

DETERMINAÇÃO DE PERÍODOS CLIMATOLÓGICOS TÍPICOS E SUA APLICAÇÃO EM VIÇOSA, MINAS GERAIS ^{1/}

Guido de Souza Damasceno ^{2/}

Mauri Fortes ^{2/}

Rubens Leite Vianello ^{3/}

1. INTRODUÇÃO

A viabilidade econômica de um sistema de aquecimento solar é determinada pela disponibilidade a longo prazo, pelo caráter intermitente, pela intensidade local da radiação e pelo desempenho dos dispositivos de captação solar, do isolamento, do reservatório de calor, dos ventiladores ou bombas, dos dispositivos de controle e dos acessórios.

O desempenho dos dispositivos de captação solar e dos controles é especificado, geralmente, em termos da sua eficiência instantânea em condições especiais de céu claro (5).

Dados de intensidade de radiação, em frações de hora, horas, semanas, meses e anos são imprescindíveis ao dimensionamento do reservatório de calor e da área de captação do coletor solar. Os dados de radiação usados no dimensionamento de sistemas solares consistem, geralmente, em dados horários para um único ano, dados horários reais para vários anos, dados horários médios e dados estocásticos.

Em razão das variações climáticas, os dados de radiação para um único ano são de aplicação duvidosa na simulação de desempenho de sistemas solares (5). Vários métodos ou modelos, matemáticos ou estatísticos, têm sido propostos, visando a fornecer dados de radiação fidedignos para a análise de desempenho de sistemas solares a curto (horário), médio (mensal) e longo prazo (anual).

Um dos primeiros métodos usados para estimar a radiação solar global so-

^{1/} Recebido para publicação em 31.8.1982.

^{2/} Departamento de Física da U.F.V. 36570 Viçosa, MG.

^{3/} Departamento de Engenharia Agrícola da U.F.V. 36570 Viçosa, MG.

bre uma superfície horizontal na superfície da Terra (R_g) foi proposto por Angstrom, citado por ALVES (1), DUFFIE e BECKMAN (6) e KREITH e KREIDER (10). Trata-se de uma equação de regressão baseada na radiação para um dia claro e na fração média de horas de possível brilho solar. Esse modelo sofreu modificações e, atualmente, é utilizado na forma (1, 6, 10).

$$R_g = R_{0,h} \left(a + b \frac{n}{N} \right) \quad (1)$$

sendo n o número observado de horas de brilho solar; N a duração astronômica do período diurno; $R_{0,h}$ a radiação solar diária sobre uma superfície horizontal no topo da atmosfera; a e b constantes de regressão para a localidade.

ALVES (1) ajustou esse modelo às condições de Viçosa, MG, e apresentou os valores das constantes a e b para todos os meses do ano.

HOYT (8) apresentou um modelo de radiação solar para dias claros, baseado no espalhamento e absorção da radiação pelos componentes da atmosfera (vapor d'água, dióxido de carbono, ozônio, oxigênio, poeira), na massa ótica de ar e no ângulo zenital. Razões de absorção e espalhamento, usadas nesse modelo, foram obtidas de outros autores. Para dias de céu claro, os parâmetros considerados são os tipos de nuvens (divididos em seis grupos) e o albedo da superfície.

Muitas vezes, os cálculos do desempenho de um sistema solar são feitos em curtos intervalos de tempo (horas ou frações de hora). Os dados disponíveis de radiação, geralmente, são diários, o que torna necessária a obtenção de dados de radiação horária (ou de intervalos menores), a partir de informações sobre a radiação diária. Estudos estatísticos da distribuição temporal da radiação sobre superfícies horizontais, durante o dia, têm gerado gráficos generalizados da razão entre a radiação total horária e a radiação total diária, como uma função do comprimento do dia e da hora em questão (6).

MUSTACCHI *et alii* (12) sugerem um método estocástico, baseado numa matriz de transição de Markov, para gerar seqüências horárias da transmitância atmosférica para um ano inteiro a partir de observações passadas. Tal procedimento apresenta a vantagem de permitir o estudo de eventos climatológicos raros, além de exibir todos os aspectos de observações passadas. A matriz é construída com base em uma função de transição, que representa a probabilidade de obtenção, a partir de determinada transmitância, da transmitância no intervalo de tempo seguinte. Esses autores testaram outras técnicas estatísticas, como a Média Móvel Auto-Regressiva (modelo ARMA) e descrições de Análise Fatorial, além de técnicas mais complexas, como um Tensor de Transição para a transmitância e o Mapeamento Gaussiano. Concluíram que a Matriz de Transição de Markov era a única que representava adequadamente seqüências horárias de transmitância.

O modelo de Liu e Jordan, citado por BECKMAN *et alii* (4) e DUFFIE e BECKMAN (6), não é aplicável universalmente (9, 11). HAY (7) sugere um método alternativo para estimar valores médios mensais da radiação solar em superfícies horizontais ou inclinadas, a partir de dados do brilho solar e do albedo da superfície. Os efeitos da reflexão múltipla, considerados nesse modelo, procuram minorar as variações espaciais e temporais que influenciam os coeficientes de regressão em outros modelos, como o de Liu e Jordan.

ATWATER e BALL (2) apresentam um modelo numérico empírico, baseado em observações meteorológicas padrão, que permite gerar dados meteorológicos correntes para determinados locais sem o emprego de dados observados. Em trabalho mais recente (3), esses autores analisaram o efeito da nebulosidade nos modelos de insolação.

O dimensionamento de um sistema de aquecimento solar com reservatório de calor depende tanto da função de demanda quanto da disponibilidade diária ou horária de energia. O dimensionamento deve, portanto, basear-se na probabilidade de seqüência de dias de baixa ou alta radiação.

O método de Liu e Jordan para calcular a radiação média não prevê a ocorrência de uma seqüência de dias favoráveis ou desfavoráveis à captação de energia solar. Os modelos de HOYT (8) e HAY (7) também não consideram essa distribuição temporal da radiação. O método estocástico (cadeias de Markov), proposto por MUSTACCHI *et alii* (12), gera seqüências horárias da transmitância atmosférica, todavia pode apresentar problemas de computação, quando forem considerados os dados de radiação de vários anos.

Um procedimento simples para caracterizar o clima de determinado local é sugerido por PETRIE e McCLINTOCK (13), o qual parte de dados de radiação de um número opcional de anos de observação. Esse método é baseado no conceito de «tipicidade» do clima de determinada região, isto é, certo número de dias («semana típica») de determinado mês, cuja freqüência e seqüência de dias, em termos de níveis de radiação de temperatura e de velocidade do vento, caracterizem o período observado.

Este trabalho visou a desenvolver um programa de computador que fornecesse as semanas típicas para determinada localidade, estabelecendo critérios baseados em dados meteorológicos observados.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Desenvolvimento do Conceito de Semana Típica

A metodologia de conceituação e a consequente obtenção de uma semana típica mensal seguem, basicamente, o raciocínio de PETRIE e McCLINTOCK (13). Entretanto, são introduzidas e indicadas algumas modificações conceituais.

Uma semana típica deve constituir-se de um número mensal mínimo de dias, de tal modo que um mês assim formado se aproxime de um mês real nos seguintes pontos:

a probabilidade de ocorrência de dias de determinada insolação, de temperaturas máximas e mínimas, de horas de brilho solar e de velocidade do vento seja aproximadamente a mesma da ocorrência de médias mensais reais. Essas médias mensais devem basear-se em dados de vários anos, sendo 30 anos o ideal, por recomendação da Organização Meteorológica Mundial.

a seqüência de dias da semana típica, no que se refere à insolação ou a outros dos parâmetros referidos, aproxima-se das seqüências reais médias dos dados mensais.

2.2. Obtenção da Semana Típica

Para determinar uma semana típica, tomou-se um período de 8 anos (1972 a 1981) de dados de radiação global, de temperaturas extremas (máximas e mínimas), de velocidade do vento (às 9 e às 15 horas) e de brilho solar (parâmetros de entrada) observados na Estação Climatológica Principal de Viçosa, MG, n.º 83642, do Instituto Nacional de Meteorologia, do Ministério da Agricultura, em convênio com a Universidade Federal de Viçosa. Obviamente, não há restrição a um período de tempo maior ou menor, exceto no que se refere à representatividade.

Utilizaram-se os dados mensais de acordo com o seguinte esquema:

1) Dividiu-se em 5 intervalos de radiação igualmente espaçados a diferença

entre a maior e a menor incidência de radiação diária ocorrida no mês (dados de 8 anos). Cada um desses intervalos definiu uma categoria para classificação dos dias com base nos dados de radiação global diária. Cada dia definido pelos intervalos foi caracterizado como Excelente, Bom, Regular, Sofrível e Péssimo. Por exemplo, para os dias do mês de março, em Viçosa, durante o período de 8 anos, o máximo de radiação foi de 594,5 langley (ly) e o mínimo de 87,5 langley. Esses dias foram, classificados da seguinte maneira:

Até 188 ly	— Péssimo
188 — 289 ly	— Sofrível
289 — 390 ly	— Regular
390 — 491 ly	— Bom
Acima de 491 ly	— Excelente

A seguir, foram classificados todos os dias e determinadas todas as médias dos parâmetros de entrada para cada tipo de dia. Assim, cada tipo de dia ficou caracterizado pela radiação média, pelas temperaturas médias (máxima e mínima), pelas velocidades médias do vento e pelas horas de brilho solar médio.

2) Calculou-se a freqüência real de ocorrência de cada tipo de dia, isto é, a fração que representava o número de vezes que cada tipo de dia apareceu no conjunto de dados. Por exemplo: se 60 dias foram classificados como Excelentes nos 240 dias (30 dias x 8 anos) de observação, a freqüência foi de 0,25.

3) Para determinar a semana típica, há necessidade de saber o comprimento e a composição da «semana», ou seja, de quantos dias de cada tipo (Excelente, Bom, etc.) a semana deve ser constituída. Diante disso, admitiu-se que o comprimento da «semana» pudesse variar de 5 a 10 dias, conforme sugeriram PETRIE e McCLINTOCK (13). Um simples arredondamento nas freqüências poderia produzir semanas com 9, 10 ou 11 dias. No entanto, preferiu-se adotar o seguinte critério:

a) Cada freqüência foi multiplicada pelos seis possíveis comprimentos (5, 6, 7, 8, 9 ou 10 dias). Os arredondamentos dos produtos foram feitos da seguinte maneira:

Até 0,544	— 0 dia
de 0,545 até 1,544	— 1 dia
de 1,545 até 2,544	— 2 dias
de 2,545 até 3,544	— 3 dias
de 3,545 até 4,544	— 4 dias

Por exemplo: se a freqüência de determinado tipo de dia foi 0,425, quando multiplicada por 5 ($0,425 \times 5 = 2,125$), seria de 2 dias aproximadamente. Multiplicada por 6, 7 ou 8, seria de 3 dias aproximadamente, e, multiplicada por 9 ou por 10, daria uma aproximação de 4 dias.

b) Para decidir qual a melhor composição da semana e, consequentemente, seu melhor comprimento, calculou-se a soma dos quadrados dos desvios (SQD) das aproximações para cada caso. A menor SQD definiu a melhor composição e comprimento da semana.

4) Para determinar a seqüência dos dias na semana típica, calcularam-se as freqüências de 25 seqüências binárias de dias, isto é, fez-se um levantamento do conjunto de dados para determinar a probabilidade de, por exemplo, depois de um dia tipo Excelente vir um dia tipo Bom ou Regular, etc., ou, ainda, a probabilidade de ser o dia seguinte a um dia Péssimo também Péssimo, ou Sofrível, ou Regular, etc. Contou-se o número de vezes que determinada seqüência ((E,E),

(E,B), (E,R), (B,E), (B,B), etc.) aparecia no conjunto. Se $n(X,Y)$ representa o número de vezes que uma seqüência binária qualquer aparece no conjunto de dados e $p(X,Y)$ a probabilidade de um dia X ser seguido de um dia Y, então a probabilidade de cada seqüência binária $p(X,Y)$ pode ser calculada do seguinte modo:

$$p(X,Y_1) = \frac{n(X,Y_1)}{\sum_{i=1}^5 n(X,Y_i)}$$

5) Conhecida a composição e o comprimento da «semana», bem como a probabilidade de ocorrência de todas as seqüências binárias, fez-se um levantamento de todas as seqüências que começavam com Excelente, tomado arbitrariamente, cujo comprimento e composição coincidiam com a semana estipulada. Por exemplo, uma semana composta de um Excelente (E), dois Bom (B), dois Regular (R) e um Sofrível (S) pode ser representada por

ESRRBB ou EBRSRB ou, ainda, EBBRSR

Para cada uma das seqüências possíveis, calculou-se o produto das probabilidades das seqüências binárias existentes, de forma que o último dia de cada seqüência fosse seguido de um dia Excelente (que seria o primeiro dia da semana seguinte). Por exemplo, na primeira seqüência apresentada o produto total das probabilidades é

$$P_t = p(E,S)p(S,R)p(R,R)p(R,B)p(B,B)p(B,E) \quad (3)$$

Todos os produtos foram comparados, e o maior definiu a seqüência que melhor representava os dados observados.

A Figura 1 mostra parte de uma árvore de probabilidade, com diversas possibilidades de seqüências para uma semana típica composta de 1 dia Excelente (E), 2 dias tipo Bom (B), 2 dias tipo Regular (R), 1 dia tipo Sofrível (S) e zero dia Péssimo (P). Nessa figura são assinaladas as probabilidades de ocorrência das seqüências binárias dos dias, bem como o produto dessas probabilidades para algumas das seqüências possíveis. Observa-se que a árvore deverá ser interrompida quando a composição da semana não for obedecida. A seqüência marcada por uma linha mais forte é a que representa a maior probabilidade total (produto das probabilidades das seqüências binárias) e, portanto, a que deve caracterizar a semana típica nesse exemplo.

A semana típica pode ser determinada de duas maneiras diferentes:

1. com base na radiação diária observada (RAD) e
2. com base no brilho solar observado (BS).

No primeiro caso os dias são classificados por faixas de incidência de radiação. A seguir, tomam-se as médias de cada parâmetro, isto é, radiação média, temperatura média, velocidade média do vento e brilho solar médio.

No segundo caso os dias são classificados por faixas de brilho solar, obtendo-se, a seguir, as médias dos parâmetros.

A radiação média diária pode ser obtida por vários métodos:

- a) Radiação média real, a partir da semana definida em 1.
- b) Radiação média real, a partir da semana definida em 2.

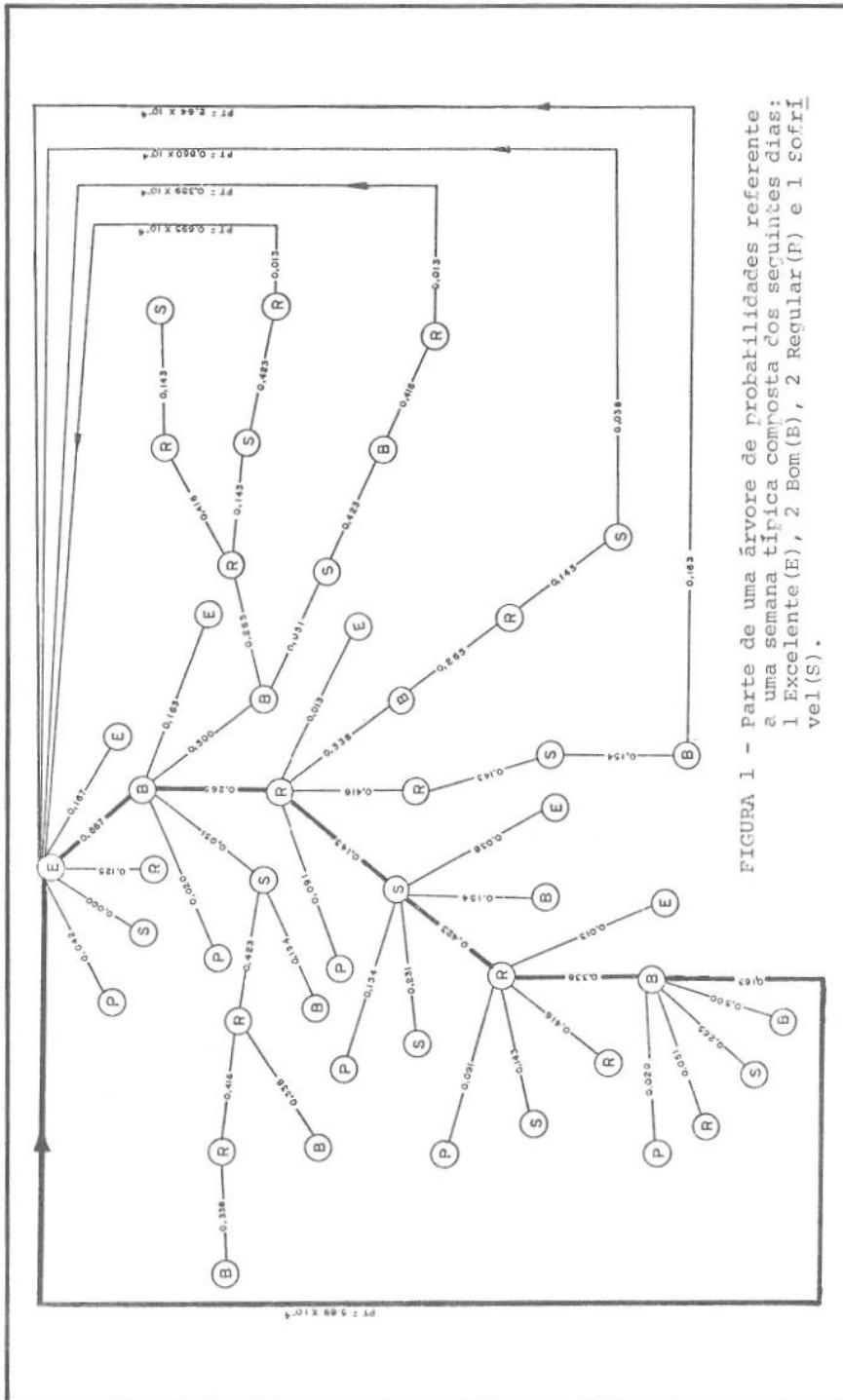


FIGURA 1 - Parte de uma árvore de probabilidades referente a uma semana típica composta dos seguintes dias:
 1. Excelente (E), 2 Bom (B), 2 Regular (P) e 1 Sofrivel (S).

c) Radiação média estimada, pelo método de Angstrom, a partir do brilho solar médio observado, determinado com base na semana típica definida em 1.

d) Radiação média estimada, pelo método de Angstrom, a partir do brilho solar médio observado, obtido com base na semana definida em 2.

Para estimar a radiação pelo método de Angstrom, foram utilizados os coeficientes de regressão obtidos por ALVES (1) para as condições de Viçosa. Esses coeficientes encontram-se no Quadro 1.

QUADRO 1 - Coeficiente de regressão da expressão de Angstrom para Viçosa (1)

MÊS	a	b
Janeiro	0,233	0,363
Fevereiro	0,256	0,361
Março	0,275	0,321
Abril	0,235	0,373
Maio	0,220	0,396
Junho	0,239	0,346
Julho	0,251	0,359
Agosto	0,220	0,369
Setembro	0,203	0,417
Outubro	0,186	0,448
Novembro	0,202	0,427
Dezembro	0,236	0,334

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A escolha da composição e, conseqüentemente, do comprimento da semana típica, para cada mês, foi baseada na soma dos quadrados dos desvios (SQD) das aproximações das freqüências de cada tipo de dia e no conjunto de dados de cada mês (dados de 8 anos). Um resultado típico da saída do programa vê-se no Quadro 2, que mostra as freqüências de cada tipo de dia do mês de março, as possíveis composições da semana típica (baseada nos dados de radiação) e as SQDs das aproximações. Observa-se que, para esse mês, a menor SQD corresponde à aproximação para uma semana de 7 dias.

O Quadro 3 mostra as semanas típicas para todo o ano, com base nos dados de radiação (RAD) e de brilho solar (BS). Observa-se, nesse quadro, que as semanas típicas, para cada mês, encontradas pelas duas formas descritas na seção 2.2, são diferentes na sua composição e, na maior parte, apresentam comprimentos diferentes. Esse fato pode ser explicado, se se considerar que as formas de obtenção e de estimativa dos dados de radiação e brilho solar são, muitas vezes, subjetivas e, portanto, inacuradas, em razão de erros sistemáticos e acidentais.

QUADRO 2 - Aproximações para determinação do comprimento e da composição de semana típica.
(C) Composição.

DIA TIPO	FREQUEN- CIA	5	6	C	7	C	8	C	9	C	10	C
P	0,0444	0,2218	0	0,2661	0	0,3105	0	0,3548	0	0,3992	0	0,4435
S	0,1169	0,5847	1	0,7016	1	0,8185	1	0,9355	1	1,0524	1	1,1694
R	0,2702	1,3508	1	1,6210	2	1,8911	2	2,1613	2	2,4315	2	2,7016
B	0,3911	1,9556	2	2,3468	2	2,7379	3	3,1290	3	3,5202	3	3,9113
E	0,1774	0,8871	1	1,0645	1	1,2419	1	1,4194	1	1,5968	2	1,7742
SOMA QUAD DESVIOS	0,3595	0,4279		0,2684		0,3486		0,7814		0,3733		

QUADRO 3 - Seqüência dos dias nas semanas típicas

	JAN RAD BS	FEV RAD BS	MAR RAD BS	ABR RAD BS	MAI RAD BS	JUN RAD BS	JUL RAD BS	AGO RAD BS	SET RAD BS	OUT RAD BS	NOV RAD BS	DEZ RAD BS
E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E
B	E	B	B	S	B	E	B	E	E	B	B	E
B	E	B	P	E	R	R	B	E	S	E	R	R
R	S	R	R	B	P	B	B	R	E	B	S	R
R	R	R	R	S	R	S	R	B	R	B	S	B
R	P	P	B	R	E	B	P	B	P	B	R	P
R	P	S	E	S	E	S	S	S	S	P	R	P
S	B	R	E	R	P	R	P	R	R	P	R	S
P	B	E	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R
S	E	E	B	E	B	R	B	R	B	B	B	B

RAD - Semana definida com base na radiação

BS - Semana definida com base no brilho solar

As médias de radiação solar, de temperatura, de velocidade do vento e de brilho solar, que caracterizam os cinco tipos de dias na semana típica, variam de um mês para outro. Os Quadros de 4 a 15 mostram esses parâmetros para os diversos tipos de dias (E,B,R,S e P) de cada mês do ano, obtidos de 8 anos de dados coletados na Estação Climatológica Principal de Viçosa, bem como a composição das semanas típicas. As colunas de 2 a 5 desses quadros apresentam os valores de radiação média definidos na seção 2.2. Deve-se observar que as médias de radiação real baseadas no brilho solar (colunas 3) apresentam uma faixa de variação menor que a das médias baseadas na radiação (colunas 2).

Radiações médias, estimadas pelo método de Angstrom, ajustado para Viçosa (2), são apresentadas nas colunas 4 e 5. Nessas estimativas foram usados os dados de brilho solar das colunas 10 e 11. Observa-se que essas estimativas tendem a aproximar-se mais das médias encontradas nas colunas 3 das semanas definidas com base no brilho solar que das médias das colunas 2, baseadas em faixas de radiação.

O Quadro 16 mostra as médias de radiação mensal observadas e as radiações mensais obtidas com base nas semanas típicas com médias reais, bem como as estimativas feitas pelo método de Angstrom, ajustado para Viçosa, com valores de brilho solar obtidos com base nas semanas típicas. A segunda coluna desse quadro mostra a radiação média mensal em Viçosa, obtida dos dados de 8 anos. A terceira coluna mostra a radiação mensal estimada com base na semana típica (RAD). Observa-se que o maior desvio apresentado foi de 5,3 por cento, para o mês de abril, sendo o desvio médio, nessa coluna, de 2,6 por cento. A quarta coluna mostra a estimativa feita com base na semana (BS) com o maior desvio igual a 4,2 por cento no mês de janeiro, sendo a média dos desvios de 1,1 por cento. Os maiores desvios, encontrados na quinta e sexta coluna, foram de 7,3 por cento no mês de maio e de 6,5 por cento no mês de janeiro. As médias dos desvios, nessas colunas, foram de 3,3 e 2,8 por cento, respectivamente. Os dados apresentados nessas colunas correspondem às estimativas feitas pelo método de Angstrom, aplicado aos níveis de brilho solar definidos nas semanas típicas.

A Figura 2 (de a até l) mostra os gráficos de radiações mensais observadas, as médias mensais reais e as médias estimadas pelas semanas típicas, a partir dos dados de radiação observados. Nota-se que a radiação mensal observada varia de um ano para outro e que as previsões das médias mensais baseadas nas semanas típicas são viáveis, apresentando um desvio máximo de 5,3 por cento no mês de abril.

4. CONCLUSÕES

Apresenta-se, neste trabalho, uma metodologia para a determinação de semanas típicas climatológicas.

Os dados de entrada são constituídos de dados diários de vários anos de radiação solar, de brilho solar, de temperaturas ambientes máximas e mínimas e de velocidade do vento.

O programa fornece, como saídas, a semana típica climatológica, em termos de dias com maiores probabilidades de ocorrência de determinadas radiações solares, a seqüência mais provável desses dias e os valores médios diários dos outros parâmetros de entrada.

Na obtenção das semanas típicas, modificou-se e ampliou-se o método de PETRIE e MCCLINTOCK (13), visando à utilização de dados de brilho solar. São apresentados e discutidos os resultados do programa para a cidade de Viçosa.

QUADRO 4 - Caracterização de cada tipo de dia e composição da semana típica para o mês de janeiro

DIA TIPO	RADIAÇÃO MÉDIA REAL ($\times 10^{-7} \text{ Jm}^{-2}$)	RADIAÇÃO MÉDIA ESTIMADA ($\times 10^{-7} \text{ Jm}^{-2}$)	TEMPERATURA MÉDIA (K)	VELOC. MÉDIA DO VENTO (ms^{-1})	BRILHO SOLAR		COMPOSIÇÃO DA SEMANA
					RAD	BS	
P	0,551	0,988	1,09	1,04	293,4	294,6	2,3
S	1,01	1,31	1,30	1,33	295,5	296,1	2,3
R	1,50	1,64	1,60	1,57	296,4	296,5	2,7
B	1,97	1,72	1,92	1,79	296,7	296,7	2,6
E	2,37	1,92	2,08	2,12	295,9	296,6	2,9

RAD - Semana típica definida com base na radiação

BS - Semana típica definida com base no brilho solar

QUADRO 5 - Caracterização de cada tipo de dia e composição da semana típica para o mês de fevereiro

DIA TIPO	RADIACAO MÉDIA REAL ($\times 10^{-7} \text{ Jm}^{-2}$)		RADIACAO MÉDIA ESTIMADA ($\times 10^{-7} \text{ Jm}^{-2}$)		TEMPERATURA MÉDIA (K)		VELOC. MÉDIA DO VENTO (ms^{-1})		BRILHO SOLAR MÉDIO (h)		COMPOSIÇÃO DA SEMANA	
	RAD	BS	RAD	BS	RAD	BS	RAD	BS	RAD	BS	RAD	BS
P	0,749	0,967	1,10	1,09	294,8	295,0	2,2	2,2	0,8	0,6	1	1
S	1,19	1,47	1,40	1,37	296,1	296,5	1,8	2,2	3,4	3,2	1	1
R	1,58	1,62	1,77	1,60	296,7	296,8	2,4	2,2	6,7	5,2	3	1
B	2,02	1,84	1,94	1,82	296,6	296,6	2,8	2,5	8,2	7,1	3	2
E	2,30	2,06	2,16	2,17	296,6	296,7	2,7	2,7	10,1	10,2	2	4

RAD - Semana típica definida com base na radiação

BS - Semana típica definida com base no brilho solar

QUADRO 6 - Caracterização de cada tipo de dia e composição da semana típica para o mês de março

DIA TIPO	RADIAÇÃO MÉDIA REAL ($\times 10^{-7} \text{ Jm}^{-2}$)	RADIAÇÃO MÉDIA ESTIMADA ($\times 10^{-7} \text{ Jm}^{-2}$)	TEMPERATURA MÉDIA (K)	VELOC. MÉDIA DO VENTO (ms^{-1})		BRILHO SOLAR MÉDIO (h)	COMPOSIÇÃO DIA SEMANA					
				RAD	BS							
P	0,560	0,999	1,21	1,07	295,2	295,1	2,0	2,3	2,3	0,8	0	1
S	0,986	1,35	1,26	1,29	295,9	296,0	2,1	2,2	2,8	3,1	1	1
R	1,41	1,56	1,48	1,49	296,2	296,4	2,2	2,3	5,1	5,2	2	1
B	1,80	1,72	1,73	1,68	296,5	296,6	2,3	2,2	7,7	7,2	3	1
E	2,13	1,85	1,86	1,90	296,0	296,5	2,7	2,4	9,0	9,5	1	3

RAD - Semana típica definida com base na radiação

BS - Semana típica definida com base no brilho solar

QUADRO 7 - Caracterização de cada tipo de dia e composição da semana típica para o mês de abril

DIA TIPO	RADIACAO MÉDIA REAL ($\times 10^{-7} \text{ Jm}^{-2}$)		RADIACAO MÉDIA ESTIMADA ($\times 10^{-7} \text{ Jm}^{-2}$)		TEMPERATURA MÉDIA (K)		VELOC. MÉDIA DO VENTO (ms^{-1})		BRILHO SOLAR MÉDIO (h)		COMPOSIÇÃO DA SEMANA	
	RAD	BS	RAD	BS	RAD	BS	RAD	BS	RAD	BS	RAD	BS
P	0,524	0,833	0,893	0,805	294,3	293,8	2,0	2,1	1,7	0,8	0	1
S	0,865	1,18	1,15	1,04	293,7	294,0	1,9	1,9	4,3	3,2	1	1
R	1,18	1,26	1,23	1,24	294,4	294,5	1,8	1,9	5,1	5,2	1	1
B	1,55	1,43	1,41	1,43	293,8	294,3	2,2	2,1	6,9	7,1	2	2
E	1,82	1,56	1,61	1,66	293,8	293,5	2,3	2,3	8,9	9,4	1	2

RAD - Semana típica definida com base na radiação

BS - Semana típica definida com base no brilho solar

QUADRO 8 - Caracterização de cada tipo de dia e composição da semana típica para o mês de maio

DIA TIPO	RADIACAO MÉDIA REAL ($\times 10^{-7} \text{ Jm}^{-2}$)		RADIACAO MÉDIA ESTIMADA ($\times 10^{-7} \text{ Jm}^{-2}$)		TEMPERATURA MÉDIA (K)		VELOC. MÉDIA DO VENTO (ms^{-1})	BRILHO SOLAR MÉDIO (h)	COMPOSIÇÃO DA SEMANA	
	RAD	BS	RAD	BS	RAD	BS	RAD	BS	RAD	BS
P	0,490	0,608	0,624	0,644	291,4	291,4	1,6	1,6	0,6	0,8
S	0,887	1,05	0,924	0,856	292,5	293,1	1,7	1,4	3,8	3,0
R	1,16	1,20	1,19	1,06	292,7	292,6	1,6	1,8	6,6	5,2
B	1,49	1,35	1,34	1,24	292,0	292,7	1,9	1,6	8,2	7,1
E	1,73	1,47	1,40	1,44	291,7	291,8	2,0	2,0	8,9	9,3

RAD - Semana típica definida com base na radiação

BS - Semana típica definida com base no brilho solar

QUADRO 9 - Caracterização de cada tipo de dia e composição da semana típica para o mês de junho

DIA TIPO	RADIAÇÃO MÉDIA REAL ($\times 10^{-7} \text{ Jm}^{-2}$)		RADIAÇÃO MÉDIA ESTIMADA ($\times 10^{-7} \text{ Jm}^{-2}$)		TEMPERATURA MÉDIA (K)		VELOC. MÉDIA DO VENTO (ms^{-1})		RADIAÇÃO BRILHO SOLAR MÉDIO (h)		COMPOSIÇÃO DA SEMANA	
	RAD	BS	RAD	BS	RAD	BS	RAD	BS	RAD	BS	RAD	BS
P	0,549	0,676	0,723	0,622	290,5	290,1	1,5	1,5	2,2	0,8	1	1
S	0,838	0,898	0,940	0,805	290,8	291,2	1,8	1,7	5,1	3,3	1	1
R	0,991	0,973	1,06	0,947	290,7	291,0	1,6	1,7	6,7	5,1	2	1
B	1,21	1,11	1,15	1,10	290,1	290,7	1,6	1,7	7,8	7,1	2	2
E	1,43	1,15	1,20	1,25	290,1	290,0	1,8	1,7	8,5	9,2	1	3

RAD - Semana típica definida com base na radiação

BS - Semana típica definida com base no brilho solar

QUADRO 10 - Caracterização de cada tipo de dia e composição da semana típica para o mês de junho

DIA TIPO	RADIACAO MÉDIA REAL ($\times 10^{-7} \text{ Jm}^{-2}$)		RADIACAO MÉDIA ESTIMADA ($\times 10^{-7} \text{ Jm}^{-2}$)		TEMPERATURA MÉDIA (K)		VELOC. MÉDIA DO VENTO (ms^{-1})		BRILHO SOLAR MÉDIO (h)		COMPOSIÇÃO DA SEMANA	
	RAD	BS	RAD	BS	RAD	BS	RAD	BS	RAD	BS	RAD	BS
P	0,483	0,521	0,735	0,667	289,2	288,9	2,1	2,2	1,6	0,7	1	1
S	0,824	0,896	0,959	0,856	290,3	290,1	1,6	1,7	4,4	3,1	1	1
R	1,12	1,13	1,16	1,03	290,3	290,4	1,9	1,7	6,9	5,3	3	2
B	1,40	1,26	1,29	1,18	290,0	290,5	1,8	1,8	8,5	7,1	4	2
E	1,69	1,35	1,30	1,36	290,5	290,0	2,2	2,0	8,6	9,4	1	4

RAD - Semana típica definida com base na radiação

BS - Semana típica definida com base no brilho solar

QUADRO 11 - Caracterização de cada tipo de dia e composição da semana típica para o mês de agosto

DIA TIPO	RADIACÃO MÉDIA REAL ($\times 10^{-7} \text{ Jm}^{-2}$)		RADIACAO MÉDIA ESTIMADA ($\times 10^{-7} \text{ Jm}^{-2}$)		TEMPERATURA MÉDIA (K)		VELOC. MÉDIA DO VENTO (ms^{-1})		BRILHO SOLAR MÉDIO (h)		COMPOSIÇÃO DA SEMANA	
	RAD	BS	RAD	BS	RAD	BS	RAD	BS	RAD	BS	RAD	BS
P	0,371	0,612	0,691	0,663	289,0	290,3	1,8	1,8	0,8	0,5	0	1
S	0,709	1,01	0,859	0,924	291,4	290,8	2,0	2,5	2,6	3,3	1	1
R	1,08	1,29	1,17	1,09	291,9	292,0	2,3	2,4	6,1	5,1	2	1
B	1,36	1,35	1,37	1,26	292,1	292,3	2,2	2,3	8,2	7,0	3	2
E	1,64	1,44	1,44	1,49	291,2	291,7	2,5	2,3	8,9	9,6	3	5

RAD - Semana típica definida com base na radiação

BS - Semana típica definida com base no brilho solar

QUADRO 12 - Caracterização de cada tipo de dia e composição da semana típica para o mês de setembro

DIA TIPO	RADIÇÃO MÉDIA REAL ($\times 10^{-7} \text{ Jm}^{-2}$)		RADIÇÃO MÉDIA ESTIMADA ($\times 10^{-7} \text{ Jm}^{-2}$)		TEMPERATURA MÉDIA (K)		VELOC. MÉDIA DO VENTO (ms^{-1})		BRILHO SOLAR MÉDIO (h)		COMPOSIÇÃO DA SEMANA	
	RAD	BS	RAD	BS	RAD	BS	RAD	BS	RAD	BS	RAD	BS
P	0,351	0,630	0,679	0,711	289,9	291,0	1,3	1,8	0,0	0,3	0	2
S	0,675	1,21	0,806	1,03	292,1	293,1	1,9	2,2	1,1	3,0	1	1
R	1,13	1,37	1,17	1,29	292,6	292,7	2,4	2,3	4,3	5,2	1	1
B	1,54	1,52	1,45	1,51	293,2	293,5	2,5	2,5	6,6	7,1	2	2
E	1,82	1,70	1,73	1,79	292,5	292,9	3,1	3,1	9,0	9,5	1	2

RAD - Semana típica definida com base na radiação

BS - Semana típica definida com base no brilho solar

QUADRO 13 - Caracterização de cada tipo de dia e composição da semana típica para o mês de outubro

DIA TIPO	RADIACAO MÉDIA REAL ($\times 10^{-7} \text{ Jm}^{-2}$)		RADIACAO MÉDIA ESTIMADA ($\times 10^{-7} \text{ Jm}^{-2}$)		TEMPERATURA MÉDIA (K)		VELOC. MÉDIA DO VENTO (ms^{-1})		BRILHO SOLAR MÉDIO (h)		COMPOSIÇÃO DA SEMANA	
	RAD	BS	RAD	BS	RAD	BS	RAD	BS	RAD	BS	RAD	BS
P	0,478	0,766	0,741	0,789	292,1	292,7	1,9	2,2	0,3	0,6	1	1
S	0,926	1,37	0,993	1,11	293,8	294,8	2,5	2,4	2,1	3,0	1	1
R	1,34	1,57	1,28	1,38	295,1	295,6	2,6	2,6	4,2	5,0	2	1
B	1,76	1,63	1,67	1,66	295,1	295,2	2,7	2,7	7,1	7,0	2	1
E	2,13	1,91	1,86	2,01	294,8	294,8	2,6	2,9	8,5	9,6	1	1

RAD - Semana típica definida com base na radiação

BS - Semana típica definida com base no brilho solar

QUADRO 14 - Caracterização de cada tipo de dia e composição da semana típica para o mês de novembro

DIA TIPO	RADIAÇÃO MÉDIA REAL ($\times 10^{-7} \text{ Jm}^{-2}$)		RADIAÇÃO MÉDIA ESTIMADA ($\times 10^{-7} \text{ Jm}^{-2}$)		TEMPERATURA MÉDIA (K)		VELOC. MÉDIA DO VENTO (ms^{-1})		BRILHO SOLAR MÉDIO (h)		COMPOSIÇÃO DA SEMANA	
	RAD	BS	RAD	BS	RAD	BS	RAD	BS	RAD	BS	RAD	BS
P	0,579	0,911	0,901	0,898	293,2	293,9	1,5	2,0	0,6	0,6	1	2
S	1,04	1,30	1,18	1,23	294,9	295,4	2,2	2,7	2,7	3,1	3	1
R	1,53	1,53	1,52	1,48	295,3	295,3	2,9	2,5	5,2	4,9	3	1
B	1,99	1,69	1,82	1,77	295,4	295,5	2,8	2,7	7,5	7,1	2	1
E	2,36	1,99	2,19	2,13	295,0	295,5	3,6	3,2	10,2	9,7	1	2

RAD - Semana típica definida com base na radiação

BS - Semana típica definida com base no brilho solar

QUADRO 15 - Caracterização de cada tipo de dia e composição da semana típica para o mês de dezembro

DIA TIPO	RADIAÇÃO MÉDIA REAL ($\times 10^{-7} \text{ Jm}^{-2}$)	RADIAÇÃO MÉDIA ESTIMADA ($\times 10^{-7} \text{ Jm}^{-2}$)	TEMPERATURA MÉDIA (K)	VELOC. MÉDIA DO VENTO (ms^{-1})	BRILHO SOLAR MÉDIO (h)	COMPOSIÇÃO DA SEMANA			
						RAD	BS	RAD	BS
P	0,727	1,02	1,13	1,06	294,1	2,3	2,1	1,3	0,6
S	1,13	1,40	1,28	1,29	295,6	296,1	2,4	2,5	2,8
R	1,55	1,54	1,60	1,52	296,1	296,4	2,5	3,1	5,8
B	1,97	1,70	1,87	1,73	296,2	296,7	3,2	2,7	8,4
E	2,34	1,84	1,89	2,05	295,9	296,3	2,5	2,7	8,6

RAD - Semana típica definida com base na radiação

BS - Semana típica definida com base no brilho solar

QUADRO 16 - Radiação média mensal observada e estimada pelas semanas típicas

MÊS	RADIAÇÃO MÉDIA	RADIAÇÃO MENSAL	RADIAÇÃO MENSAL
	OBSERVADA ($\times 10^{-8} \text{ Jm}^{-2}$)	OBS. TÍPICA ($\times 10^{-8} \text{ Jm}^{-2}$)	EST. TÍPICA ($\times 10^{-8} \text{ Jm}^{-2}$)
		RAD	BS
JAN	4,78	4,61	4,80
desvio %		3,6	4,2
FEV	4,92	4,86	4,97
desvio %		1,2	1,0
MAR	4,97	5,02	4,94
desvio %		1,0	0,6
ABR	3,96	4,17	3,96
desvio %		5,3	0,0
MAI	3,97	3,90	3,96
desvio %		1,8	0,3
JUN	3,07	3,10	3,08
desvio %		1,0	0,3
JUL	3,69	3,72	3,60
desvio %		0,8	2,4
AGO	3,94	4,08	3,96
desvio %		3,6	0,5
SET	3,84	4,01	3,86
desvio %		4,4	0,5
OUT	4,45	4,31	4,49
desvio %		3,1	0,9
NOV	4,33	4,39	4,42
desvio %		1,4	2,1
DEZ	4,63	4,79	4,59
desvio %		3,5	0,9

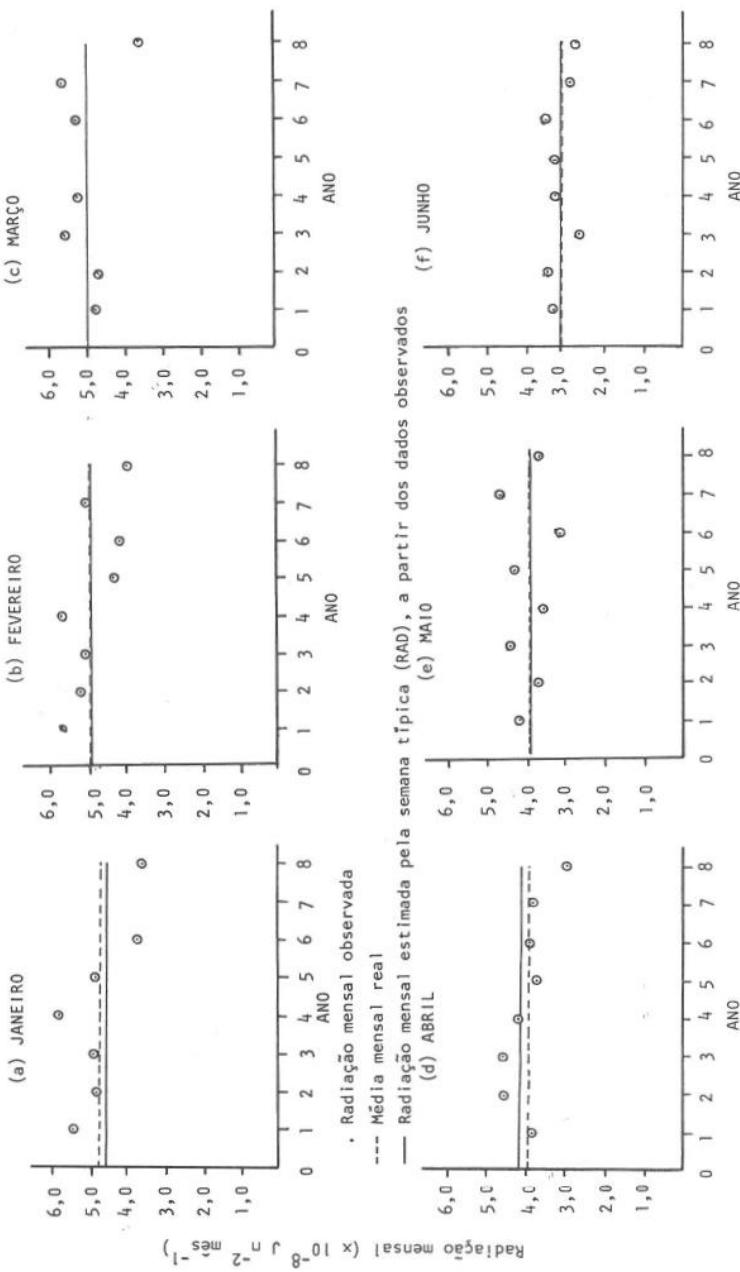


FIGURA 2 - Gráficos de radiações mensais observadas, médias reais e médias estimadas.

continuação...

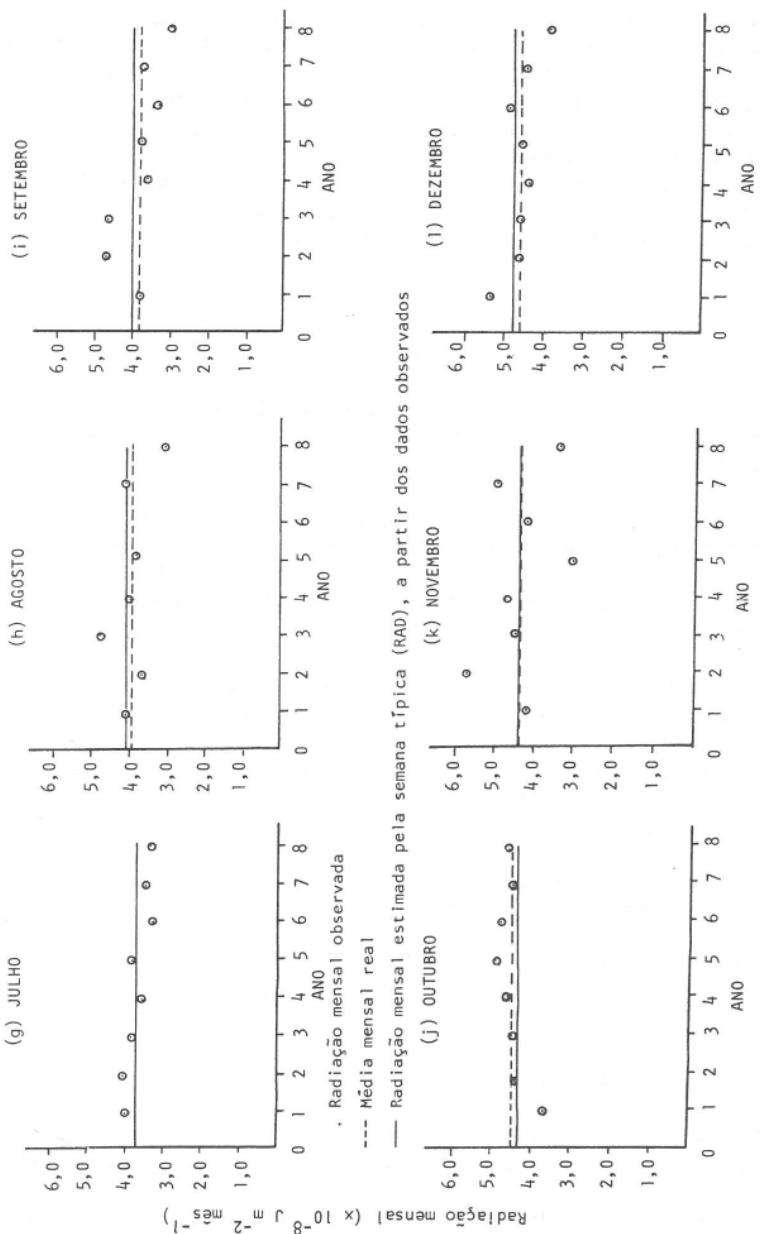


FIGURA 2 - Gráficos de radiações mensais observadas, médias mensais reais e médias estimadas.

5. SUMMARY

This work presents the methodology used to develop a computer program to establish typical climatological weeks. A cyclical repetition of these weeks will generate a typical month. A typical week is a minimum number of days, disposed in such an order that the occurrence probability of days and sequence of days of given insolation, maximum and minimum temperatures, sunshine period and wind speed is approximately the same as in actual months.

The input data consist of daily data for several years for solar radiation, number of hours of sunshine, maximum and minimum daily temperatures and wind speed. The computer program output gives the typical climatological weeks and the daily mean values of the input parameters.

The proposed methodology is a modification of the PETRIE and McCLINTOCK method. Program input and output data were analyzed for Viçosa, Minas Gerais, Brazil.

6. LITERATURA CITADA

1. ALVES, A.R. *Irradiância solar global em superfícies de diferentes inclinações e azimutes, para Viçosa, MG*. Viçosa, Imprensa Universitária, 1981, 92p. (Tese M.S.).
2. ATWATER, M.A. & BALL, J.T. A numerical solar radiation model based on standard meteorological observations. *Solar Energy*, 21: 163-170. 1978.
3. ATWATER, M.A. & BALL, J.T. Effects of clouds on insolation models. *Solar Energy*, 27: 37-44. 1981.
4. BECKMAN, W.A. & KLEIN, S.A. & DUFFIE, J.A. *Solar Heating design by the f-chart method*. New York, John Wiley & Sons, 1977. 200p.
5. COLLARES-PEREIRA, M. & RABL, A. Simple procedure for predicting long term average performance of non concentrating solar collectors. *Solar Energy*, 23: 235-253. 1979.
6. DUFFIE, J.A. & BECKMAN, W.A. *Solar energy-thermal processes*. New York, John Wiley & Sons, 1974, 386p.
7. HAY, J.E. Calculation of monthly mean solar radiation for horizontal and inclined surfaces. *Solar Energy*, 23: 301-307. 1979.
8. HOYT, D.V. A model for the calculation of solar global insolation. *Solar Energy*, 21: 27-35. 1978.
9. JÓRIO, F.H.L. *Correlações entre a radiação solar total, componentes direta e difusa*. Belo Horizonte, EEUFG/CPGET, 1981. 116p. (Tese de M.S.).
10. KREITH, F. & KREIDER, J.F. *Principles of solar engineering*. Washington, Hemisphere Publishing Corporation, 1978. 778p.
11. MODI, V. & SUKATME, S.P. Estimation of daily total and diffuse insolation on India from weather data. *Solar Energy*, 22:407-411. 1979.

12. MUSTACCHI, C., CENA, V. & ROCCHI, M. Stochastic simulation of hourly global radiation sequences. *Solar Energy*, 23: 47-51. 1979.
13. PETRIE, W.R. & McCLINTOCK, M. Determining typical weather for use in solar energy simulation. *Solar Energy*, 21: 55-59. 1978.