

## Desenvolvimento de uma aplicativo computacional para interface entre o usuário, imagens de satélite e o modelo de transferência radiativa BRASIL-SR

Sheila de Araujo Bandeira e Silva  
Fernando Ramos Martins  
Enio Bueno Pereira

INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais  
Caixa Postal 515 - 12201-970 - São José dos Campos - SP, Brasil  
{sheila, fernando, enio}@dge.inpe.br

**Abstract.** The main goal of this project is to produce a software which allows the user to use the model BRAZIL-SR and GOES images in order to get solar irradiation estimates without being necessary to know the radiative processes that occur in the atmosphere. This paper describes the development and operation steps of the software. It is been used by INPE to provide high spatial resolution maps of solar irradiation for South America in SWERA project.

**Keywords:** *solar radiation, radiative transfer model, software, radiação solar, modelo de transferência radiativa, interface gráfica.*

### 1. Introdução

O meio ambiente e o planeta Terra vêm sofrendo mudanças drásticas faz alguns anos e muitas dessas mudanças são consequências de atividades humanas, como por exemplo o consumo de energia gerada por fontes não renováveis. O consumo de energia está relacionado com o avanço tecnológico, o que torna os países industrializados os maiores consumidores de energia do mundo. Nos países em desenvolvimento, que visam melhorias na educação, saúde e bem estar da população, a demanda energética também tende a crescer, pois é essencial para essas melhorias. Martins *et al.* (2004)

Esse aumento na demanda energética associado à possível redução da oferta de combustíveis convencionais em regiões produtoras e a preocupação com a preservação do meio ambiente estão levando o homem a pesquisar e utilizar outras fontes de energia renováveis e menos poluentes. A energia solar é uma fonte de energia renovável e viável tanto como fonte de calor quanto de luz, principalmente no que diz respeito ao fato de não agredir ao meio ambiente (Pereira e Colle, 1997).

Assim como nos outros países em desenvolvimento, o Brasil não aproveita todo o seu potencial de energia solar, principalmente pela indisponibilidade de dados confiáveis, de fácil utilização e suficientemente detalhados sobre recursos energéticos. O projeto SWERA (*Solar and Wind Energy Resources Assessment*), desenvolvido com apoio da UNEP-GEF (*United Nations Environmental Programme - Global Environment Facility*), tem como um de seus objetivos disponibilizar dados confiáveis e detalhados sobre o potencial de energia solar, através de mapas solarimétricos. O Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) coordena a implantação do projeto SWERA em toda a América Latina e por meio de convênio com a Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) desenvolveu o modelo de transferência radiativa BRASIL-SR.

O modelo BRASIL-SR é um modelo físico que estima as componentes global, direta e difusa da irradiação solar incidente na superfície por meio da parametrização dos processos radiativos no sistema Terra-Atmosfera (Martins, 2001).

Este trabalho tem como principal objetivo produzir um aplicativo que permita ao usuário a utilização do modelo BRASIL-SR sem que seja necessário a compreensão dos processos radiativos que ocorrem na atmosfera, por meio da adaptação dos procedimentos de entrada de dados através da criação de uma interface gráfica amigável entre o usuário e o modelo de transferência radiativa, a fim de tornar mais simples e rápida a obtenção de estimativas de irradiação solar em uma determinada área de interesse.

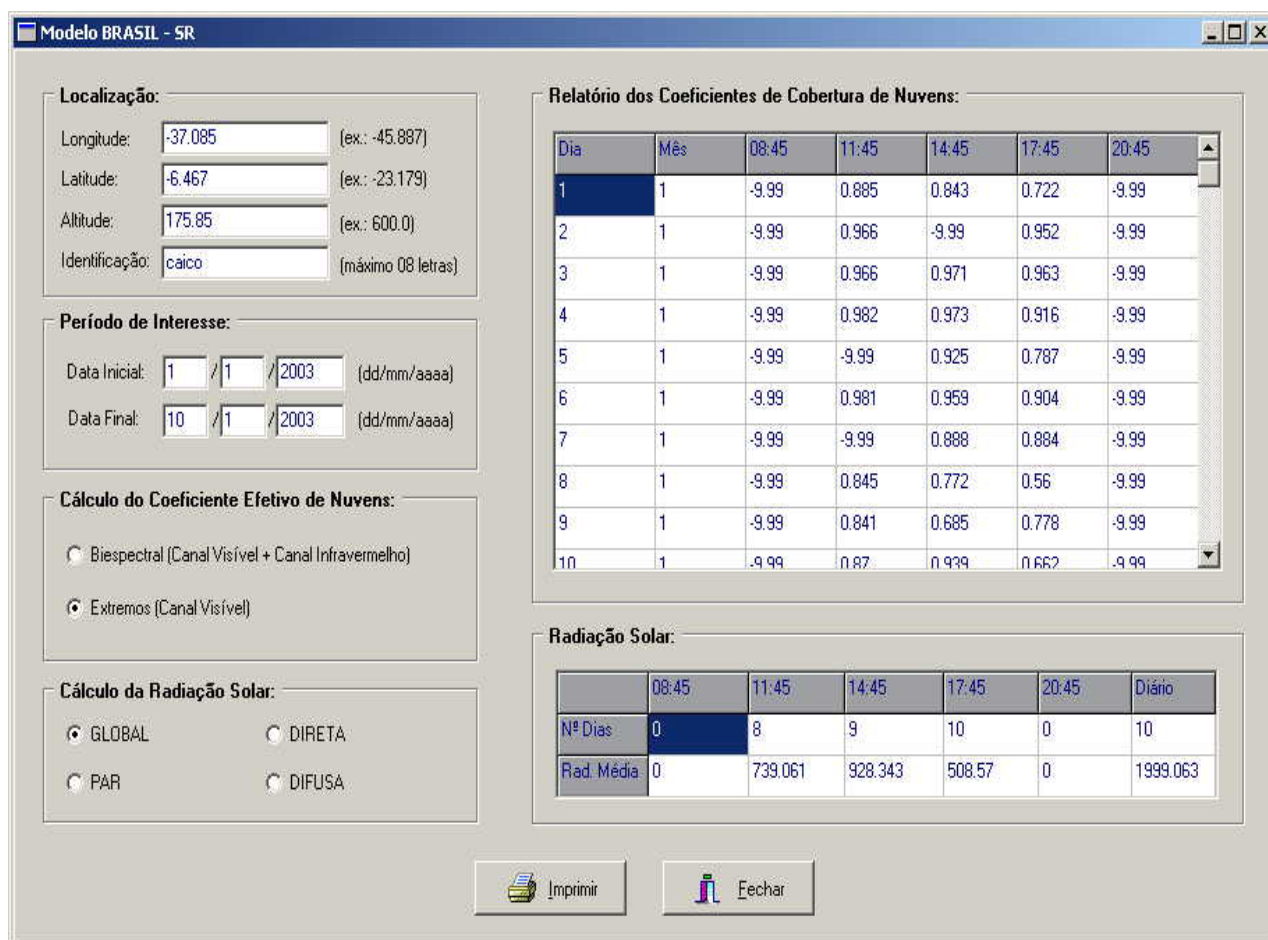
## 2. Metodologia

Inicialmente, a obtenção da estimativa de irradiação solar na superfície através do Modelo BRASIL-SR, só era possível se o usuário tivesse conhecimento de algumas propriedades atmosféricas e climáticas da área em estudo. Para a execução do modelo e obtenção de uma estimativa de irradiação solar, o usuário precisava passar por etapas intermediárias: a utilização dos programas para o cálculo do coeficiente efetivo de cobertura de nuvens (Ceff) a partir de imagens de satélite; determinação das variáveis climatológicas (temperatura, albedo de superfície, umidade relativa e visibilidade) da área de interesse; e finalmente, montar o arquivo de entrada do modelo. Assim a meta principal deste trabalho foi desenvolver um aplicativo com interface amigável e com pequena demanda computacional para integrar todos esses processos em uma única etapa.

Para o desenvolvimento do aplicativo foram utilizados a linguagem de programação C e o compilador C++Builder da Borland. A linguagem C é flexível, e facilita o trabalho com sistemas de computação que usam recursos integrados. Essa linguagem permite construir programas organizados e consistentes, que ocupam pequeno espaço de memória, possuindo boa velocidade de execução e gerando o código executável compacto e rápido quando comparado com as outras linguagens (Schildt, 2001).

O compilador C++Builder é um ambiente de desenvolvimento em linguagem C bastante robusto e portátil, o que significa que é possível adaptar software escrito para qualquer tipo de computador, e suas ferramentas tornam a criação de aplicações comerciais complexas e poderosas em uma atividade extremamente objetiva. O compilador permite utilizar uma programação orientada a eventos (ações do usuário), onde essas ações é que determinam o próximo procedimento a ser executado, dependendo da escolha e necessidade do usuário.

O aplicativo desenvolvido é composto por uma tela gráfica, onde são apresentados todos os quatro campos que devem ser preenchidos pelo usuário para a estimativa de radiação solar: localização, período de interesse, seleção do método para cálculo do coeficiente efetivo de cobertura de nuvens e, da componente de interesse da irradiação solar de interesse do usuário, como ilustra a **Figura 1**.



**Figura 1.** Ilustração da Interface gráfica do aplicativo, os valores de entrada aqui apresentados são de Caicó – RN onde opera uma estação de medida em superfície para validação das estimativas do modelo.

No campo “Localização” devem ser inseridas as informações referentes a caracterização e identificação da área a ser pesquisada. Primeiramente o usuário deve entrar com as informações de localização geográfica da área, ou seja, a latitude e longitude em grau decimal, especificando valores negativos quando se tratarem de coordenadas no hemisfério Sul ou Oeste. Outros parâmetros solicitados são a altitude da localidade em metros e uma palavra de identificação para a área, com no máximo 8 (oito) letras, que irá compor o nome de todos os arquivo temporários e com relatórios finais gerados pelo aplicativo.

A partir das informações de localização, o aplicativo acessa a base de dados climatológicos, consultando os valores de temperatura, albedo de superfície, umidade relativa e visibilidade. A base de dados climatológicos, cujo desenvolvimento foi apresentado no XI SBSR, é constituída por grades regulares com resoluções espaciais de 0.155°X0.125° (15.5km na longitude e 12km na latitude) obtidas com a aplicação de técnicas geoestatísticas para interpolação de dados medidos em estações de superfície. Como pode ser observado na **Figura 2**, os dados estão armazenados como se fossem matrizes, com 629 linhas por 400 colunas (maiores detalhes podem ser acessados em <http://www.cptec.inpe.br/swera/>).

```

10.97229914
10.966995138646 10.95
11.14601496087 11.173767934035 11.201543045079
11.438929443979 11.472571301992 11.515572154748 11.
12.097601502696 12.177093128316 12.255910788927 12.3
12.96984581014 13.037966629208 13.105290284158 13.0
1.70141E+038 1.70141E+038 1.70141E+038 1.70141E+
1.70141E+038 1.70141E+038 1.70141E+038 1.70141E+
1.70141E+038 1.70141E+038 1.70141E+038 1.70141E+
1.70141E+038 1.70141E+038 1.70141E+038 1.70141E+
1.70141E+038 1.70141E+038 1.70141E+038 1.70141E+
• código de erro para valores fora da América do Sul ou para os oceanos
• média mensal da região centrada na lat. a / long. b
• média mensal da região centrada na lat. c / long. d

```

**Figura 2.** Exemplo do conteúdo de um dos arquivos da base de dados climatológicos utilizada pelo modelo BRASIL-SR.

No campo “Período de Interesse”, é necessária a indicação da data inicial e final que se deseja pesquisar e estimar a radiação solar. Após definidos os parâmetros de localização, identificação da área e período de interesse, o próximo passo é habilitar o campo “Cálculo do Coeficiente Efetivo de Cobertura de Nuvens”, indicando o tipo de calculo do coeficiente ele deseja que seja feito: Biespectral ou Extremos. As duas técnicas utilizam imagens do satélite GOES para o cálculo da cobertura de nuvens. A partir dessa definição, o aplicativo executa uma subrotina que calcula o coeficiente de cobertura de nuvens, utilizando a seguinte expressão:

$$C_{eff} = \frac{L_r - L_{clr}}{L_{cld} - L_{clr}}$$

onde:

- $L_r$  é radiância na faixa espectral do visível medida pelo satélite;
- $L_{clr}$  é a radiância associada à condições de céu claro medida pelo satélite na faixa espectral do visível;
- $L_{cld}$  a medida associada à condições de céu nublado medida pelo satélite na faixa espectral do visível.

A técnica Biespectral utiliza métodos estatísticos em imagens dos canais visível e infravermelho para determinação dos valores de  $L_{clr}$  e  $L_{cld}$ , enquanto que a técnica Extremos usa apenas as imagens do canal visível do satélite. Uma descrição detalhada de ambas as técnicas pode ser encontrada em Martins (2001).

Após a execução do programa para o cálculo do Coeficiente de Cobertura de Nuvens, os resultados serão exibidos no campo “Relatório dos Coeficientes de Cobertura de Nuvens”. Os valores calculados do  $C_{eff}$  para os 5 horários em que imagens do satélite GOES da América do Sul estão disponíveis e para todos os dias do período de interesse. Um arquivo ASCII [e gerado com os valores de  $C_{eff}$  como ilustra a **Figura 3**.

```

Technique: Bi-spectral
SITE: caico
See site coordinates (lat/lon) at descriptors files.
Month: 1
AREA: X Pixels
Day 8:45 11:45 14:45 17:45 20:45
1 -9.990 .898 .864 .745 -9.990
2 -9.990 .977 -9.990 .987 -9.990
3 -9.990 .973 .994 .991 -9.990
4 -9.990 .993 .995 .943 -9.990
5 -9.990 -9.990 .948 .822 -9.990
6 -9.990 .991 .990 .928 -9.990
7 -9.990 -9.990 .917 .915 -9.990
8 -9.990 .855 .797 .583 -9.990
9 -9.990 .852 .709 .811 -9.990
10 -9.990 .883 .970 .681 -9.990

```

**Figura 3.**– Exemplo de arquivo ASCII com informações de cobertura de nuvens geradas pelo aplicativo desenvolvido - CLOUD\_COVER.1.BSP.caico

Com os dados de cobertura efetiva de nuvens calculados, o arquivo de entrada para alimentar o modelo BRASIL-SR é montado, uma vez que todos os parâmetros necessários já estão disponíveis. Esse arquivo é composto sequencialmente pelas informações de ano, mês, dia, longitude, latitude, albedo de superfície, altitude, temperatura, umidade relativa e visibilidade, consultados na base de dados climatológicos, e por fim, os valores do coeficiente de cobertura de nuvens para os horários 09, 12, 15, 18 e 21 (horário GMT).

Ante de o modelo ser executado pelo aplicativo, o usuário deve informar qual a componente da radiação solar está interessado através do campo “*Cálculo da Radiação*”:

- *Radiação Global*: total de radiação de ondas curtas (0 a 4 $\mu$ m) emitida pelo Sol que incide na superfície do planeta e tem uma orientação bem definida na direção Sol-Terra.
- *Radiação Direta*: fração da radiação global, que atravessa a atmosfera terrestre sem sofrer qualquer alteração em sua direção original.
- *Radiação Difusa*: fração da radiação global espalhada e refletida, dispersando-se em todas as direções, sendo responsável pela claridade do céu durante o dia e pela iluminação de áreas que não recebem iluminação direta do sol.
- *Radiação PAR*: radiação fotossinteticamente ativa (0.4 a 0.7  $\mu$ m) que corresponde a faixa espectral da radiação global que é absorvida pelas plantas para realizar fotossíntese, importante em estudos sobre taxa de crescimento vegetal por ser a radiação que excita as moléculas de clorofila das plantas, iniciando o fluxo de energia durante o processo de fotossíntese.

De acordo com a opção escolhida, o modelo de transferência radiativa é executado e um arquivo tipo texto é gerado como a saída do aplicativo, para uma posterior consulta. Um exemplo deste arquivo de saída pode ser observado na **Figura 4**.

dia	mês	ano	lon	lat	GLO_9	GLO_12	GLO_15	GLO_18	GLO_21	Total Diário
1	1	2003	-37.08	-6.47	-1	719.51	886.76	450.51	-1	2153.42
2	1	2003	-37.08	-6.47	-1	777.51	-1	581.11	-1	1452.08
3	1	2003	-37.08	-6.47	-1	776.58	1007.69	589.72	-1	2466.23
4	1	2003	-37.08	-6.47	-1	788.17	1011.33	564.46	-1	2461.15
5	1	2003	-37.08	-6.47	-1	-1	965.98	493.69	-1	1407.85
6	1	2003	-37.08	-6.47	-1	784.97	999.83	561.75	-1	2442.88
7	1	2003	-37.08	-6.47	-1	-1	932.71	551.68	-1	1429.3
8	1	2003	-37.08	-6.47	-1	683.88	823.91	367.9	-1	1970.87
9	1	2003	-37.08	-6.47	-1	680.3	743.31	494.98	-1	2000.37
10	1	2003	-37.08	-6.47	-1	701.57	983.57	429.91	-1	2206.49

**Figura 4.** Arquivo texto gerado pelo Modelo BRASIL-SR.

Finalizando o processamento, são exibidos todos os valores fornecidos como entrada pelo usuário e, para cada horário, a quantidade de dias utilizados para a estimativa de radiação solar e o valor da média entre essas estimativas, além de exibir, também a radiação diária.

Os cálculos das estimativas têm início às 8:45 GMT e término às 20:45 GMT, pois representam, respectivamente, a imagem mais próxima do nascer e do por do Sol que são momentos importantes no estudo da radiação solar.

### 3. Resultados Obtidos

O modelo BRASIL-SR fornece como saída um arquivo texto com todos os valores de radiação solar estimados para os cinco horários em estudo durante todo o período de interesse fornecido pelo usuário. Essas estimativas de radiação solar são fornecidas em  $W/m^2$ , independente da componente de radiação escolhida no início do programa.

O processo de validação do modelo BRASIL-SR consiste na avaliação e comparação dos resultados obtidos após as mudanças e processos descritos nesse documento com os valores medidos experimentalmente em estações coletoras de dados. Neste trabalho, a validação é efetuada apenas para os resultados obtidos para a Radiação Global, pois para as outras componentes os valores experimentais não estavam disponíveis.

O aplicativo foi executado para a obtenção de estimativas de radiação nas coordenadas das estações de medidas em superfície situadas em Caicó (RN) e Florianópolis (SC), afim de avaliar os resultados obtidos para regiões com características climáticas e ambientais distintas.

Caicó é um local que apresenta alta insolação e baixa ocorrência de chuva durante todo o ano, características importantes para validação e ajuste do modelo para a condição de céu claro. Florianópolis é uma cidade litorânea de médio porte, cujo clima apresenta temperaturas mais amenas e a frequência de chuvas é bem distribuída ao longo do ano.

Realizou-se a validação para os meses de novembro e dezembro de 2002 e janeiro e fevereiro de 2003, avaliando os valores horários e total diário da irradiação solar na superfície. Dois cálculos foram realizados para tornar válido o resultado do modelo: o desvio médio (BIAS) e o erro médio quadrático (RMSE), cujas formulas são expressas por:

$$BIAS = \left[ \frac{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (Rad_i^{est} - Rad_i^{med})}{\overline{Rad}_{med}} \right] \quad RMSE = \left[ \frac{\sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (Rad_i^{est} - Rad_i^{med})^2}}{\overline{Rad}_{med}} \right]$$

Onde:

- N é o número de dados utilizados no processo de validação
- i refere-se a cada par de valores medidos e estimados

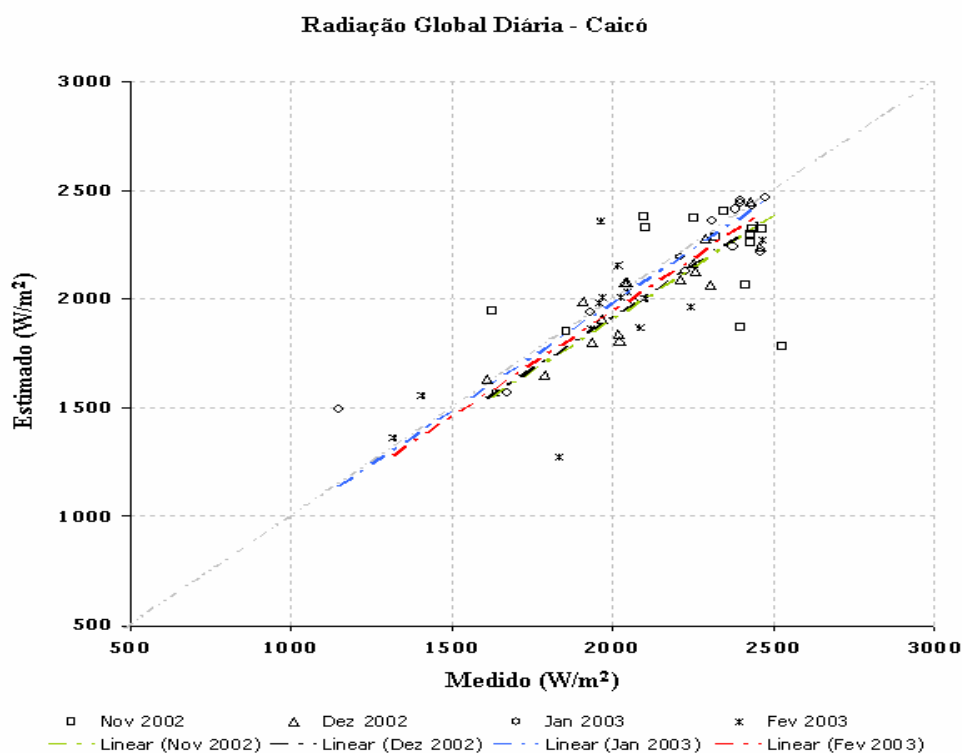
- $\text{Rad}^{\text{med}}$  é a radiação solar medida pela estação coletora de dados
- $\text{Rad}^{\text{est}}$  representa a radiação estimada pelo modelo.

A **Tabela 1** apresenta os valores de BIAS e RMSE obtidos para as estimativas nas bases horária e diária nas duas estações em avaliação. Pode-se observar que tanto para Caicó quanto para Florianópolis os valores dos desvios são baixos, o que demonstra o bom desempenho do modelo.

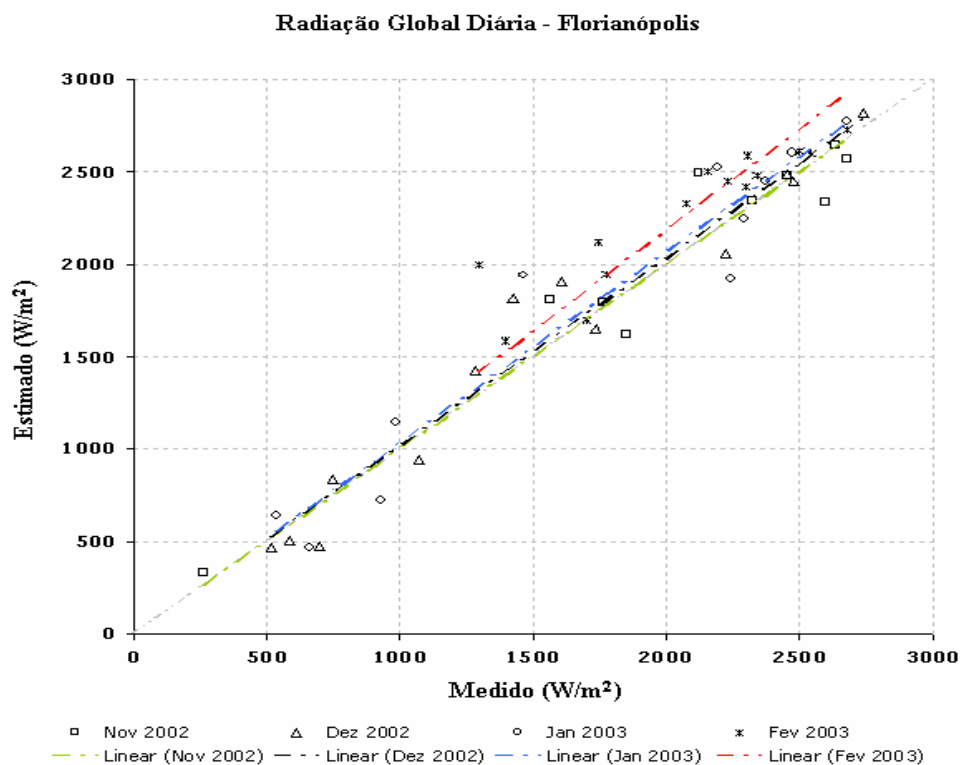
**Tabela 1.** Valores de BIAS e RMSE obtidos para as estimativas horárias nas duas estações de medidas em superfície.

Mês	Base	Estações			
		Florianópolis		Caicó	
		BIAS	RMSE	BIAS	RMSE
Nov/2002	Horária	-0,03	0,21	-0,05	0,21
	Diária	0,01	0,09	-0,04	0,13
Dez/2002	Horária	0,01	0,27	-0,01	0,17
	Diária	0,01	0,12	-0,04	0,06
Jan/2003	Horária	0,02	0,26	-0,02	0,17
	Diária	0,03	0,13	-0,006	0,06
Fev/2003	Horária	0,08	0,19	-0,04	0,18
	Diária	0,11	0,13	-0,04	0,15

As **Figuras 5 e 6** apresentam, respectivamente, os gráficos de dispersão entre os valores de Radiação Global medidos e estimados na base diária em Caicó e Florianópolis.



**Figura 5.** Comparação gráfica entre valores medidos e estimados na base diária, para Caicó.



**Figura 6.** Comparação gráfica entre valores medidos e estimados na base diária para Florianópolis.

#### 4. Conclusões

Conclui-se que o objetivo proposto neste trabalho foi alcançado com êxito, uma vez que o aplicativo desenvolvido tem se mostrado de fácil utilização e compreensão por parte do usuário e realmente não há necessidade de conhecimentos sobre os processos radiativos que ocorrem na atmosfera, sendo as informações de longitude e latitude as únicas informações específicas que devem ser fornecidas. As estimativas de irradiação solar fornecidas pelo modelo apresentaram desvios pequenos quando comparadas a valores medidos em estações solarimétricas localizadas em Caicó(RN) e Florianópolis(SC). Algumas modificações ainda deverão ser implementadas no futuro visando permitir que o usuário selecione mais de uma componente de irradiação solar para obtenção de estimativas.

#### 5. Referências Bibliográficas

- Martins, F. R. **Influência do processo de determinação da cobertura de nuvens e dos aerossóis de queimada no modelo físico de radiação BRASIL-SR**. PhD. Thesis. INPE (Brazilian Institute of Space Research). São José dos Campos, Brasil, 2001.
- Martins, F. R.; Pereira, E. B.; Echer, M. P. S. Levantamento dos recursos de energia solar no Brasil com o emprego de satélite geoestacionário – o projeto SWERA. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 26, n2., p. 145-159, 2004.
- Pereira, E. B.; Colle, S. A energia que vem do Sol. **Revista Ciência Hoje**, v. 22, n. 130, p. 25-35, 1997.
- Schildt, H., Guntle, G. **Referência Completa Borland C++ Builder**. Rio de Janeiro: Editora Campus, 2001.
- Silva, S. A. B.; Simões, P. M.; Martins, F. R.; Pereira, E. B. Aplicação da geoestatística no desenvolvimento de uma base de dados climatológicos para uso no modelo de transferência radiativa BRASIL-SR. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 11., 5-10 abr. 2003, Belo Horizonte. **Anais...** INPE, 2003. p. 1211-1218. CD-ROM, Online. Publicado como: INPE--PRE/. Disponível na biblioteca digital [URLib: <urlib.inpe.br/sbst/2002/11.17.09.03>](http://urlib.inpe.br/sbst/2002/11.17.09.03). Acesso em: 18 nov. 2004.