

# MODELO PARA ESTIMATIVA DA RADIAÇÃO SOLAR GLOBAL EM DIAS COM NUVENS PARA A REGIÃO DE PELotas/RS

Francine Gomes Sacco<sup>1</sup>; Simone Vieira de Assis<sup>2</sup>

**ABSTRACT-** The energy irradiated by the sun is a principal responsible for the joints of phenomena that allow the life in our planet, because it contributes to the development of all the thermodynamic processes that happens in the atmosphere, what justifies the extreme importance for several economicals, industrial and agricultural activities, among others.

Proper the extreme importance of the energy irradiated by the sun and a great relevance factor that is a no obtaining of data of that variable in several meteorological stations, this work seeks to develop a mathematical model, based on the harmonic analysis technique, to evaluate the monthly solar global radiation available in days with clouds for Pelotas/RS area.

In the accomplishment of this work a ten years serie was used (1993 to 2002) of the solar global radiation data, acquired in the 'Estação Agroclimatológica de Pelotas', agreement EMBRAPA/ UFPel, whose the geographical location is: latitude 31° 51' S, longitude 52° 21'W and altitude 13,2 meters; obtained through a piranômetro with sensor PY 32818201; integrador Licor 510 B and calibration constant of 80µA/1000w.m<sup>-2</sup>.

The results shows that the resulting model describes satisfactorily, (98,82 %) the monthly solar global radiation variation for days with clouds for Pelotas/RS area.

## INTRODUÇÃO

A energia irradiada pelo sol é a principal responsável pelo complexo de fenômenos que permitem a vida em nosso planeta, pois contribui para o desenvolvimento de todos os processos termodinâmicos que ocorrem na atmosfera; o que justifica a sua extrema importância para diversas atividades econômicas, industriais, agrícolas dentre outras, porém os dados referentes a energia solar não são medidos em várias estações meteorológicas, devido a sua obtenção exigir a utilização de instrumentos caros e de difícil manutenção com: pireliômetros e piranômetros.

Em função da latitude mais afastada da região de Pelotas/RS em relação a linha do Equador, há grande variação na radiação solar global mensal total do período de verão com relação ao período do inverno, o que torna as estações do ano bem definidas (Ribeiro,2003). Como a radiação solar global apresenta uma periodicidade, é interessante verificar tal comportamento através de formulações matemáticas capazes de detectar, estimar e modelar tal periodicidade. A técnica da análise harmônica permite efetuar tal análise, visto que é uma conveniente técnica para o estudo de fenômenos periódicos ou quase periódicos baseando-se nas funções trigonométricas periódicas (Amaral,1968).

Este trabalho objetiva desenvolver um modelo matemático, através da técnica da análise harmônica, para avaliar a radiação solar global mensal disponível em dias com nuvens para a região de Pelotas/RS.

## MATERIAIS E MÉTODOS

Para a realização deste trabalho foi utilizada uma série de dez anos de dados, compreendidos entre 1993 e 2002, de radiação solar global medidos através de um piranômetro com sensor PY32818201, com integrador Licor 510B, com constante de calibração 80µA/1000w.m<sup>-2</sup>, dados esses adquiridos junto a Estação Agroclimatológica de Pelotas, convênio EMBRAPA/UFPel (latitude de 31° 51'S, longitude de 52° 21'W e altitude de 13,2 m).

De acordo com a WMO, os dias são classificados em: claros, parcialmente nublados e nublados tomando como base o índice de limpidez (KT) (Sacco,2004), do seguinte modo: 0 ≤ K<sub>T</sub> < 0,3 corresponde a dia nublado, 0,3 ≤ K<sub>T</sub> < 0,7 corresponde a dia com nuvens esparsas e 0,7 ≤ K<sub>T</sub> ≤ 1,0 corresponde a dia claro. A partir dessa classificação foram contabilizados todos os dias nublados e parcialmente nublados para cada mês de um ano médio.

Foi efetuado o ajuste dos totais mensais, uma vez que os dados utilizados foram diários e o modelo resultante é dado em função de valores mensais, pois a quantidade de dias de cada mês não é igual. Para tanto foram multiplicados os valores totais da radiação por 30 e divididos por 31 nos meses de 31 dias, multiplicados por 30 e divididos por 28 nos meses de fevereiro de anos comuns e por fim, multiplicando os valores totais da radiação por 30 e divididos por 29 nos meses de fevereiro de anos bissextos. Por último foi aplicada a técnica da análise harmônica, utilizando a seguinte sistemática.

A equação que nos permite realizar a análise harmônica é dada por:

$$Y_t = a_0 + a_1 \sin(\omega t + A_1) + a_2 \sin(2\omega t + A_2) + \dots + a_k \sin(\omega t + A_k) \quad (1)$$

em que: a<sub>0</sub> = valor médio; a<sub>1</sub>, a<sub>2</sub>, a<sub>3</sub>, ..., a<sub>k</sub> = amplitudes das harmônicas; A<sub>1</sub>, A<sub>2</sub>, A<sub>3</sub>, ..., A<sub>k</sub> = ângulos fase das harmônicas; k = k-ésima ordem da onda senoidal (da harmônica); ω = 360/T = 2π/T = frequência angular; t = tempo; T = período fundamental (pode ser expresso, por exemplo, em horas, dias, meses), este período é igual ao comprimento da série, que em nosso caso será igual a 12 meses.

Visto que utilizaremos T=12 a variação anual da radiação solar global será decomposta em 6 ondas senoidais de períodos 12; 6; 4; 3; 2,4 e 2 meses. Os parâmetros a<sub>k</sub> e A<sub>k</sub> serão obtidos por equações matemáticas relacionadas a coeficientes p<sub>k</sub> e q<sub>k</sub> também estimados da seguinte forma:

$$p_k = \frac{2}{T} \sum_{t=0}^{t=T-1} (Y_t \cos \omega kt) \quad (2) \quad q_k = \frac{2}{T} \sum_{t=0}^{t=T-1} (Y_t \sin \omega kt) \quad (3)$$

$$a_k = \sqrt{p_k^2 + q_k^2} \quad (4) \quad e \quad A_k = \arctg \frac{p_k}{q_k} \quad (5)$$

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

Como resultado da aplicação da técnica da análise harmônica foram obtidas seis harmônicas, cujos

<sup>1</sup> Aluna da graduação de Meteorologia/Faculdade de Meteorologia/UFPel - Bolsista do CNPq franc.sacco@zipamil.com.br

<sup>2</sup> Professora do departamento de Meteorologia/Faculdade de Meteorologia/UFPel - assis@ufpel.edu.br

resultados dos cálculos dos parâmetros  $p_k$  e  $q_k$ ; das amplitudes  $a_k$ , dos ângulos fase  $A_k$  e também a porcentagem da variação total dos dados medidos explicada por cada harmônica  $Var_k$ , são descritos na Tabela 1.

Tabela 1. Valores dos coeficientes resultantes da análise harmônica dos totais mensais medidos da radiação solar global, na região de Pelotas/RS, período 1993-2002

k=	1	2	3	4	5	6
$p_k$	1613,7	-24,6	-36,0	-9,0	121,7	87,35
$q_k$	-557,1	94,2	15,7	69,3	15,0	-
$a_k$	1707,2	97,4	39,3	69,9	122,6	87,4
$A_k$	109,1°	345,3°	293,6°	352,6°	83°	90°
$Var_k$ (%)	98,82	0,26	0,05	0,15	0,50	0,22
$Var_k$ acum (%)	98,82	99,06	99,11	99,26	99,76	100

De acordo com a porcentagem da variação total dos dados medidos explicada por cada harmônica (tabela 1), verifica-se que a primeira harmônica ou onda anual é bastante representativa, pois simula 98,82% da variação total, enquanto que as demais não explicam nem 1%, individualmente, da radiação solar para dias com nuvens para a região de Pelotas/RS. Portanto o modelo final foi dado em função da onda fundamental (equação 1) com a utilização dos termos referente a média ( $a_0=3313,14MJ/m^2$ ) e os parâmetros  $a_1$  e  $A_1$ .(tabela1);

$$Y_{\text{aht}} = 3313,14 + 1707,17 \cdot \text{Sen}(30 \cdot t + 109,1^\circ) \quad (6)$$

Com o propósito de averiguar o modelo resultante foi efetuada a estimativa da radiação solar global mensal total para dias com nuvens, para a região em questão, variando o termo  $t$  na equação 6 (entre 0 e 11) de forma a descrever os doze meses do ano, cujos resultados são mostrados na Tabela 2 e sua representação gráfica é dada na Figura 1; avaliando estes resultados observa-se que os valores obtidos apresentam uma distribuição sazonal bem definida, com valores máximos no verão e mínimos no inverno. Na figura 2, onde são confrontados os valores medidos e estimados da radiação, nota-se que não há desvios relevantes entre eles, sendo as maiores diferenças observadas nos meses de agosto, quando o modelo subestimou em aproximadamente 7,85% a radiação medida e em dezembro onde o modelo a superestimou em aproximadamente 6,45% (Tabela 2).

Para a utilização do modelo resultante na estimativa da radiação solar global mensal em um ano médio para dias com nuvens, divide-se as constantes da equação 6 pelo número de anos utilizados na confecção do modelo, que neste caso é 10.

Conclui-se portanto que o modelo obtido descreve de forma satisfatória o comportamento da radiação solar global para dias com nuvens para a região de Pelotas. Também é importante salientar que a variação anual obtida na onda estimada (com valores mínimos no inverno e valores máximos no verão) acompanha a variação anual imposta pela movimentação solar.

## REFERÊNCIAS

- Amaral, E., Análise harmônica. Pesquisa Agropecuária Brasileira, n.3, p.7-43, 1968.  
 Sacco, F. G., Assis, S. V., Correlação entre radiações solar global medida e estimada. In: XIII Congresso Brasileiro de Meteorologia, Anais do... Fortaleza-CE. nº41, 2004.

Alves, et al, N. G., Meteorologia Básica a Aplicações. Viçosa/MG; UFV, 200.448p.

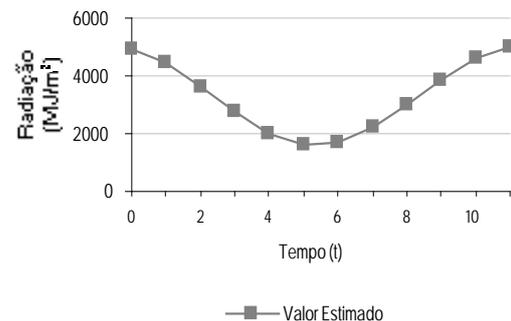
Ribeiro, D. da S., Análise Harmônica da radiação solar global mensal na região de Pelotas-RS. Pelotas, 2003. 79 p. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) Faculdade de Meteorologia, Universidade Federal de Pelotas-RS, 2003.

Iqbal, M., An introduction to solar radiation. New York: Academic Press, 390p, 1983.

Tabela 2. Valores dos totais mensais da radiação solar global para dias com nuvens, para a região de Pelotas/RS, período 1993-2002 e a diferença percentual entre valores medidos e estimados

Meses	t	Valor estimado (eq.6) (MJ/m <sup>2</sup> )	Valor medido (MJ/m <sup>2</sup> )	Diferença (%)
Janeiro	0	4926,82	5022,58	1,94
Fevereiro	1	4432,02	4439,98	0,18
Março	2	3637,42	3803,38	4,56
Abril	3	2755,93	2727,29	1,04
Mai	4	2023,75	1952,86	3,50
Junho	5	1637,05	1572,64	3,93
Julho	6	1699,46	1623,74	4,46
Agosto	7	2194,26	2366,46	7,85
Setembro	8	2988,86	2987,08	0,06
Outubro	9	3870,35	3842,90	0,71
Novembro	10	4602,53	4751,27	3,23
Dezembro	11	4989,23	4667,53	6,45

Figura 1. Variação da radiação solar global mensal total



para dias com nuvens, estimada pela 1ª harmônica (onda anual) para a região de Pelotas/RS.

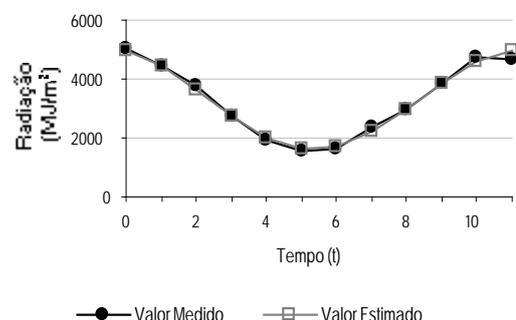


Figura 2. Variação da radiação solar global mensal total para dias com nuvens, estimada pela 1ª harmônica (onda anual) comparada a variação da radiação solar global mensal total para dias com nuvens referente aos valores medidos, na região de Pelotas/RS, período de 1993 a 2002.