

AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE ENERGIA SOLAR NO TRÓPICO ÚMIDO  
BRASILEIRO - RESULTADOS PARCIAIS

TATIANA DEANE DE ABREU SÁ DINIZ<sup>1</sup>, THEREZINHA XAVIER BASTOS<sup>1</sup>,  
LÚCIA TERUKO KOBAYASHI<sup>2</sup>, MARGARIDA MARIA MAUÉS DA SILVA<sup>3</sup> e JOSÉ  
ADERALDO DE ARAÚJO<sup>4</sup>.

RESUMO - São apresentados resultados preliminares da programação que o Centro de Pesquisa Agropecuária do Trópico Úmido (CPATU-EMBRAPA) desenvolve com vistas à avaliação do potencial de energia solar no trópico úmido brasileiro. Tal programação engloba o cálculo de constantes de equações estimativas da radiação global, utilizando registros de brilho solar, nebulosidade, e de radiação, disponíveis; medição e análise da distribuição horária e diária da radiação global e seus componentes direto e difuso, em Belém, Pará; análise da distribuição diária da radiação global em estações actinométricas sob responsabilidade do CPATU; comparação do desempenho de diferentes sensores de radiação global e de equações estimativas desse parâmetro, em relação a pironômetro calibrado segundo a WRR\* e, avaliação do desempenho de secadores utilizando energia solar, para produtos agrícolas no trópico úmido brasileiro.

EVALUATION OF THE SOLAR ENERGY POTENTIAL IN THE BRAZILIAN HUMID  
TROPICS - PRELIMINARY RESULTS

ABSTRACT - The preliminary results of the program under development by the Brazilian Agriculture and Husbandry Research Center for the Humid Tropics (CPATU-EMBRAPA), aiming to evaluate

1. Eng<sup>o</sup> Agr<sup>o</sup>, M.Sc., Centro de Pesquisa Agropecuária do Trópico Úmido (CPATU-EMBRAPA). Caixa Postal 48. 66.000 Belém, PA.
2. Eng<sup>o</sup> Agr<sup>o</sup>, 2<sup>o</sup> DISME, Instituto Nacional de Meteorologia (INEMET), Belém, PA.
3. Eng<sup>o</sup> Agr<sup>o</sup>, Bolsista EMBRAPA/CNPq/PIEP, CPATU-EMBRAPA.
4. Eng<sup>o</sup> Agrícola, Bolsista EMBRAPA/CNPq, CPATU-EMBRAPA.

\* World Radiation Reference - Vigente a partir de jan. de 1981

the solar energy availability in the Brazilian Humid Tropics, are presented. This program involves computation of constants for equations utilized for estimating global radiation, using available sunshine, cloudiness and global radiation data; measurement and analysis of hourly and daily distributions of global radiation and its components direct and diffuse, in Belém, Pará, Brazil; analysis of global radiation distribution in actinometric stations under responsibility of CPATU; comparison of the performance of different global radiation sensors and estimative equation for this parameter, in relation to a pyranometer calibrated according to WRR and, evaluation of the performance of dryers utilizing solar energy, for agricultural products in the Brazilian Humid Tropics.

## INTRODUÇÃO

O conhecimento da distribuição espacial e temporal da radiação global e de seus componentes direto e difuso, é fundamental à avaliação da potencialidade de uma região para o aproveitamento direto ou indireto da energia solar para fins agrícolas.

No trópico úmido brasileiro, até recentemente, as informações disponíveis sobre tais parâmetros resumiam-se a esparsos registros actinográficos da radiação global, em sua maioria, de consistência duvidosa, algumas medições de curta duração com aparelhos mais precisos (VILLA NOVA, SALATI, SANTOS & RIBEIRO, 1976) e, estimativas calculadas segundo métodos que utilizam valores de duração do brilho solar (LÖF, DUFFIE & SMITH 1966; MOTA, BEIRSDORF & ACOSTA 1977; NUNES, ANDRÉ E VIA - NELLO 1978; HANCOCK, HILL & HARGREAVES, 1979).

As medições regulares de radiação global, mediante piranômetros Eppley tiveram início na região apenas em 1978, em estações do Instituto Nacional de Meteorologia (INEMET).

Sensível à crescente demanda de informações objetivas sobre a disponibilidade de energia solar no trópico úmido brasileiro, o CPATU, a partir de 1982, vem desenvolvendo atividades, nos seguintes tópicos:

. análise estatística convencional da distribuição temporal da radiação global e aplicação de equações estimativas desse parâmetro, a partir de valores de duração de brilho solar e de nebulosidade em estações do INEMET que dispõem de registros de radiação solar através de piranômetros;

. medição e análise da distribuição horária e diária da radiação global, e seus componentes direto e difuso em Belém, Pará, mediante piranômetro;

. análise de distribuição da radiação global em estações da rede do CPATU, mediante actinôgrafos calibrados periodicamente;

. comparação do desempenho de actinôgrafos de rotação diária e de rotação semanal, piranômetros tubulares e equações estimativas de radiação global, em relação a piranômetro calibrado segundo a WRR; e

. avaliação do desempenho de secadores solares para produtos agrícolas no trópico úmido brasileiro.

## MATERIAL E MÉTODOS

Com vistas à análise da variação da radiação global e cálculo de constantes para equações estimativas desse parâmetro, foram adquiridos, junto ao Instituto Nacional de Meteorologia (INEMET), totais diários de radiação global medidos através de piranômetros Eppley (modelo 8-48), disponíveis até o final de 1981, das seguintes localidades: Belém-PA, Manaus-AM, Boa Vista-RR, Cuiabá-MT, Carolina-MA e São Luiz-MA.

Para a análise da variabilidade desse parâmetro estão sendo computados médias, valores extremos, amplitude, desvio padrão, coeficiente de variação, variância, curtose e distribuição em diversas classes de frequência.

As equações estimativas da radiação global, em estudo, são as de Ångstrom-Prescott, que utiliza-se de valores de duração do brilho solar e a do tipo Black, que utiliza-se de valores de nebulosidade.

Para a avaliação da radiação global e de seus componentes direto e difuso em Belém, Pará, estão sendo utilizados va-

lores integrados de radiação global mediante piranômetro Moll-Gorczyński (modelo CM 5/6 da Kipp & Zonen), acoplado a integrador Kipp & Zonen (modelo CC10). Valores integrados de radiação difusa medidos por piranômetros Eppley (modelo 8-48), instalado sob tira sombreadora, segundo modelo desenvolvido pela Utah State University (SECRET & DIRMHIRN 1979; LEBARON, PETERSON & DIRMHIRN 1980), com modificações para baixa latitude do hemisfério Sul, acoplado a integrador Kipp & Zonen (modelo CC 10), enquanto que a radiação direta foi obtida subtraindo os valores de radiação difusa dos de radiação global. Os piranômetros utilizados nesse estudo foram calibrados de acordo com a WRR, no Centro de Radiação Solar do INEMET, em Brasília.

Com vistas a ampliar o conhecimento de radiação solar na região, bem como, para subsidiar experimentos em desenvolvimento, o CPATU vem instalando actinôgrafos, periodicamente calibrados, em estações agrometeorológicas sob sua responsabilidade contando, no momento, com actinôgrafos de rotação diária (Fuess modelo 58 dc) em Capitão Poço, Alenquer e Paragominas, no Estado do Pará; Macapá, no Território Federal do Amapá; Manaus, no Estado do Amazonas e em Cauamé (Município de Boa Vista), no Território Federal de Roraima, e com actinôgrafos de rotação semanal (Belfort modelo 5-3850A) em Tracuateua e Tomé-Açu no Estado do Pará e São Luis do Anauá, no Território Federal de Roraima.

Os valores diários de radiação global obtidos nessas localidades estão sendo submetidos à análise estatística convencional.

Na sede do CPATU, está em andamento, o teste de desempenho de actinôgrafos (de rotação diária e semanal), piranômetros tubulares (Actron, modelo JE) em comparação a equações estimativas de radiação global em desenvolvimento, e a valores integrados mediante piranômetro Moll-Gorczyński.

Também na sede do CPATU, encontra-se em desenvolvimento a avaliação da performance de quatro protótipos de secadores utilizando energia solar, para produtos agrícolas no trópico úmido brasileiro (ARAÚJO, DINIZ & BASTOS 1983), constando do monitoramento da secagem de produtos agrofloretais (arroz, mi-

lho, pimenta-do-reino, guaraná, madeiras) e posterior análise da frequência de condições próprias à sua utilização no decorrer do ano.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados referentes à avaliação da distribuição de radiação global em estações piranométricas do INEMET prendem-se no momento, apenas a Belém-PA, podendo-se observar na Fig. 1, que nessa localidade, o valor médio mensal menos elevado foi encontrado em janeiro, enquanto que o mais elevado em agosto, seguido de perto do mês de setembro. Pode-se observar ainda, que o mês de maior amplitude e maior coeficiente de variação desse parâmetro foi fevereiro e o de menor amplitude e menor coeficiente de variação foi setembro. A grande variabilidade encontrada notadamente nos primeiros meses do ano, atribui-se aos valores mais elevados de radiação extra-terrestre e à presença da Zona Intertropical de Convergência que caracteriza esse período, nessa área.

No tocante ao cálculo de constantes e teste de equações estimativas da radiação global, foram até o presente abordadas equações do tipo Ångstrom/Prescott, para cada mês do ano e com todos os valores do ano em conjunto, para a localidade de Belém, estando as constantes  $a$  e  $b$ , bem como o coeficiente de correlação dessas, contidos na Tabela 1, comparados a valores apresentados por diversos autores, verificando-se que, as constantes encontradas se assemelham bastante às sugeridas por MOTA, BEIRSDORF & ACOSTA (1977) e por NIRENBERG (s.d.).

A Fig. 2 mostra os resultados obtidos de radiação global direta e difusa em Belém, evidenciando que, no período coberto pelo estudo (outubro/82 a maio/83), a radiação difusa constituiu considerável percentual da radiação global diária, observando-se que, dentre os meses analisados, maio foi o que exibiu maior média de radiação direta, e janeiro o que apresentou menor média.

Com respeito à distribuição horária da radiação global, direta e difusa em Belém, no período acima mencionado -

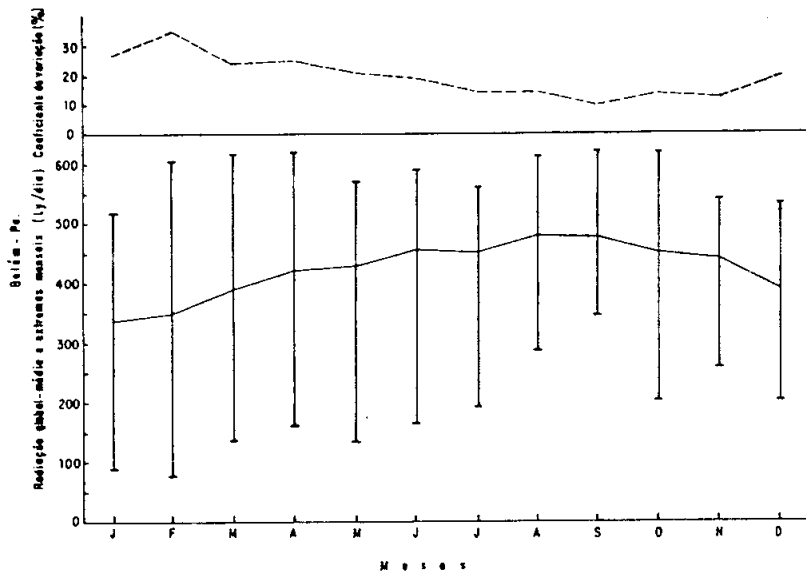


FIGURA 1. Valores médios e extremos de radiação global (ly/dia) e coeficiente de variação (%) em Belém, Pará, período 1978 a 1981.

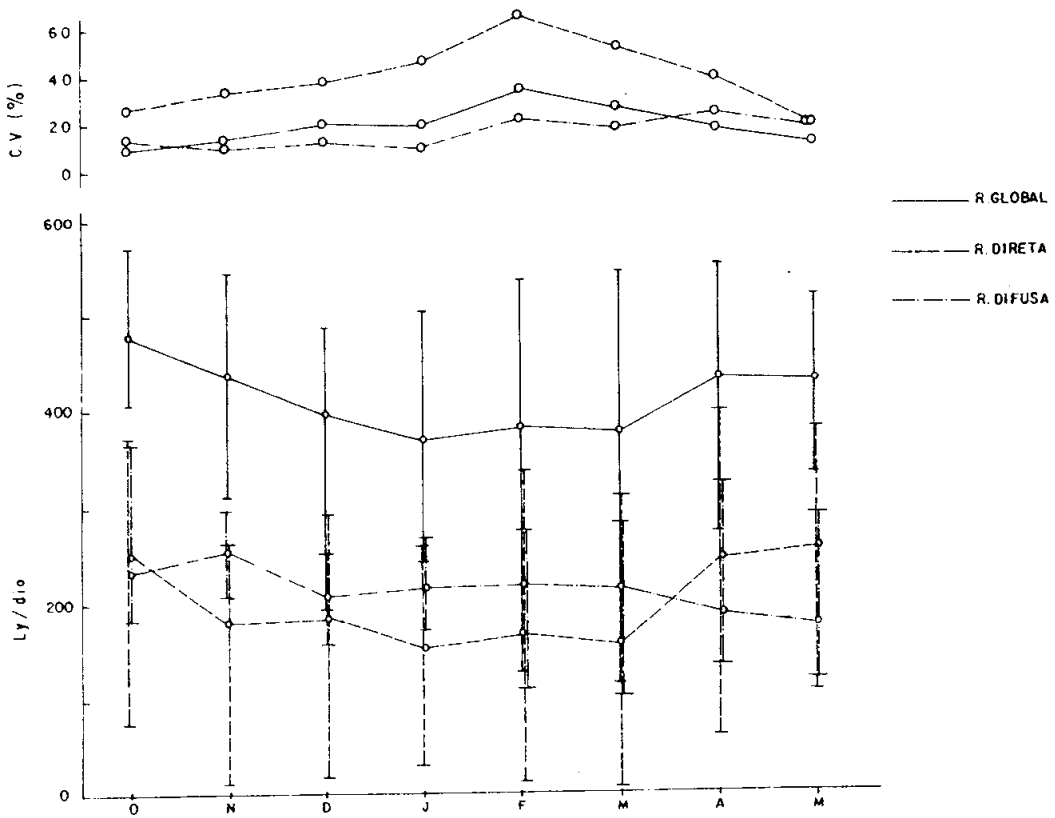


FIGURA 2. Valores médios e extremos mensais, de totais diários de radiação global, direta e difusa (ly/dia), em Belém, Pará.

TABELA 1. Constantes a e b de equação de Ångström/Prescott e coeficientes de correlação para Belém, mediante dados piranométricos (1978/81), corrigidos pela WRR, comparados a constantes citadas por diferentes autores.

Fonte	Período	a	b	a + b	r	n
1	Janeiro	0,23	0,40	0,63	0,884	62
1	Fevereiro	0,26	0,44	0,70	0,794	57
1	Março	0,27	0,40	0,67	0,801	62
1	Abril	0,28	0,40	0,68	0,823	60
1	Maio	0,34	0,35	0,69	0,729	124
1	Junho	0,26	0,48	0,74	0,870	120
1	Julho	0,30	0,41	0,71	0,858	123
1	Agosto	0,25	0,45	0,70	0,820	124
1	Setembro	0,27	0,41	0,68	0,773	120
1	Outubro	0,27	0,38	0,65	0,806	93
1	Novembro	0,32	0,32	0,64	0,834	90
1	Dezembro	0,28	0,35	0,63	0,894	93
1	Todos os valores	0,28	0,41	0,69	0,844	1118
2	Todos os valores	0,29	0,43	0,72	-	-
3	Todos os valores	0,31	0,41	0,72	-	-
4	1º semestre	0,29	0,51	0,80	-	-
4	2º semestre	0,41	0,34	0,75	-	-

1 - Dados piranométricos 1978/81

2 - Mota, Beirsdorf & Acosta 1977

3 - Nirenberg, s.n.t.

4 - Löf, Duffie & Smith 1966

(Fig. 3), pode-se observar, como era de se esperar, a grande variabilidade, notadamente na radiação global e direta.

Dentre as localidades cobertas pela rede actinométrica do CPATU, foram até a presente processados os dados das estações de Alenquer, Capitão Poço, Tomé-Açu e Macapá, que comparados aos obtidos em Belém através de piranômetro (Tabela 2), levam à indicação que, de um modo geral, não se evidenciaram diferenças marcantes nos valores médios mensais e que, maiores diferenciações foram observadas quanto à amplitude de variação e à frequência relativa de valores diários durante os meses, refletindo, indiretamente, a natureza da distribuição pluviométrica em cada localidade.

Quanto à avaliação de modelos de secadores solares para produtos agrícolas no trópico úmido brasileiro, foram realizados testes envolvendo quatro tipos de secadores, com grãos de arroz (Fig. 4) e envolvendo um tipo de secador com grãos de milho (Fig. 5), tendo os resultados demonstrado que os secadores dos tipos 1 (capacidade de 300 kg) e tipo 2 (capacidade de 150 kg), mostraram-se promissores à secagem de arroz e milho em médias e pequenas propriedades. Ao analisar-se a possibilidade de utilização desses tipos de secadores no decorrer do ano, em Belém, em função da disponibilidade de energia solar, observou-se que, em pelo menos 50% dos dias entre os meses de junho e outubro, são encontrados totais diários de radiação global em torno de 450 ly, que correspondem às condições encontradas no decorrer do estudo. Tais resultados sugerem que esses tipos de secadores podem ser utilizados, com sucesso, em áreas do trópico úmido brasileiro.

### CONCLUSÕES

Embora alguns itens abordados pelo trabalho ora apresentado não permitam emitir conclusões, por referirem-se a curtos períodos de observações, os resultados alcançados evidenciam que a distribuição da radiação solar em Belém, Pará, viabiliza a utilização de secadores solares por pequenos e médios produtores de grãos, notadamente nos meses de junho a outubro,



TABELA 2. Valores médios e extremos mensais e de frequência relativa de radiação global em diferentes localidades do Trópico Úmido brasileiro, no período julho de 1982 a março de 1983.

RADIACÃO GLOBAL (h/dia)	JULHO			AGOSTO			SETEMBRO			OUTUBRO			NOVEMBRO			DEZEMBRO			JANEIRO			FEVEREIRO			MARÇO																
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	4	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5																
M É D I A	437,9	418,9	409,0	417,9	462,8	427,3	431,0	462,2	465,0	406,4	464,0	461,7	462,8	423,0	412,0	432,7	397,4	423,0	390,4	371,6	413,2	384,4	356,1	354,0	372,3	409,3	363,3	374,2	377,2	362,8	462,7	388,2	391,5	379,9	405,1	441,4	377,6	393,7			
M Á X I M A	501,5	477,3	468,2	508,8	529,2	492,4	528,5	465,6	503,3	350,1	350,1	350,1	454,1	450,1	454,1	503,1	454,1	503,1	464,1	441,2	498,0	491,7	516,3	467,0	463,5	429,0	504,1	489,4	533,9	509,4	575,0	578,2	508,7	531,4	512,8	503,4	491,1	513,4			
M Í N I M A	326,7	313,6	313,7	363,7	344,6	300,4	340,4	362,7	394,0	322,7	401,5	332,3	354,1	322,7	198,5	332,2	332,7	306,7	313,3	191,4	209,4	171,6	168,4	152,0	230,0	267,3	328,1	186,4	188,7	310,6	257,0	101,0	153,3	411,6	422,7	279,3	196,4	224,7			
CLASSSE DE FREQUÊNCIA ≤ 150	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
151 - 200	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
201 - 250	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
251 - 300	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
301 - 350	3,3	9,7	12,9	0	3,2	10,0	3,3	0	3,3	0	3,3	0	3,4	6,4	7,4	14,3	3,4	27,6	16,7	12,9	19,4	6,7	9,7	3,3	27,6	15,1	16,1	16,1	10,0	15,4	10,7	7,7	14,3	3,8	10,7	11,5	10,7	6,4	6,7	3,7	10,0
351 - 400	13,3	16,1	19,3	13,3	0	20,0	3,3	13,3	3,6	23,3	0	3,0	0	3,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
401 - 450	46,7	51,6	43,2	33,3	41,9	26,7	43,3	13,3	35,7	20,0	41,9	41,9	24,2	29,0	37,0	32,1	17,2	20,7	50,0	22,6	22,6	43,3	16,1	43,3	31,0	29,0	9,7	16,1	33,3	3,8	3,6	26,9	10,7	23,1	21,4	25,8	23,3	14,8	20,0		
451 - 500	33,3	22,6	22,6	40,0	45,2	43,3	36,7	63,3	46,4	16,7	33,3	41,9	44,8	22,7	18,5	21,4	34,5	15,8	22,3	29,1	0	26,7	13,0	10,0	3,5	0	41,9	9,7	20,0	23,1	17,9	19,2	21,4	23,1	17,8	19,4	26,7	22,3	20,0		
501 - 550	3,4	0	0	13,4	9,7	0	13,4	10,1	14,3	10,0	23,8	5,5	13,8	6,4	18,5	3,6	31,0	6,9	5,6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
551 - 600	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
601 - 650	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		

- 1 - Belém - PA.
- 2 - Capitão Poço - PA.
- 3 - Alenquer - PA.
- 4 - Tomé' Açu - PA.
- 5 - Macapá - AP.

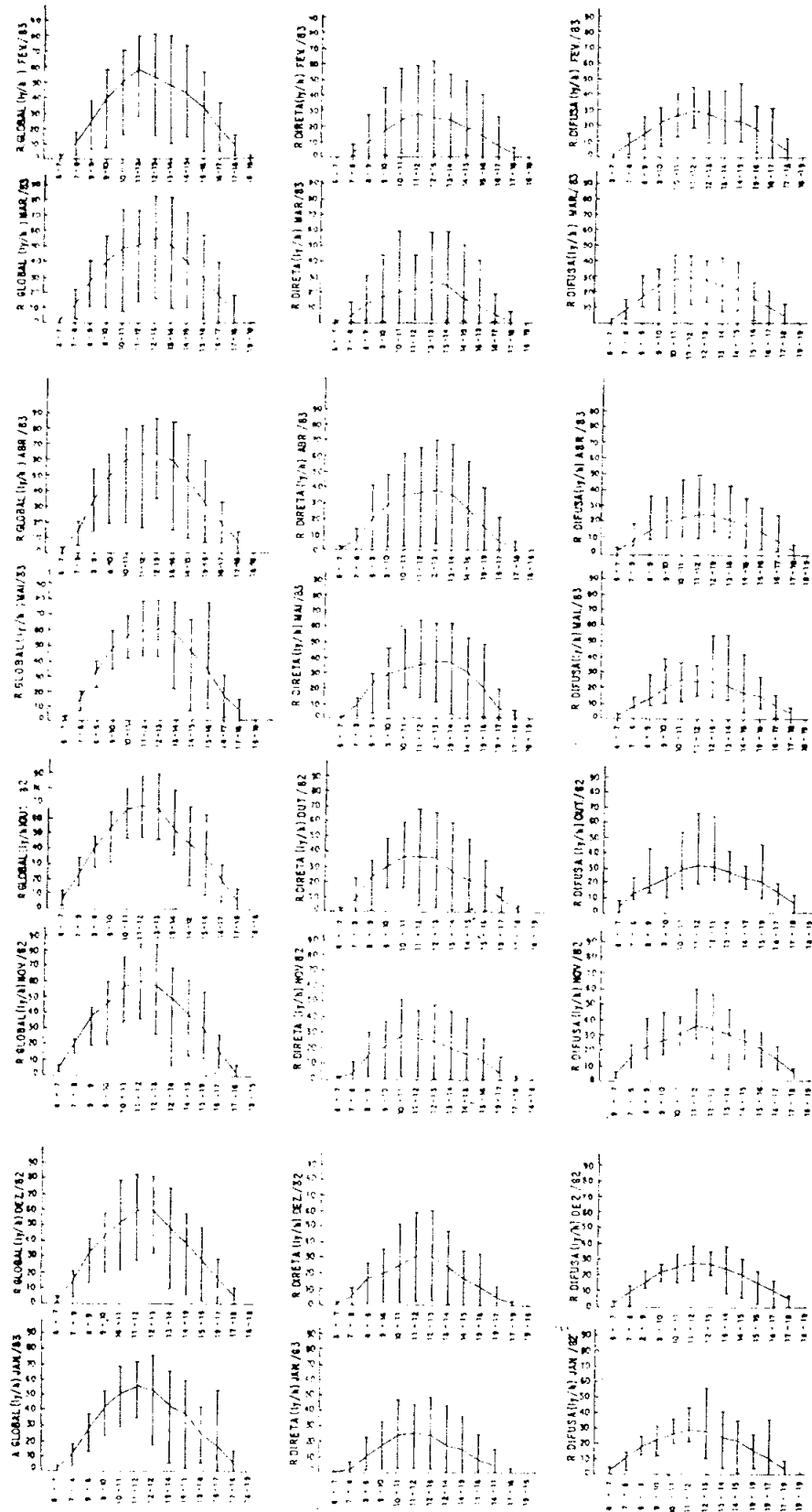


FIGURA 3. Valores médios e extremos mensais, de totais horários de radiação global, direta e difusa ( $ly/hora$ ), em Relém, Pará, no período outubro/82 a maio/83.

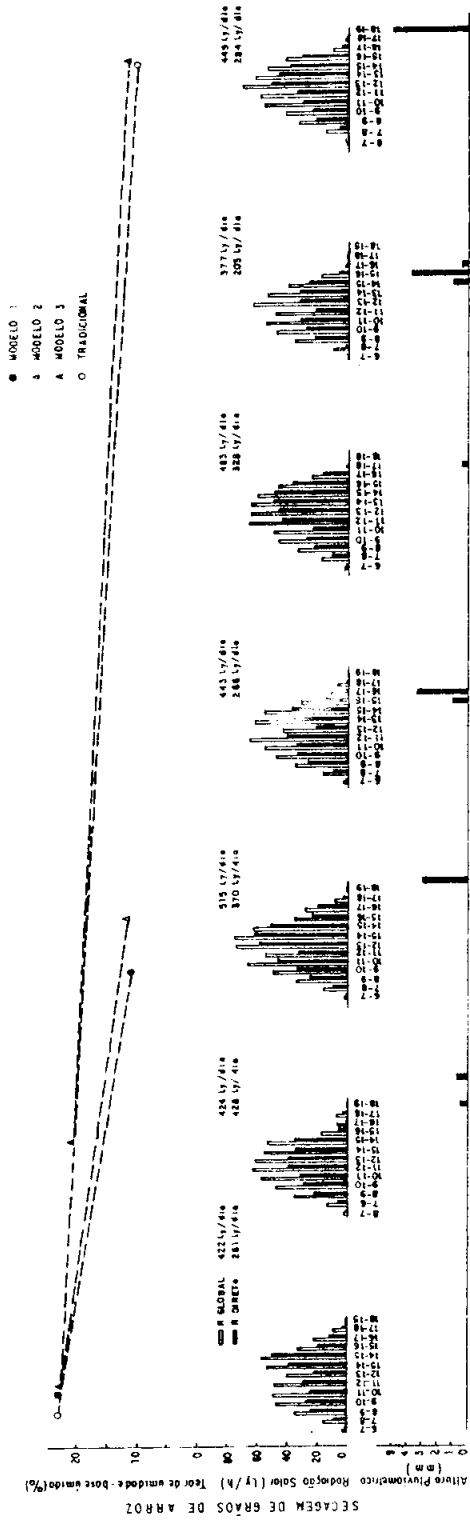


FIGURA 4. Comparação do desempenho de quatro tipos de secadores solares, na secagem de arroz, em Belém, Pará.

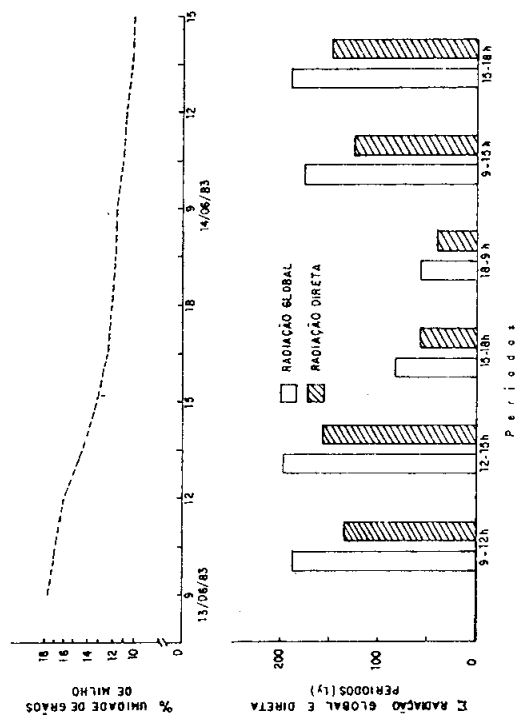


FIGURA 5. Comportamento do secador solar nº 1, para milho, em Belém, Pará.

período que engloba a colheita de considerável número de produtos agrícolas tradicionalmente cultivados na área.

#### REFERÊNCIAS

- ARAÚJO, J.A. de; DINIZ, T.D. de A.S. & BASTOS, T.X. Viabilidade de secadores solares para grãos, no trópico úmido brasileiro. EMBRAPA-CPATU, 1983 (no prelo).
- HANCOCK, J.K.; HILL, R.W. & HARGREAVES, G.E. Potential evapotranspiration and precipitation deficits for Tropical America. Centro Internacional de Agricultura Tropical, Beef Program, Cali, March 1979, 398p.
- LEBARON, B.A.; PETERSON, W.A. E DIRMHIRN, I. Correction for diffuse irradiance measured with shadowbands. Solar Energy, 25:1-13, 1980.
- LÖF, G.O.G.; DUFFIE, J.A. & SMITH, C.O. World distribution of solar radiation. Madison, Univ. of Wisconsin. Solar Energy Laboratory, 1966. 59p. (Univ. Wisconsin, Engineering Experiment Station. Report, 21).
- MOTA, F.S. da; BEIRSDORF, M.I.C. & ACOSTA, M.J.C. Estimativa preliminar da radiação solar no Brasil. B. Tec. Dep. Nac. Meteorol., 14:42-58, 1977.
- NIRENBERG, M. Atividades solarimétricas do Instituto Nacional de Meteorologia. s.n.t.
- NUNES, G.S.S.; ANDRÉ, R.G.B.; VIANELLO, R.L. & MARQUES, V.S. Estudo da distribuição de radiação solar incidente sobre o Brasil. São José dos Campos, INPE, 1978. 45p.
- SECRET, J.A. & DIRMHIRN, I. Accuracies achievable with indirect measurements of the direct solar irradiance component. Solar Energy, 23:509-512, 1979.
- VILLA NOVA, N.S.; SALATI, E.; SANTOS, J.M.; SANTOS & RIBEIRO, M.N.G. Coeficiente de transmissão de radiação solar em Manaus em junho. Acta Amazonica, 6(3):319-322, set. 1976.