



## Comportamento da Radiação Solar observado no período de Agosto/2004 a Março/2005 no Observatório Espacial do Sul

Marcus Guedes<sup>(1,2)</sup>, Marcelo P. Pes<sup>(1,2)</sup>, Leonardo A. Biazzi<sup>(1,2)</sup>, Sylvio L. Mantelli Neto<sup>(3,4)</sup>, Ricardo A. Guarnieri<sup>(3)</sup>, Enio B. Pereira<sup>(3)</sup>, Nelson J. Schuch<sup>(2)</sup>

<sup>1</sup>Laboratório de Ciências Espaciais de Santa Maria – LACESM/CT – UFSM.

<sup>2</sup>Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais – CRSPE/INPE – MCT.

<sup>3</sup>Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos - DMA/CPTEC/INPE.

<sup>4</sup>Universidade Federal de Santa Catarina – LABSOLAR – Florianópolis – SC.

[guedes@lacesm.ufsm.br](mailto:guedes@lacesm.ufsm.br)

Copyright 2005, SBGf - Sociedade Brasileira de Geofísica

This paper was prepared for presentation at the 9<sup>th</sup> International Congress of the Brazilian Geophysical Society held in Salvador, Brazil, 11-14 September 2005.

Contents of this paper were reviewed by the Technical Committee of the 9<sup>th</sup> International Congress of the Brazilian Geophysical Society. Ideas and concepts of the text are authors' responsibility and do not necessarily represent any position of the SBGf, its officers or members. Electronic reproduction or storage of any part of this paper for commercial purposes without the written consent of the Brazilian Geophysical Society is prohibited.

### Abstract

Reliable environmental and climatic data are necessary to evaluate the solar and aeolic energy availability. Such evaluation will make possible the development of the sector of renewable energy resource assessment. The objective of this work is to study the behavior of the incident solar radiation in the central part of Rio Grande do Sul state - Brazil. To perform this study, the incident solar radiation data obtained by a reference station of the SONDA Project were used. This station is installed at the Southern Space Observatory (Observatório Espacial do Sul – OES/CRSPE/INPE – MCT), located in São Martinho da Serra – RS – Brazil. The station is equipped with a *Normal Incidence Pyrheliometer – NIP (Eppley Laboratory, Inc)* for direct solar radiation measurements, a *CM22 Pyranometer (Kipp & Zonen)* coupled to a *2AP-BD Solar Tracker (Kipp & Zonen)* with a solar occulting disk for diffuse solar radiation measurements, and a *CM 21 Pyranometer (Kipp & Zonen)* for global radiation measurements. The period of data used was from August 2004 to March 2005, and only measurements performed in cloudless days were used. A similar behavior was observed for the direct, diffuse and global radiation, with an increasing trend from August to December, a maximum between the second half of December and first half of January, and a subsequent decreasing trend. In a previous study, the percentages of diffuse and direct radiation were calculated for the same period and the results have shown that 10.03% of the incident solar radiation was diffuse and 89.97% direct.

### Introdução

O Brasil, por ser um País localizado na sua maior parte na região inter-tropical, possui um grande potencial de energia solar durante todo o ano [1], que tem sido alvo de estudos ao longo dos últimos anos. A utilização da radiação solar convertida em corrente elétrica pode ser uma grande aliada na redução aos impactos ambientais causados pelo atual modelo energético brasileiro, baseado na produção hidro e termoelétrica [2]. Uma das possíveis formas de conversão da energia solar para elétrica, é conseguida através do efeito fotovoltaico que

ocorre em dispositivos conhecidos como “*células fotovoltaicas*”. Estas células são componentes opto eletrônicos que convertem diretamente a radiação solar em corrente elétrica. O efeito fotovoltaico, relatado por Edmond Becquerel, em 1839, é o aparecimento de uma diferença de potencial nos extremos de uma estrutura de material semicondutor, produzida pela absorção da radiação solar. Esse efeito se explica por uma característica dos materiais semicondutores, que é a presença de bandas de energia onde é permitida a presença de elétrons (banda de valência) e de outra totalmente “vazia” (banda de condução). A célula fotovoltaica é a unidade fundamental do processo de conversão, sendo atualmente o silício o material mais empregado na sua construção [3].

Além da aplicação da radiação solar como fonte de corrente elétrica, ela é fortemente empregada através de coletores solares de aquecimento de água, para substituir os chuveiros elétricos, que hoje causam um grande impacto no consumo de eletricidade no Brasil [3].

Estudos recentes mostram uma tendência de crescimento da demanda energética Mundial de 4% ao ano, em consequência da melhoria da qualidade de vida dos países em desenvolvimento. Com essa taxa de crescimento que significa uma duplicação a cada 17 anos, é provável que, na segunda década desse século, o consumo de energia nos países em desenvolvimento ultrapasse o consumo dos países desenvolvidos em virtude da melhoria dos parâmetros sócio-econômicos nos países em desenvolvimento [6].

A radiação solar constitui a principal força motriz para processos térmicos, dinâmicos e químicos em nosso planeta. A sua transmissão na Atmosfera é um processo complexo e de difícil descrição devido ao grande número de propriedades físicas da Atmosfera que a influenciam [4]. Ao atravessar a Atmosfera, a radiação eletromagnética é atenuada por processos de espalhamento e absorção causados por partículas (denominadas aerossóis) e moléculas de gases atmosféricos. Os principais processos de interação da radiação solar e da radiação térmica na Atmosfera são apresentados no diagrama da Figura 1 [4]. Trata-se de um esquema bastante simplificado dos processos envolvidos no balanço radiativo do Planeta, onde apenas o efeito médio global de todos os processos está representado. O valor de cada componente pode variar de uma região para outra na Terra e de um período do ano para outro [5].

Além da importância no plano energético, a radiação solar desempenha papel importante em diversas áreas da atividade humana como, por exemplo, na meteorologia e climatologia que são atividades essenciais para o desenvolvimento da atividade econômica de um país com extensão continental como a do Brasil. Outras atividades econômicas, como agropecuária e arquitetura necessitam do conhecimento da radiação solar incidente na superfície do planeta, para o planejamento e um melhor aproveitamento da eficiência energética [4]. Visando montar um banco de dados, acessível por profissionais que possam fazer tais planejamentos e diminuir os impactos de uma possível deficiência no setor energético brasileiro, o Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos – CPTEC/INPE – MCT - lançou o Projeto SONDA – Sistema de Organização Nacional de Dados Ambientais voltado para o Setor de Energia – para a implementação de uma infraestrutura física e de recursos humanos destinada a criar e melhorar a base de dados dos recursos de energia solar e eólica no Brasil [7].

O presente trabalho utiliza dados preliminares da radiação solar global, bem como de suas componentes direta e difusa, medidos na Estação de Referência SONDA instalada no Observatório Espacial do Sul - OES/CRSPE/INPE – MCT (29.42°S, 53.87°O), em São Martinho da Serra. Foram utilizados dados do período de Agosto de 2004 a Março de 2005, tendo como objetivo observar o comportamento preliminar da radiação solar incidente nesse período, na região central do Estado do Rio Grande do Sul – Brasil.

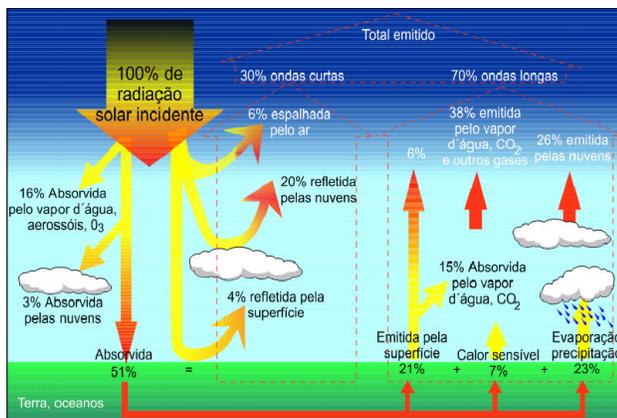


Figura 1 – Processos mais relevantes na interação da radiação solar com a atmosfera terrestre – Fonte [4].

### Metodologia

Para a obtenção das medidas de irradiância direta foi utilizado um Pireliômetro NIP – “Normal Incidence Pyrheliometer” (Eppley Laboratory, Inc), que é um pireliômetro de primeira classe segundo as normas da WMO – “World Meteorological Organization” [8]. Para as medidas da irradiância difusa foi utilizado um Piranômetro CM 22 (Kipp & Zonen), que possui banda espectral de 200 a 3600 nm [9] e utiliza um ocultador do disco solar. Ambos – Pireliômetro NIP e o Piranômetro CM 22 estão acoplados a um rastreador solar – Two Axis Positioner – 2AP-BD (Kipp & Zonen), que é um equipamento usado para direcionar sensores diretamente para objetos

celestes, neste caso, o Sol. Para as medidas de irradiância global foi utilizado um Piranômetro CM 21 (Kipp & Zonen), que efetua medidas em uma banda espectral de 300 a 2800 nm [9]. Com os dados medidos foi possível realizar uma suavização para melhor visualização do comportamento da radiação solar. Os equipamentos realizam medidas a cada segundo, seguindo normas internacionais, sendo calculada e armazenada a média para cada minuto do dia.

Foi utilizado nesse trabalho o período de dados entre Agosto de 2004 a Março de 2005 compreendendo praticamente todas as medidas realizadas pela estação desde sua instalação, em junho de 2004, até o presente. Com este período de dados é possível observar a passagem de uma época de mínimo de radiação que ocorre no inverno, para a época de maior intensidade anual de radiação, que ocorre em torno do solstício de verão. Foram utilizados somente dados de dias perfeitos, ou seja, dias de céu limpo, sem a interferência de nuvens.

As duas componentes da radiação solar – direta e difusa – incidente sob a superfície da região central do Estado do Rio Grande do Sul para o período em análise foram estudadas, obtendo-se médias e calculando-se as porcentagens de cada (Figura 5).

### Resultados

De posse das medidas de irradiância direta, difusa e global de dias sem a interferência de nuvens, para o período de Agosto de 2004 a Março de 2005, foram traçadas, curvas de Integrais Diárias versus data, para uma melhor análise do comportamento da radiação solar durante as trocas de estação.

Uma suavização foi empregada, para descrever de forma visual mais clara o comportamento da radiação solar incidente nessa região. Podemos analisar o comportamento das curvas de radiação direta – Figura 2, radiação difusa – Figura 3 e radiação global – Figura 4.

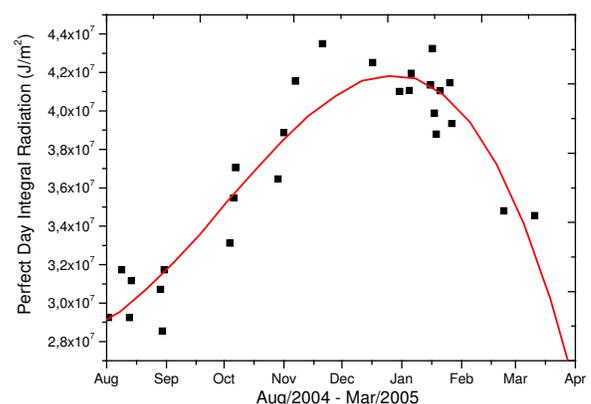


Figura 2 – Análise da radiação direta, medida sob o ângulo normal de incidência ao Sol, somente dias sem nuvens, no Observatório Espacial do Sul.

Tendo em vista que radiação global é igual à soma da componente direta mais difusa, uma correlação entre

ambas foi plotada e é apresentada na Figura 5, possibilitando saber em que porcentagem cada componente da radiação atinge a região central do Estado do Rio Grande do Sul.

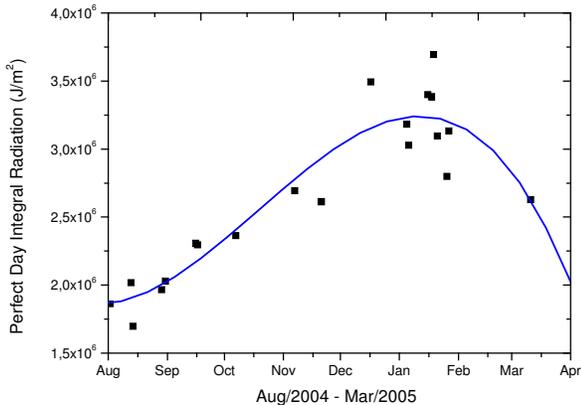


Figura 3 – Análise da radiação difusa, medida com um ocultador do disco solar, somente dias sem nuvens, no Observatório Espacial do Sul.

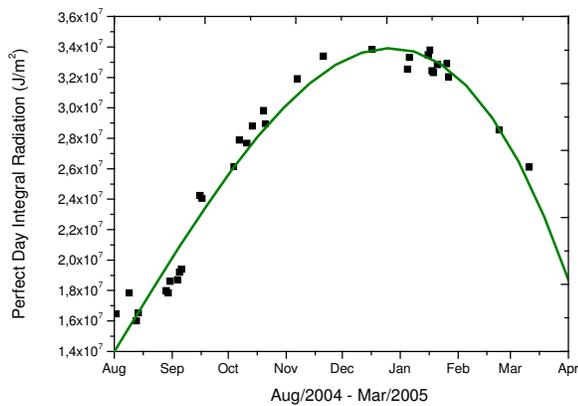


Figura 4 – Análise da radiação global, equipamento exposto à radiação sem qualquer interferência, somente dias sem nuvens, no Observatório Espacial do Sul.

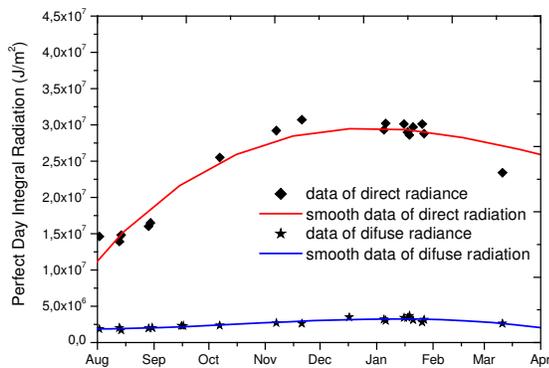


Figura 5 – Correlação entre as medidas de radiação direta e difusa.

## Conclusões

Da análise efetuada, verificou-se um comportamento similar para as diferentes componentes da radiação incidente, tendo um crescimento no início de Setembro, e seu ponto máximo entre a segunda quinzena de Dezembro de 2004 e a primeira de Janeiro de 2005, voltando a diminuir logo após esse período. O comportamento observado é compatível com o comportamento sazonal esperado.

Para o período em análise, 89,97% da radiação incidente corresponde à radiação direta e 10,03% à radiação difusa.

A longo prazo, com dados de vários anos, será possível determinar os valores médios quinzenais, mensais e por estação do ano, da radiação incidente em cada componente. Será possível criar uma climatologia de radiação para a região e estudar como varia a componente difusa da radiação em condições atmosféricas variáveis, como diferentes coberturas de nuvens ou ocorrência de queimadas nas proximidades.

## Agradecimentos

Projeto financiado, em parte através dos recursos da FINEP (projeto SONDA - 22.01.0569.00). Os autores gostariam de agradecer o apoio da PRAE/UFSM pelas bolsas concedidas e um agradecimento especial ao Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais CRSPE/INPE – MCT pelo estágio.

## Referências

- [1] C. Tiba et al. Atlas Solarimétrico do Brasil: banco de Dados terrestres (Editora Universitária da UFPE Recife 2000).
- [2] A. Plana-Fattori & J. R. Rozante, *Pireliometria de banda larga e turbidez atmosférica em São Paulo*, Revista Brasileira de Geofísica, v. 15, n. 1 (1997) .
- [3] Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito – CRESESB – ([http://www.cresesb.cepel.br/tutorial/solar/apstenergia\\_solar](http://www.cresesb.cepel.br/tutorial/solar/apstenergia_solar)) Acessado em Abril de 2005.
- [4] F. R. Martins, E. B. Pereira, M. P. Sousa Echer, *Levantamento dos recursos de energia solar do Brasil com emprego de satélite geostacionário – o Projeto Swera*, Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 26, n. 2, p. 145 – 159, (2004). (<http://www.sbfisica.org.br>).
- [5] E. F. Harrinson, P. Minnis, B. R. Barkstrom and G. G. Gibson, in *Radiation Budget at the Top of Atmosphere*, edited by R.J Gurney, J.L. Foster and C.L Parkinson, *Atlas of Satellite observations Related to Global Change* ( Cambridge University Press, San Diego, 1993) p. 19-38.
- [6] J. Goldemberg, *Energia, Meio Ambiente e Desenvolvimento*, Horizonte Geofísico, n. 3, p.50 (EDUSP, São Paulo, 1998).
- [7] (<http://tucupi.cptec.inpe.br/~sonda/conteudo.html>)

Acessado em Abril de 2005.

[8] The Eppley Laboratory, Inc. – *Solar Radiation Measurement Instrumentation*.  
(<http://www.eppleylab.com/>)

Acessado em Abril de 2005.

[9] Kipp & Zonen Homepage (<http://www.kippzonen.com/>)

Acessado em Abril de 2005.

GRIMM, A. M., *Meteorologia Básica – Notas de Aula*. In: Site da Universidade Federal do Paraná.  
(<http://fisica.ufpr.br/grimm/aposmeteo/cabe.html>).

Acessado em abril de 2005.

Material baseado nas seguintes referências:

- LUTGENS, F. K. e E. J. TARBUCK, *The Atmosphere: an Introduction to Meteorology*. Prentice Hall, 1989.
- MORAN, J. M. e M. D. MORGANN, *Meteorology: Atmosphere and the Science of Weather*. MacMillan, 1989.
- WALLACE, J. M. e P. V. HOBBS, *Atmospheric Science: an Introductory Survey*. Academic Press, 1977.
- LIOU, KUO-NAN, *An Introduction to Atmospheric Radiation*. Academic Press.

GUARNIERI, R. A., *Planejamento e instalação de Estação de Referência SONDA no Observatório Espacial do Sul*, janeiro de 2004.