

## RADIAÇÃO SOLAR EM PELOTAS, RS – ANÁLISE ESTATÍSTICA<sup>1</sup>

*João Baptista da Silva<sup>2</sup>, Marta Pereira Llopert<sup>3</sup>, Nathalie Boiaski<sup>4</sup>*

<sup>2</sup>Universidade Federal de Pelotas (UFPel), Pelotas – RS, Brasil

<sup>3,4</sup>Universidade de São Paulo (USP), São Paulo – SP, Brasil

<sup>1</sup>[jbs39@terra.com.br](mailto:jbs39@terra.com.br)

### RESUMO

O conhecimento da radiação solar e suas interações com outras variáveis meteorológicas ajudam no planejamento das mais diversas atividades. Esta variável é muito importante em estudos de zoneamento agroclimáticos, épocas de semeadura, produtividade potencial, necessidade de irrigação e no desenvolvimento e uso de modelos de crescimento e de rendimento de culturas. É também fonte de alternativa de energia no momento em que se faz sentir a escassez das fontes de energia tradicionais. No presente trabalho estudou-se o comportamento da radiação solar média mensal em Pelotas, RS, a partir dos dados registrados na Estação Agroclimatológica de Pelotas, no período de 1961/2003 (exceto o ano de 1989). As médias mensais da radiação solar seguem aproximadamente a distribuição normal, em todos os meses do ano, o que nos permite fazer valiosas inferências. A análise estatística dos dados permitiu concluir que a radiação solar decresce de janeiro até junho onde apresenta o seu mínimo e cresce até dezembro onde atinge o máximo. Exatamente o inverso do que ocorre com a umidade relativa. Na modelagem dos dados ao longo do tempo, pela análise harmônica, destacou-se a onda anual com 99% de representatividade.

**Palavras-chave:** estatística descritiva, climatologia, regressão periódica.

<sup>1</sup> Trabalho realizado com o apoio do CNPq e FAPERGS.

<sup>2</sup> Engenheiro Agrônomo, Livre Docente, Doutor em Ciências, Bolsista do CNPq, Professor Titular (Aposentado) do Instituto de Física e Matemática (UFPel).

<sup>3</sup> Meteorologista, Aluna do Curso de Pós-Graduação (Mestrado) da USP.

<sup>4</sup> Meteorologista, Aluna do Curso de Pós-Graduação (Doutorado) da USP.

# SOLAR RADIATION AT PELOTAS, RS, BRAZIL – STATISTICAL ANALYSIS

## ABSTRACT

The knowledge of the solar radiation (SR) and its interactions with other meteorological variables can help the planning of various activities. This variable is very important in studies of agroclimatic zone seedling periods, potential productivity, necessity of irrigation and the development and use of the growth and culture yield models. Its also alternative source of energy in the moment that if has feeling the scarceness of the traditional source of energy. This paper reports the results of a study of the SR pattern in Pelotas, RS, Brazil, using records from the Estação Agroclimatológica de Pelotas during the 1961/2003 period (except the year of 1989). A preliminary study revealed that the SR monthly average follows the normal distribution, in all months. The results of the statistical analysis based on this assumption indicate that the SR monthly average decreases from january to june, where it reaches the highest value and increases until december, where it attains the maximum. Exactly the inverse that happens with the relative humidity. In the modelling of data to long of time, for the harmonic analysis, distinguish the annual wave with 99% of representativity.

**Key words:** descriptive statistics, climatology, periodic regression.

## 1. INTRODUÇÃO

Desde os tempos pré-históricos, o homem tem voltado ao sol grande respeito, visto que os povos de antigas civilizações reconheciam no astro a fonte de vida e de luz. A constatação das variações das estações do ano, o rebrotar das plantas sob a ação da luz solar e a ausência de frio consistiu nas primeiras observações que introduziram a descoberta das inter-relações entre o Sol e a Terra (ARGENTIÈRE [1], 1979).

Segundo, VAREJÃO-SILVA [2], denomina-se radiação , ou energia radiante à energia que se propaga sem necessidade da presença de um meio material. O termo radiação é igualmente aplicado para designar o próprio processo de transferência desse tipo de enrgia. O mesmo autor afirma que apenas as radiações de comprimento de onda compreendidas entre 0,36 e 0,74  $\mu$  podem ser detectadas pelo olho humano, constituindo a faixa visível do espectro eletromagnético ou luz visível. Na comunidade vegetal, o fornecimento de luz visível favorece a fotossíntese, processo pelo qual as plantas usam essa energia para crescer e, eventualmente, prover alimentos para outros seres vivos através da cadeia alimentar.

STEINMETZ et al. (1999), [3], afirmam que a radiação solar é um dos elementos meteorológicos mais importantes na produção agrícola, pois além de ser fonte básica de energia no processo fotossintético das plantas é de grande utilidade, dentre outros, em estudos de zoneamentos agroclimáticos, épocas de semeadura, produtividade potencial, necessidade de irrigação e no desenvolvimento e uso de modelos de crescimento e de rendimento das culturas.

Além de sua importância no desenvolvimento das plantas não se pode desprezar o benefício da radiação solar como fonte de energia solar. No momento de escassez das fontes de energia tradicionais, as novas fontes de energia, como; eólica, solar, biomassa, etc., devem ser buscadas com afinco e nesse instante o conhecimento das disponibilidades de radiação solar numa região, são fundamentais.

O objetivo deste trabalho é estudar o comportamento da radiação solar média mensal em Pelotas, RS, como contribuição no planejamento das atividades que dependem desta variável e como subsídio para estudos mais avançados.

## **2. MATERIAL E MÉTODOS**

Os dados utilizados foram às médias mensais da radiação solar calculados a partir de registros diários, no período de 1961/2003 (exclusivo o ano de 1989 por falta de dados), coletados pela Estação Agroclimatológica de Pelotas, situado no Campus da Universidade Federal de Pelotas (UFPel), a 15 quilômetros do centro da cidade de Pelotas (latitude: 31° 52' S, longitude: 52° 21' W, altitude: 13,2m).

A metodologia consistiu de uma análise estatística descritiva das médias mensais de radiação solar nos 42 anos de observação. Foram construídas distribuições de frequência das médias mensais e estimadas as principais medidas estatísticas (de posição, de dispersão, de assimetria e de curtose). Construíram-se, também, gráficos de caixa (Box Plot) para cada um dos 12 meses do ano.

Foram realizados testes de normalidade, Kolmogorov-Smirnov (KS) e Shapiro-Wilk (SW), para cada um dos meses do ano, na hipótese da existência desta valiosa propriedade naqueles dados (ASSIS et al. 1996, [4]; SHAPIRO, 1990, [5]).

Finalmente, aos valores médios da radiação solar, no conjunto dos 42 anos, ajustou-se uma equação baseada na regressão harmônica, tendo em vista a natureza periódica ou quase-periódica da variável em questão. A equação ajustada permitirá destacar a possível sazonalidade dos dados e indicar os pontos críticos.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 1 são apresentadas as medidas estatísticas estimadas para cada um dos meses do ano. Encontram-se aí diversas medidas de posição e dispersão, os coeficientes de assimetria e curtose e o intervalo de confiança (5%) da média.

O mês de dezembro apresentou a média mais alta, 521,96 cal/cm<sup>2</sup> dia<sup>-1</sup> e o mês de junho a mais baixa com 181,60 cal/cm<sup>2</sup> dia<sup>-1</sup>. Os coeficientes de variação apresentaram-se de 7,27% a 12,06%, mais do que o dobro daqueles obtidos com a umidade relativa, mas ainda indicando uma baixa variabilidade das médias mensais, no conjunto de 42 anos de observações de cada mês, sugerindo a presença de sazonalidade. Os coeficientes de assimetria e de curtose muito próximos de zero e três, respectivamente, antecipam que a variável estudada segue aproximadamente à distribuição normal em todos os meses do ano. Os testes de normalidade KS e SW, para o nível de probabilidade de 5%, comprovaram a normalidade dos dados em todos os meses do ano (Tabela 2). Pode-se estimar, por exemplo que, em janeiro, uma radiação solar de no mínimo 450 cal/cm<sup>2</sup> dia<sup>-1</sup> ocorrerá em cerca de 90% dos anos de observação, visto que:  $P(X > (450 - 507,12) / 43,50) = P(Z \geq -1,31) = 0,90$ .

**Tabela 1 - Estimativas das medidas de posição, dispersão, assimetria e curtose, quartís inferior e superior, intervalo de confiança da média a 5%, da radiação solar mensal para os meses do ano, em Pelotas, RS, no período de 1961/2003.**

ESTATÍSTICAS	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
VALOR MIN.	416,6	362,3	283,2	240,6	183,2	129,5	148,4	187,1	192,2	317,5	418,5	431,4
VALOR MAX.	581,8	535,5	481,7	366,4	276,7	226,2	228,3	279,4	366,9	445,4	555,7	589,5
TOTAL	21299,2	18631,5	15542,3	12403,8	9499,0	7627,2	7932,3	9990,1	12326,9	16068,7	19980,6	21922,5
MEDIA	507,12	443,61	370,10	295,3	226,20	181,60	188,86	237,86	293,50	382,59	475,73	521,96
D. PADRAO	43,50	46,90	34,78	33,17	21,36	21,03	20,66	25,49	32,35	32,25	35,96	37,95
COEF. VAR. %	8,60	10,57	9,40	9,25	12,06	11,58	10,95	10,72	11,02	8,43	7,56	7,27
COEF. ASSIM.	-0,23	-0,01	0,66	0,55	-0,38	-0,32	0,02	-0,09	-0,58	-0,06	0,26	-0,46
COEF. CURT	2,27	1,98	4,63	4,36	3,45	2,86	2,18	1,97	4,01	2,27	2,25	3,18
MEDIANA	509,85	447,70	358,20	297,90	224,0	182,75	189,80	238,80	298,25	381,60	476,55	530,05
QUARTIL INF	483,80	400,60	348,40	263,10	211,30	167,10	172,60	216,0	271,50	357,90	442,50	499,70
QUARTIL SUP	543,10	487,10	391,50	319,40	238,40	196,70	204,80	256,50	312,30	405,10	497,70	537,70
IC 5% L. S.	520,67	458,22	380,89	305,49	237,82	188,15	195,31	245,80	303,58	392,64	486,93	533,79
IC 5% L. I.	493,58	428,99	359,22	270,65	219,27	175,05	182,42	229,92	283,42	372,54	464,53	510,14

Na Figura 1, estão representados os histogramas dos meses de fevereiro maio, agosto e novembro. Observa-se que no teste de KS  $D_{\text{máx}} = 0,10061$  para fevereiro e  $0,08644$  para o mês de agosto, ambos não significativos a 5%. No teste SW a estatística  $W$  foi igual a  $0,9597$  para fevereiro e  $0,9657$  para agosto também, não significativo a 5%. Isto ocorreu com todos os meses do ano. Considerando-se os valores correspondentes ao esquema de cinco números (valor mínimo, valor máximo, mediana, quartil inferior e quartil superior) da Tabela 1, construíram-se gráficos de caixa (Box Plot) da Figura 2, onde se constatou a não ocorrência de valores discrepantes nos 12 meses do ano.

**Tabela 2 – Resultados dos testes de Kolmogorov-Smirnov e de Shapiro-Wilk, para a radiação solar, nos 12 meses do ano, em Pelotas, RS, no período de 1961/2003.**

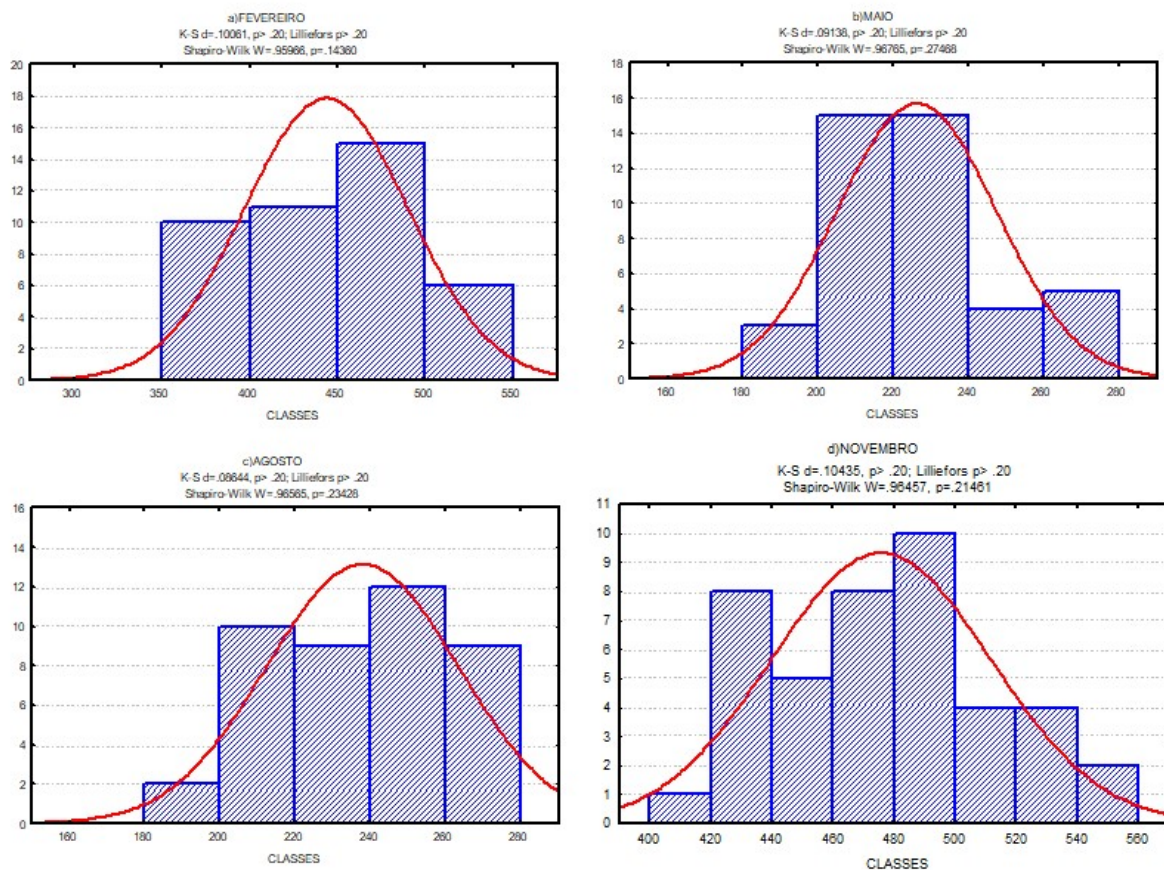
<i>MESES</i>	$D_{\text{Máx}}$	$p$	$w$	$p$
Janeiro	0,06702	>0,20	0,9721	0,3879
Fevereiro	0,10061	>0,20	0,9597	0,1436
Março	0,15615	>0,20	0,9476	0,0529
Abril	0,08067	>0,20	0,9684	0,2918
Maior	0,09138	>0,20	0,9677	0,2747
Junho	0,09436	>0,20	0,9823	0,7506
Julho	0,08137	>0,20	0,9829	0,7716
Agosto	0,08644	>0,20	0,9657	0,2343
Setembro	0,10589	>0,20	0,9649	0,2207
Outubro	0,08184	>0,20	0,9839	0,8096
Novembr	0,10435	>0,20	0,9646	0,2146
Dezembr	0,11217	>0,20	0,9520	0,0764
		KS $_{0,05;42}=0,211$	SW $_{0,05;42}=0,9420$	

Por meio da análise harmônica, a equação ajustada aos valores médios da radiação solar média mensal foi:

$$Y_t = 343,70 + 159,04 \cos (0,5236t) - 50,73 \sin (0,5236t) \quad (1)$$

$t = 0, 1, 2, \dots, 11$  meses, com um coeficiente de determinação ( $r^2$ ) de 0,99, indicando um excelente ajuste do modelo aos dados observados. Com o auxílio desta equação verifica-se que a máxima radiação solar média mensal estimada foi  $506,8 \text{ cal/cm}^2 \text{ dia}^{-1}$  ocorrida em dezembro e a mínima mensal estimada,  $180,61 \text{ cal/cm}^2 \text{ dia}^{-1}$ , em junho.

Observa-se na Figura 3, que a radiação solar média mensal varia ao longo do ano de forma decrescente a partir de janeiro até atingir o mínimo em junho e, daí, crescendo até dezembro, alcançando o máximo neste mês.



**Figura 1: Histogramas da radiação solar média mensal e teste de KS e SW dos meses de fevereiro (a), maio(b), agosto(c) e novembro(d).**

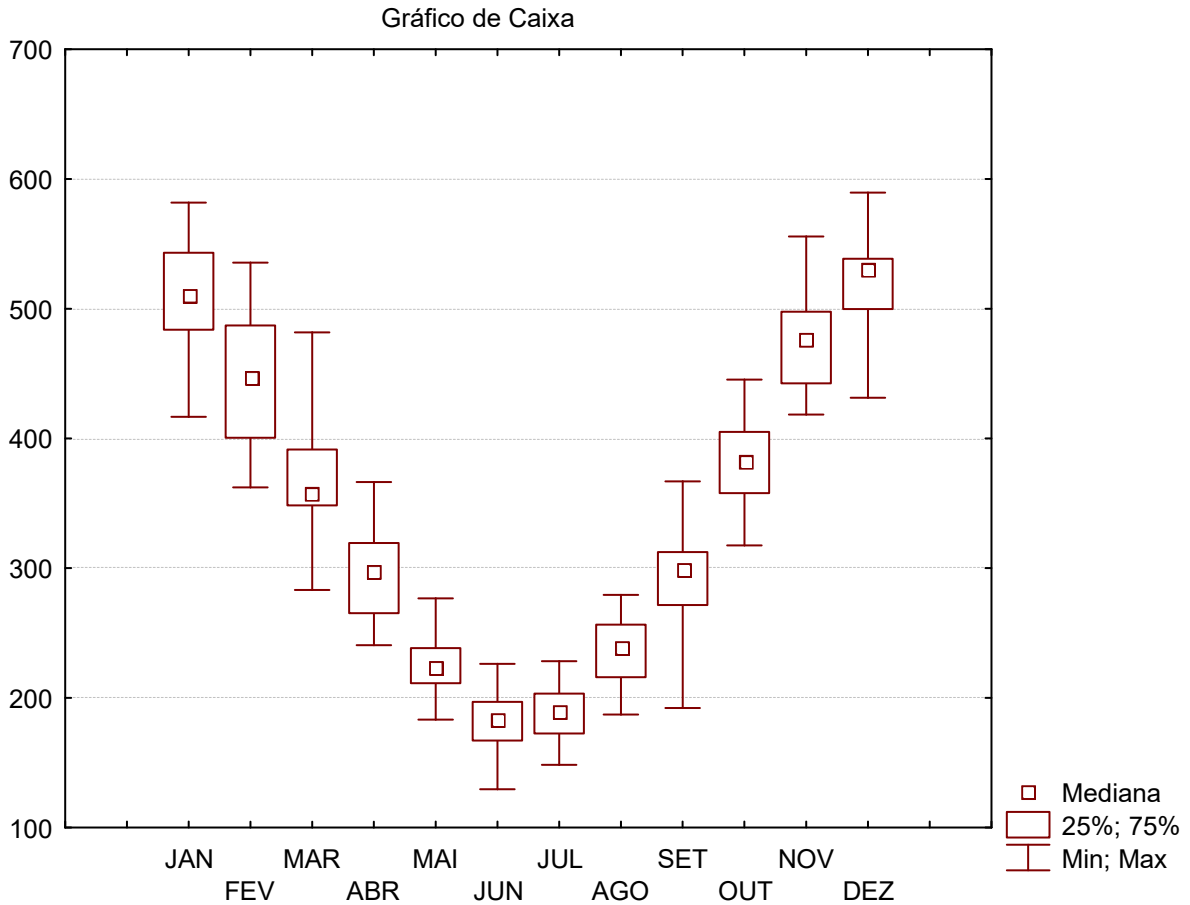


Figura 2 - Box Plot da radiação solar mensal em Pelotas, RS, no período de 1961/2003.

$$Y_t = 343.70 + 159.04 \cdot \cos(0,5236 \cdot t) - 50.73 \cdot \sin(0,5236 \cdot t)$$

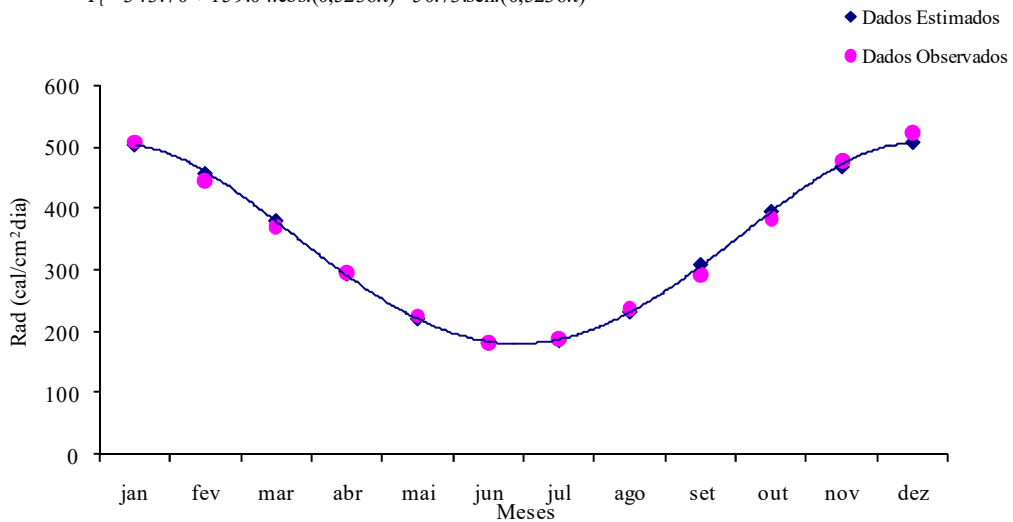


Figura 3 - Equação de regressão periódica ajustada aos valores médios da radiação solar, em Pelotas, RS, no período de 1961/2003.



O comportamento desta variável é o inverso daquele da umidade relativa, como é comum ocorrer nas regiões temperadas semelhantes à região de Pelotas

#### 4. CONCLUSÕES

As médias mensais da radiação solar seguem aproximadamente a distribuição normal, em todos os meses do ano.

As análises estatísticas permitem concluir que a radiação solar média mensal apresenta-se mais alta nos meses de primavera verão atingindo o máximo no mês de dezembro e o mínimo em junho.

A média anual da radiação solar de, aproximadamente,  $343,7 \text{ cal/cm}^2 \text{ dia}^{-1}$ , com variabilidade média de menos de 10%, ao longo dos meses, indica uma boa possibilidade do aproveitamento da energia solar, pelo menos em mais de 50% dos meses.

A radiação solar disponível tem definido o estabelecimento das culturas mais adequadas para a região de Pelotas, pelos estudos realizados do zoneamento agroclimático.

#### 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] ARGENTIÈRE, R. **O Sol e os Planetas**. São Paulo, SP: Ed. Princar, 1979. 176p..
- [2] VAREJÃO-SILVA, M. A. **Meteorologia e Climatologia**. Brasília, DF: Ed. Pax, INMET, 2001. 532p..
- [3] STEINMETZ, S.; ASSIS, F. N.; SOARES, W. R. Estimativa da radiação solar global a partir da insolação na região de Pelotas, Rio Grande do Sul. **Agropecuária. Clima Temperado**. Pelotas, V.2, n.1, p 77-851, 1999.
- [4] ASSIS, F. N.; ARRUDA, H. V.; PEREIRA, A. R. **Aplicações de Estatística à Climatologia. Teoria e Prática**. Universidade Federal de Pelotas, Editora Universitária, 1996. 161p..
- [5] SHAPIRO, S. S. **How to test normality and other distributional assumptions**. 2º ed. Wisconsin: American Society for Quality Control, 1990. 92p..