

Radiação Solar em Superfícies Horizontal e Vertical com Exposição Norte*

J. M. Santos

S. Simão

A. Petta,

E. S. A. «Luiz de Queiroz»

(*) Recebido para publicação em 31/10/1960.

1. INTRODUÇÃO

Frequentemente, em estudos agrometeorológicos, arquitetônicos, climatológicos, etc., existe a necessidade de se ter uma estimativa da radiação solar recebida em uma superfície qualquer sobre o solo. Tais estudos são freqüentemente empregados para pesquisas relacionadas com a fisiologia vegetal, transpiração, evaporação e iluminação.

No presente trabalho os autores procuraram dar início a êstes estudos de radiação solar na "Luiz de Queiroz", pelo aproveitamento de dados coletados no Pôsto Meteorológico, organizado pela 1.a Cadeira — Física e Meteorologia.

Com a expansão que se está pretendendo realizar nos estudos que relacionam clima, planta, solo e água é sempre necessário a obtenção de dados e a realização de cálculos como aqueles agora computados.

Trabalhos estão programados e em andamento na "Luiz de Queiroz", onde se pretende, juntamente com os dados empíricos e aproximados, realizar observações diretas, no campo, a fim de se fazer a aplicação dêstes estudos para tôdas as regiões agrícolas do Estado de São Paulo.

2. MATERIAL E MÉTODO

Os dados utilizados foram aqueles, relativos às horas de insolação efetiva, obtidos com um heliógrafo no Pôsto Meteorológico-agrário da E. S. A. "Luiz de Queiroz".

As estimativas do total de radiação recebida em uma superfície horizontal, ao nível do solo, foram realizadas tendo por base os estudos originais de ANGSTRÖM (1924) que propôs a existência de uma relação entre radiação solar e horas de insolação, pelo emprêgo da seguinte expressão :

$$Q = Q_0 \left\{ a' + (1,00 - a') \frac{n}{N} \right\}$$

onde Q = radiação recebida em uma superfície horizontal ao nível do solo, dado em cal/cm²/dia.

Q₀ = Radiação recebida em uma superfície horizontal em um dia completamente limpo.

n = é o total de horas de insolação obtido pelos registros do heliógrafo ou outro instrumento.

N = duração máxima possível de insolação (em horas).

a' = sendo a proporção média de radiação recebida em um dia completamente coberto.

O valor de a' diariamente é variável e seria uma função da densidade e tipo de nuvens.

O valor de a' proposto por ANGSTRÖM foi de 0,25 e o mesmo valor proposto por KIMBALL e HAND (1936) foi de 0,22. FRITZ e MacDONALD (1949) usaram a seguinte expressão :

$$Q/Q_0 = 0,35 + 0,61 \frac{n}{N}$$

PRESCOTT (1940) e PENMAN (1948) usando valores de ANGSTRÖM-BRUNT (1939) propuseram a seguinte relação :

$$Q/Q_a = a + \frac{bn}{N}$$

onde Q_a seria a radiação total recebida na superfície do solo, se a atmosfera fôsse perfeitamente transparente.

BLACK e outros (1954) fazendo estudos bastante precisos e considerando diversas regiões do globo propõem valores de $a = 0,23$ e $b = 0,48$ e consideram Q_a a radiação máxima possível que atinge o solo, na ausência da atmosfera.

Trabalhos mais recentes realizados por GLOVER e McCULLOCH (1958) nos fornecem indicações mais interessantes sobre os valores de a e de b . Mostraram que o valor de $(a + b)$ é aproximadamente constante para uma dada localidade, sendo em média $\simeq 0,82$. Em estudos que realizaram com valores médios de 10 dias, chegamos à seguinte expressão :

$$\frac{Q}{Q_a} = 0,23 + 0,62 \frac{n}{N}$$

onde percebemos que a soma de $(a + b) = 0,85$.

Finalmente, em estudos posteriores GLOVER e McCULLOCH (1958) procuraram determinar a dependência dos valores de a e b em função da latitude. Para b ficou determinado que seu valor permanece significativamente constante. Quanto ao valor de a aqueles autores determinaram sua variação em relação à latitude. O valor achado foi :

$$a = 0,01 + 0,27 \cos \phi$$

sendo ϕ a latitude.

Chega-se a conclusão, pelos estudos de GLOVER e McCULLOCH que, dentro dos limites de 0° a 60° de latitude, a equação empírica de ANGSTRÖM poderia ser usada do seguinte modo :

$$Q/Q_a = 0,29 \cos \phi + 0,52 \frac{n}{N}$$

3. RESULTADOS OBTIDOS

Os valores de insolação, de razão de insolação e de Q, são mostrados na Tabela I, assim como os totais de radiação que atingem uma parede vertical com exposição norte.

Na tabela II são dados os valores da radiação solar em cal/cm²/hora, recebida em uma superfície horizontal e outra vertical com exposição norte.

Com base nas relações obtidas pelos Gráficos 1, 2, 3, 4 e 5 foram calculados os valores de radiação solar que atingem uma parede vertical com aquela exposição.

Os gráficos citados foram obtidos tendo por base os valores da constante solar, altitude e azimute do sol, latitude de Piracicaba e ângulo horário. Estas curvas são empíricas e serviram apenas para determinar a proporção existente entre os valores de radiação recebida em uma superfície horizontal e uma parede vertical com exposição norte.

Para a determinação destas proporções procedeu-se ao cálculo da área sob cada uma das curvas, sendo que para a confecção das mesmas foram utilizados dados horários.

Queremos salientar que as curvas tracejadas da Fig. 4 (novembro) e Fig. 4 (dezembro e janeiro) se referem à radiação recebida em uma parede vertical com exposição sul, com excessão do período de 10 às 14 horas da curva de novembro, que se refere à radiação recebida na parede vertical com exposição norte.

Segundo BROOKS (1951) o valor correspondente à radiação difusa do céu que atinge uma superfície horizontal é 1/6 do valor calculado para a radiação direta, e a radiação difusa que atinge uma parede vertical com qualquer exposição é igual a 2/3 da radiação difusa numa superfície horizontal.

TABELA II

Valores horários de radiação solar recebida em superfícies horizontal e vertical com exposição norte (cal/cm²/hora)

MESES	H O R A S											
	6,30 - 7,30 7,00		7,30 - 8,30 8,00		8,30 - 9,30 9,00		9,30 - 10,30 10,00		10,30 - 11,30 11,00		11,30 - 12,30 12,00	
	Hor.	Vert.	Hor.	Vert.	Hor.	Vert.	Hor.	Vert.	Hor.	Vert.	Hor.	Vert.
Agosto	21	36	47	44	70	51	89	67	98	90	98	98
Setembro	25	13	54	31	77	39	96	43	106	48	108	53
Outubro	37	2	64	5	85	15	103	20	114	24	116	29
Novembro	41	25+	69	15+	89	7+	106	1+	117	1+	119	8+
Dez. - Jan.	45	34+	69	25+	90	17+	106	11+	117	7+	120	4+

TABELA I

MESES E DECADAS	INSOLAÇÃO EM HORAS E MINUTOS						VALORES DE $\frac{n}{N} \times 100$				Radiação Solar recebida em Plano Horizontal cal/cm ² /decada			Radiação Solar recebida em um Plano Vertical Exposição Norte cal/cm ² /decada			VALORES DE D.F.		
	1957		1958		1959		1957		1958		1959		1957		1958			1959	
Janeiro	81,00	110,18	59,24	61	83	44	5855,2	6962,7	4962,0	1053,9	1253,3	893,2	9224						
2	40,36	60,06	40,24	30	46	30	4247,1	5029,4	4247,1	764,5	905,3	764,5	7877						
3	87,30	53,36	101,54	60	37	70	6217,6	4956,9	6753,6	1119,2	892,2	1215,6	10720						
Fevereiro	49,48	60,30	44,18	38	46	34	4483,8	6773,4	4293,0	—	—	—	9540						
4	77,12	94,48	69,48	61	75	55	5468,7	6117,5	5005,3	—	—	—	9269						
5	44,00	23,18	78,24	44	23	75	3584,0	2795,5	4730,9	—	—	—	7168						
6	76,24	65,18	87,24	62	53	71	5102,9	4757,0	5535,4	—	—	—	8649						
7	80,30	54,12	57,30	66	44	47	5049,6	4139,0	4221,8	—	—	—	8278						
8	56,30	91,00	55,30	43	70	43	4232,6	5441,9	4232,6	—	—	—	8638						
9	49,54	63,48	84,00	43	55	73	3636,8	4007,9	4824,3	—	—	—	7422						
Abril	81,00	45,00	91,06	71	40	80	4474,9	3356,2	3426,1	—	—	—	6992						
11	63,18	73,24	83,12	56	65	47	3683,7	4012,6	3354,8	—	—	—	6578						
12	60,54	65,06	91,30	55	59	82	3479,3	3603,5	4349,1	—	—	—	6213						
13	76,00	70,06	57,00	70	65	53	3720,8	3425,5	3248,3	—	—	—	5906						
14	79,12	30,06	71,48	68	26	62	3866,3	2556,8	3679,2	—	—	—	6236						
15	54,30	86,36	56,42	52	83	54	2963,0	3840,9	3017,8	—	—	—	5487						
Junho	58,24	52,54	79,00	60	50	76	3141,3	2870,5	3574,6	—	—	—	5416						
17	56,00	86,36	84,24	63	83	81	3221,4	3758,3	3704,6	—	—	—	5369						
18	51,00	58,06	77,48	49	56	74	2939,4	3105,8	3604,9	—	—	—	5568						
Julho	42,48	44,06	86,18	40	42	72	2752,8	2810,2	4014,5	—	—	—	5735						
20	100,30	92,30	87,06	86	79	74	5460,5	5157,1	4929,6	—	—	—	7584						
21	83,12	74,48	46,30	75	70	42	4158,7	3994,8	3087,5	3659,7	3515,4	2717,0	6301						
22	47,36	92,30	58,30	42	83	52	3558,0	4664,9	3590,5	2867,0	4105,1	3159,6	6649						
23	86,54	81,51	94,24	70	66	76	4891,3	4760,9	5201,9	4304,3	4189,6	4577,7	7764						
24	54,48	61,54	58,00	48	54	51	3911,4	4140,9	4062,9	1877,5	1987,6	1950,2	7522						
25	63,36	71,06	67,24	54	61	58	4354,9	4649,4	4513,3	2090,4	2231,7	2166,4	7918						
26	55,36	74,16	73,30	46	61	61	4239,6	4881,4	4904,7	2035,0	2343,1	2354,3	8313						
27	103,48	81,06	78,24	85	70	64	6140,8	5483,5	5189,4	1043,9	932,2	882,2	8649						
28	85,12	95,48	52,36	69	77	42	5642,3	6004,1	4388,4	3087,5	1020,7	746,0	8956						
29	53,18	51,48	82,30	39	37	60	4769,6	4692,4	5285,8	810,8	797,7	1000,6	10148						
30	70,36	91,12	66,18	54	70	51	5208,0	6003,4	5113,3	4687,7	540,3	460,2	9469						
31	41,00	71,42	50,42	31	54	44	4152,9	5319,6	4829,0	373,8	464,2	434,6	9658						
32	99,30	87,00	58,18	75	66	38	6440,9	5984,2	4586,7	579,7	538,6	412,8	9559						
33	64,30	96,42	56,06	48	72	42	5138,6	6368,0	6818,6	924,9	1146,2	1227,3	9882						
34	52,42	29,48	100,18	39	22	88	4658,6	3810,2	7235,8	838,5	685,8	1302,4	9912						
35	107,48	93,06	86,12	73	63	59	7087,0	6515,2	6323,7	1275,7	1172,7	1138,3	10903						

TABELA III

MESES	Área sob a curva correspondente à superfície horizontal mm ²	Área sob a curva correspondente à superfície vertical mm ²	Relação entre as áreas %
Agosto	3711	3291	88
Setembro	4064	1975	48
Outubro	4519	807	17
Novembro	4714	444	9
Dez. - Jan.	4759	884	18

4. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

4.1. Pelo estudo dos dados da Tabela I, dos Gráficos 1 a 5 e da Tabela III notamos como variam as proporções entre os totais de radiação solar sobre superfícies horizontal e vertical.

4.2. Os totais correspondentes a janeiro e dezembro, e relativos à radiação recebida em uma superfície vertical se referem à exposição sul.

4.3. Tendo por base o que ficou estabelecido no item 4.2. podemos considerar que a superfície vertical com exposição norte, nos meses de janeiro e dezembro, irá receber apenas radiação difusa que podemos considerar como sendo igual àqueles valores propostos por BROOKS.

4.4. Em relação à curva do mês de novembro, queremos salientar que desde o nascer do sol até 10 horas da manhã; e das 14 horas até o pôr do sol, a radiação solar irá incidir sobre a superfície vertical com exposição sul. Aquela superfície com exposição norte só receberá radiação direta das 10 às 14 horas.

Na Tabela IV damos, para o caso das décadas de novembro, uma idéia de como o total encontrado na Tabela I se distribue durante aquelas horas para as condições de exposição norte ou sul.

4.5. As curvas correspondentes aos meses de dezembro e janeiro foram consideradas como sendo idênticas para fins de aplicação prática.

TABELA IV

Década- das	EXPOSIÇÃO SUL das 6,30 - 10 hs.			EXPOSIÇÃO NORTE das 10 às 14 hs.			EXPOSIÇÃO SUL das 14 às 17,3 hs.		
	1957	1958	1959	1957	1958	1959	1957	1958	1959
1	203,9	235,0	200,2	60,9	70,2	59,8	203,9	235,0	200,2
2	162,6	208,3	189,0	48,6	62,2	56,5	162,6	208,3	189,0
3	252,1	234,3	179,5	75,4	70,0	53,7	252,1	234,3	179,5

TABELA IV — Décadas do mês de novembro com explicação de como se processa a divisão, do total da radiação, para exposição norte e sul. (cal/cm²/década).

5. SUMMARY

In the field of agrometeorological studies we are in need of the estimation of the solar radiation frequently.

At the present study the authors have worked out some data regarding the hours of sunshine during the months of August, September, October, November, December and January of 1957, 1958 and 1959.

Based on such hours of sunshine in the Agrometeorological Station, located at the Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" — U.S.P., in Piracicaba, the authors calculated the solar radiation received on a plane and horizontal surface, from the method proposed by Glover and McCulloch. With those results the authors estimated the percentual part of radiation that would be received on vertical wall facing north.

6. LITERATURA CITADA

- 1924 — ANGSTRÖM, A. — «Solar and terrestrial radiation» — Journal of the Royal Met. Soc. — April: Vol. 50: 121-126.
- 1936 — KIMBALL, H. H. e HAND, I. V. — «Biological effects of Radiation», Ed. B. M. Duggar — McGraw-Hill Book Co. N. York.
- 1940 — PRESCOTT, J. A. — «Transactions of the Roy. Soc. S. Aust. 64:114.
- 1948 — PENMAN, H. L. — Proc. Roy. Soc. Série A: 193:120.
- 1949 — NICOLET, M. e DOGNIAUX, R. — «La détermination du climat de la radiation par la mesure de la durée de l'insolation». Service du Rayonnement de l'Institut Royal Météorologique de Belgique. Uccle.
- 1951 — BROOKS — F. A. — «Climatic environment: A thermal System». University of California — Davis.
- 1953 — SATO, TAKAO — «On the problem of Mathematical Insolation (Insolation falling on any declined plane) Journal of the Met. Soc. of Japan. Vol. 31 N.º 1: 6-17.
- 1954 — BLACK, J. N., BONYTHON, C. W. e PRECOTT, J. A. — «Solar radiation and the duration of sunshine». Quart. Journ. Roy. Met. Soc.. Abril — Vol. 86 — N.º 344: 231-235.
- 1955 — ANGSTRÖM, A. — «Geografiska Annaler — H1, och 2 e em Monthly Weather Rev. outubro de 1926: 417-418.
- 1958 — GLOVER, J. e McCULLOCH, S. G. — «The empirical relation between solar radiation and hours of bright Sunshine in the high altitude tropics». Quart. Jour. Roy. Met. Soc. Janeiro — Vol. 84 -- N.º 359: 56-60.
- 1958 — GLOVER, J. e McCULLOCH, S. G. — «The empirical relation between solar radiation and hours of sunshine». Quart. Journ. Roy. Met. Soc. — abril — Vol. 84 — N.º 360: 172-175..
- 1958 — SCHUBERT, J. — «Solar Radiation in Middle North Germany according to measurements at Potsdam». Meteorologische Zeitschrift. Janeiro — Monthly Weather Rev. — Maio: 179-180.





