

ANÁLISE DO TERMO "BALANÇO DE ENERGIA" DA EQUAÇÃO DE PENMAN,
PARA VIÇOSA, MG¹

JOSÉ ESPÍNOLA SOBRINHO² e GILBERTO C. SEDIYAMA³

RESUMO - Esta pesquisa foi desenvolvida em área próxima ao setor de armazenamento do DEA da Universidade Federal de Viçosa, com a finalidade de analisar o termo "Balanço de Energia" da equação de Penman, para duas fases (19/06/82 a 30/06/82, fase I e 24/08/82 a 10/09/82, fase II). Na análise do termo que representa o balanço de energia da equação de Penman, testaram-se quatro equações empíricas para estimativa do saldo de radiação de ondas longas e ao mesmo tempo comparou-se cada uma, em particular, com os valores do saldo de radiação de ondas longas de terminados utilizando-se as medidas efetuadas no campo. Os resultados apresentados, evidenciaram a equação de Ångström como a melhor, com um coeficiente de correlação de 0,90 para ambas as fases. Em seguida, a equação que melhor se correlacionou com os dados observados, foi a de Brunt que apresentou coeficientes de correlação de 0,90 para a fase I e 0,87 para a fase II. As equações de McDonald e Swinbank apresentaram baixos coeficientes de correlação.

-
1. Parte do trabalho de tese do primeiro autor, para obtenção do título de M. S. na Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.
 2. Eng^o Agr^o, M.S., Prof. - Assistente, Dep. de Engenharia Agrícola da Escola Superior de Agricultura de Mossoró-ESAM, Caixa Postal 137, CEP 59.600 - Mossoró - RN.
 3. Eng^o Agr^o, Ph.D., Prof. - Adjunto, Dep. de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa - UFV, CEP 36570-Viçosa, MG.

ANALYSIS OF THE TERM "ENERGY BALANCE" OF PENMAN'S EQUATION FOR
VIÇOSA-MG, BRAZIL

ABSTRACT - This research was developed in an area near the DEA's Storage Sector of the "Universidade Federal de Viçosa-MG", Brazil, with the purpose of analysing the term "energy balance" of Penman's equation, regarding to two time period for 1982, named fase I (June, 19 to 30) and fase II (August, 24 to September, 10).

In the analysis of the term which represents the energy balance of Penman's equation, four empirical equations for estimating the net long-wave radiation were tested, each one being particularly compared to the net long-wave radiation values determined using parameters obtained from the field. According to the obtained results, Ångström's equation appeared as best and showed a correlation coefficient of 0,90 for both fases. The second best equation correlated to the observed data was Brunt's which presented correlation coefficients of 0.90 and 0.87 for fase I and fase II, respectively. Low correlation coefficients were obtained using either McDonald's or Swinbank's equation

INTRODUÇÃO

Um dos grandes problemas com que se defrontam os técnicos, que trabalham com as relações Solo-Água-Planta, é a contabilização da água perdida por evaporação e/ou transpiração no balanço hídrico do solo e conseqüentemente na determinação das necessidades hídricas de qualquer região (SELLERS 1965). Existem também ocasiões em que o conhecimento da taxa de evaporação, através de superfícies vegetadas ou não, é requerido em circunstância na qual, não sendo possível a medição direta, esta tenha que ser estimada (LINACRE 1977).

É provável que a equação de Penman seja a mais usada universalmente na estimativa tanto da evaporação, quanto da evapotranspiração. Sendo uma equação baseada nos princípios físicos da evaporação, produz estimativas de elevado grau de confiã

bilidade.

A fórmula de Penman é um método combinado em que participam os métodos do balanço de energia e o aerodinâmico (TANNER 1968). A dificuldade no uso dessa equação consiste na necessidade de se conhecerem valores do saldo de radiação à superfície e da velocidade do vento a dois metros de altura, nem sempre disponíveis na prática (LINACRE 1977). O saldo de radiação à superfície, que geralmente não é medido, frequentemente é estimado através de fórmulas empíricas, as quais produzem versões aproximadas que conseqüentemente induzem a erros nos cálculos.

O objetivo do presente trabalho foi testar equações empíricas para o balanço de ondas longas, utilizando valores medidos no campo, e, conseqüentemente, apresentar a melhor equação para estimar o saldo de radiação à superfície, para Viçosa, MG.

MATERIAL E MÉTODOS

Este trabalho foi realizado em Viçosa, MG, Latitude $20^{\circ}45'$ S, Longitude $42^{\circ}51'$ W e Altitude de 651 m, em área plantada com grama batatais (*Paspalum notatum* L.), localizada próxima ao Laboratório de Armazenamento e Processamento de Produtos Vegetais, do Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa, onde já foram desenvolvidos alguns trabalhos de micrometeorologia.

Os dados foram coletados em duas épocas diferentes, sendo a fase I composta de 8 dias em junho e a fase II de 15 dias entre agosto e setembro de 1982. As observações foram realizadas diariamente às 8 horas, para ambas as fases.

O termo "balanço de energia" da equação de Penman é representado pela equação:

$$R_n = Q_g (1 - \alpha) - Q_\ell \quad (1)$$

em que, Q_g = radiação global em $\text{cal.cm}^{-2}.\text{dia}^{-1}$; Q_ℓ = saldo de radiação de ondas longas em $\text{cal.cm}^{-2}.\text{dia}^{-1}$; α = albedo da superfície, todos tomados em termos médios. Quando as medidas de Q_g e α são disponíveis, o termo Q_ℓ pode ser estimado por

várias equações.

Segundo SELLERS (1965), as equações mais usadas para estimativa do saldo de radiação de ondas longas (Q_ℓ), em condições de céu claro, são as seguintes:

Equação de Ångström:

$$Q_\ell = \epsilon \sigma T_a^4 (1 - a_o + b_o \cdot 10^{-c_o e}) \quad (2)$$

em que, ϵ = emissividade da superfície; T_a = temperatura absoluta próximo à superfície, em kelvin; σ = constante de Stefan Boltzmann, igual a $8,14 \cdot 10^{-11} \text{ cal.cm}^{-2} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{K}^{-4}$; e = pressão atual de vapor d'água em mb; a_o , b_o e c_o = constantes empíricas.

Os valores das constantes, geralmente, encontram-se nas seguintes faixas: $a_o = 0,710$ a $0,820$; $b_o = 0,148$ a $0,326$ e $c_o = 0,041$ a $0,094$.

Equação de Brunt:

$$Q_\ell = \epsilon \sigma T_a^4 (1 - a_1 - b_1 \sqrt{e}) \quad (3)$$

em que, a pressão atual de vapor d'água é usada em mmHg. Segundo o próprio autor, as constantes " a_1 " e " b_1 " apresentam, geralmente, valores em torno de $0,256$ e $0,065$, respectivamente; porém outros pesquisadores citam as faixas $a_1 = 0,34$ a $0,71$ e $b_1 = 0,023$ a $0,110$.

Equação de McDonald:

$$Q_\ell = \epsilon (a_2 - b_2 \cdot \text{UR}) \quad (4)$$

em que, Q_ℓ é dado em $\text{cal.cm}^{-2} \cdot \text{min}^{-1}$ e a unidade relativa (UR) em percentagem. Essa equação foi usada, com sucesso, pelo próprio autor nos Estados Unidos, Caribe e México, sendo: $a_2 = 0,165$ e $b_2 = 0,000769$.

Equação de Swinbank:

$$Q_\ell = \epsilon (a_3 - b_3 \sigma T_a^4) \quad (5)$$

em que, " a_3 " e " b_3 ", quando determinados para a Austrália, apresentaram valores iguais a $0,245$ e $0,214$, respectivamente.

Para todas as equações, considerou-se a emissividade

da superfície (ϵ) constante e igual a 1 (um).

O saldo de radiação de ondas longas (Q_L) foi obtido a partir da equação 1, ou seja:

$$Q_L = Q_g (1 - \alpha) - R_n \quad (6)$$

A radiação global (Q_g) foi medida no local do experimento por meio de um piranômetro Lambrecht, na primeira fase, e um piranômetro Eppley, na segunda fase. Os valores obtidos foram registrados continuamente, por meio de um registrador H & B, na primeira fase, e um "Speedomax II", na segunda fase.

O albedo médio (α) foi determinado pela razão entre as áreas obtidas planimetricamente, sob as curvas de radiação refletida e radiação global (Figura 1), para seis dias da fase I. A curva da radiação refletida foi obtida utilizando-se um registrador "Speedomax II" ligado a um piranômetro Eppley.

Para o saldo de radiação à superfície (R_n), também medido em condições de campo, utilizou-se um saldo-radiômetro, modelo TCN 188-01, ligado a um registrador "Speedomax II".

Todos os instrumentos para medir as componentes da radiação solar foram instalados a 1,5 m de altura da superfície do solo.

As equações 2, 3, 4 e 5, para estimativas do saldo de radiação de ondas longas, foram testadas. Para as equações 3, 4 e 5 utilizou-se o método estatístico de regressão linear, enquanto que para a equação 2, por ser da forma não linear, utilizou-se um programa de computador REGRENL segundo o método de MARQUARDT. Os símbolos usados obedecem às conceituações feitas no Quadro 1.

Os valores de saldo de radiação de ondas longas utilizados, foram determinados para dias normais, sem correção para nebulosidade.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os dados referentes aos dias 22, 24 e 28 de junho, 31 de agosto, 01 e 07 de setembro foram desprezados devido seus valores diferirem muito dos normalmente observados durante o pe-

ríodo. Nesses dias ocorreram fortes rajadas de ventos e/ou chuvas ou entradas de sistemas frontais, influenciando fortemente os elementos meteorológicos e, conseqüentemente, os valores dos parâmetros observados.

Os valores obtidos para a radiação global (Q_g), saldo de radiação à superfície (R_n) e saldo de radiação de ondas longas (Q_ℓ), encontram-se no Quadro 2. No mesmo, são encontrados os valores, medidos no campo, dos demais parâmetros de entrada nas equações, bem como resultados de observações auxiliares.

O albedo (α) da superfície gramada apresentou, para seis dias consecutivos da fase I, valores de 19%, 21%, 21%, 18%, 20% e 20%, resultando uma média aproximadamente igual a 20%. Observa-se que o valor estimado foi menor que os valores encontrados na literatura, em torno de 24% (TUBELIS & NASCIMENTO, 1980 e CAMPBELL, 1977).

Acredita-se que essa diferença tenha ocorrido dos diferentes métodos utilizados para a determinação do albedo. Neste trabalho o albedo foi determinado pela relação entre as áreas sob as curvas diárias das radiações refletida e incidente global, ao passo que os valores encontrados na literatura são, provavelmente, determinados instantaneamente. Com a finalidade de comprovar tal justificativa, estimou-se o albedo com valores instantâneos para o dia 20 de junho, da fase I, e encontrou-se um valor médio de 24%. VIANELLO e ALVES* também encontraram um valor médio de 24% para o mesmo local, sendo o mesmo estimado através da média dos valores instantâneos obtidos para alguns horários de um dia escolhido aleatoriamente.

Os resultados das análises das equações para estimativa do saldo de radiação de ondas longas, encontram-se no Quadro 3, e os diagramas com as curvas de regressão e dispersão dos dados observados nas duas fases, encontram-se nas Figuras 2, 3, 4 e 5.

Na análise da equação de Ångström, os valores encontrados para as constantes " a_0 " e " c_0 " apresentaram-se, apro-

*R.L. VIANELLO e A.R. ALVES, Departamento de Engenharia Agrícola, UFV, Comunicação pessoal.

QUADRO 1 - Definição dos termos das equações de Ångström, Brunt, McDonald e Swinbank para estimativa do saldo de radiação de ondas longas (Q_l)

Modelo	Fase I		Fase II	
Ångström	$YA_1 = \frac{Q_l}{\epsilon\sigma T_a^4}$	$XA_1 = e$	$YA_2 = \frac{Q_l}{\epsilon\sigma T_a^4}$	$XA_2 = e$
Brunt	$YB_1 = 1 - \frac{Q_l}{\epsilon\sigma T_a^4}$	$XB_1 = \sqrt{e}$	$YB_2 = 1 - \frac{Q_l}{\epsilon\sigma T_a^4}$	$XB_2 = \sqrt{e}$
McDonald	$YM_1 = \frac{Q_l}{\epsilon}$	$XM_1 = UR$	$YM_2 = \frac{Q_l}{\epsilon}$	$XM_2 = UR$
Swinbank	$YS_1 = \frac{Q_l}{\epsilon}$	$XS_1 = \sigma T_a^4$	$YS_2 = \frac{Q_l}{\epsilon}$	$XS_2 = \sigma T_a^4$

QUADRO 2 - Valores diários dos dados meteorológicos coletados em Viçosa, MG, nos períodos de 19 a 30 de junho (fase I) e 24 de agosto a 10 de setembro (fase II) de 1982.

Dia	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Fase I										
19	16,65	85,15	12,14	63,56	0,0	7,3	309,84	59,41	127,94	119,93
20	17,69	85,30	12,96	51,33	0,0	8,1	367,65	76,01	186,61	107,51
21	20,15	86,92	15,43	46,33	0,0	8,5	341,85	71,86	174,69	98,79
22	18,42	89,08	14,14	84,68	0,0	1,6	223,84	40,23	87,54	91,53
23	18,35	90,38	14,34	41,69	0,0	3,0	262,78	52,54	100,24	109,98
24	20,38	88,69	15,94	59,30	0,0	7,1	357,38	72,58	176,80	109,10
25	21,28	90,31	17,16	40,95	0,0	4,3	319,92	...	163,91	92,03
27	20,45	88,77	16,06	42,99	0,0	9,8	363,35	...	207,39	83,29
28	20,66	90,31	16,54	80,79	0,0	8,7	385,33	...	199,90	108,36
29	18,97	90,46	14,91	45,03	0,0	4,5	295,99	...	137,94	98,85
30	17,91	91,08	14,00	61,70	0,0	6,2	311,75	...	150,45	98,95
Fase II										
24	18,23	72,77	11,40	64,11	0,0	8,9	370,04	...	211,99	84,04
25	18,42	74,08	11,76	69,85	0,0	7,7	343,70	...	236,61	38,35
26	19,35	74,38	12,56	71,71	0,0	5,0	318,22	...	198,72	55,86
27	19,12	77,23	12,80	66,15	0,0	3,6	235,48	...	132,47	55,91
28	19,35	73,85	12,47	71,90	0,0	7,1	326,67	...	198,07	63,27
29	18,35	68,00	10,79	105,99	0,0	9,0	452,64	...	283,42	78,69
30	15,50	68,08	8,99	71,34	0,0	9,7	440,47	...	271,92	80,46
31	19,81	70,08	12,14	86,53	3,4	9,5	475,83	...	240,34	140,32
01	20,35	74,38	13,37	84,68	12,0	8,4	414,85	...	213,29	118,59
02	18,65	83,69	13,53	81,53	0,0	1,3	157,47	...	68,34	57,64
03	18,69	76,08	12,30	119,33	0,0	3,7	295,17	...	205,52	30,62
04	16,77	77,08	11,06	45,03	0,0	4,0	283,15	...	164,38	62,14
05	16,65	73,77	10,52	66,89	0,0	6,9	353,72	...	213,29	69,69
06	19,58	61,46	10,52	160,47	0,0	7,5	456,79	...	295,89	69,54
07	16,19	65,08	8,99	154,17	0,0	4,6	283,58	...	164,05	62,81
08	13,59	66,46	7,76	114,52	0,0	10,2	553,13	...	312,73	129,77
09	15,25	63,92	8,34	81,72	0,0	10,3	551,13	...	326,00	114,90
10	15,84	68,46	9,21	58,18	0,0	9,8	487,14	...	287,14	102,57

- 1 - Temperatura média do ar ($^{\circ}\text{C}$).
- 2 - Umidade relativa média do ar (UR) (%).
- 3 - Pressão atual de vapor d'água (mmHg).
- 4 - Velocidade do vento a dois metros da superfície do solo (U_2) ($\text{km} \cdot \text{dia}^{-1}$).
- 5 - Precipitação pluviométrica ($\text{mm} \cdot \text{dia}^{-1}$).
- 6 - Insolação diária (n) (horas).
- 7 - Radiação solar global incidente (Q_g) ($\text{cal} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{dia}^{-1}$).
- 8 - Radiação solar global refletida (Q_r) ($\text{cal} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{dia}^{-1}$).
- 9 - Saldo de radiação na superfície (R_n) ($\text{cal} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{dia}^{-1}$).
- 10 - Saldo de radiação de ondas longas na superfície (Q_l) ($\text{cal} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{dia}^{-1}$).

QUADRO 3 - Estimativas dos parâmetros "a₀, b₀ e c₀" da equação de Ångström, "a₁ e b₁" da equação de Brunt, "a₂ e b₂" da equação de McDonald e "a₃ e b₃" da equação de Swinbank, nas fases I e II, para cálculo do saldo de radiação de ondas longas (Q_ℓ), em Viçosa, MG

Método	Fase I	Fase II
Ångström	$a_0 = 0,92517$ $b_0 = 0,72572$ $c_0 = 0,06341$ $r = 0,90$ $Q_\ell = \epsilon \sigma T_a^4 [1 - 0,92517 + 0,72572 \cdot 10^{-0,06341 e}]$	$a_0 = 0,95218$ $b_0 = 2,89316$ $c_0 = 0,13508$ $r = 0,90$ $Q_\ell = \epsilon \sigma T_a^4 [1 - 0,95218 + 2,89316 \cdot 10^{-0,13508 e}]$
Brunt	$a_1 = 0,63418$ $b_1 = 0,06468$ $r = 0,90$ $Q_\ell = \epsilon \sigma T_a^4 (1 - 0,63418 - 0,06468 \sqrt{e})$	$a_1 = 0,54246$ $b_1 = 0,11219$ $r = 0,87$ $Q_\ell = \epsilon \sigma T_a^4 (1 - 0,54246 - 0,11219 \sqrt{e})$
McDonald	$a_2 = 0,21141$ $b_2 = -0,00159$ $r = -0,49$ $Q_\ell = \epsilon (0,21141 - 0,00159 \cdot UR)$	$a_2 = 0,19789$ $b_2 = -0,00205$ $r = -0,64$ $Q_\ell = \epsilon (0,19789 - 0,00205 \cdot UR)$
Swinbank	$a_3 = 0,37592$ $b_3 = -0,51582$ $r = -0,84$ $Q_\ell = \epsilon (0,37592 - 0,51582 \sigma T_a^4)$	$a_3 = 0,63547$ $b_3 = -1,00567$ $r = -0,78$ $Q_\ell = \epsilon (0,63547 - 1,00567 \sigma T_a^4)$

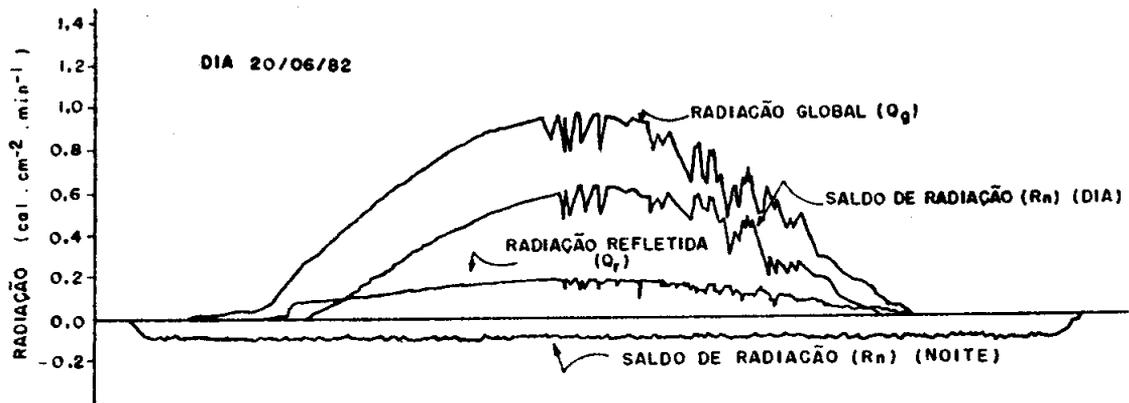


FIGURA 1 - Registro diário da radiação global incidente (Q_g), do saldo de radiação à superfície (R_n) e da radiação global refletida (Q_r), para o dia 20/06/82, em Viçosa, MG.

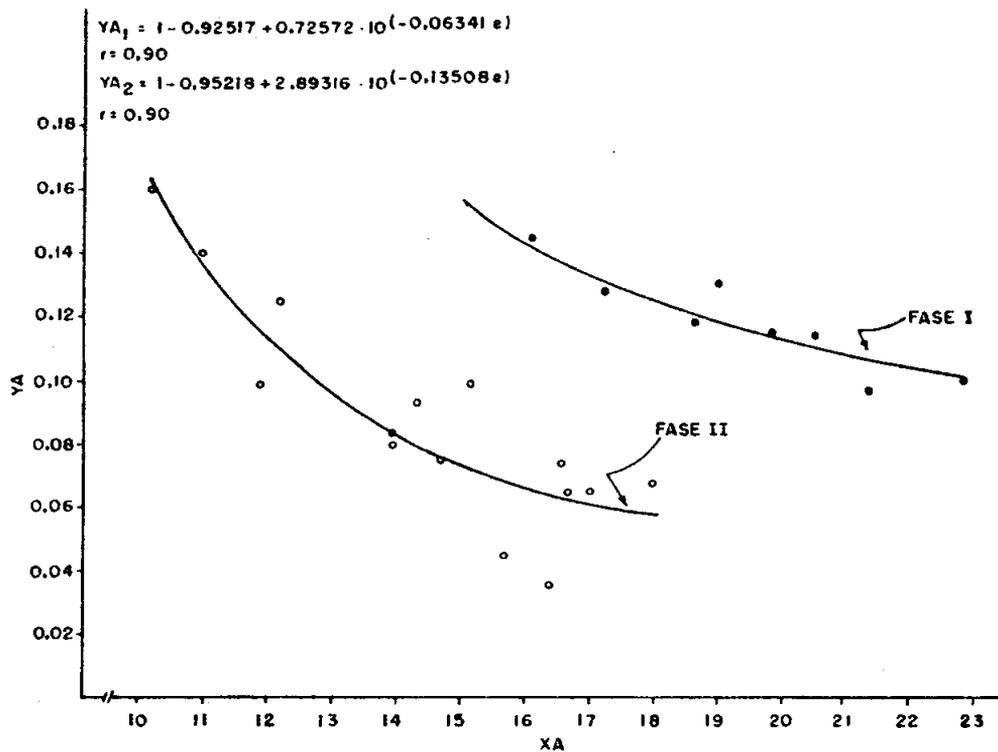


FIGURA 2 - Diagramas de dispersão entre as relações Y_A e X_A , em torno das curvas de regressão, em que $Y_A = \frac{Q_L}{\sigma T_a^4}$ e $X_A = e$ (pressão de vapor atual em mb) são variáveis da equação de Ångström, para estimativa do saldo de radiação de ondas longas (Q_L).

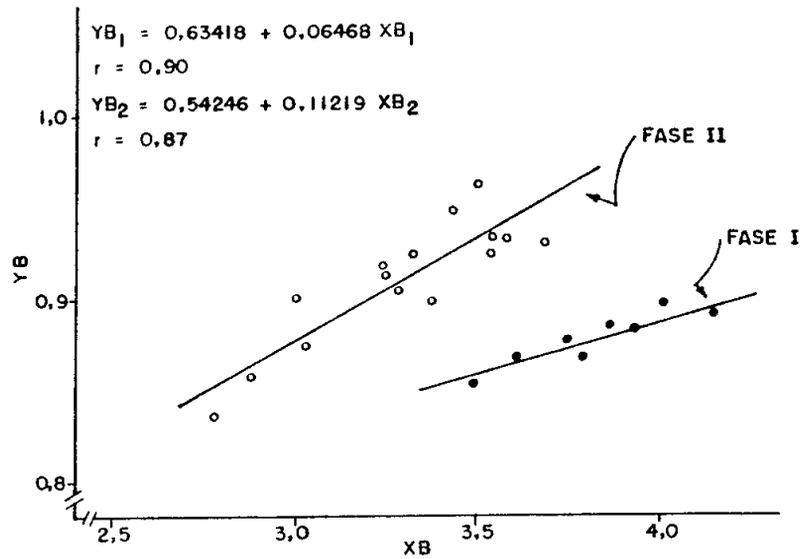


FIGURA 3 - Diagramas de dispersão entre as relações YB e XB em torno das curvas de regressão, em que $YB = 1 - \frac{Q_l}{\epsilon \sigma T_a^4}$ e $XB = \sqrt{\epsilon}$ são as variáveis da equação de Brunt, para estimativa do saldo de radiação de ondas longas (Q_l).

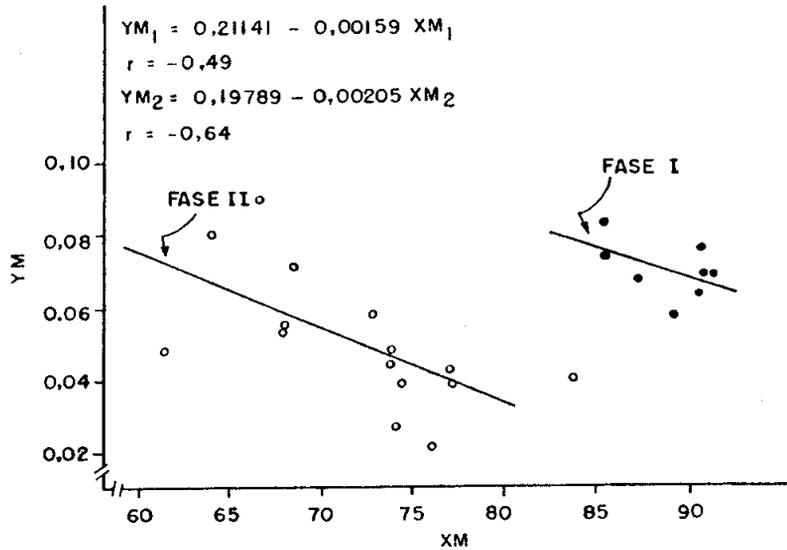


FIGURA 4 - Diagramas de dispersão entre as relações YM e XM, em torno das curvas de regressão, em que $YM = \frac{Q_l}{\epsilon}$ e $XM = UR$ são as variáveis da equação de McDonald para estimativa do saldo de radiação de ondas longas (Q_l).

ximadamente, dentro da faixa citada por SELLERS (1965); porém os valores encontrados para " b_0 " apresentaram uma diferença significativa da faixa citada, além de ter apresentado uma grande variação de uma fase para outra. Isso nos leva a crer que o parâmetro " b_0 " está de uma certa forma intrinsecamente associado às variações temporais para o local. Das quatro equações testadas esta foi a que apresentou maior coeficiente de correlação ($r = 0,90$), para ambas as fases, embora o seu manuseio seja um pouco mais complexo que o das outras.

Na equação de Brunt, observa-se que os valores encontrados para os parâmetros " a_1 " e " b_1 " enquadram-se satisfatoriamente nas faixas apresentadas por SELLERS (1965). O coeficiente de correlação encontrado foi 0,90 para a fase I e 0,87 para a fase II. Essa equação foi ainda testada para cinco dias, aproximadamente claros, com razão de insolação (n/N) maior ou igual a 0,78, e os valores encontrados foram satisfatórios, com coeficiente de correlação de 0,87. A curva de regressão e a dispersão dos dados observados encontram-se na Figura 6. A boa correlação apresentada reafirma sua eficiência e, juntamente, com sua simplicidade de manuseio, justificam a sua utilização.

Os valores encontrados para os parâmetros " a_2 " e " b_2 " da equação de McDonald diferem dos valores encontrados na literatura. Entretanto, deve-se salientar que os parâmetros foram determinados para valores diários, enquanto que McDonald trabalhou com médias mensais e a sua equação foi originalmente baseada para dois meses combinados (SELLERS, 1965). O baixo coeficiente de correlação encontrado para as duas fases, - 0,49 para a fase I e - 0,64 para a fase II, demonstra a inviabilidade dessa equação, para valores diários, em Viçosa, MG.

Para os parâmetros " a_3 " e " b_3 " da equação de Swinbank, foram encontrados valores diferentes dos determinados para a Austrália (SELLERS, 1965). Além disso, a equação apresenta um coeficiente de correlação inferior ao encontrado para as de Ångström e de Brunt, sendo -0,84 para a fase I e -0,78 para a fase II. Isso torna desaconselhável o uso dessa equação na estimativa do saldo de radiação de ondas longas.

Acredita-se que as baixas correlações apresentadas pe-

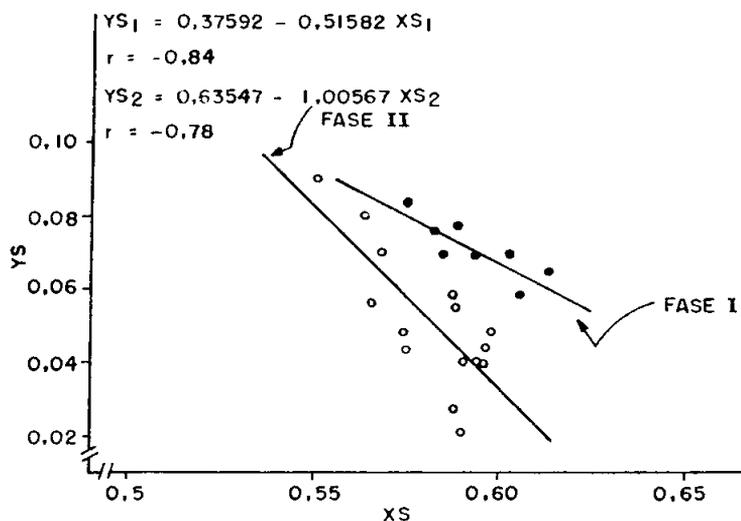


FIGURA 5 - Diagramas de dispersão entre as relações YS e XS , em torno das curvas de regressão, em que $YS = \frac{Q_\ell}{\epsilon}$ e $XS = \sigma T_a^4$ são as variáveis da equação de Swinbank para estimativa do saldo de radiação de ondas longas (Q_ℓ).

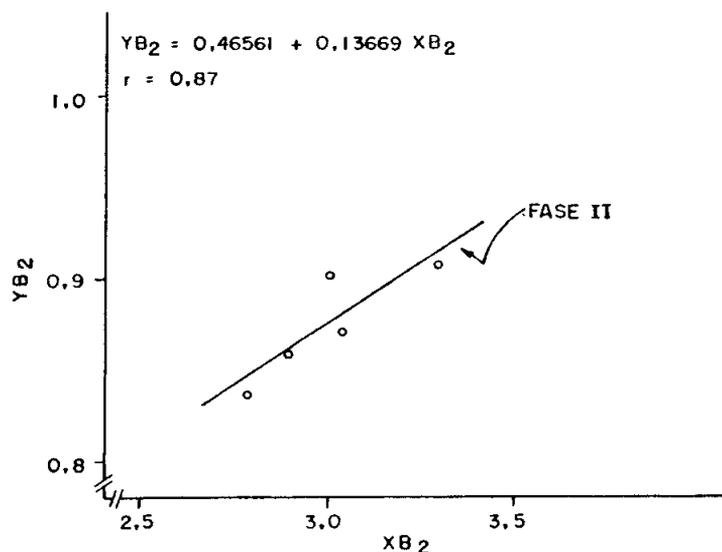


FIGURA 6 - Diagrama de dispersão entre as relações YB_2 e XB_2 , em torno da curva de regressão, em que $YB_2 = 1 - \frac{Q_\ell}{\epsilon \sigma T_a^4}$ e $XB_2 = \sqrt{e}$ são as variáveis da equação de Brunt para estimativa do saldo de radiação de ondas longas (Q_ℓ), sem correção para nebulosidade, para os dias da fase II, em que a razão de insolação foi maior ou igual a 0,78 ($n/N \geq 0,78$).

las equações de McDonald e Swinbank se devem à pouca representatividade da umidade relativa e da temperatura do ar como parâmetro de entrada para estimativa do saldo de radiação de ondas longas.

CONCLUSÕES

As equações de Ångström e de Brunt apresentaram os mais altos e próximos coeficientes de correlação. Entretanto, devido ao mais fácil manuseio e ao seu uso tão difundido, recomenda-se a equação de Brunt para ser utilizada, na estimativa do saldo de radiação de ondas longas, para Viçosa, MG.

Para as duas fases estudadas, a equação de Brunt se apresenta nas seguintes formas:

- fase I:

$$Q_l = \epsilon \sigma T_a^4 (1 - 0,63418 - 0,06468 \sqrt{e}) \quad (7)$$

- fase II:

$$Q_l = \epsilon \sigma T_a^4 (1 - 0,54246 - 0,11219 \sqrt{e}) \quad (8)$$

O termo "balanço de energia" da equação de Penman, para Viçosa, MG, pode ser expresso pelas equações:

- para a fase I:

$$R_n = Q_g (1 - \alpha) - \epsilon \sigma T_a^4 (1 - 0,63418 - 0,06468 \sqrt{e}) \quad (9)$$

- para a fase II:

$$R_n = Q_g (1 - \alpha) - \epsilon \sigma T_a^4 (1 - 0,54246 - 0,11219 \sqrt{e}) \quad (10)$$

Os parâmetros medidos e estimados apresentaram uma grande variação de uma fase para outra, provocando variações semelhantes nos resultados das equações testadas. Uma equação confiável para estimativa do saldo de radiação de ondas longas, para Viçosa, MG, só será possível se esse estudo for conduzido para cada mês do ano, durante vários anos, e desenvolvida uma equação geral representativa para o ciclo anual.

REFERÊNCIAS

- CAMPBELL, G.S. An introduction to environmental biophysics. New York, Springer - Verlag New York, 1977. 160p.
- LINACRE, E.T. A simple formula for estimating evaporation rates in various climates, using temperature data alone. Agricultural Meteorology, Amsterdam, 18:409-424. 1977.
- SELLERS, W.D. Physical climatology. Chicago, The University of Chicago Press, 1965. 272p.
- TANNER, C.B. Evaporation of water from plants and soils. In: Kozlowski, T.T., ed. Water deficit and plant growth. New York, Academic Press, 1968. p. 73-106.
- TUBELIS, A. & NASCIMENTO, F.J.L. Meteorologia descritiva: fundamentos e aplicações brasileiras. São Paulo, Nobel. 1980. 373p.