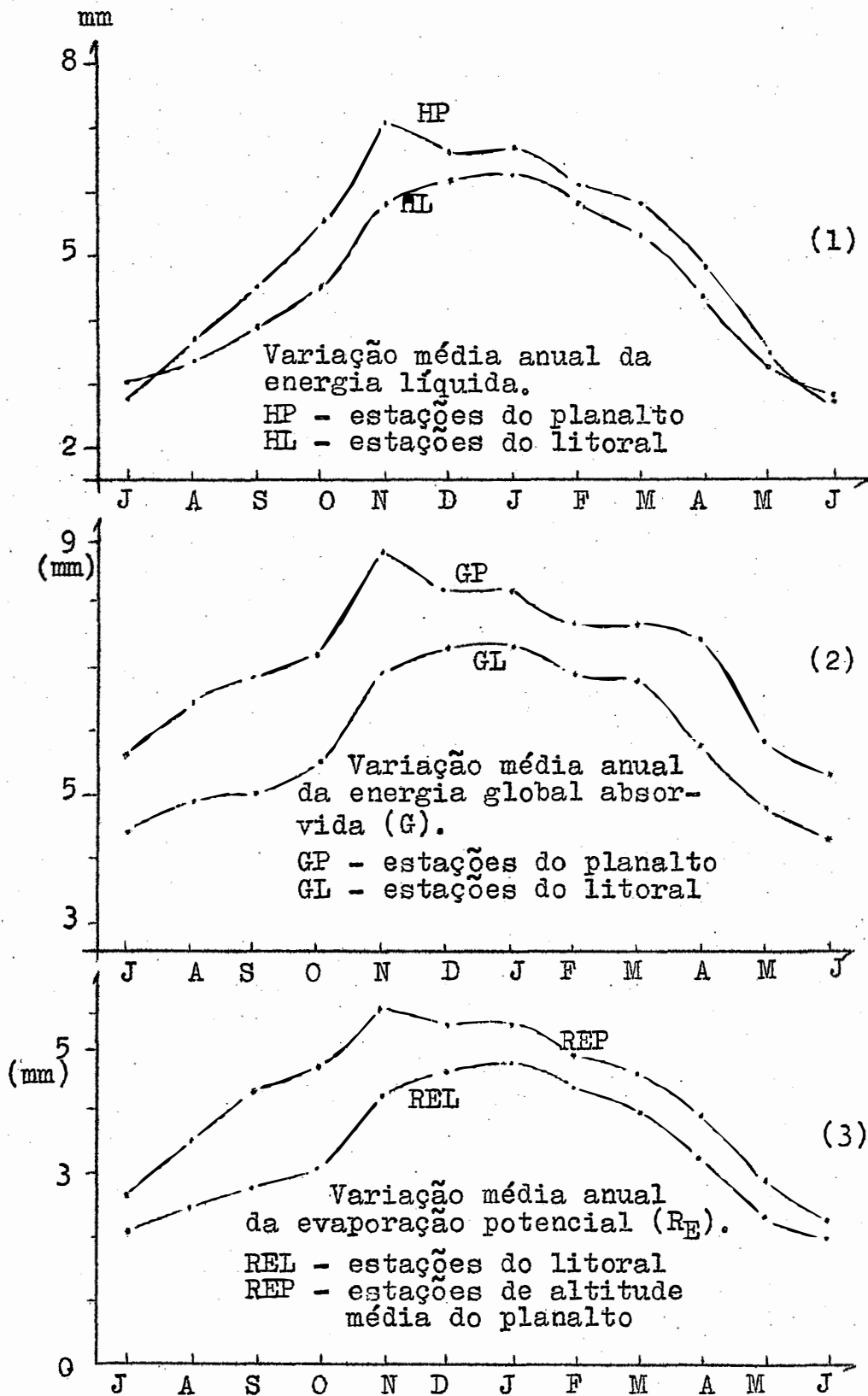
troz de evaporação equivalente, é o seguinte:

Meses	$\bar{G} \pm s(\bar{G})$ (mm)	R_b (mm)	$\bar{H} \pm s(\bar{H})$ (mm)	K (mm)	$\bar{R}_E \pm s(\bar{R}_E)$ (mm)
Jan.	8,3 \pm 0,1	1,6	6,7 \pm 0,1	1,4	5,3 \pm 0,1
Fev.	7,7 \pm 0,1	1,5	6,2 \pm 0,1	1,3	4,9 \pm 0,1
Mar.	7,7 \pm 0,1	1,9	5,8 \pm 0,1	1,2	4,6 \pm 0,1
Abr.	7,0 \pm 0,1	2,1	4,9 \pm 0,1	1,0	3,9 \pm 0,1
Mai.	5,9 \pm 0,1	2,4	3,5 \pm 0,1	0,6	2,9 \pm 0,1
Jun.	5,4 \pm 0,1	2,7	2,7 \pm 0,1	0,4	2,3 \pm 0,1
Jul.	5,6 \pm 0,1	2,9	2,7 \pm 0,1	0,1	2,6 \pm 0,1
Ago.	6,5 \pm 0,1	2,8	3,7 \pm 0,1	0,2	3,5 \pm 0,1
Set.	6,8 \pm 0,1	2,3	4,5 \pm 0,1	0,5	4,3 \pm 0,1
Out.	7,3 \pm 0,1	1,8	5,5 \pm 0,1	0,8	4,7 \pm 0,1
Nov.	8,8 \pm 0,1	1,7	7,1 \pm 0,1	1,5	5,6 \pm 0,1
Dez.	8,3 \pm 0,1	1,7	6,6 \pm 0,1	1,3	5,3 \pm 0,1

b) O valor médio mensal dos componentes do balanço de energia, para o grupo de estações do litoral, expressos em milímetros de evaporação equivalente é o seguinte:

Meses	$\bar{G} \pm s(\bar{G})$ (mm)	R_b (mm)	$\bar{H} \pm s(\bar{H})$ (mm)	K (mm)	$\bar{R}_E \pm s(\bar{R}_E)$ (mm)
Jan.	7,4 \pm 0,5	1,2	6,2 \pm 0,3	1,5	4,7 \pm 0,8
Fev.	6,9 \pm 0,4	1,1	5,8 \pm 0,1	1,4	4,4 \pm 0,2
Mar.	6,8 \pm 0,2	1,4	5,4 \pm 0,1	1,4	4,0 \pm 0,1
Abr.	5,8 \pm 0,3	1,4	4,4 \pm 0,1	1,1	3,3 \pm 0,1
Mai.	4,8 \pm 0,1	1,5	3,3 \pm 0,0	0,9	2,4 \pm 0,0
Jun.	4,3 \pm 0,1	1,5	2,8 \pm 0,1	0,8	2,0 \pm 0,1
Jul.	4,4 \pm 0,1	1,4	3,0 \pm 0,1	0,9	2,1 \pm 0,1
Ago.	4,9 \pm 0,2	1,5	3,4 \pm 0,2	0,9	2,5 \pm 0,1
Set.	5,0 \pm 0,2	1,1	3,9 \pm 0,1	1,1	2,8 \pm 0,1
Out.	5,5 \pm 0,3	1,0	4,5 \pm 0,2	1,4	3,1 \pm 0,2
Nov.	6,9 \pm 0,3	1,1	5,8 \pm 0,2	1,5	4,3 \pm 0,3
Dez.	6,3 \pm 0,7	1,2	6,1 \pm 0,4	1,5	4,6 \pm 0,4

c) Representando-se grãficamente os valores dos componentes médios, G, H e R_E , obtidos para os dois grupos de estações teremos:



Analisando-se a tendência destas curvas podemos concluir que:

a) As disponibilidades de energia global são maiores nas estações de altitude média do planalto do que nas estações do litoral.

b) As disponibilidades de energia líquida são maiores nas condições de altitude média do planalto do que nas estações do litoral, diferenças estas que tendem a se anular nos meses de inverno.

c) A evaporação potencial é maior nas condições de altitude média do planalto, que nas condições do litoral, diferenças estas que se acentuam de agosto a dezembro.

5.2. Comparação das Estimativas com Medidas

5.2.1. Evaporação potencial estimada versus evaporação de Tanque Classe A

Na estação de Piracicaba, além dos dados meteorológicos comuns, são realizadas medidas de evaporação de Tanque Classe A, diariamente. Dos anos de 1961 a 1966, período escolhido também para cálculo das estimativas, foram então computadas as médias mensais de evaporação de tanque classe A. O confronto entre os valores de evaporação potencial estimados (E_e) e medidos (E_m) é demonstrado no Quadro XVIII onde se relaciona também o quociente (Z) entre estas duas grandezas. Tal quociente representa o fator de conversão de evaporação de tanque para evaporação potencial.

Os valores do fator de conversão Z recomendados pela W.M.O. (1965) para períodos secos e úmidos, e os valores médios calculados no período seco e úmido do experimento são os seguintes:

Valores de Z recomendados	Períodos secos	Períodos úmidos
W.M.O.	0,6	$\geq 0,8$
Calculado	0,76	0,92

De tal confronto podemos concluir o seguinte:

Para as condições climáticas do planalto paulista, que não diferem acentuadamente das de Piracicaba, podemos adotar os valores médios do coeficiente Z por nós estimado, até que se determine tal coeficiente com precisão, através de uma série longa de medidas diretas.

5.2.2. Evaporação potencial estimada versus evapotranspiração potencial medida

Na estação de Campinas CAMARGO (1964) usando evapotranspirômetros tipo Ibadan mediu a evapotranspiração potencial (ET) durante os anos de 1956 a 1959. Os valores médios medidos (EP) são confrontados no Quadro abaixo com os valores de evaporação potencial estimados (E_e) nos anos de 1961 a 1966, onde se relata o quociente f entre estas duas grandezas. O valor f é o coeficiente de conversão de evaporação potencial para evapotranspiração potencial.

Os valores médios do fator de conversão f determinados por PENMAN para condições da Estação Experimental de Rothamsted, Inglaterra (médias de verão e inverno), em confronto com os valores médios determinados por nós, em períodos equivalentes são os seguintes:

Valores de f observados	Inverno	Verão
Inglaterra	0,6	0,8
Campinas	0,55	0,69

Tal confronto nos sugere a seguinte conclusão:

Para as condições climáticas do planalto paulista que não diferem acentuadamente das de Campinas, podemos adotar os valores médios do coeficiente f por nós estimado, até que se o determine com precisão, através da análise de uma série mais longa de dados.

QUADRO I - COORDENADAS GEOGRÁFICAS DAS ESTACIONES DE COLETA DE DADOS.

Estação	Serviço	Lat.(S)	Long.(W)	Alt.
Piracicaba	E.S.A.L.Q.	22°43'	47°38'	580
✓Campinas	C.I.A.	22°53'	47°05'	663
Jaú	C.I.A.	22°17'	48°33'	580
Mococa	C.I.A.	21°28'	47°00'	665
Tietê	C.I.A.	23°07'	47°43'	538
✓Ubatuba	C.I.A.	23°05'	45°03'	8
Pindorama	C.I.A.	21°10'	48°54'	562
✓Limeira	C.I.A.	22°34'	47°25'	689
Tatuí	C.I.A.	23°21'	47°51'	600
✓Ribeirão Preto	C.I.A.	21°11'	47°48'	621
Pindamonhangaba	C.I.A.	22°55'	45°30'	560
M.Alegre do Sul	C.I.A.	22°40'	46°40'	777
Junqueirópolis	C.I.A.	21°30'	51°27'	485
Ataliba Leonel	C.I.A.	23°10'	49°21'	589
Campos do Jordão	S.N.M.	22°44'	45°34'	1594
Colina	S.N.M.	20°43'	48°32'	589
Barretos	S.N.M.	20°33'	48°34'	552
✓Baurú	S.N.M.	22°19'	49°04'	550
✓Iguape	S.N.M.	24°43'	47°33'	3
São Paulo	S.N.M.	23°26'	46°37'	792
✓Santos	S.N.M.	23°57'	46°19'	3
✓Araçatuba	S.N.M.	21°12'	50°25'	400
✓Igarapava	S.N.M.	20°00'	47°45'	502
✓Pres. Prudente	S.N.M.	22°07'	51°22'	407

QUADRO II - VALORES MÉDIOS MENSIS DE EVAPORAÇÃO
DE TANQUE CLASSE A, DA ESTAÇÃO DE PIRACICABA -
(1960 - 1965).

Meses	1960	1961	1962	1963	1964	1965	Média Diária Mensal (mm)	Total Médio Mensal (mm)
Jan.	5,7	5,3	6,6	6,5	6,5	---	6,12	190
Fev.	5,4	5,6	6,3	---	---	6,0	5,82	163
Mar.	5,4	4,7	5,4	---	---	5,3	5,20	161
Abr.	3,7	4,2	4,6	---	---	4,7	4,30	129
Maiç	3,0	2,9	3,2	---	---	3,3	3,10	96
Jun.	2,6	3,0	---	3,1	3,1	3,1	2,18	66
Jul.	3,6	---	3,1	2,9	2,9	3,7	3,24	100
Ago.	3,8	---	3,8	4,7	4,7	4,6	4,32	134
Set.	5,8	6,7	5,3	5,2	5,2	6,8	5,33	160
Out.	6,4	---	5,7	5,5	5,5	4,2	4,76	147
Nov.	5,3	6,4	7,0	6,5	6,5	6,3	6,34	190
Dez.	5,9	5,8	5,8	6,1	6,1	---	5,94	184

QUADRO I EI - MÉDIAS DIÁRIAS MENSAIS DE RAZÃO DE INSOLAÇÃO ($\frac{N}{N_0}$)
(1961 - 1966)

Estação	Jan.	Feb.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.
Piracicaba	0,50	0,47	0,52	0,55	0,55	0,55	0,64	0,64	0,50	0,47	0,55	0,50
Campinas	0,51	0,47	0,55	0,62	0,66	0,66	0,71	0,72	0,49	0,48	0,57	0,53
Jaú	0,44	0,53	0,60	0,74	0,74	0,75	0,77	0,77	0,65	0,52	0,64	0,43
Mococa	0,46	0,47	0,62	0,72	0,71	0,74	0,74	0,76	0,67	0,48	0,61	0,46
Tietê	0,56	0,47	0,59	0,59	0,58	0,63	0,66	0,65	0,54	0,54	0,57	0,54
Ubatuba	0,28	0,34	0,42	0,41	0,44	0,46	0,43	0,44	0,34	0,20	0,28	0,22
Pindorama	0,35	0,47	0,46	0,56	0,55	0,61	0,60	0,57	0,45	0,33	0,46	0,32
Limeira	0,42	0,49	0,58	0,69	0,66	0,68	0,68	0,70	0,61	0,49	0,59	0,41
Tatuí	0,38	0,37	0,45	0,50	0,51	0,47	0,52	0,56	0,37	0,31	0,42	0,34
Ribeirão Preto	0,47	0,46	0,60	0,63	0,66	0,70	0,71	0,70	0,61	0,55	0,58	0,51
Pindamonhangaba	0,48	0,42	0,49	0,54	0,54	0,63	0,63	0,59	0,48	0,46	0,46	0,44
M. Alegre do Sul	0,48	0,45	0,53	0,60	0,62	0,66	0,68	0,70	0,55	0,49	0,57	0,52
Junqueirópolis	0,53	0,54	0,58	0,72	0,71	0,67	0,70	0,64	0,56	0,54	0,60	0,52
Ataliba Leonel	0,49	0,48	0,56	0,65	0,66	0,62	0,66	0,64	0,57	0,47	0,57	0,46
Campos do Jordão	0,31	0,28	0,38	0,48	0,56	0,59	0,62	0,55	0,48	0,34	0,31	0,32
Colina	0,53	0,51	0,63	0,66	0,74	0,77	0,81	0,77	0,62	0,57	0,62	0,56
Barretos	0,48	0,47	0,55	0,62	0,69	0,69	0,78	0,71	0,48	0,48	0,57	0,52
Baurú	0,54	0,50	0,58	0,66	0,77	0,71	0,74	0,71	0,58	0,53	0,61	0,56
Iguape	0,46	0,39	0,46	0,45	0,44	0,39	0,41	0,35	0,23	0,28	0,38	0,46
São Paulo	0,44	0,37	0,42	0,47	0,48	0,52	0,55	0,57	0,36	0,36	0,42	0,43
Santos	0,42	0,38	0,45	0,47	0,46	0,48	0,48	0,47	0,28	0,29	0,38	0,41
Araçatuba	0,52	0,50	0,55	0,63	0,65	0,62	0,70	0,70	0,46	0,46	0,60	0,58
Igarapava	0,42	0,38	0,55	0,70	0,73	0,73	0,75	0,74	0,59	0,45	0,59	0,40
Pres. Prudente	0,46	0,52	0,53	0,65	0,64	0,65	0,70	0,62	0,47	0,46	0,61	0,49

QUADRO IV - MEDIAS DIARIAS MENSAIS DE TEMPERATURA

REFERENTES AO PERIODO 1961-1966.

Estação	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.
Piracicaba	24,4	23,6	22,9	21,5	18,1	16,7	17,2	19,2	21,2	22,3	23,0	23,5
Campinas	22,8	22,8	22,3	21,1	18,2	17,1	17,2	19,1	21,7	21,4	22,2	22,4
Jatú	23,7	23,6	23,4	22,3	19,4	18,5	18,6	20,7	23,0	22,2	23,4	23,3
Mococa	23,1	23,1	22,8	22,0	19,2	18,4	18,4	20,9	23,7	22,9	23,4	23,2
Tietê	23,3	23,2	22,7	21,1	18,0	17,0	16,9	18,9	21,4	21,2	22,4	22,7
Ubatuba	23,7	24,1	23,4	21,8	19,4	17,9	17,3	18,3	19,9	20,9	21,9	23,2
Pindorama	23,9	23,7	23,5	22,4	19,7	18,7	18,7	21,0	23,7	23,2	23,9	23,6
Limeira	22,6	22,6	22,2	21,0	18,0	17,1	17,0	19,1	21,7	21,2	22,0	22,2
Tatuf	23,1	23,0	22,0	20,3	17,1	15,6	15,4	17,1	19,8	20,3	21,6	22,4
Ribeirão Preto	23,2	23,1	22,8	22,0	19,2	18,2	18,2	20,7	23,7	23,0	23,5	23,1
Pindamonhangaba	23,0	23,2	22,3	20,8	17,4	15,7	15,6	17,7	20,3	21,0	21,8	22,4
M. Alegre do Sul	23,5	23,1	22,4	21,1	18,0	17,1	16,8	18,6	20,6	20,1	21,8	21,9
Junqueirópolis	25,0	24,9	24,9	23,9	21,0	19,0	19,9	22,9	25,0	24,0	24,6	24,8
Ataliba Leonel	22,8	22,7	21,6	19,8	16,5	15,2	15,4	17,3	20,0	20,2	21,6	22,3
Campos do Jordão	16,2	16,3	16,1	13,0	10,7	10,9	10,0	10,6	12,0	13,7	14,5	15,2
Colina	24,2	24,0	23,3	21,7	19,5	18,3	18,7	20,8	23,4	23,7	23,7	23,9
Barretos	24,6	24,5	24,8	22,4	20,5	19,0	19,7	20,3	22,6	23,1	23,6	23,5
Baurú	23,1	22,9	22,9	21,9	18,8	17,7	17,7	20,1	22,5	21,2	22,8	23,0
Iguape	24,8	25,3	24,3	22,0	19,2	17,9	17,7	18,2	19,6	20,9	22,1	23,8
São Paulo	21,9	21,7	21,0	19,6	17,1	15,8	15,2	16,9	18,7	18,5	19,8	20,8
Santos	24,6	24,8	24,6	22,9	20,5	19,4	18,6	19,3	20,4	20,3	22,7	24,1
Araçatuba	25,1	24,9	23,1	23,1	19,2	18,6	18,6	21,3	24,4	24,1	25,0	25,3
Igarapava	23,2	24,2	23,8	22,4	20,8	19,4	19,7	21,8	23,3	23,8	23,6	23,7
Pres. Prudente	25,3	24,9	24,8	23,0	19,3	18,3	19,6	22,0	23,7	24,2	24,7	25,5

QUADRO V - MÉDIAS DIÁRIAS MENSÁIS DE UMIDADE RELATIVA (UR)
REFERENTES AO PERÍODO 1961-1966.

Estação	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ag.	Set.	Out.	Nov.	Dez.
Piracicaba	72,5	75,6	74,2	72,8	75,0	73,7	68,0	61,3	60,6	66,3	65,2	70,2
Campinas	77,3	79,7	76,2	74,0	73,7	71,9	68,3	63,0	60,0	69,9	69,4	75,9
Jaú	77,1	79,6	73,9	70,1	68,9	67,2	61,5	55,3	56,4	69,3	67,5	74,8
Mococa	82,5	83,3	79,2	74,9	74,5	70,8	65,5	58,0	56,0	70,9	72,3	78,9
Tietê	78,7	81,5	78,4	76,6	76,8	74,6	70,7	65,8	65,6	74,4	72,5	77,6
Ubatuba	89,7	89,6	88,9	90,3	89,1	87,8	87,7	87,3	89,1	89,9	89,8	89,1
Pindorama	82,2	83,7	78,5	73,9	72,5	69,7	65,1	57,6	55,6	70,9	71,5	79,5
Limeira	82,7	84,0	80,3	77,4	76,6	74,0	69,9	65,8	63,2	77,1	75,5	81,8
Tatuí	78,3	80,2	78,7	78,4	78,5	76,8	74,5	73,6	73,3	75,5	73,1	76,7
Ribeirão Preto	80,9	82,5	77,2	71,5	70,6	67,6	62,0	53,1	50,8	67,9	69,0	77,8
Pindamonhangaba	80,2	81,0	80,0	79,0	78,0	77,0	77,0	72,1	70,0	76,2	75,8	79,5
M. Alegre do Sul	59,2	59,5	58,0	55,3	53,5	52,8	46,0	40,0	43,5	50,2	48,7	54,5
Junqueirópolis	84,0	80,0	76,0	69,0	68,0	71,0	65,0	59,0	66,0	75,0	80,0	82,0
Ataliba Leonel	80,0	84,0	83,0	79,0	79,0	79,0	75,0	70,0	69,0	77,0	76,0	81,0
Campos do Jordão	89,0	89,0	89,0	89,0	88,0	88,0	86,0	83,0	82,0	85,0	88,0	89,0
Colina	75,0	77,0	77,0	73,0	70,0	68,0	59,0	53,0	51,0	64,0	68,0	73,0
Barretos	75,0	77,0	75,0	70,0	69,0	66,0	57,0	49,0	50,0	62,0	68,0	71,0
Baurú	75,0	74,0	71,0	68,0	67,0	67,0	51,0	53,0	55,0	66,0	66,0	70,0
Iguape	82,0	83,0	85,0	86,0	87,0	89,0	88,0	87,0	83,0	87,0	82,0	81,0
São Paulo	82,0	82,0	80,0	81,0	79,0	78,0	77,0	73,0	74,0	82,0	79,0	82,0
Santos	82,0	82,0	83,0	84,0	86,0	86,0	84,0	83,0	86,0	84,0	83,0	84,0
Araçatuba	78,0	80,0	75,0	70,0	70,0	70,0	64,0	58,0	56,0	69,0	70,0	76,0
Igarapava	77,0	73,0	76,0	69,0	67,0	62,0	58,0	51,0	52,0	63,0	71,0	73,0
Pres. Prudente	78,0	82,0	78,0	76,0	77,0	73,0	68,0	62,0	64,0	75,0	72,0	75,0

QUADRO VI - MÉDIAS DIÁRIAS MENSIAIS DE VELOCIDADE DO VENTO (U)

REFERENTES AO PERÍODO 1961-1966 (m/seg).

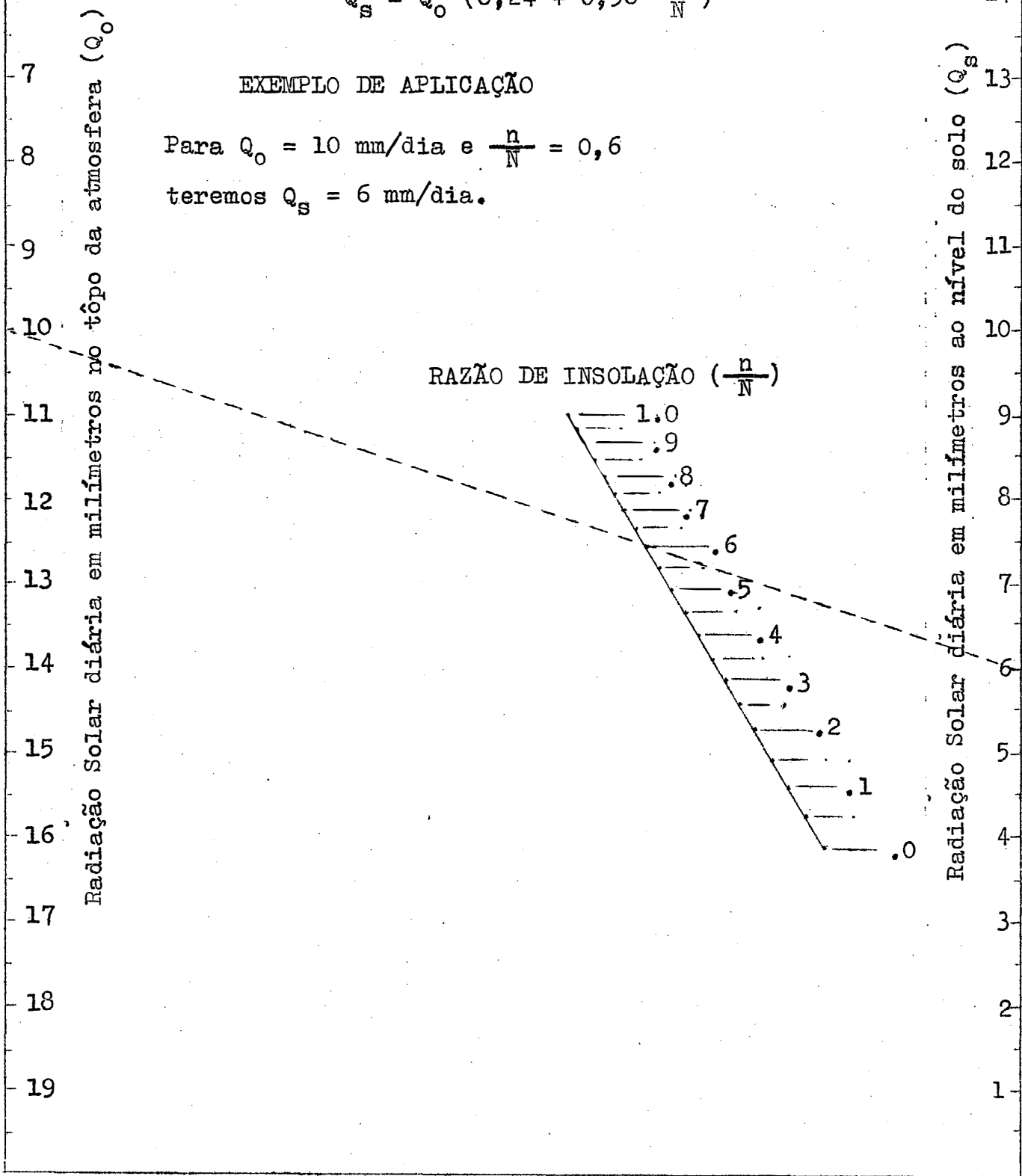
Estação	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.
Piracicaba	1,6	1,4	1,4	1,9	1,20	1,30	1,30	1,5	1,8	1,8	2,0	1,8
Campinas	1,1	1,0	1,1	1,3	1,2	1,1	1,3	1,4	1,7	1,8	1,6	1,4
Jaú	2,5	2,3	2,5	2,8	2,7	2,3	2,4	3,2	3,0	2,9	3,2	3,3
Mococa	2,0	2,2	2,1	2,0	2,0	2,2	2,4	2,6	2,8	2,7	2,3	2,3
Tietê	1,5	1,3	1,4	1,5	1,5	1,5	1,8	1,6	1,8	2,0	1,7	1,7
Ubatuba	0,6	0,7	0,6	0,6	0,6	0,7	0,7	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
Pindorama	1,3	1,3	1,2	1,2	1,3	1,4	1,4	1,6	1,6	1,9	1,6	1,6
Limeira	1,4	1,2	1,2	1,1	1,0	1,2	1,2	1,3	1,4	1,4	1,4	1,3
Tatui	0,9	0,6	0,7	0,7	0,7	0,6	0,7	1,3	1,2	1,3	1,3	1,3
Ribeirão Preto	1,4	1,2	1,3	1,2	1,3	1,3	1,5	1,6	1,8	1,7	1,7	1,6
Pindamonhangaba	0,4	0,5	0,5	0,3	0,4	0,4	0,6	0,7	0,8	0,8	0,6	0,6
M. Alegre do Sul	1,7	1,6	1,2	1,3	1,2	1,2	1,4	1,7	2,3	2,9	2,3	2,1
Junqueirópolis	1,0	1,1	1,1	1,1	1,2	1,4	1,5	1,6	1,6	1,5	1,2	1,2
Ataliba Leonel	2,0	1,6	1,6	1,5	1,4	1,6	2,1	2,4	2,4	3,0	2,4	2,2
Campos do Jordão	2,3	2,0	1,8	1,2	1,1	1,2	1,3	1,3	1,6	2,1	2,2	2,3
Colina	3,0	2,9	2,9	2,7	2,9	3,1	3,3	3,5	4,1	3,8	2,9	2,9
Barretos	1,8	1,7	1,7	1,5	1,7	1,9	2,3	2,1	2,1	2,0	2,1	1,9
Baurú	1,0	0,9	1,1	1,1	1,0	1,1	1,1	1,3	1,3	1,4	1,3	1,3
Iguape	1,5	1,4	1,3	1,0	1,0	1,1	1,1	1,1	1,5	1,8	1,5	1,4
São Paulo	2,4	2,3	1,6	2,0	1,6	1,9	1,9	1,9	2,0	2,4	2,4	2,5
Santões	1,6	1,6	1,3	1,3	1,1	1,1	1,1	1,3	1,7	2,0	2,0	2,1
Araçatuba	1,0	1,0	1,2	1,1	1,2	1,0	1,2	1,4	1,4	1,5	1,1	1,3
Igarapava	0,8	0,9	0,9	0,8	0,8	1,1	1,3	1,6	1,8	1,4	1,1	1,0
Pres. Prudente	2,5	2,0	2,2	2,0	2,1	2,5	2,8	2,8	2,4	2,7	2,4	2,6

QUADRO VII - NOMOGRAMA PARA O CÁLCULO DA RADIAÇÃO SOLAR AO NÍVEL DO SOLO, SEGUNDO A EQUAÇÃO OBTIDA POR CERVELLINI, SALATI & GODOY, EM FUNÇÃO DA RADIAÇÃO SOLAR NO TÔPO DA ATMOSFERA (Q_0) DADA EM MILÍMETROS DE EVAPORAÇÃO EQUIVALENTE E DA RAZÃO DE INSOLAÇÃO ($\frac{n}{N}$).

$$Q_s = Q_0 (0,24 + 0,58 \frac{n}{N})$$

EXEMPLO DE APLICAÇÃO

Para $Q_0 = 10$ mm/dia e $\frac{n}{N} = 0,6$
teremos $Q_s = 6$ mm/dia.

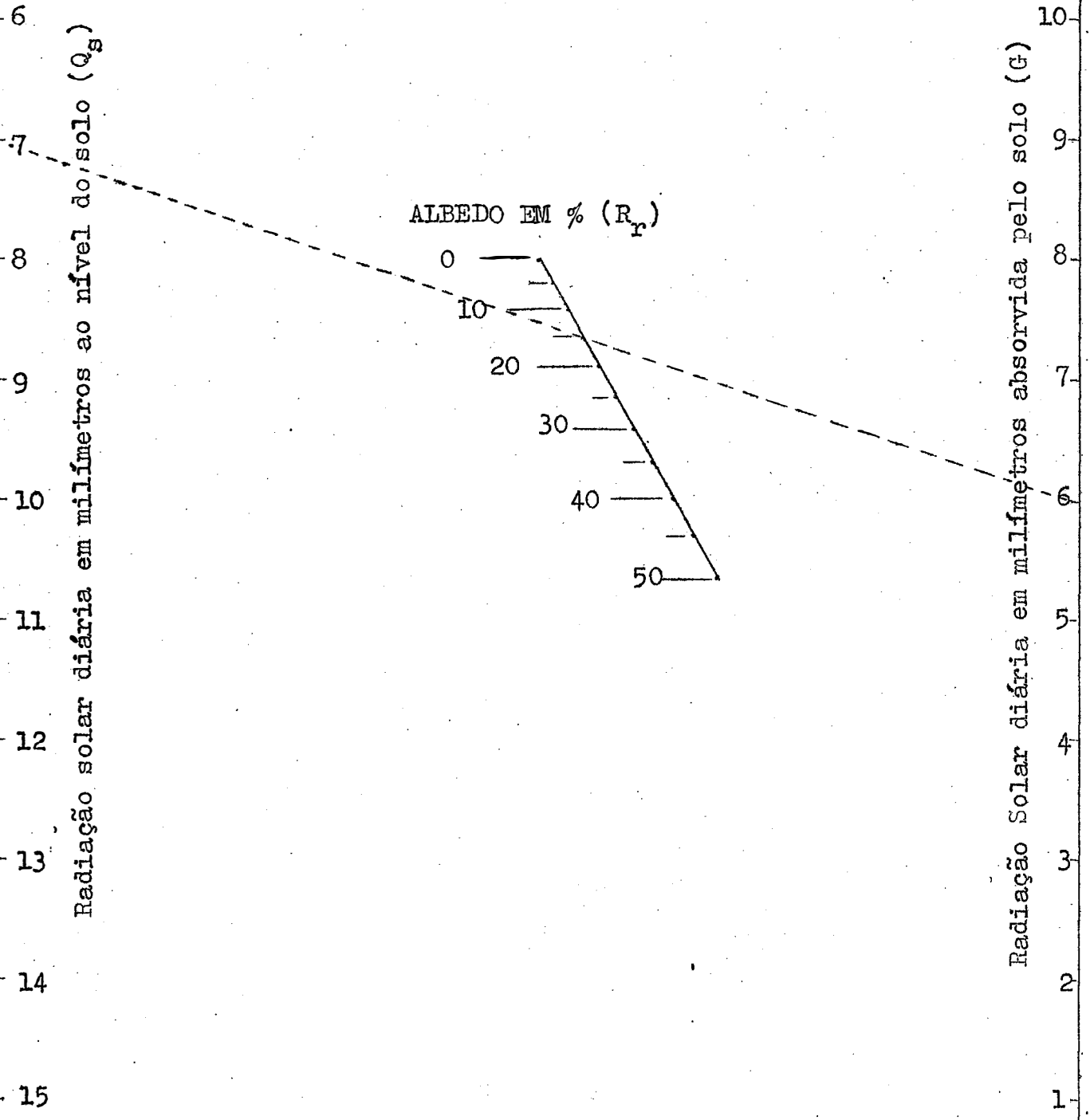


QUADRO VIII - NOMOGRAMA PARA O CÁLCULO DA RADIAÇÃO SOLAR ABSORVIDA PELA SUPERFÍCIE DO SOLO, EM MILÍMETROS DE EVAPORAÇÃO EQUIVALENTE, EM FUNÇÃO DA RADIAÇÃO GLOBAL (Q_s) E DO ALBEDO DA SUPERFÍCIE.

$$G = Q_s (1 - R_r)$$

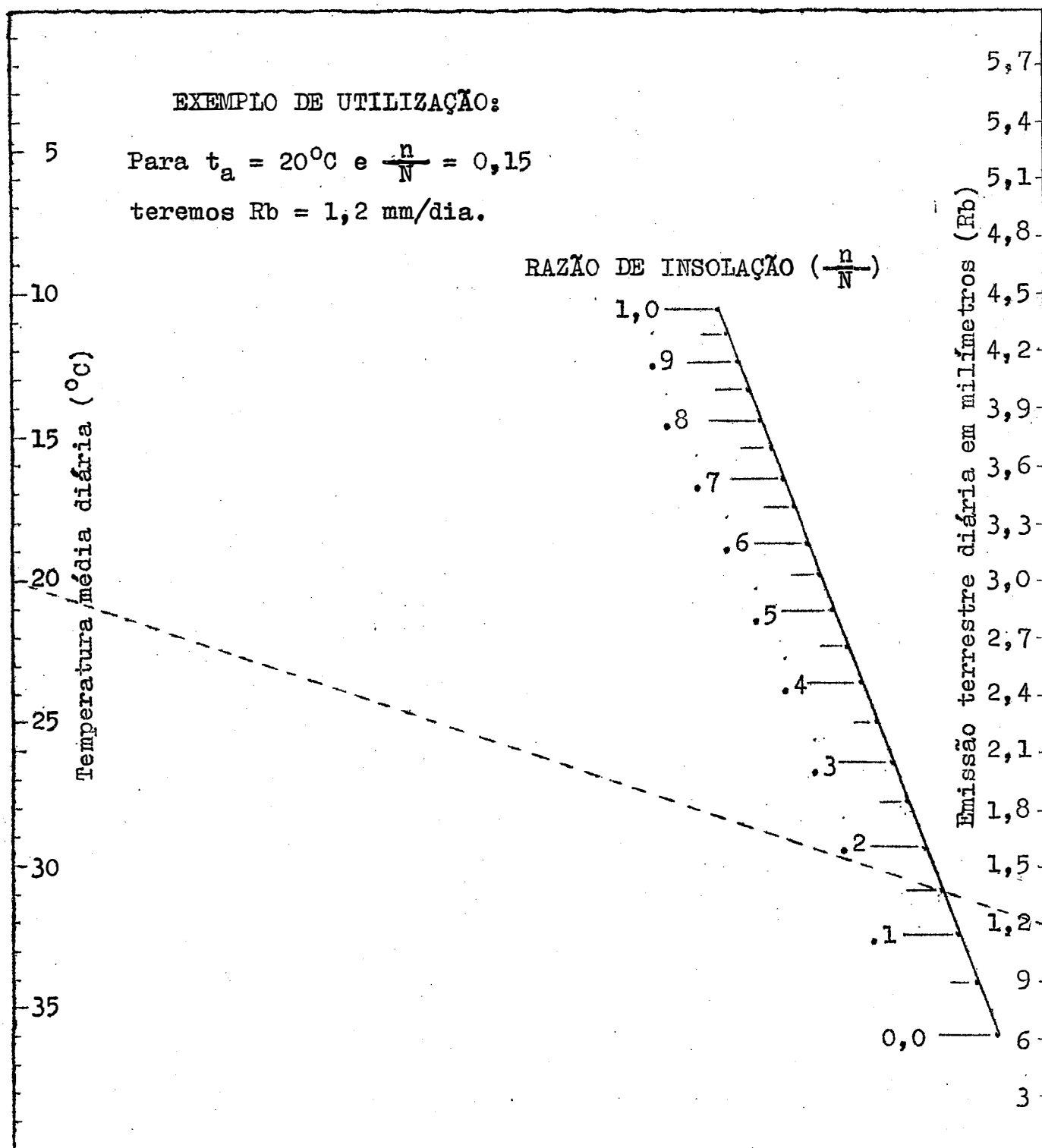
EXEMPLO DE APLICAÇÃO:

Para $Q_s = 7$ mm/dia e $R_r = 15\%$
teremos $G = 6$ mm/dia.



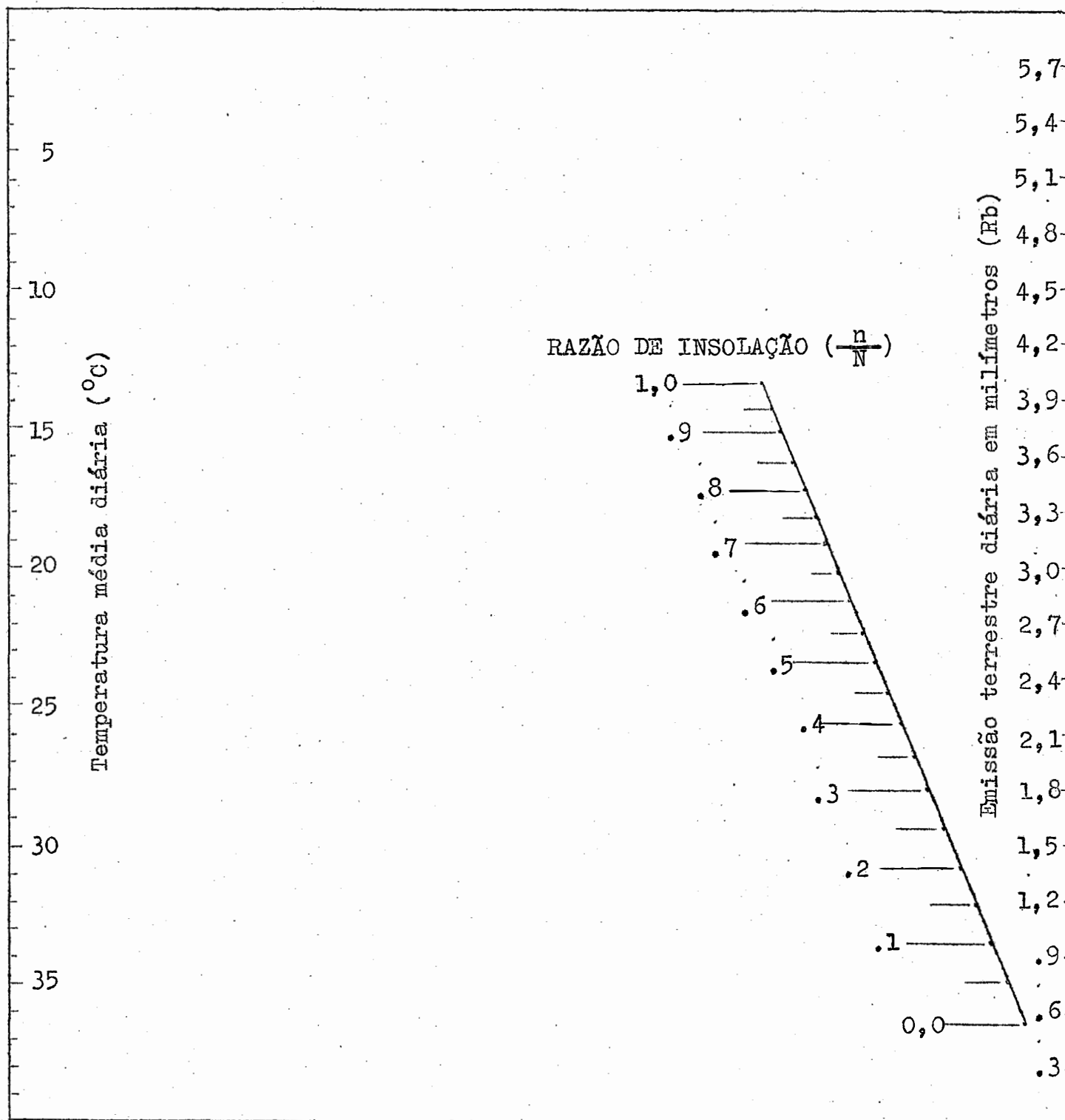
QUADRO IX - NOMOGRAMA PARA O CÁLCULO DA EMISSÃO EFETIVA TERRESTRE (R_b), EM MILÍMETROS DE EVAPORAÇÃO EQUIVALENTE, EM FUNÇÃO DA TEMPERATURA MÉDIA DIÁRIA E DA RAZÃO DE INSOLAÇÃO ($\frac{n}{N}$). VALOR DE TENSÃO ATUAL DE VAPOR (e_d) IGUAL A 6 mm Hg.

$$R_b = \sqrt{T^4} (0,56 - 0,09 \sqrt{e_d})(0,1 + 0,9 \frac{n}{N})/59$$



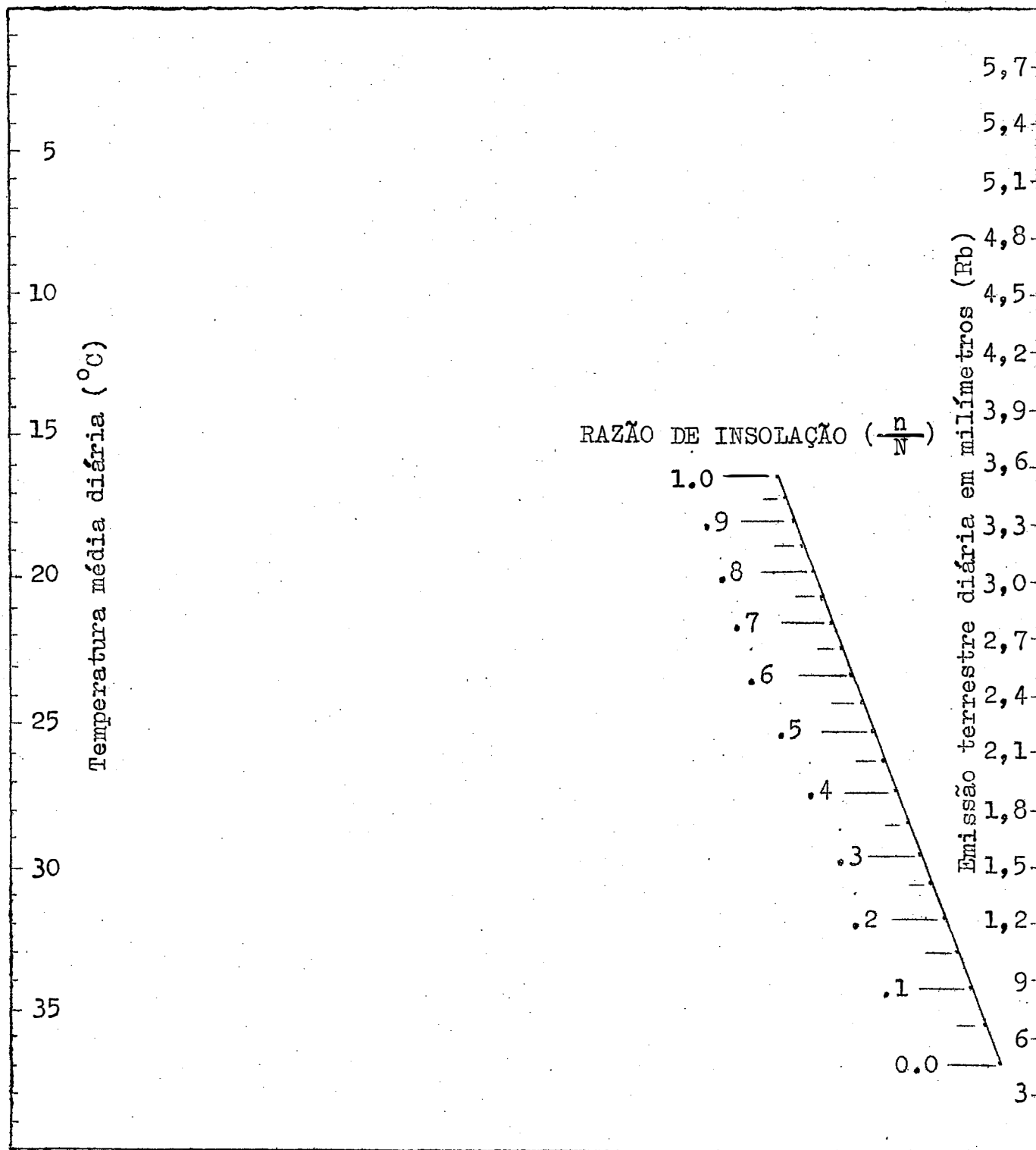
QUADRO X - NOMOGRAMA PARA O CÁLCULO DA EMISSÃO TERRESTRE (Rb), em MILÍMETROS DE EVAPORAÇÃO EQUIVALENTE, EM FUNÇÃO DA TEMPERATURA MÉDIA DIÁRIA E DA RAZÃO DE INSOLAÇÃO ($\frac{n}{N}$). VALOR DE TENSÃO ATUAL DE VAPOR (e_d) IGUAL A 9 mm Hg.

$$R_b = \sigma T^4 (0,56 - 0,09 \sqrt{e_d})(0,1 + 0,9 \frac{n}{N})/59$$



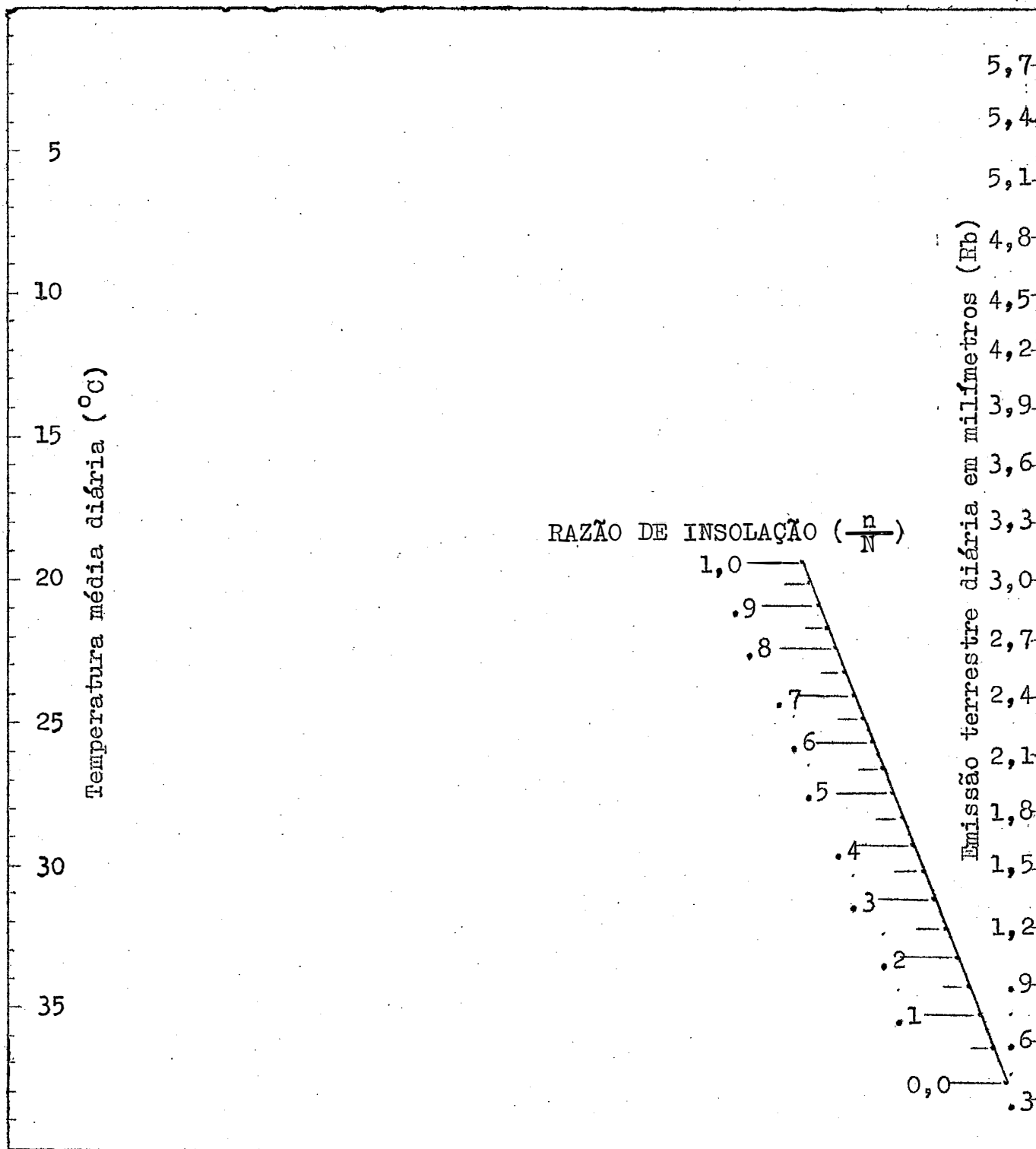
QUADRO XI - NOMOGRAMA PARA O CÁLCULO DA EMISSÃO TERRESTRE (R_b), EM MILÍMETROS DE EVAPORAÇÃO EQUIVALENTE, EM FUNÇÃO DA TEMPERATURA MÉDIA DIÁRIA E DA RAZÃO DE INSOLAÇÃO ($\frac{n}{N}$). VALOR DE TENSÃO ATUAL DE VAPOR (e_d) IGUAL A 12 mm Hg.

$$R_b = \sigma T^4 (0,56 - 0,09 \sqrt{e_d})(0,1 + 0,9 \frac{n}{N})/59$$



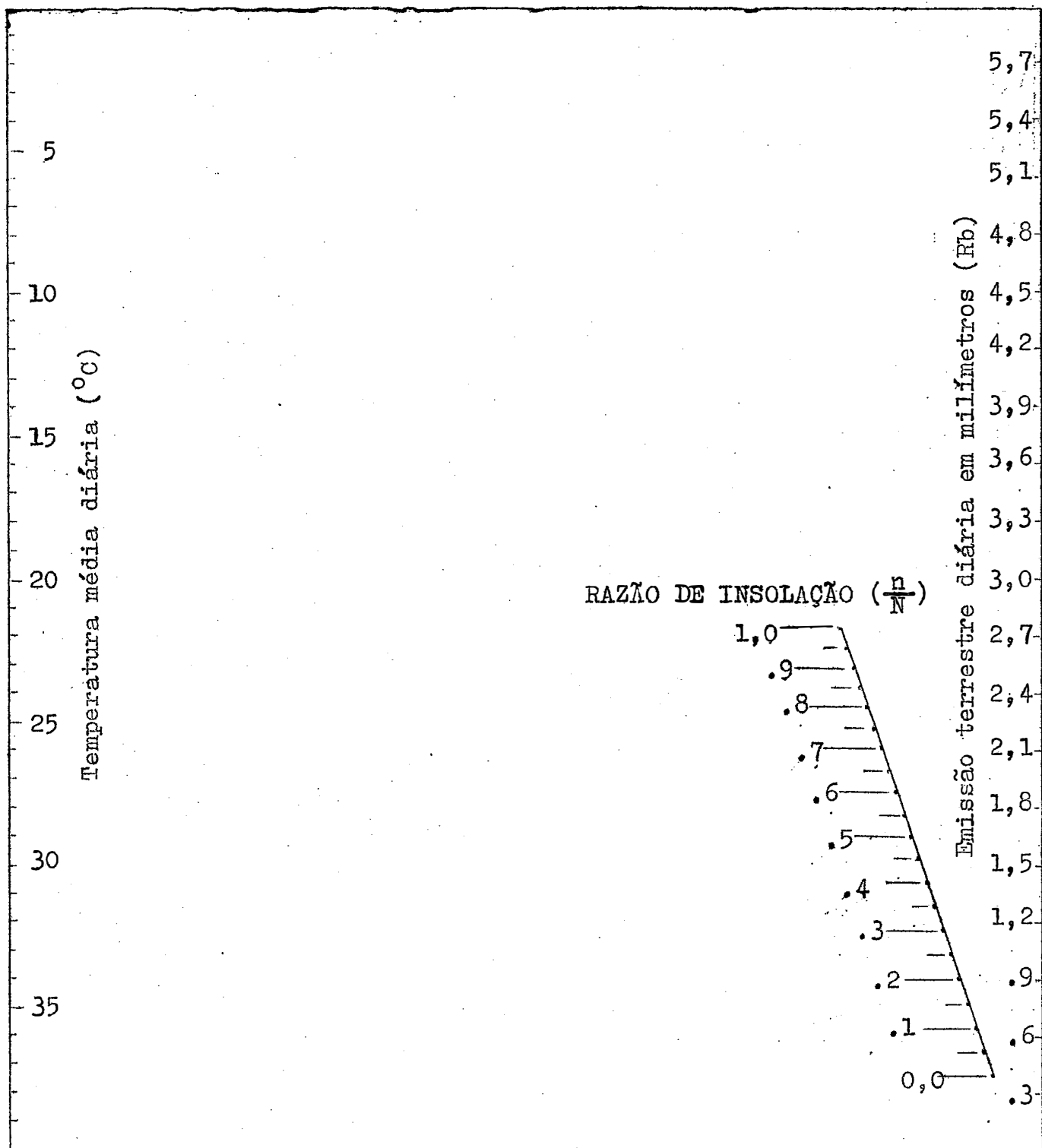
QUADRO XII - NOMOGRAMA PARA O CÁLCULO DA EMISSÃO TERRESTRE (R_b), EM MILÍMETROS DE EVAPORAÇÃO EQUIVALENTE, EM FUNÇÃO DA TEMPERATURA MÉDIA DIÁRIA E DA RAZÃO DE INSOLAÇÃO ($\frac{n}{N}$). VALOR DE TENSÃO ATUAL DE VAPOR (e_d) IGUAL A 15 mm Hg.

$$R_b = \sigma T^4 (0,56 - 0,09 \sqrt{e_d})(0,1 + 0,9 \frac{n}{N})/59$$



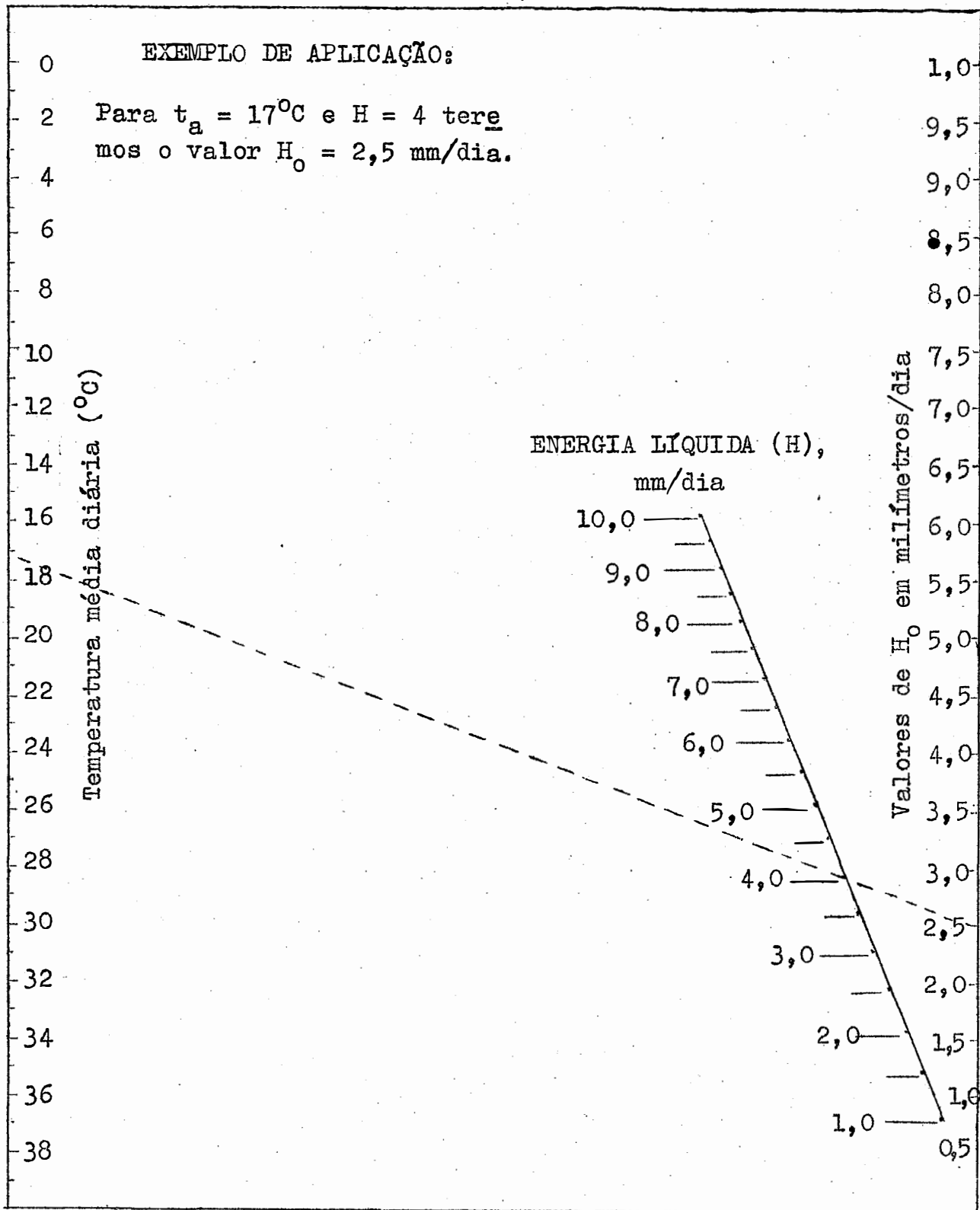
QUADRO XIII - NOMOGRAMA PARA O CÁLCULO DA EMISSÃO TERRESTRE (R_b), EM MILÍMETROS DE EVAPORAÇÃO EQUIVALENTE, EM FUNÇÃO DA TEMPERATURA MÉDIA DIÁRIA E DA RAZÃO DE INSOLAÇÃO ($\frac{n}{N}$). VALOR DE TENSÃO ATUAL DE VAPOR (e_d) IGUAL A 18 mm Hg.

$$R_b = \sigma T^4 (0,56 - 0,09 \sqrt{e_d})(0,1 + 0,9 \frac{n}{N})/59$$



QUADRO XIV - NOMOGRAMA PARA O CÁLCULO DO TERMO H_0 EM FUNÇÃO DA ENERGIA LÍQUIDA (H) E DO FATOR $\frac{\Delta}{\delta}$.

$$H_0 = \left(\frac{\frac{\Delta}{\delta}}{\frac{\Delta}{\delta} + 1} \right) \cdot H$$



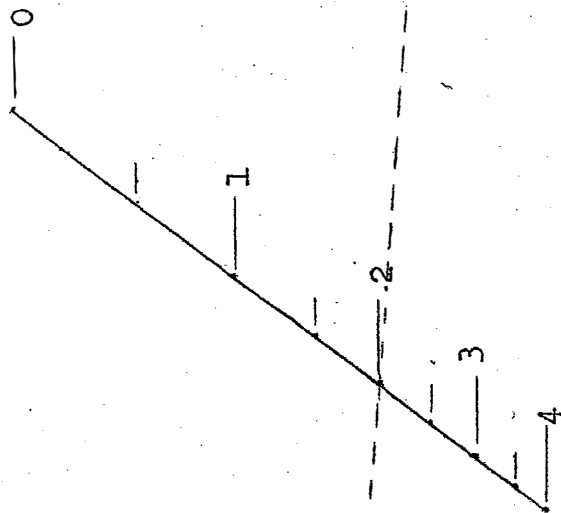
QUADRO XV - NOMOGRAMA PARA CÁLCULO DO TERMO h_0 EM FUNÇÃO DO DEFICIT DE SATURAÇÃO DO AR (Δe), DA VELOCIDADE DO VENTO (U_2) e da TEMPERATURA MÉDIA DIÁRIA.

Exemplo de Aplicação:

Para $\Delta e = 9$ mmHg, $U_2 = 2$ m/seg, temos $RE_a = 5$ mm/dia.

$$h_0 = \frac{RE_a}{\Delta/\gamma + 1}$$

Valores de U_2 (m/s)



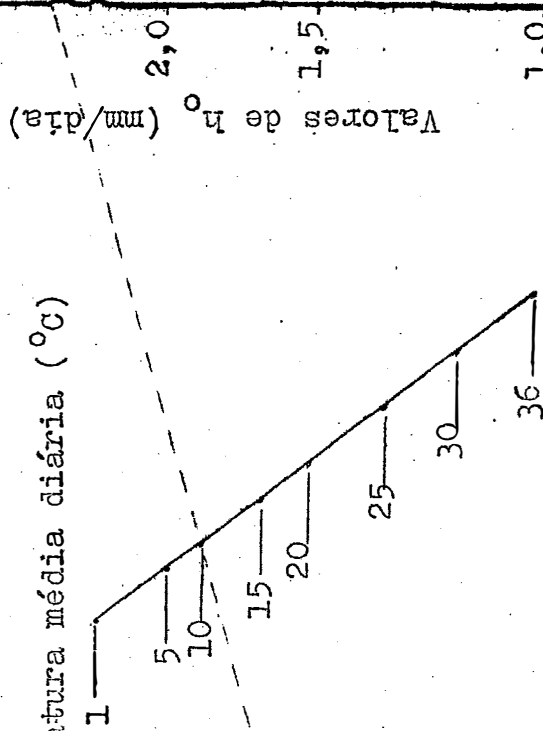
Exemplo de aplicação:

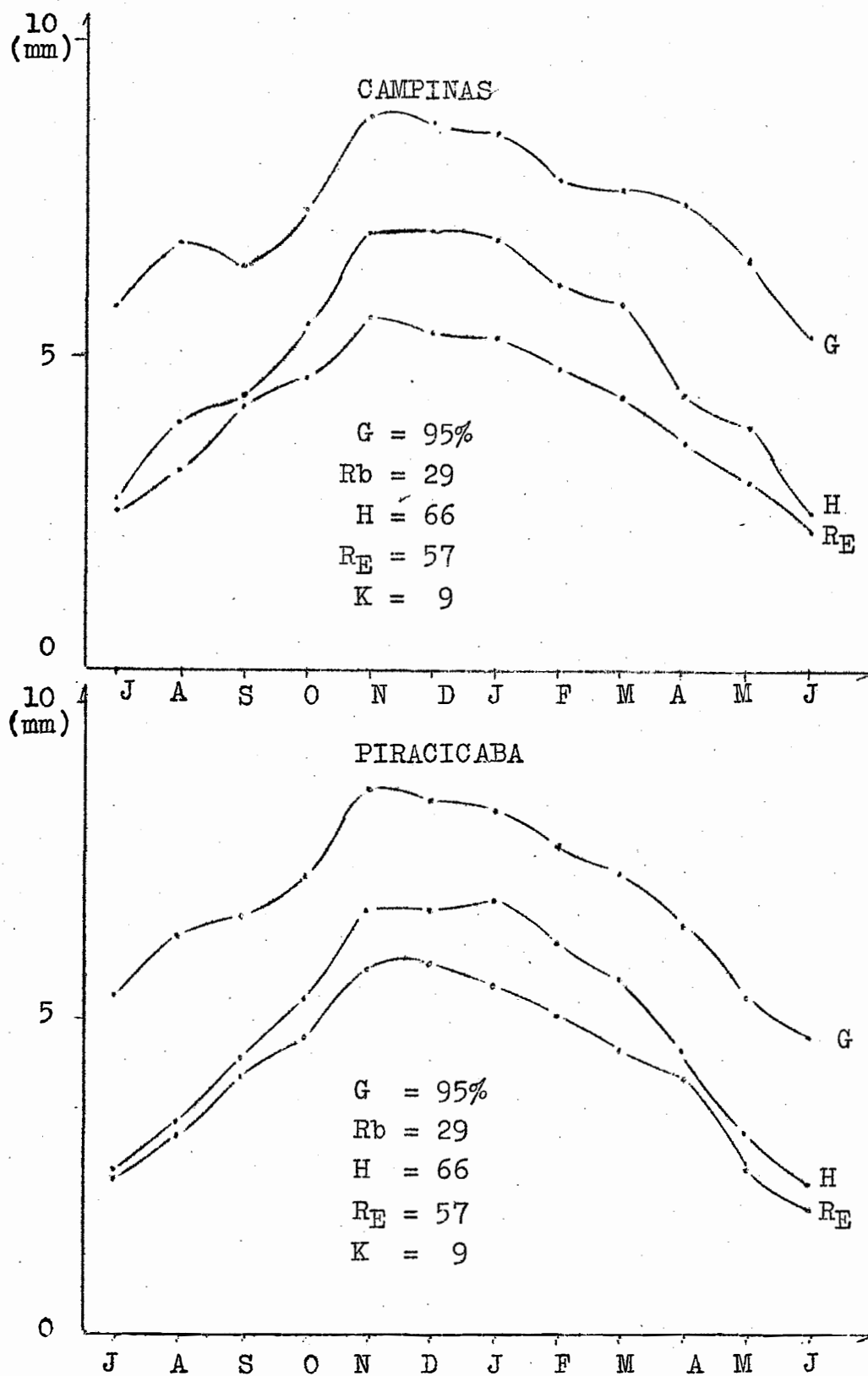
Para $RE_a = 5$ mm/dia, $t_a = 10^\circ C$ teremos $h_0 = 2,3$ mm/dia.

Temperatura média diária ($^\circ C$)

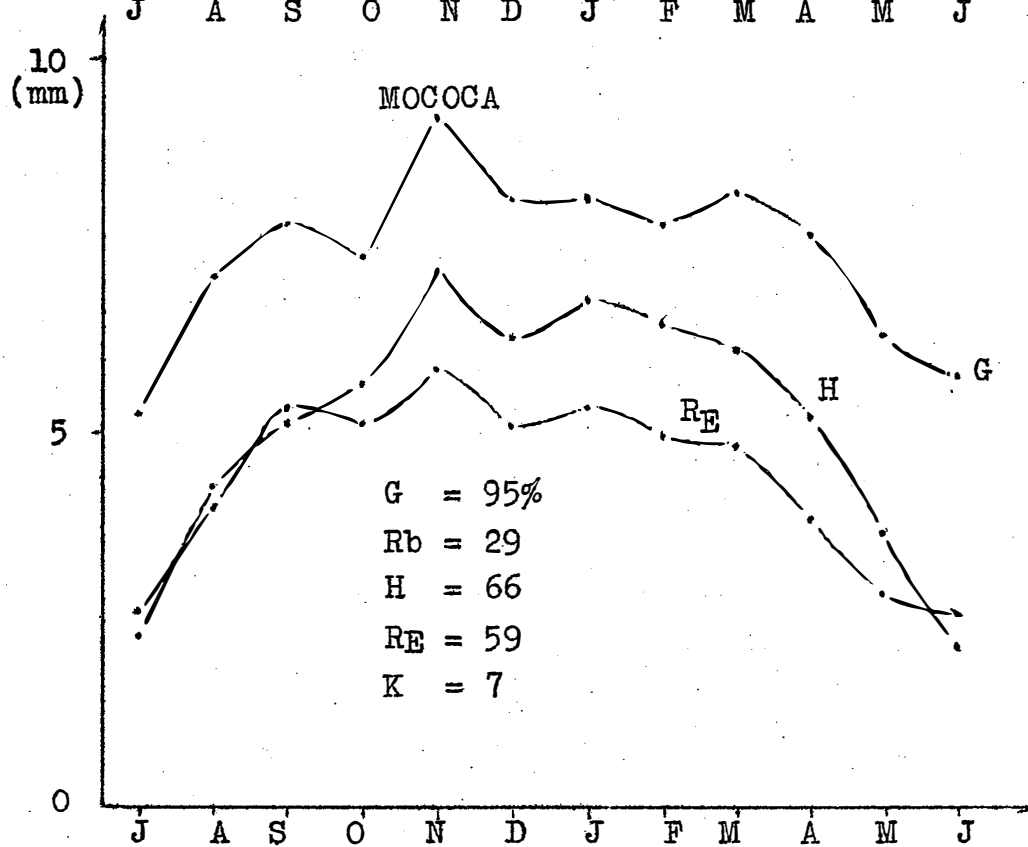
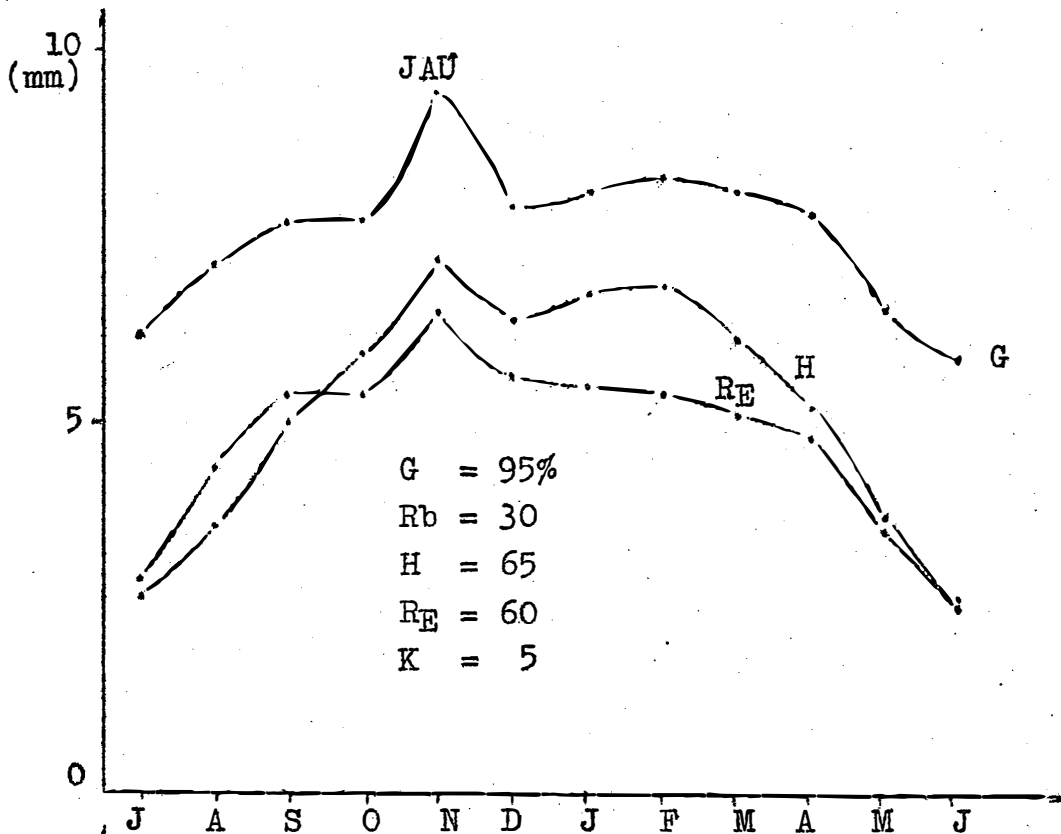
Valores de RE_a (mm/dia)

Valores de h_0 (mm/dia)

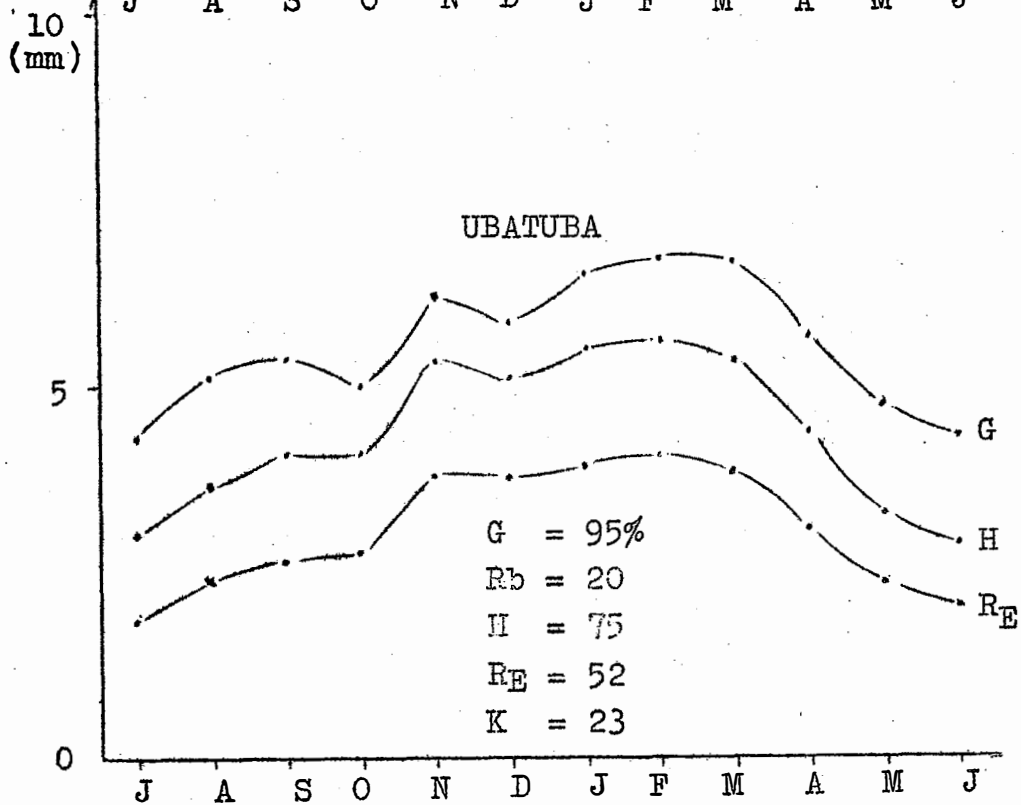
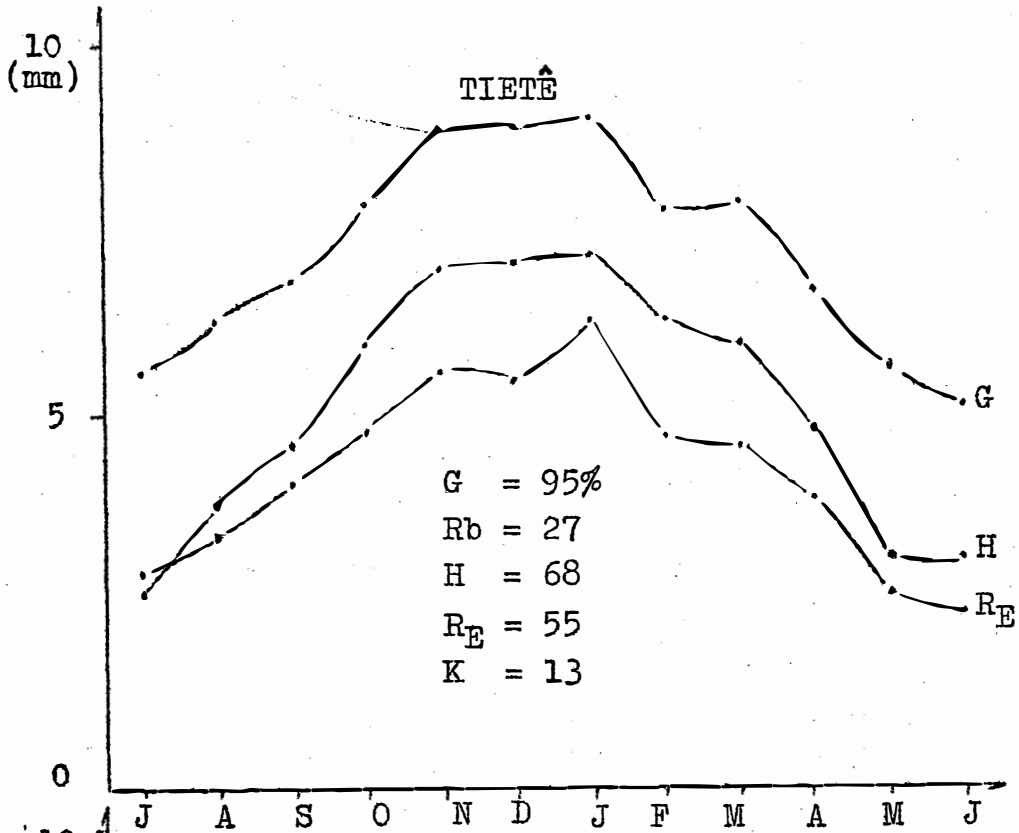




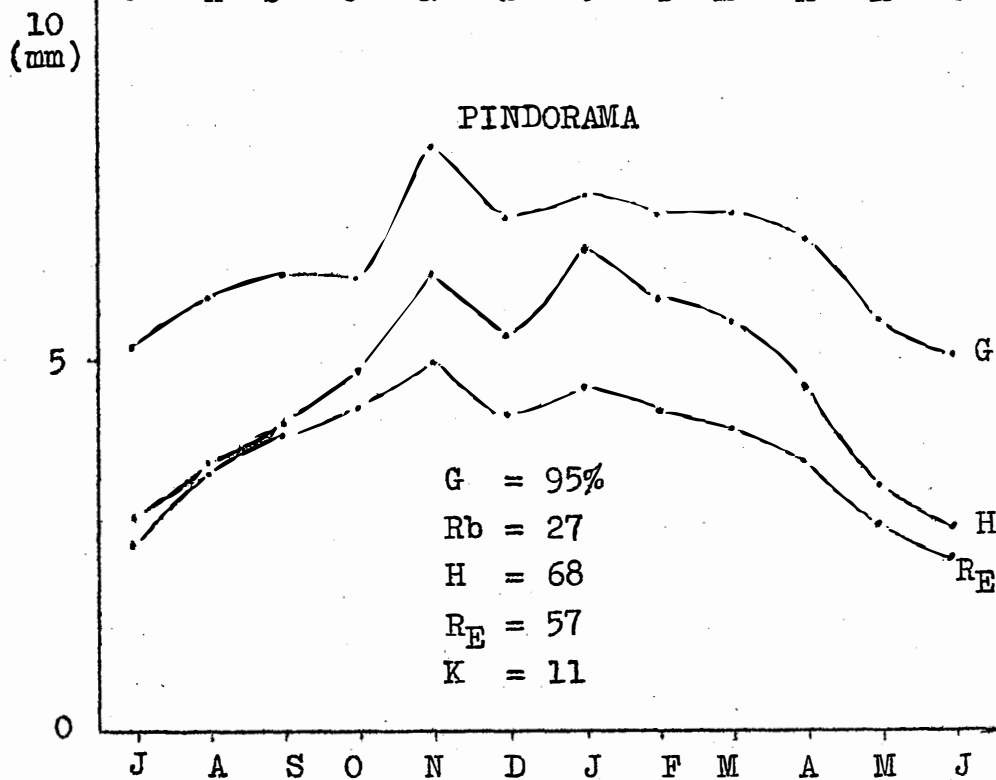
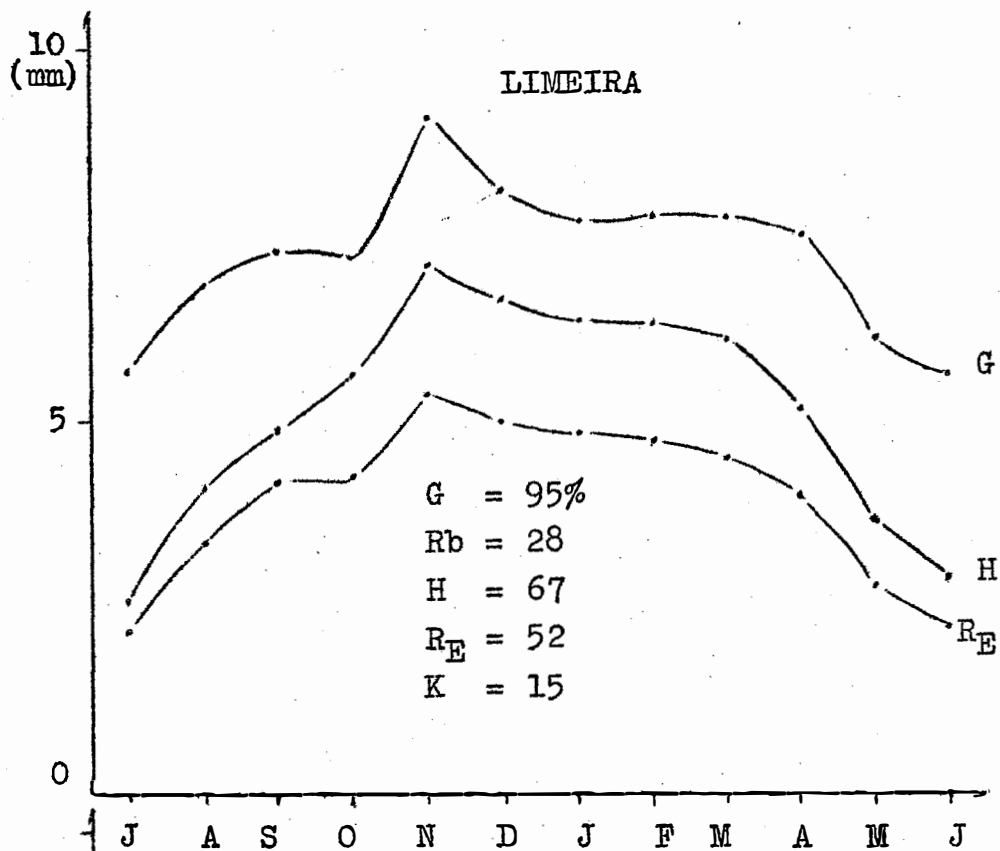
QUADRO XVI - Distribuição média anual dos elementos componentes do balanço de energia (% e mm).



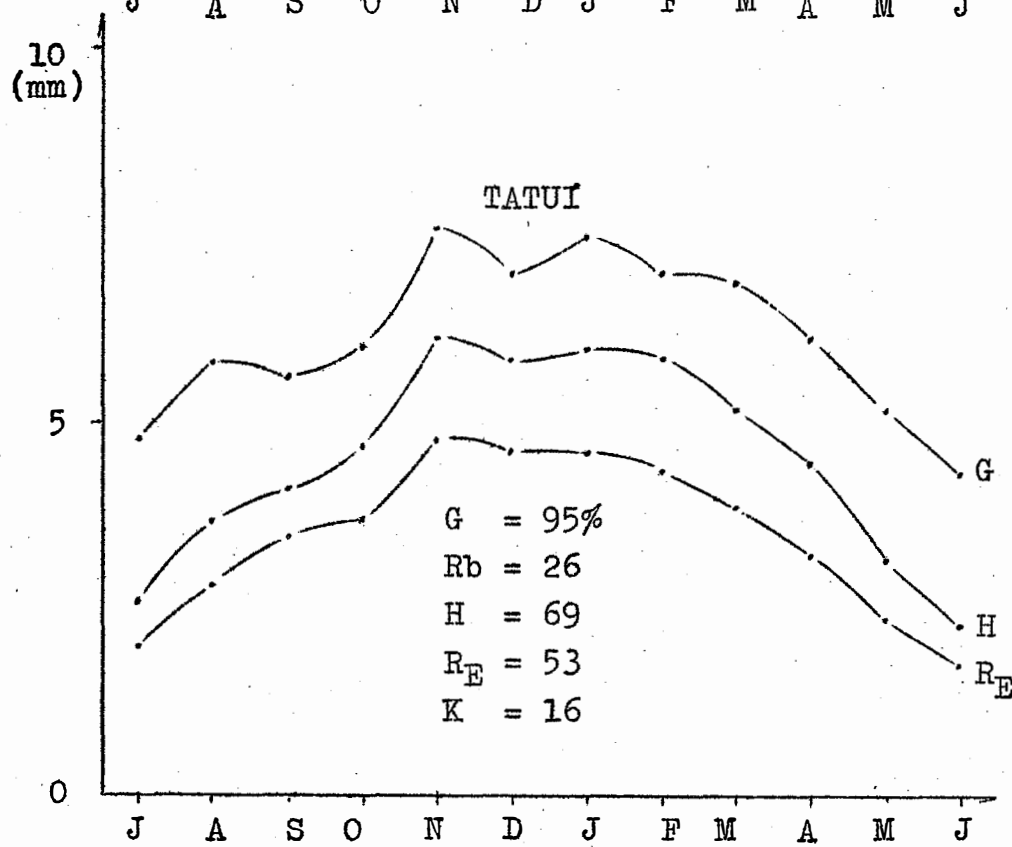
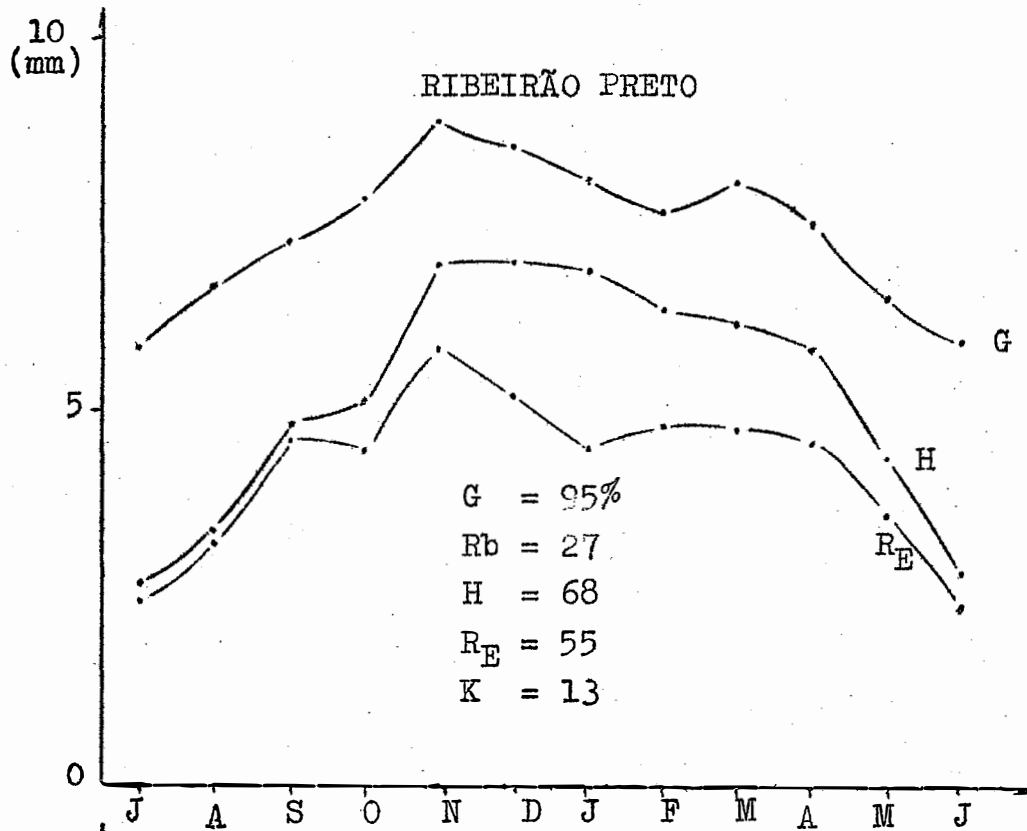
QUADRO XVI - Continuação



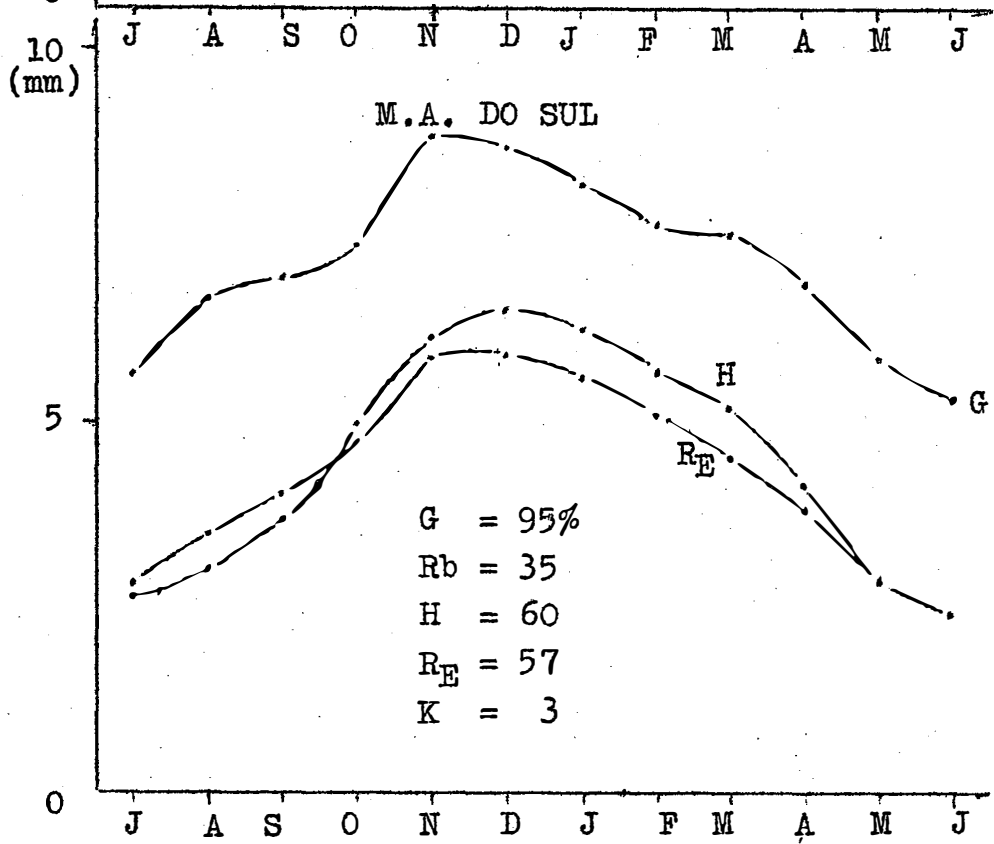
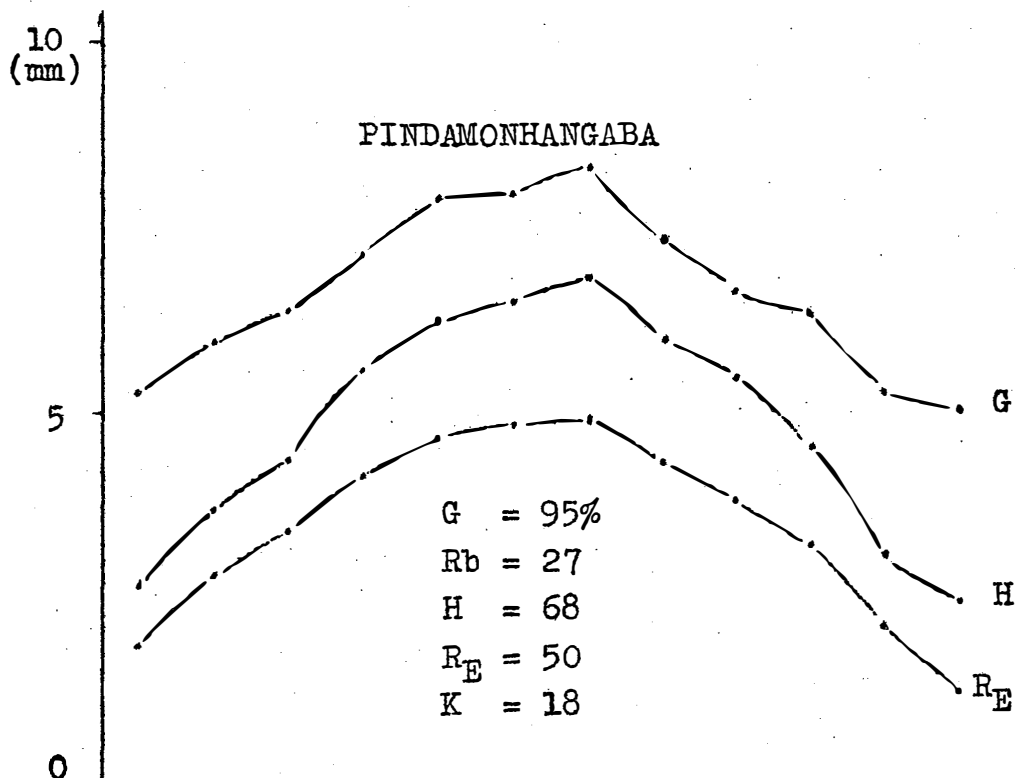
QUADRO XVI - Continuação



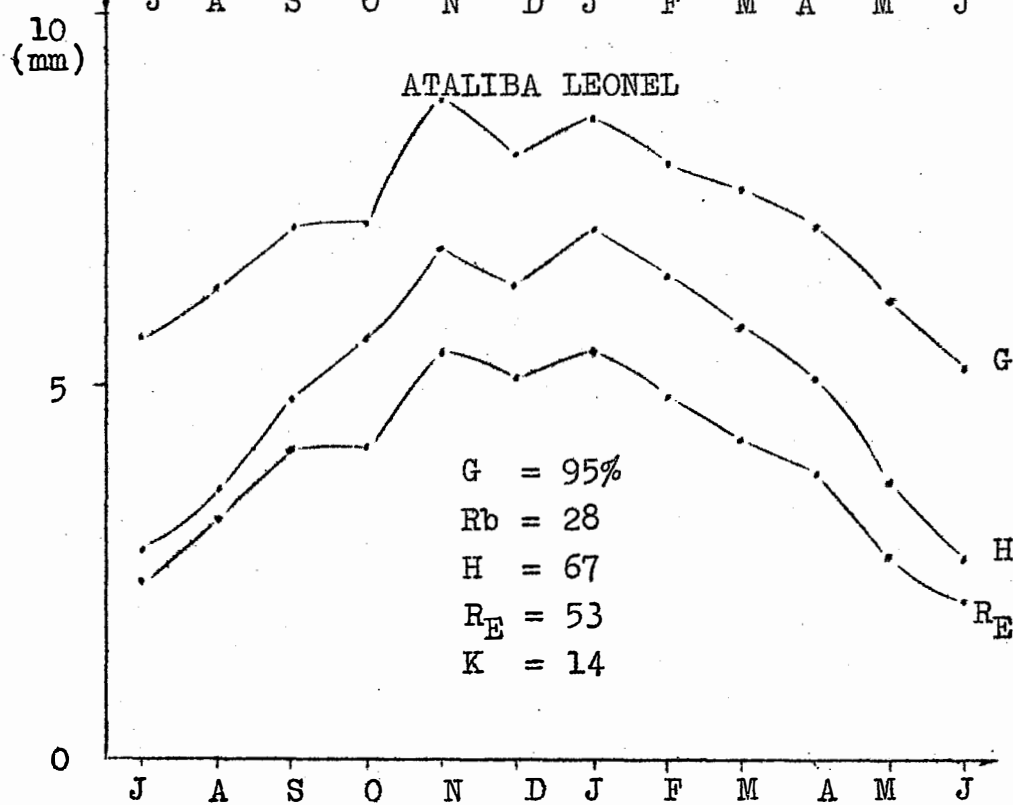
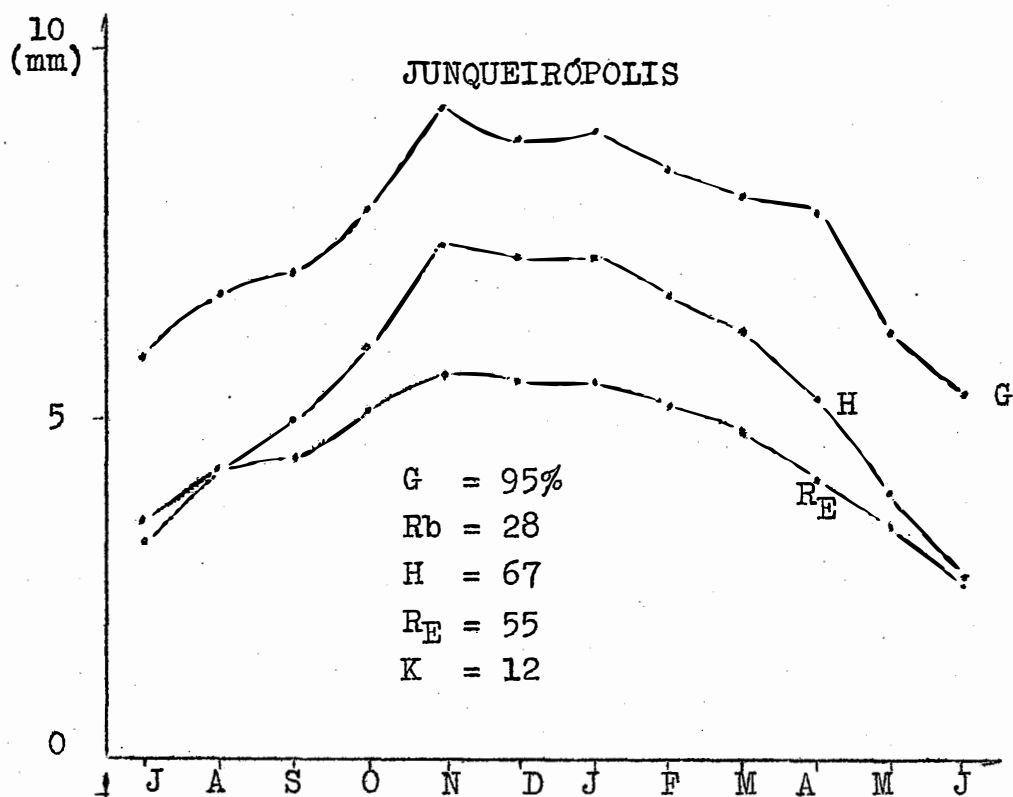
QUADRO XVI - Continuação



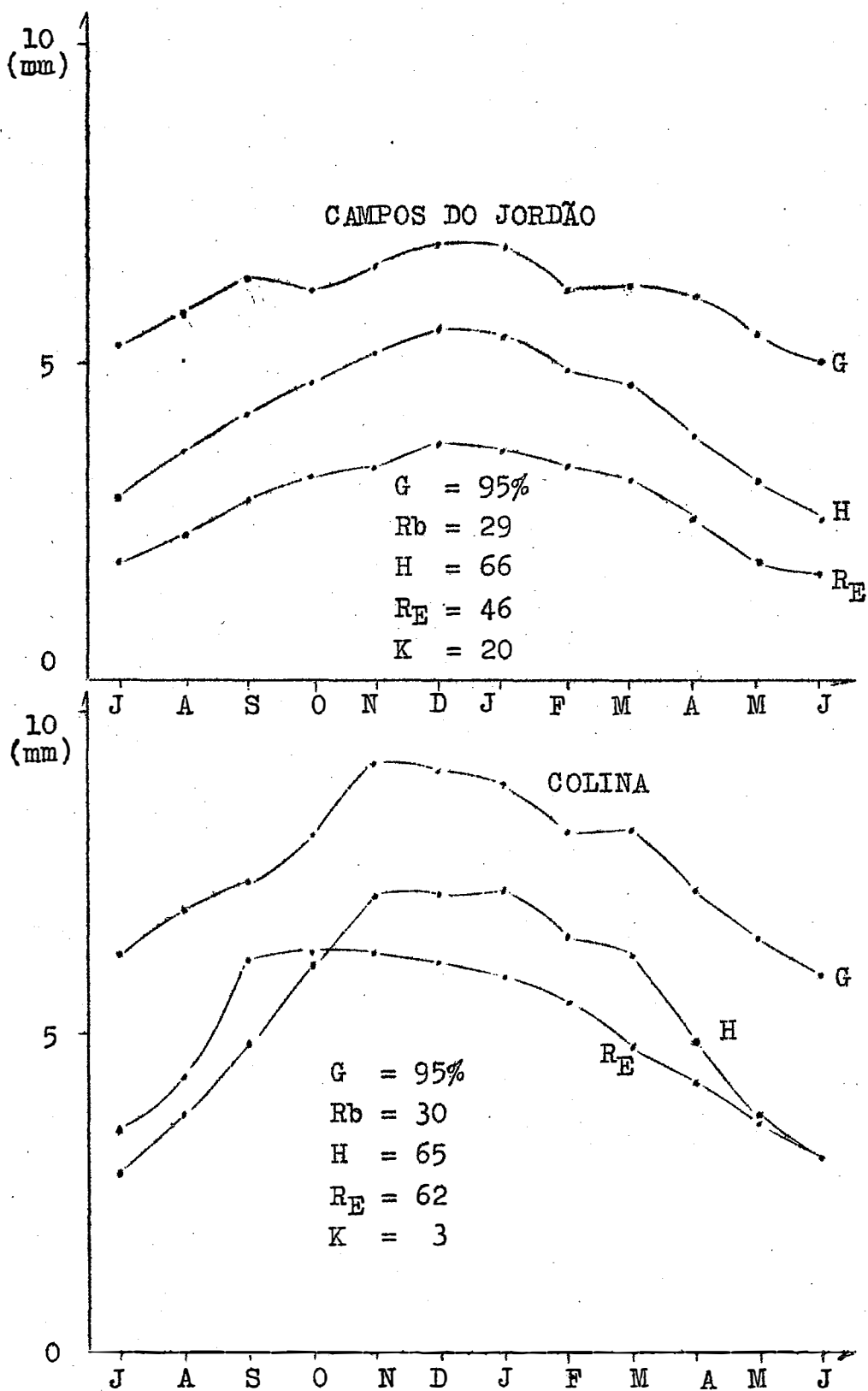
QUADRO XVI - Continuação



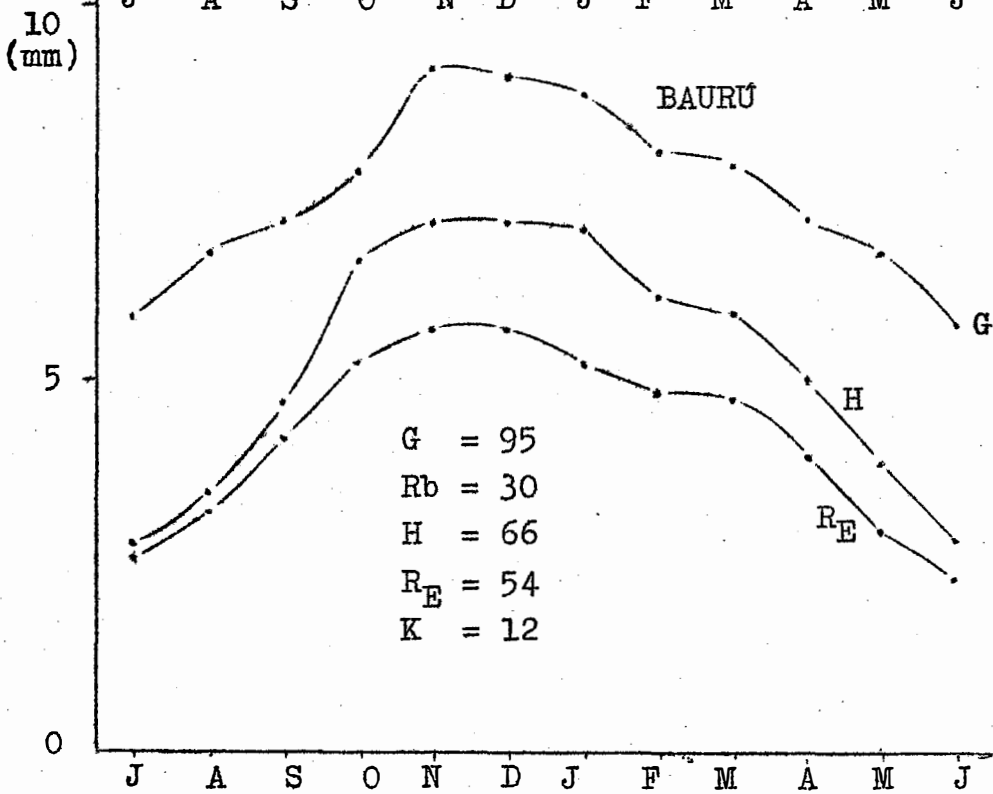
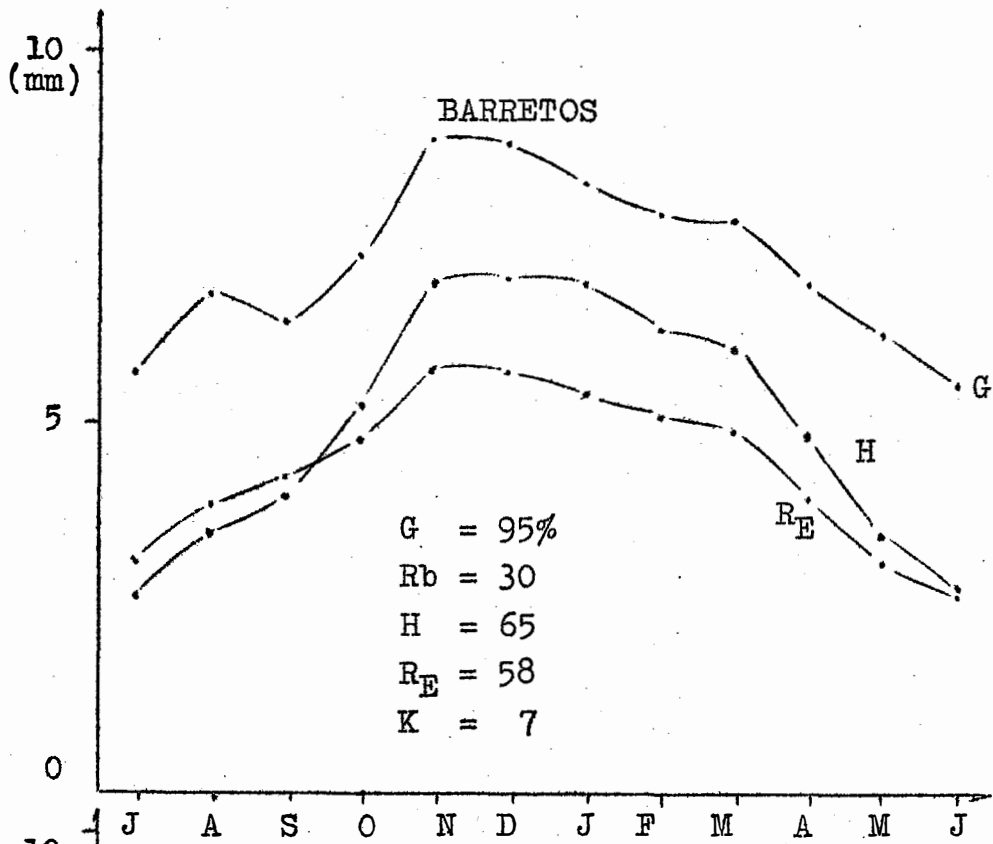
QUADRO XVI - Continuação



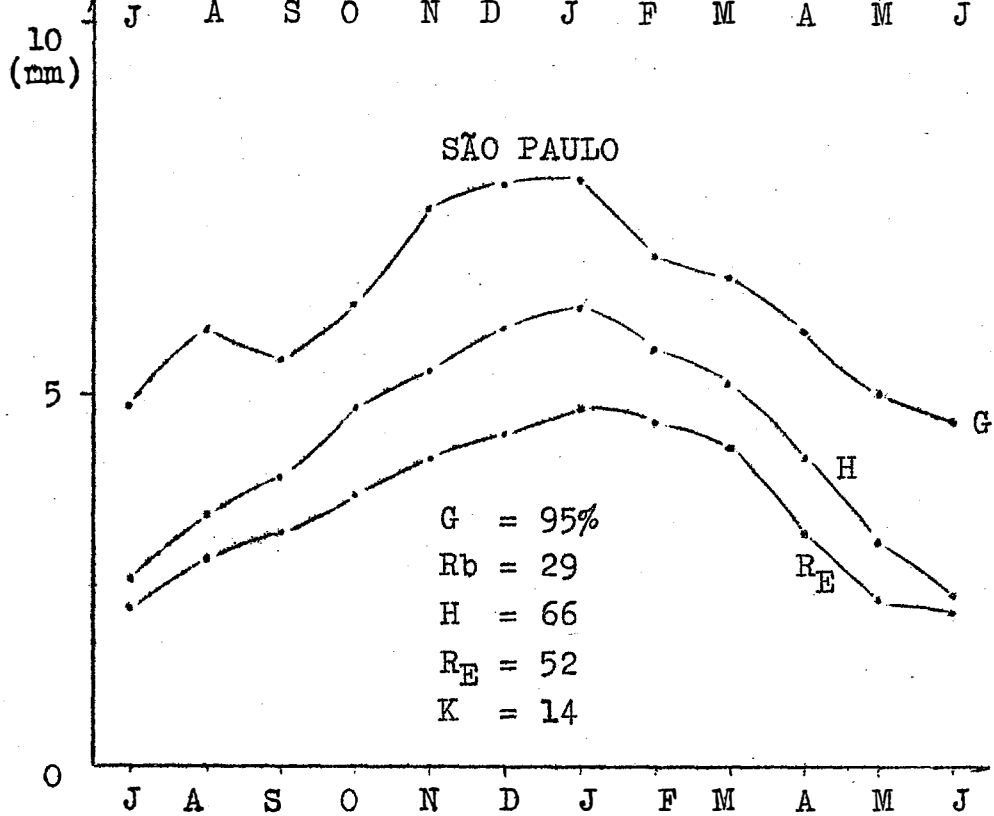
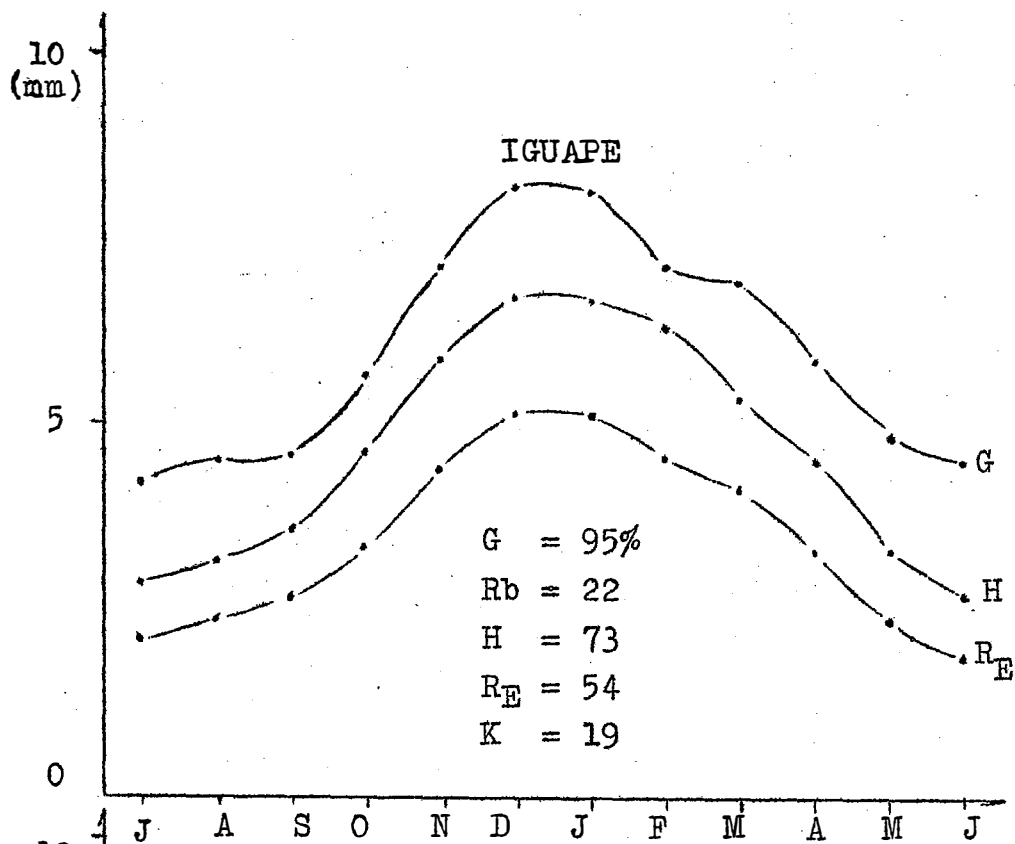
QUADRO XVI - Continuação



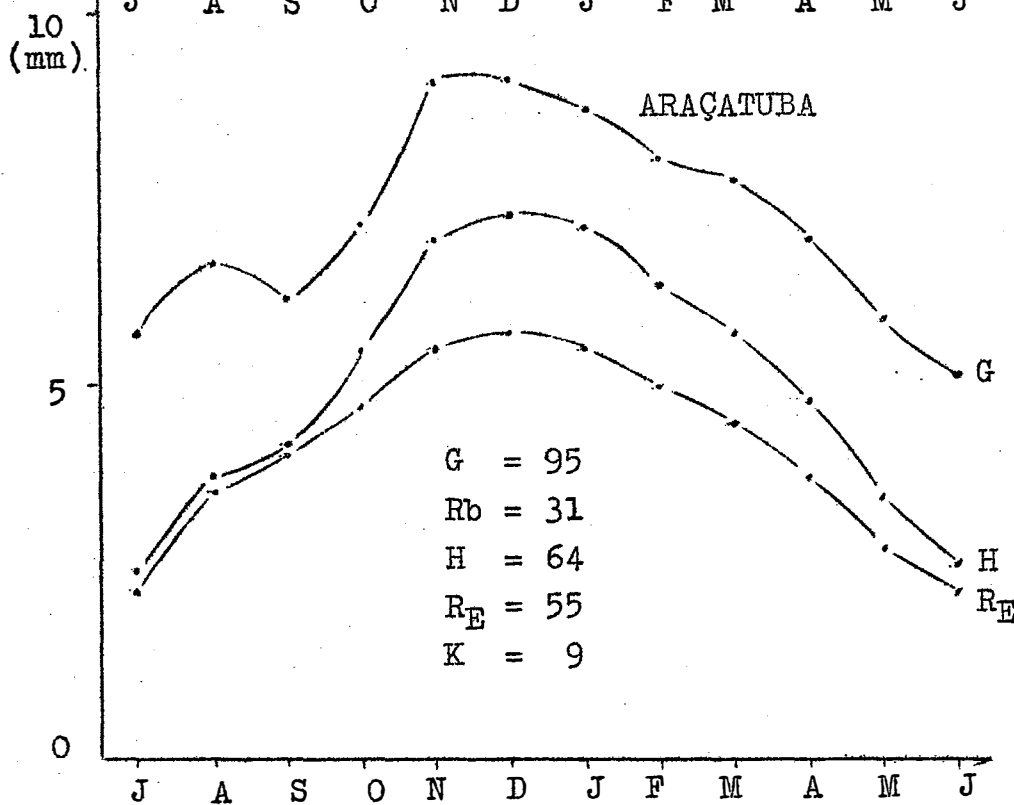
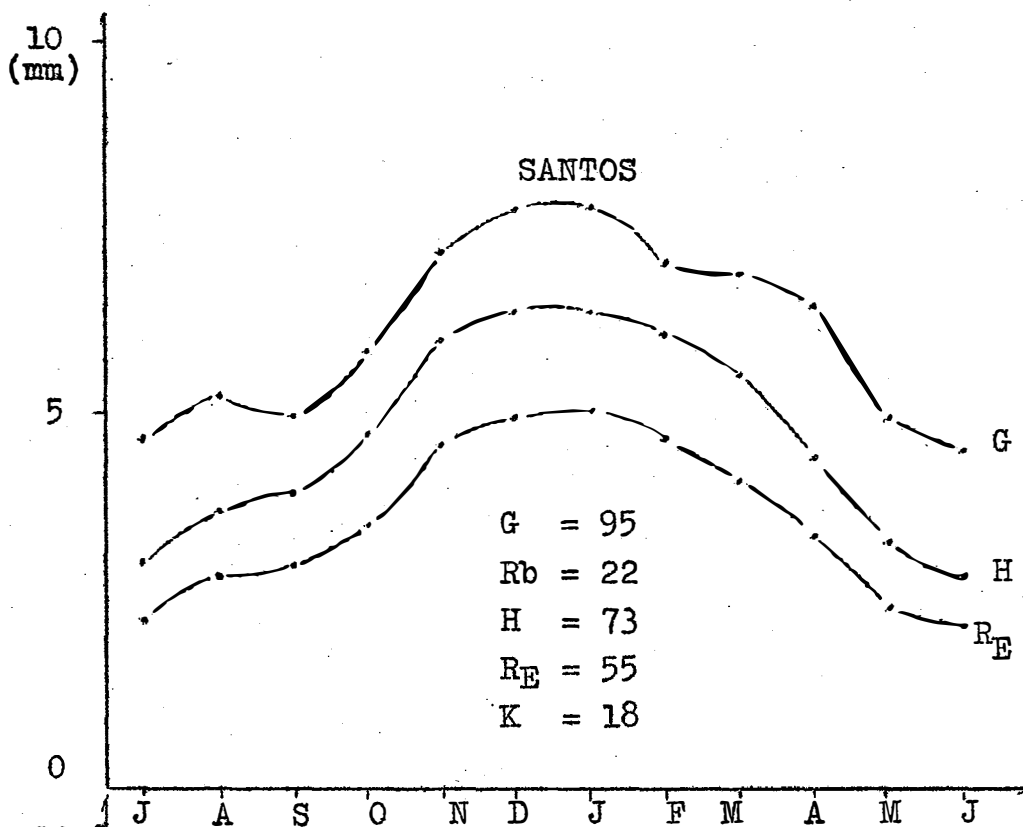
QUADRO XVI - Continuação



QUADRO XVI - Continuação

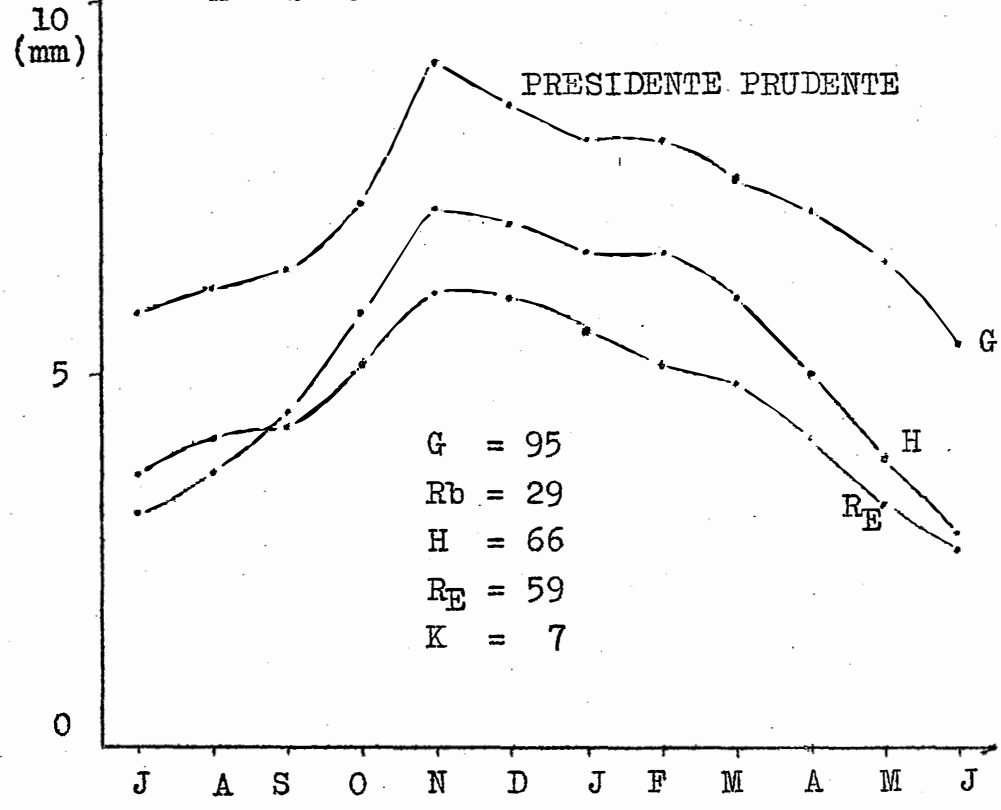
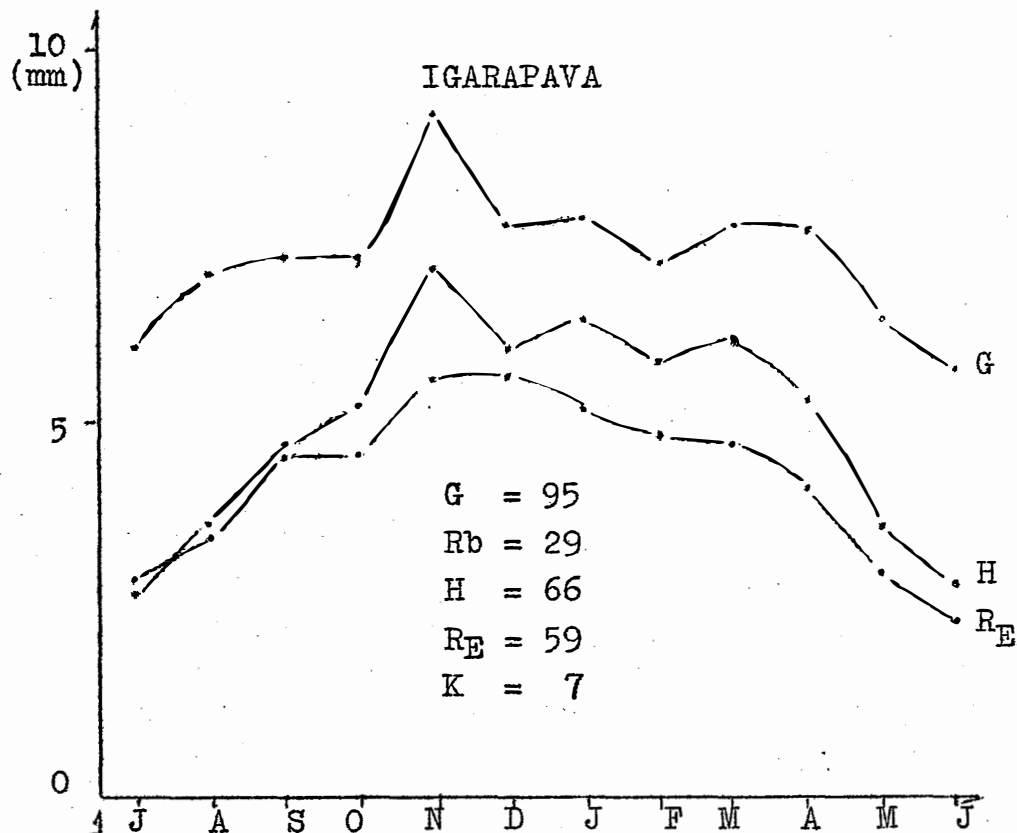


QUADRO XVI - Continuação



QUADRO XVI - Continuação

20841



QUADRO XVI - Continuação

QUADRO XVII - DISTRIBUIÇÃO ANUAL DOS VALORES MÉDIOS MENSAIS DOS COMPONENTES DO BALANÇO DE ENERGIA (mm/dia)

MESES	PIRACICABA				CAMPINAS				JAU				MOCOCA			
	G	H	K	RE	G	H	K	RE	G	H	K	RE	G	H	K	RE
Jan.	8,5	6,9	1,4	5,5	8,6	6,8	1,5	5,3	8,1	6,7	1,2	5,5	8,2	6,8	1,4	5,4
Fev.	7,8	6,3	1,2	5,1	7,8	6,1	1,3	4,8	8,4	6,8	1,4	5,4	7,9	6,5	1,5	5,0
Mar.	7,4	5,6	1,1	4,5	7,7	5,8	1,4	4,4	8,2	6,1	1,0	5,1	8,3	6,2	1,4	4,8
Abr.	6,4	4,5	0,4	4,1	6,9	4,4	0,8	3,6	7,8	5,3	0,5	4,8	7,7	5,3	1,4	3,9
Mai.	5,4	3,2	0,6	2,5	6,0	3,9	0,9	3,0	6,5	3,7	0,1	3,6	6,4	3,7	0,8	2,9
Jun.	4,8	2,4	0,4	2,0	5,3	2,5	0,3	2,2	5,8	2,5	-0,1	2,6	5,8	3,0	0,4	2,6
Jul.	5,4	2,6	0,1	2,5	5,8	2,7	0,2	2,5	6,1	2,7	-0,2	2,9	5,3	2,3	-0,3	2,6
Ago.	6,3	3,4	0,2	3,2	6,8	4,0	0,8	3,2	7,1	3,6	-0,8	4,4	7,1	4,3	0,2	4,1
Set.	6,5	4,4	0,3	4,1	6,5	4,4	0,0	4,4	7,7	5,0	-0,4	5,4	7,8	5,2	-0,2	5,4
Out.	7,3	5,3	0,6	4,7	7,4	5,5	0,8	4,7	7,7	5,9	0,5	5,4	7,4	5,7	0,5	5,2
Nov.	8,7	6,7	0,9	5,8	8,9	7,0	1,4	5,6	9,5	7,3	0,8	6,5	9,3	7,2	1,3	5,9
Dez.	8,5	6,7	0,8	5,9	8,8	7,0	1,6	5,4	8,0	6,4	0,7	5,7	8,2	6,3	1,2	5,1

QUADRO XVII -- DISTRIBUIÇÃO ANUAL DOS VALORES MÉDIOS MENSIS DOS COMPONENTES
DO BALANÇO DE ENERGIA (MWh/dia)

MESES	BARRETOS				BAURÚ				IGUAPE				SÃO PAULO			
	G	H	K	R _E	G	H	K	R _E	G	H	K	R _E	G	H	K	R _E
Jan.	8,3	6,8	1,4	5,4	8,9	7,0	1,7	5,3	8,1	6,6	1,5	5,1	7,9	6,3	1,5	4,8
Fev.	7,8	6,3	1,1	5,1	8,0	6,2	1,4	4,8	7,1	5,8	1,3	4,5	6,9	5,6	1,3	4,3
Mar.	7,7	6,0	1,1	4,9	7,9	5,9	1,2	4,7	6,9	5,4	1,3	4,1	6,6	5,1	1,2	3,9
Abr.	6,9	4,8	0,8	4,0	7,2	5,0	1,0	4,0	5,8	4,5	1,2	3,3	5,9	4,2	1,1	3,1
Mai.	6,2	3,5	0,4	3,1	6,7	3,9	0,9	3,0	4,8	3,3	0,9	2,4	5,0	3,0	0,7	2,3
Jun.	5,5	2,8	0,1	2,7	5,6	2,8	0,4	2,4	4,0	2,7	0,8	1,9	4,6	2,3	1,1	2,2
Jul.	5,6	2,6	-0,5	3,1	5,9	2,8	0,1	2,7	4,2	2,9	0,8	2,1	4,9	2,5	0,4	2,1
Ago.	6,7	3,5	-0,4	3,9	6,7	3,5	0,2	3,3	4,6	3,0	0,6	2,4	5,9	3,4	0,6	2,8
Set.	6,4	4,0	-0,3	4,3	7,1	4,7	0,4	4,3	4,6	3,6	0,9	2,7	5,5	3,9	0,7	3,2
Out.	7,4	5,3	0,5	4,8	7,8	6,6	1,3	5,3	5,7	4,6	1,2	3,4	6,4	4,8	1,1	3,7
Nov.	8,8	6,8	1,1	5,7	9,2	7,1	1,4	5,7	7,2	5,9	1,5	4,4	7,5	5,4	1,1	4,3
Dez.	8,7	6,9	1,3	5,6	9,1	7,1	1,4	5,7	8,2	6,7	1,6	5,1	7,9	5,9	1,4	4,5

QUADRO XVII - DISTRIBUIÇÃO ANUAL DOS VALORES MÉDIOS MENSIS DOS COMPONENTES DO BALANÇO DE ENERGIA (mm/dia)

MESES	TIETÉ				UBATUBA				PINDORAMA				LIMEIRA			
	G	H	K	R _E	G	H	K	R _E	G	H	K	R _E	G	H	K	R _E
Jan.	9,0	7,3	1,5	5,8	6,5	5,5	1,6	3,9	7,1	6,0	1,4	4,6	7,7	6,4	1,6	4,8
Fev.	7,8	6,4	1,7	4,7	6,7	5,6	1,5	4,1	7,0	5,8	1,4	4,4	7,8	6,3	1,6	4,7
Mar.	7,8	6,0	1,4	4,6	6,7	5,4	1,6	3,8	7,0	5,5	1,3	4,2	7,8	6,1	1,6	4,5
Abr.	6,7	4,8	0,9	3,9	5,6	4,4	1,3	3,1	6,6	4,6	0,9	3,7	7,5	5,2	1,2	4,0
Mai.	5,6	3,1	0,5	2,6	4,8	3,3	0,9	2,4	5,4	3,3	0,5	2,8	6,1	3,6	0,8	2,8
Jun.	5,2	3,1	0,7	2,4	4,4	2,9	0,9	2,0	5,1	2,7	0,3	2,4	5,5	2,9	0,7	2,2
Jul.	5,5	2,6	-0,3	2,9	4,4	3,0	1,1	1,9	5,2	2,9	0,4	2,5	5,6	2,6	0,4	2,2
Ago.	6,3	3,8	0,4	3,4	5,1	3,6	1,2	2,4	5,9	3,6	0,0	3,6	6,8	4,1	0,7	3,4
Set.	6,8	4,6	0,5	4,1	5,4	4,1	1,4	2,7	6,2	4,2	0,1	4,1	7,4	4,9	0,7	4,2
Out.	7,9	6,0	1,2	4,8	5,0	4,1	1,3	2,8	6,2	4,9	0,5	4,4	7,3	5,6	1,3	4,3
Nov.	8,9	7,0	1,4	5,6	6,3	5,4	1,6	3,8	7,9	6,2	1,2	5,0	9,1	7,1	1,7	5,4
Dez.	8,9	7,1	1,6	5,5	6,0	5,2	1,5	3,7	6,9	5,4	1,1	4,3	8,1	6,6	1,6	5,0

QUADRO XVII - DISTRIBUIÇÃO ANUAL DOS VALORES MÉDIOS MENSIAIS DOS COMPONENTES DO BALANÇO DE ENERGIA (mm/dia)

MESES	SANTOS				ARAÇATUBA				IGARAPAVA				PRES. PRUDENTE			
	G	H	K	R _E	G	H	K	R _E	G	H	K	R _E	G	H	K	R _E
Jan.	7,7	6,4	1,4	5,0	8,7	7,1	1,6	5,5	7,8	6,4	1,2	5,2	8,2	6,7	1,1	5,6
Fev.	7,0	6,0	1,4	4,6	8,0	6,4	1,4	5,0	7,0	5,8	0,9	4,9	8,3	6,7	1,5	5,2
Mar.	6,9	5,5	1,4	4,1	7,7	5,7	1,2	4,5	7,7	6,1	1,4	4,7	7,6	6,0	1,1	4,9
Abr.	5,9	4,4	1,0	3,4	7,0	4,8	1,0	3,8	7,6	5,3	1,2	4,1	7,2	5,0	0,8	4,2
Mai.	4,9	3,3	0,9	2,4	6,0	3,5	0,6	2,9	6,4	3,6	0,6	3,0	6,0	3,9	0,6	3,3
Jun.	4,5	2,8	0,7	2,1	5,2	2,6	0,4	2,2	5,7	2,9	0,5	2,4	5,4	2,9	0,2	2,7
Jul.	4,6	3,0	0,8	2,2	5,7	2,5	0,2	2,3	6,0	2,7	-0,2	2,9	5,8	3,1	-0,5	3,6
Ago.	5,3	3,7	0,9	2,8	6,6	3,8	0,2	3,6	7,0	3,6	0,1	3,5	6,2	3,7	-0,4	4,1
Set.	5,0	3,0	1,0	2,9	6,2	4,2	0,1	4,1	7,2	4,7	0,1	4,6	6,4	4,5	0,1	4,4
Out.	5,8	4,7	1,2	3,5	7,2	5,5	0,8	4,7	7,2	5,3	0,7	4,6	7,3	5,8	0,7	5,1
Nov.	7,2	6,0	1,4	4,6	9,1	7,0	1,5	5,5	9,1	7,1	1,5	5,6	9,2	7,3	1,2	6,1
Dez.	7,7	6,4	1,5	4,9	9,3	7,3	1,6	5,7	7,6	6,0	0,3	5,7	8,6	7,0	1,0	6,0

QUADRO XVII - DISTRIBUIÇÃO ANUAL DOS VALORES MÉDIOS MENSIAIS DOS COMPONENTES DO BALANÇO DE ENERGIA (mm/dia.)

MESES	TATUI				RIB. PRETO				PINDAMONHANGABA				M.A. DO SUL			
	G	H	K	R _E	G	H	K	R _E	G	H	K	R _E	G	H	K	R _E
Jan.	7,5	6,0	1,4	4,6	8,2	6,9	2,4	4,5	8,3	6,8	1,9	4,9	8,3	6,3	0,7	5,6
Fev.	7,0	5,8	1,4	4,4	7,7	6,4	1,6	4,8	7,3	6,0	1,6	4,4	7,6	5,7	0,5	5,2
Mar.	7,0	5,3	1,4	3,9	8,0	6,2	1,5	4,7	7,2	5,5	1,6	3,9	7,5	5,3	0,8	4,5
Abr.	6,2	4,5	1,2	3,3	7,0	5,8	1,2	4,6	6,4	4,6	1,3	3,3	6,8	4,1	0,3	3,8
Mai.	5,2	3,2	0,8	2,4	6,0	4,4	0,8	3,6	5,3	3,1	0,9	2,2	5,8	2,9	0,1	2,8
Jun.	4,4	2,3	0,6	1,7	5,5	2,8	0,4	2,4	5,2	2,5	0,7	1,8	5,3	2,4	-0,1	2,5
Jul.	4,8	2,6	0,6	2,0	5,8	2,7	0,2	2,5	5,3	2,6	0,7	1,9	5,6	2,6	-0,2	2,8
Ago.	5,9	3,7	0,9	2,8	6,6	3,4	0,0	3,4	6,0	3,7	0,9	2,8	6,6	3,0	-0,5	3,5
Set.	5,7	4,1	0,6	3,5	7,3	4,8	0,1	4,7	6,4	4,4	1,0	3,4	6,9	3,7	-0,3	4,0
Out.	6,0	4,7	1,0	3,7	8,0	5,1	0,6	4,5	7,2	5,6	1,4	4,2	7,4	5,0	0,2	4,8
Nov.	7,6	6,1	1,3	4,8	9,0	7,0	1,2	5,8	7,9	6,3	1,6	4,7	8,8	6,1	0,2	5,9
Dez.	7,1	5,8	1,2	4,6	8,6	7,0	1,7	5,3	8,0	6,5	1,7	4,8	8,7	6,5	0,6	5,9

QUADRO XVII -- DISTRIBUIÇÃO ANUAL DOS VALORES MÉDIOS MENSIAIS DOS COMPONENTES DO BALANÇO DE ENERGIA (mm/dia).

MESES	JUNQUEIROPOLIS				ATALIBA LEONEL				CAMPOS DO JORDÃO				COLINA			
	G	H	K	R _E	G	H	K	R _E	G	H	K	R _E	G	H	K	R _E
Jan.	8,9	7,2	1,7	5,5	8,6	7,1	1,6	5,5	6,7	5,4	1,8	3,6	8,9	7,3	1,4	5,9
Fev.	8,4	6,7	1,5	5,2	8,0	6,5	1,6	4,9	6,1	4,9	1,5	3,4	8,2	6,5	1,0	5,5
Mar.	8,0	6,2	1,3	4,9	7,7	5,8	1,5	4,3	6,3	4,7	1,5	3,2	8,3	6,3	1,0	5,3
Abr.	7,7	5,3	1,0	4,3	7,2	5,1	1,3	3,8	6,0	3,9	1,4	2,5	7,2	4,9	0,6	4,3
Mai.	6,3	3,5	0,4	3,1	6,1	3,7	1,0	2,7	5,5	3,1	1,2	1,9	6,5	3,7	0,1	3,6
Jun.	5,5	2,4	0,0	2,4	5,2	2,6	0,5	2,1	5,0	2,5	0,8	1,7	5,9	3,0	-0,1	3,1
Jul.	5,8	3,1	0,2	2,9	5,6	2,8	0,4	2,4	5,3	2,9	1,0	1,9	6,3	2,8	-0,7	3,5
Ago.	6,7	3,8	0,0	3,8	6,3	3,6	0,4	3,2	5,8	3,6	1,3	2,3	7,1	3,7	-1,0	4,7
Set.	7,0	5,0	0,5	4,5	7,1	4,8	0,6	4,2	6,4	4,3	1,5	2,8	7,4	4,8	-1,3	6,1
Out.	7,9	6,0	0,9	5,1	7,3	5,6	1,0	4,6	6,2	4,7	1,5	3,2	8,1	6,1	-0,1	6,2
Nov.	9,2	7,4	1,8	5,6	8,9	6,9	1,4	5,5	6,5	5,1	1,7	3,4	9,3	7,2	0,9	6,3
Dez.	8,8	7,2	1,7	5,5	8,1	6,4	1,3	5,1	6,8	5,5	1,8	3,7	9,1	7,2	1,1	6,1

QUADRO XVIII - RELAÇÃO (Z) ENTRE VALORES MENSAIS MÉDIOS DE E_e ESTIMADOS PELO MÉTODO DE PENMAN E MEDIDOS PELO TANQUE CLASSE A (E_m), NO PERÍODO DE 1961 A 1966 EM PIRACICABA.

Meses	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.
Evap. Estim. (E_e)	77	99	123	146	174	183	170	153	140	123	81	60
Evap. Medid. (E_m)	100	134	160	147	190	184	190	163	161	129	96	65
$Z = \frac{E_e}{E_m}$	0,77	0,74	0,77	0,99	0,91	0,99	0,89	0,94	0,87	0,95	0,84	0,92
Médias	Z = 0,76				Z = 0,92							

QUADRO XIX - RELAÇÃO (f) ENTRE OS VALORES MENSAIS MÉDIOS DE E_e ESTIMADOS PELO MÉTODO DE PENMAN (1961-1966) E MEDIDOS POR EVAPOTRANSPIROMETROS (ET) (1956-1959) EM CAMPINAS.

Meses	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.
Evap. Estim. (E_e)	50	40	42	56	62	95	104	109	120	102	101	76
Evap. Medid. (E_T)	93	66	77	99	132	146	168	167	164	144	136	108
$f = \frac{E_e}{E_T}$	0,54	0,61	0,55	0,57	0,47	0,67	0,62	0,65	0,73	0,71	0,74	0,70
Médias	f = 0,55						f = 0,69					

TABELA Nº 1 - RADIAÇÃO SOLAR RECEBIDA NA AUSENCIA DA ATMOSFERA, EM MILÍMETROS DE EVAPORAÇÃO EQUIVALENTE, NO 15º DIA DE CADA MÊS, PARA LATITUDES DE 10º NORTE E 40º SUL (VALORES DE Q₀).

Latit.	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.
10° N	12,9	13,8	14,8	15,0	14,8	14,7	14,8	14,9	14,7	14,0	13,0	12,4
8° N	13,2	14,1	14,9	14,9	14,6	14,5	14,6	14,8	14,8	14,2	13,3	12,7
6° N	13,5	14,3	14,9	14,8	14,4	14,2	14,4	14,6	14,8	14,4	13,6	13,1
2° N	14,1	14,7	15,0	14,6	14,0	13,6	13,8	14,3	14,8	14,7	14,2	13,8
Equador	14,4	14,9	15,0	14,5	13,7	13,3	13,5	14,1	14,7	14,8	14,5	14,1
2° S	14,6	15,0	15,0	14,4	13,4	13,0	13,2	13,9	14,7	14,9	14,8	14,4
4° S	14,9	15,2	15,0	14,2	13,2	12,7	12,8	13,7	14,6	15,0	15,0	14,8
6° S	15,2	15,3	15,0	14,0	12,8	12,4	12,6	13,5	14,6	15,2	15,2	15,1
8° S	15,4	15,4	14,9	13,8	12,5	12,0	12,2	13,2	14,5	15,2	15,4	15,3
10° S	15,6	15,6	14,8	13,6	12,2	11,6	11,9	13,0	14,4	15,2	15,5	15,6
12° S	15,9	15,6	14,7	13,4	11,8	11,2	11,6	12,8	14,2	15,2	15,7	15,8
14° S	16,1	15,7	14,6	13,1	11,5	10,8	11,2	12,5	14,2	15,3	15,9	16,0
16° S	16,2	15,8	14,5	12,8	11,2	10,4	10,8	12,2	14,0	15,3	16,0	16,2
18° S	16,4	15,8	14,4	12,6	10,8	10,0	10,5	11,9	13,8	15,3	16,2	16,5
20° S	16,6	15,8	14,2	12,2	10,4	9,6	10,1	11,6	13,6	15,2	16,3	16,7
22° S	16,8	15,8	14,0	11,9	10,0	9,2	9,7	11,2	13,4	15,2	16,4	16,8
24° S	16,8	15,8	13,8	11,6	9,6	8,8	9,3	10,9	13,2	15,2	16,4	17,0
26° S	16,9	15,7	13,6	11,2	9,2	8,4	8,8	10,6	12,9	15,1	16,5	17,2
28° S	17,0	15,6	13,4	10,9	8,8	7,8	8,4	10,2	12,6	15,0	16,6	17,3
30° S	17,0	15,6	13,2	10,5	8,4	7,4	8,0	9,8	12,4	14,8	16,6	17,4
32° S	17,1	15,4	13,0	10,1	8,0	6,9	7,6	9,4	12,1	14,7	16,6	17,5
34° S	17,1	15,3	12,6	9,8	7,6	6,4	7,0	9,0	11,8	14,6	16,6	17,6
36° S	17,1	15,2	12,4	9,4	7,1	6,0	6,6	8,6	11,4	14,4	16,6	17,6
38° S	17,1	15,0	12,1	9,0	6,6	5,6	6,2	8,2	11,0	14,2	16,5	17,7
40° S	17,0	14,9	11,7	8,6	6,1	5,0	5,7	7,8	10,7	14,0	16,4	17,7

Fonte: Dados interpolados e convertidos a milímetros de: CAMARGO, A.P. em "Contribuição para determinação da evapotranspiração potencial no Estado de São Paulo".

TABELA Nº 2 - DURAÇÃO MÁXIMA DA INSOLAÇÃO DIÁRIA EM HORAS,
 NOS VÁRIOS MESES DO ANO E LATITUDES DE 10° NORTE E 40°
 SUL. OS VALORES CORRESPONDEM AO 15º DIA DE CADA MÊS.

Latit.	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.
10° N	11,6	11,8	12,1	12,4	12,6	12,7	12,6	12,4	12,2	11,9	11,7	11,5
8° N	11,7	11,9	12,1	12,3	12,5	12,6	12,5	12,4	12,2	12,0	11,8	11,6
6° N	11,8	11,9	12,1	12,3	12,4	12,5	12,4	12,3	12,2	12,0	11,9	11,7
4° N	11,9	12,0	12,1	12,2	12,3	12,4	12,3	12,2	12,0	12,0	11,9	11,9
2° N	12,0	12,0	12,1	12,2	12,2	12,2	12,2	12,2	12,1	12,1	12,0	12,0
Equador	12,1	12,1	12,1	12,1	12,1	12,1	12,1	12,1	12,1	12,1	12,1	12,1
2° S	12,2	12,2	12,1	12,1	12,0	12,0	12,0	12,0	12,1	12,1	12,2	12,2
4° S	12,3	12,2	12,1	12,0	11,9	11,8	11,9	12,0	12,1	12,2	12,3	12,4
6° S	12,4	12,3	12,1	12,0	11,9	11,7	11,8	11,9	12,1	12,2	12,4	12,5
8° S	12,5	12,4	12,1	11,9	11,7	11,6	11,7	11,9	12,1	12,3	12,5	12,6
10° S	12,6	12,4	12,1	11,9	11,7	11,5	11,6	11,8	12,0	12,3	12,6	12,7
12° S	12,7	12,5	12,2	11,8	11,6	11,4	11,5	11,7	12,0	12,4	12,7	12,8
14° S	12,8	12,6	12,2	11,8	11,5	11,3	11,4	11,6	12,0	12,4	12,8	12,9
16° S	13,0	12,7	12,2	11,7	11,4	11,2	11,2	11,6	12,0	12,4	12,9	13,1
18° S	13,1	12,7	12,2	11,7	11,3	11,1	11,1	11,5	12,0	12,5	13,0	13,2
20° S	13,2	12,8	12,2	11,6	11,2	10,9	11,0	11,4	12,0	12,5	13,2	13,3
22° S	13,4	12,8	12,2	11,6	11,1	10,8	10,9	11,3	12,0	12,6	13,2	13,5
24° S	13,5	12,9	12,3	11,5	10,9	10,7	10,8	11,2	11,9	12,6	13,3	13,6
26° S	13,6	12,9	12,3	11,5	10,8	10,5	10,7	11,2	11,9	12,7	13,4	13,8
28° S	13,7	13,0	12,3	11,4	10,7	10,4	10,6	11,1	11,9	12,8	13,5	13,9
30° S	13,9	13,1	12,3	11,4	10,6	10,2	10,4	11,0	11,9	12,8	13,6	14,1
32° S	14,0	13,2	12,3	11,3	10,5	10,0	10,3	10,9	11,9	12,9	13,7	14,2
34° S	14,2	13,3	12,3	11,3	10,3	9,8	10,1	10,9	11,9	12,9	13,9	14,4
36° S	14,3	13,4	12,4	11,2	10,2	9,7	10,0	10,7	11,9	13,0	14,0	14,6
38° S	14,5	13,5	12,4	11,1	10,1	9,5	9,8	10,6	11,8	13,1	14,2	14,8
40° S	14,7	13,6	12,4	11,1	9,9	9,3	9,6	10,5	11,8	13,1	14,3	15,0

Fonte: Dados interpolados de Smithsonian Meteorological Tables, 6ª ed., 1951, tabela 171.

TAB. Nº 3 - TENSÃO MÁXIMA DO VAPOR SOBRE ÁGUA EM MM ENTRE 0 e 40°C

(t)	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
0	4,58	4,61	4,65	4,68	4,72	4,75	4,79	4,82	4,86	4,89
1	4,93	4,96	5,00	5,03	5,07	5,11	5,14	5,18	5,22	5,26
2	5,29	5,33	5,37	5,41	5,45	5,49	5,53	5,57	5,61	5,65
3	5,69	5,73	5,77	5,81	5,85	5,89	5,93	5,97	6,02	6,06
4	6,10	6,14	6,19	6,23	6,27	6,32	6,36	6,41	6,45	6,50
5	6,54	6,59	6,64	6,68	6,73	6,78	6,82	6,87	6,92	6,97
6	7,01	7,06	7,11	7,16	7,21	7,26	7,31	7,36	7,41	7,46
7	7,51	7,57	7,62	7,67	7,72	7,78	7,83	7,88	7,94	7,99
8	8,05	8,10	8,16	8,21	8,27	8,32	8,38	8,44	8,49	8,55
9	8,61	8,67	8,73	8,79	8,85	8,91	8,97	9,03	9,09	9,15
10	9,21	9,27	9,33	9,40	9,46	9,52	9,59	9,65	9,71	9,78
11	9,84	9,91	9,98	10,04	10,11	10,18	10,24	10,31	10,38	10,45
12	10,52	10,59	10,66	10,73	10,80	10,87	10,94	11,01	11,09	11,16
13	11,23	11,31	11,38	11,45	11,53	11,60	11,68	11,76	11,83	11,91
14	11,99	12,07	12,14	12,22	12,30	12,38	12,46	12,54	12,62	12,71
15	12,79	12,87	12,95	13,04	13,12	13,21	13,29	13,38	13,46	13,55
16	13,63	13,72	13,81	13,90	13,99	14,08	14,17	14,26	14,35	14,44
17	14,53	14,62	14,72	14,81	14,90	15,00	15,09	15,19	15,28	15,38
18	15,48	15,58	15,67	15,77	15,87	15,97	16,07	16,17	16,27	16,37
19	16,48	16,58	16,69	16,79	16,89	17,00	17,11	17,21	17,32	17,43
20	17,54	17,64	17,75	17,86	17,97	18,09	18,20	18,31	18,42	18,54
21	18,65	18,77	18,88	19,00	19,11	19,23	19,35	19,47	19,59	19,71
22	19,83	19,95	20,07	20,19	20,32	20,44	20,57	20,69	20,82	20,94
23	21,07	21,20	21,32	21,45	21,58	21,71	21,85	21,98	22,11	22,24
24	22,38	22,51	22,65	22,79	22,92	23,06	23,20	23,34	23,48	23,62
25	23,76	23,90	24,04	24,18	24,33	24,47	24,62	24,76	24,91	25,06
26	25,21	25,36	25,51	25,66	25,81	25,96	26,12	26,27	26,43	26,58
27	26,74	26,90	27,06	27,21	27,37	27,54	27,70	27,86	28,02	28,19
28	28,35	28,51	28,68	28,85	29,02	29,18	29,35	29,53	29,70	29,87
29	30,04	30,22	30,39	30,57	30,75	30,92	31,10	31,28	31,46	31,64
30	31,82	32,01	32,19	32,38	32,56	32,75	32,93	33,12	33,31	33,50
31	33,70	33,89	34,08	34,28	34,47	34,67	34,86	35,06	35,26	35,46
32	35,66	35,87	36,07	36,27	36,48	36,68	36,89	37,10	37,31	37,52
33	37,73	37,94	38,16	38,37	38,58	38,80	39,02	39,24	39,46	39,68
34	39,90	40,12	40,34	40,57	40,80	41,02	41,25	41,48	41,71	41,94
35	42,18	42,41	42,64	42,88	43,12	43,36	43,60	43,84	44,08	44,32
36	44,56	44,81	45,05	45,30	45,55	45,80	46,05	46,30	46,56	46,81
37	47,07	47,32	47,58	47,84	48,10	48,36	48,63	48,89	49,16	49,42
38	49,69	49,96	50,23	50,50	50,77	51,05	51,32	51,60	51,88	52,16
39	52,44	52,73	53,01	53,29	53,58	53,87	54,16	54,45	54,74	55,03
40	55,32	55,61	55,91	56,21	56,51	56,81	57,11	57,41	57,72	58,03
41	58,34	58,65	58,96	59,27	59,58	59,90	60,22	60,54	60,86	61,18
42	61,50	61,82	62,14	62,47	62,80	63,13	63,46	63,79	64,12	64,46
43	64,80	65,14	65,48	65,82	66,16	66,51	66,86	67,21	67,56	67,91
44	68,26	68,61	68,97	69,33	69,69	70,05	70,41	70,77	71,14	71,51

Fonte: Dados transcritos das tabelas psicrométricas de SERRA, A. e SEREBRE NICK, S. - 1961.

TABELA Nº 4 - VALORES DE Δ/γ ENTRE 1 E 40°C

t	$\frac{\Delta}{\gamma}$	t	$\frac{\Delta}{\gamma}$	t	$\frac{\Delta}{\gamma}$	t	$\frac{\Delta}{\gamma}$
1	0,6	11	1,4	21	2,2	31	4,0
2	0,8	12	1,4	22	2,4	32	4,2
3	0,8	13	1,6	23	2,6	33	4,2
4	0,8	14	1,6	24	2,6	34	4,4
5	1,0	15	1,6	25	2,8	35	4,6
6	1,0	16	1,8	26	3,0	36	5,2
7	1,2	17	1,8	27	3,2	37	5,2
8	1,2	18	2,0	28	3,2	38	5,4
9	1,2	19	2,0	29	3,6	39	5,6
10	1,2	20	2,0	30	3,8	40	5,8

7. RESUMO

No presente trabalho estimou-se a evaporação potencial de vinte e quatro Municípios do Estado de São Paulo. A estimativa foi realizada através de dados meteorológicos pelo método de Penman, revelando diferenças entre condições de Planalto e de Litoral. Os valores estimados são confrontados com medidas diretas realizadas em tanques de evaporação e evapotranspirometros, e coeficientes de conversão são sugeridos. Estimativas do balanço de energia radiante são também realizadas para cada localidade.

8. SUMMARY

The present paper deals with the estimative of the potential evapotranspiration of twenty four locations of the State of São Paulo. The estimatives were made according to the Penman method, by the use of meteorological data. The values estimated by the Penman method are compared with evapotranspirometer and evaporation pan data, and coefficients of correlation are suggested. Estimatives of radiant energy budget for each location, are presented too.

9. LITERATURA CITADA E CONSULTADA

BERNARD, E.A., 1956 - Le determinisme de l'evaporation dans la nature. Publication de L'Institut National pour l'étude de agronomie du Congo-Belgue.

BOURKE, P.M.A., 1956 - The aims of agrometeorology. Trabalho apresentado no Simpósio "Methods in Agroclimatology", organizado pela UNESCO - Reading. Distrib. limitada, 8 pp.

BOWEN, I.S., 1950 - The ratio of heat losses by conduction and by evaporation from any water surface. Phys. Rev. Ser., 2.27, 779-87, In Ven The Chow, Handbook of Applied Hydrology.

BRUNT, D., 1932 - Notes on radiation in the atmosphere. Quant. Journ. Roy. Meteor. Soc., LVII.

BUDYKO, M.I., 1956 - Teplovoi Balans Zemnoi Poverkhnosti. Gi-drometeorologicheskoe Izdatel'stvo, Leningrad. - (English transl.: Stepanova, N.A. (1958). The Heat Balance of the Earth's Surface. Office of Technical Services, U.S. Dept. of Commerce, Washington.

—————, 1963 - Evaporation under Natural Conditions, Office of Technical Services, Washington. (Transl. from Russian).

CAMARGO, A.P., 1964 - Balanço hídrico do Estado de São Paulo. Bolet. Inst. Agron. Campinas, 116, 19 pp.

CERVellini, A., SALATI, E. & GODOY, R., 1966 - Estimativa da distribuição da energia solar no Estado de São Paulo. Bragantia, 25:31-40, nº 3.

COWAN, I.R., 1965 - Transport of Water in the Soil-Plant Atmosphere System. J. Appl. Ecol. 2, 221-239.

- DECKER, WAYNE, L., 1964 - Total energy budget of the plant canopy and its relationship to evapotranspiration from corn. Missouri University, Agriculture Experiment Station, Research Bulletin 854.
- FUCHS, M. & STANHILL, G., 1963 - The use of class A evaporation pan data to estimate the irrigation water requirements of the cotton crop. Israel J. Agric. Res. - 13, 63-78.
- GEIGER, R., 1950 - The climate near the ground. Blue Hill Meteor. Observatory, Harvard Univ., Cambridge, 482 pp.
- KIEFER, P.J., 1941 - The thermodynamic properties of water vapor. Monthly Weather Review, vol. 69.
- LEMON, E., 1962 - Energy and water balance in plant communities. Interiors Report n^o 62-9. Agric. Research Service, Ithaca.
- MEIGS, P., 1953 - World distribution of arid and semi-arid homoclimates. Unesco Arid Zone Res. 1, 203-209.
- MONTEITH, J.L., 1959 - The reflection of short-wave radiation by vegetation. Q. Jl. R. Met. Soc. 85:386-392.
- , 1965 - Evaporation and environment. Symp. Soc. Exptl. Biol. 29, 205-234.
- MÖRIKOFFER, W., 1956 - Meteorologische strahlungsmethoden in Bernard, E.A.
- PASQUILL, P., 1949 - Eddy diffusion of water vapor and heat near the ground. Proc. Roy. Soc. London, Vol. 198, pp. 116-140.
- PENMAN, H.L., 1948 - Natural evaporation from open water, bare soil and grass. Proceedings of the Royal Society Série A (193):120-145, Londres.

- _____, 1963 - Vegetation and hydrology. Commonwealth Agricultural Bureaux, Farnham Royal, England.
- PRESCOTT, S.A. & THOMAS, S.A., 1949 - The length of the growing season. Proc. Roy. Geog. Soc. Austral. 50:42-46.
- PRIESTLEY, C.H.B., 1959 - Turbulent transfer in the lower atmosphere. University of Chicago Press, Chicago.
- RIDER, N.E., 1954 - Eddy diffusion of momentum, water vapour and heat near the ground. Phil. Trans. Roy. Soc. London A 246:481-501.
- RIJTEMA, P.E., 1966 - Derived meteorological data: Transpiration. Trabalho apresentado no Simpósio "Methods in Agroclimatology" organizado pela UNESCO - Reading, Distrib. limitada. 25 pp. e 16 figs.
- ROBINSON, G.D., 1956 - The use of surface observations to estimate the local energy balance of the atmosphere. - Proc. Royal Soc. Série A Mathematical and Physical Sciences. Nº 1205, vol. 236:160-171.
- SALATI, E. et al, 1966 - Estudo da determinação de radiação solar em Piracicaba. Trabalho apresentado na XVIII Reunião Anual da S.B.P.C., Blumenau (SC).
- SLATYER, R.O., 1962 - Methodology of a water balance study conducted on a desert woodland (Acacia aneura F. Muell) community in central Australia. Unesco Arid Zone Res. 16:15-26.
- _____, 1966 - The use of soil water balance relationships in agroclimatology. Trabalho apresentado no Simpósio "Methods in Agroclimatology" organizado pela UNESCO - reading. Distrib. limitada, 23 pp. 4 tabelas e 9 figs.
- STANHILL, G., 1961 - A comparison of methods calculating potential evapotranspiration from climatic data. Israel