

RELATÓRIO FINAL

Período: Agosto de 2001 a julho de 2002

**ESTUDO OBSERVACIONAL
DA RADIAÇÃO SOLAR NA CIDADE DE SÃO PAULO**

Georgia Codato

Amauri P. Oliveira - Orientador

Agosto/02

CNPq-PIBIC

Indicie

1. Introdução.....	2
2. Etapas Propostas	3
3. Etapas Concluídas.....	3
4. Analise e Descrição dos dados.....	4
5. Total Diário da Radiação Solar, Topo, Direta e Difusa.....	8
6. Conclusão.....	11
7. Atividades Relacionadas.....	12
8. Referencia.....	12

1. Introdução

Este trabalho tem como efetuar uma comparação entre a evolução sazonal dos totais horários, diários e mensais da radiação solar global, difusa e direta nas cidades de São Paulo e de Botucatu. Portanto será efetuado 5 anos de observações contínuas destas componentes da radiação solar nestes locais.

Estes dois locais foram escolhidos porque:

(a) As observações de radiação solar nestes locais estão sendo realizadas de forma simultânea e com o mesmo controle de qualidade. Os sensores de radiação solar estão sendo calibrados pelos mesmos sensores de referência em ambos os locais de forma sistemática;

(b) A latitude ($\sim 22.9^\circ\text{S}$) e altitude (740m) da estação de Botucatu é praticamente a mesma da estação do IAG/CUASO. Esta característica única, permite uma comparação das propriedades radiométricas destes dois locais. Deve ser salientado que as observações em Botucatu serão representativas de uma região rural. As variações climáticas destes dois locais estão basicamente relacionadas à distância do Oceano Atlântico. Botucatu está cerca de 275 km (em linha reta perpendicular a linha do litoral) apresenta um clima mais seco e com uma menor frequência de nuvens do que a Cidade de São Paulo, que está localizada cerca de 60 km do oceano;

(c) Estudos comparativos preliminares indicam que existem diferenças sazonais significativas entre estas duas localidades, provavelmente relacionadas com o contraste urbano-rural (Oliveira, *et al*, 2002b; Oliveira e Machado, 2001). O Contraste urbano-rural está relacionado ao efeito da poluição e ao albedo da Cidade de São Paulo. O efeito da distância ao oceano está relacionado a vários fatores. Entre estes, destacam-se o aumento da concentração de aerossol marítimo, o aumento da umidade atmosférica, e a presença de nuvens.

Tabela 1: Características geográficas de São Paulo e Botucatu

Cidade	Distância do Oceano Atlântico	Latitude e Longitude	Altitude (m)	População
São Paulo	60 Km	(23°33'S, 46°44'W)	742	*10,405,867
Botucatu	240 Km	(22°51'S, 48°26'W)	786	108,112

(*18 milhões de habitantes na área metropolitana)

2. Etapas Propostas

A metodologia a ser utilizada nesta pesquisa consiste em:

- I. Calcular os totais horários, diários e mensais de radiação solar global, difusa e direta observados em Botucatu desde 1996.
- II. Estimar a fração difusa, direta, o índice de claridade (“clearness index”), e outros parâmetros que caracterizam as propriedades radiométricas da atmosfera em Botucatu, para as partições horárias, diárias e mensais de radiação solar.;
- III. Efetuar uma estimativa do número de dias de céu claro em Botucatu. O critério a ser utilizado neste caso será já usado para determinar os dias de céu claro em São Paulo (Oliveira, *et al*, 2002a; Oliveira e Machado, 2001);
- IV. Determinar os totais horários e diários de radiação solar global, difusa e direta para os dias de céu claro e comparar com os parâmetros equivalentes da Cidade de São Paulo. Para completar esta análise será realizado um levantamento junto a CETESB dos dados de material particulado para a Cidade de São Paulo nos dias de céu claro. Pretende-se também efetuar um levantamento das observações de nuvens e outros parâmetros meteorológicos da Estação Meteorológico da IAG do PEFI, para completar a caracterização dos dias de céu claro observados nas Cidades de São Paulo e Botucatu simultaneamente;
- V. Determinar a evolução diurna horária média mensal da radiação de onda longa emitida pela atmosfera, da temperatura, umidade relativa e umidade específica do ar observados em Botucatu.

3. Etapas Cumpridas

- Seleção dos dias de céu claro em São Paulo, com 8 anos de observações e Botucatu, com 6 anos de observações;
- Adaptação do programa em Linguagem Fortran para calcular totais diários nos dias de céu claro;
- Adaptação do programa para a leitura dos dados de Botucatu;
- Cálculo da radiação no topo solar da atmosfera a partir dos valores de latitude e longitude de São Paulo.

- Cálculo dos totais diários para radiação solar global, difusa, direta e topo para os dias de céu claro;
- Efetuou-se cálculo das frações:
 - $K_T = \frac{E_G}{E_T}$: Radiação Global pelo Topo - Índice de Claridade;
 - $K_D = \frac{E_D}{E_T}$: Radiação Difusa pelo Topo;
 - $K_{DIR} = \frac{E_{DIR}}{E_T}$: Radiação Direta pelo Topo;
 - $\frac{E_D}{E_G}$: Radiação Difusa pela Global;
 - $\frac{E_{DIR}}{E_G}$: Radiação Direta pela Global;

4. Descrições e Análise dos Resultados

O critério utilizado para definir dias de céu claro foi de acordo com o comportamento suave da curva de evolução diurna da radiação global e difusa. Desta forma foram inspecionados visualmente todos os dados das Cidades de São Paulo e Botucatu.

Um exemplo deste critério é o dia 22 de agosto de 1998 (**Fig.1**).

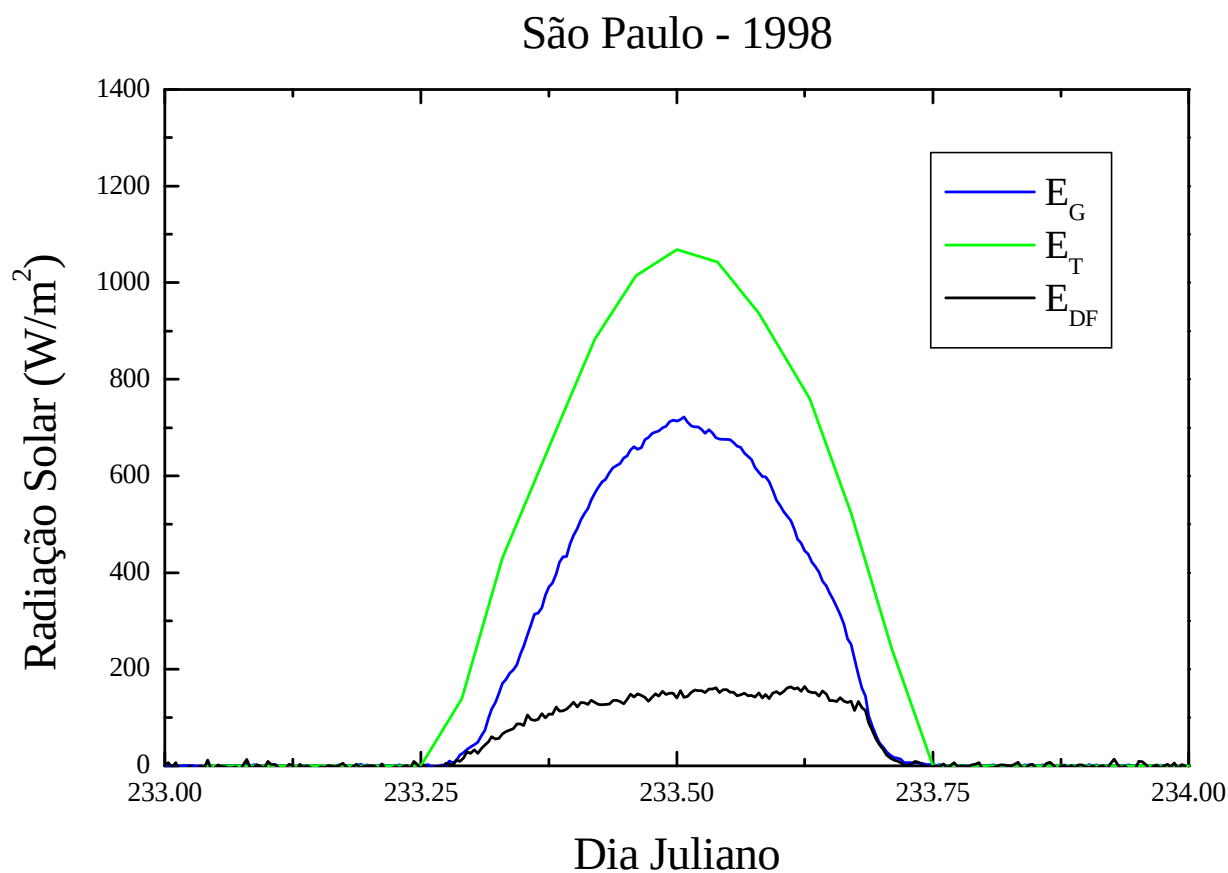


Figura1. Evolução diurna da radiação solar global (E_G), radiação no topo (E_T) e radiação (E_{DF}), observada em 22 de agosto de 1998.

Foi utilizado o mesmo critério de identificação, de dias de céu claro para as duas cidade, São Paulo e Botucatu, com 8 e 6 anos de dados, respectivamente. Na Tabela2 são apresentados os números de dias de céu claro para as duas cidades.

Tabela2: Distribuição Anual dos Dias de Céu Claro em São Paulo e Botucatu.

	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	Total
São Paulo	21	17	10	13	10	26	12	17	*11	137
Botucatu	-	-	31	38	35	45	34	34	-	217

* Período analisado até o mês de Julho

A distribuição mensal da frequência de dias de céu claro em função dos meses do ano.

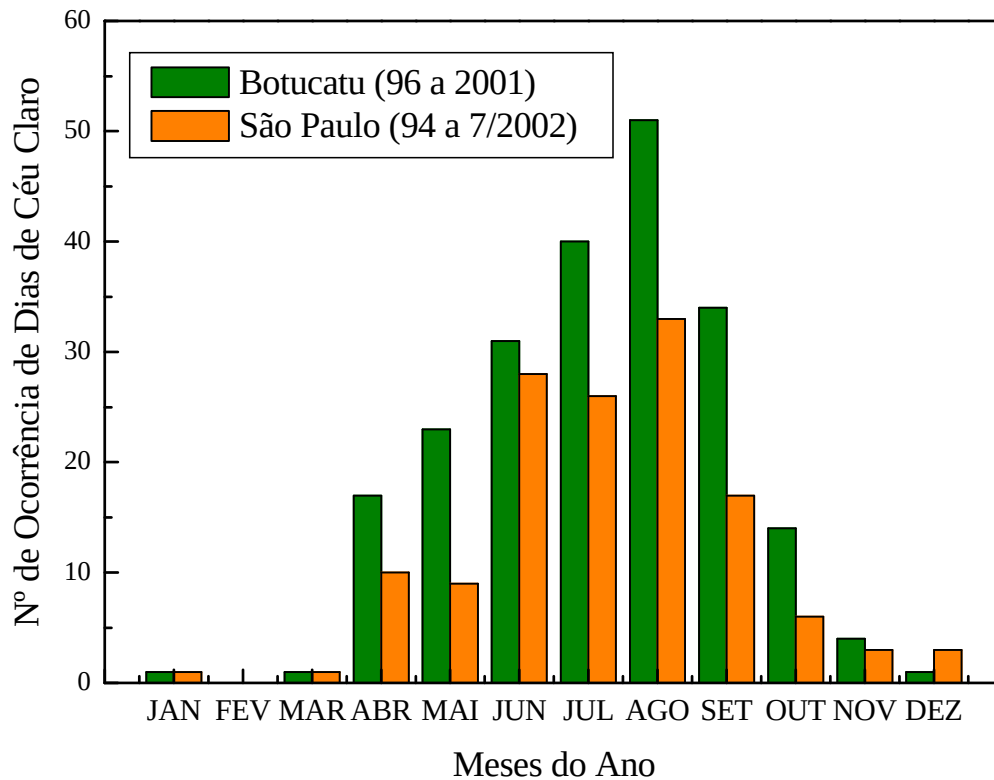


Figura2. Distribuição mensal da frequência de dias de céu claro em função dos meses do ano. Dias de céu claro em Botucatu (barra verde), total de dias observados 217 e São Paulo (barra laranja), total de dias observados 137.

Ocorrem muito mais dias de céu claro em Botucatu do que em São Paulo. Vemos que os dias de céu claro em Botucatu estão mais bem distribuído, durante o ano. Já nos dados de São Paulo, ocorrem três (Abril, Junho, Agosto) picos onde pretende-se estudar suas causas.

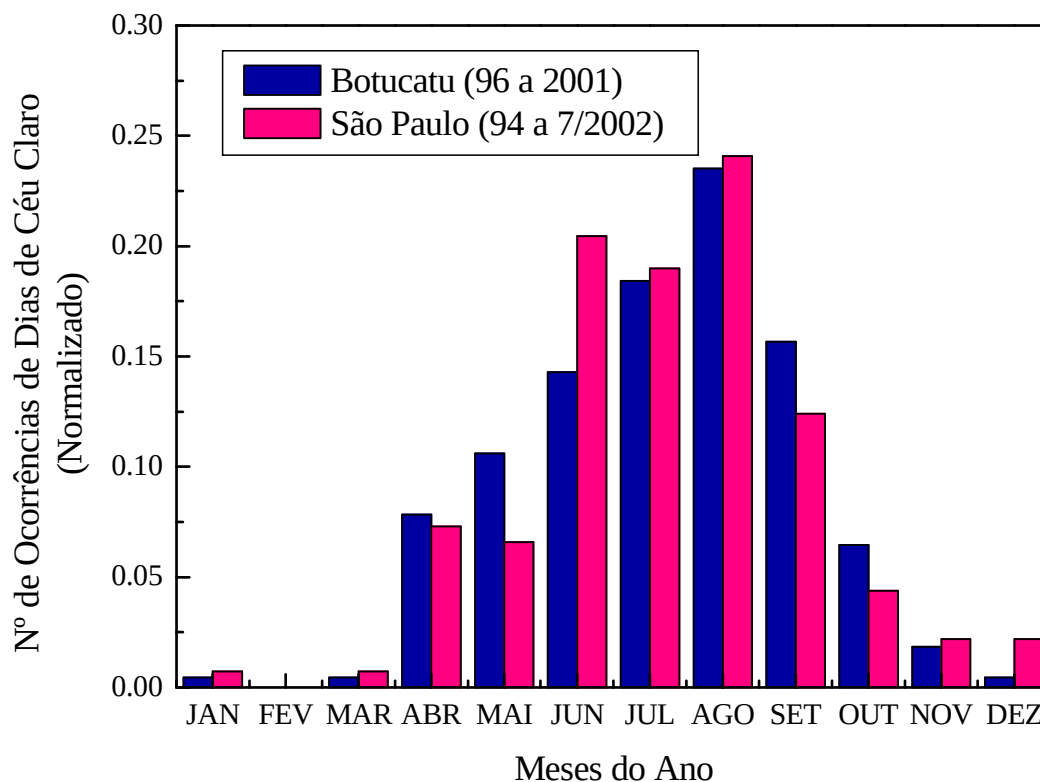


Figura3. Distribuição mensal normalizada da frequência de dias de céu claro em função dos meses do ano. Dias de céu claro em Botucatu (barra azul), total de dias observados 217 e São Paulo (barra vermelha), total de dias observados 137.

Ao normalizarmos o gráfico, dividindo a frequência mensal pelo número total dados (vide Tabela 1), podemos comparar as duas cidades quantitativamente. Observamos um efeito interessante nos meses de Junho, Julho e Agosto (Figura 3), nestes ocorrem mais dias de céu claro em São Paulo do que em Botucatu. Pretende-se investigar as causas físicas meteorológicas deste fato.

5. Total Diário da Radiação Solar, Topo, Direta e Difusa

Para a realização dos cálculos diários, foi utilizado um programa já existente, em linguagem Fortran. Foram realizadas diversas alterações para que se pudesse utilizar para os dados de dias de céu claro de São Paulo e readaptado para os dados de céu claro de Botucatu. Houve uma grande dificuldade em modificar e trabalhar com esta linguagem, porque aprendi a linguagem C, contudo esta dificuldade permitiu um aumento no conhecimento de Fortran, o que é muito positivo, pois em quase todos os campos de atuação em Meteorologia utiliza-se esta linguagem.

Etapas realizadas na linguagem Fortran:

- a. Simplificação do código Fortran;
- b. Adaptação para cálculo do total diário de dias de céu claro;
- c. Adaptação do programa para leitura dos dados de Botucatu;
- d. Cálculo da radiação solar no topo da atmosfera.

Para caracterizar a atmosfera de São Paulo e Botucatu efetuou-se o cálculo das frações:

- I. $K_T = \frac{E_G}{E_T}$: Radiação Global pelo Topo - Índice de Claridade;
- II. $K_D = \frac{E_D}{E_T}$: Radiação Difusa pelo Topo;
- III. $K_{DIR} = \frac{E_{DIR}}{E_T}$: Radiação Direta pelo Topo;
- IV. $\frac{E_D}{E_G}$: Radiação Difusa pela Global;
- V. $\frac{E_{DIR}}{E_G}$: Radiação Direta pela Global;

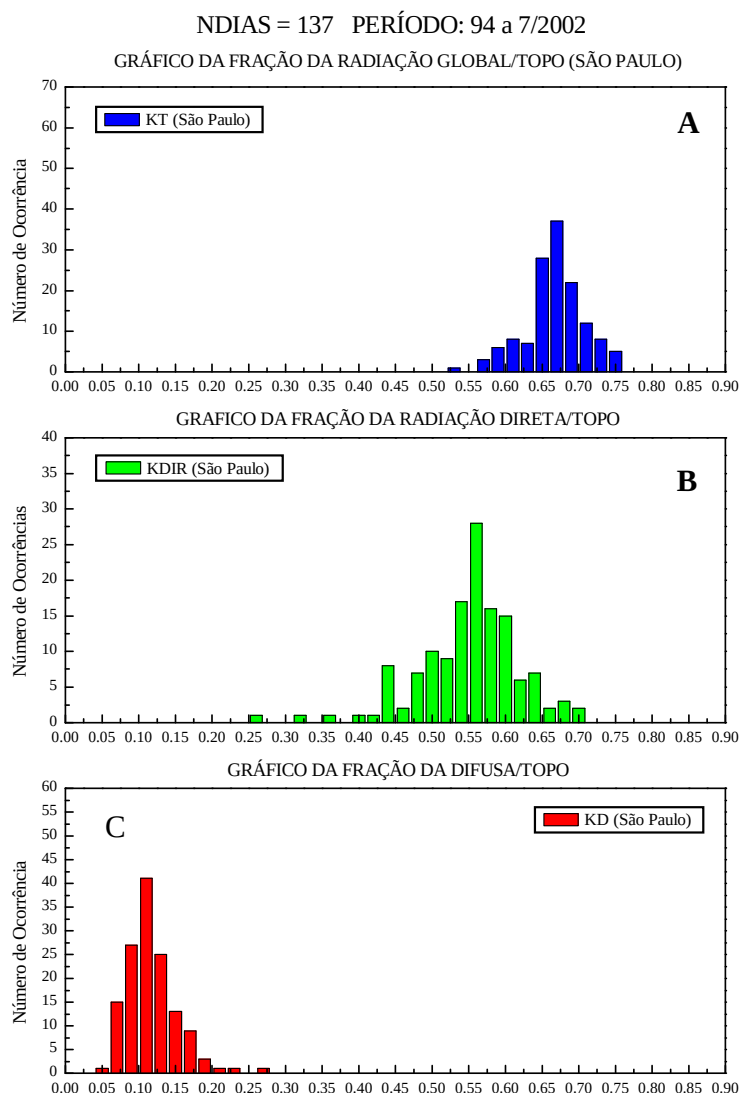


Figura 4: Gráfico A: Fração da Radiação Solar Global pela Radiação no Topo (K_T); Gráfico B: Fração da Radiação Solar Direta pela Radiação no Topo (K_{DIR}); Gráfico D: Fração da Radiação Solar Difusa pela Radiação no Topo (K_D). A radiação direta foi estimada e não observada. Foram selecionados 137 dias de céu claro em Botucatu, no período de 1994 a julho de 2002.

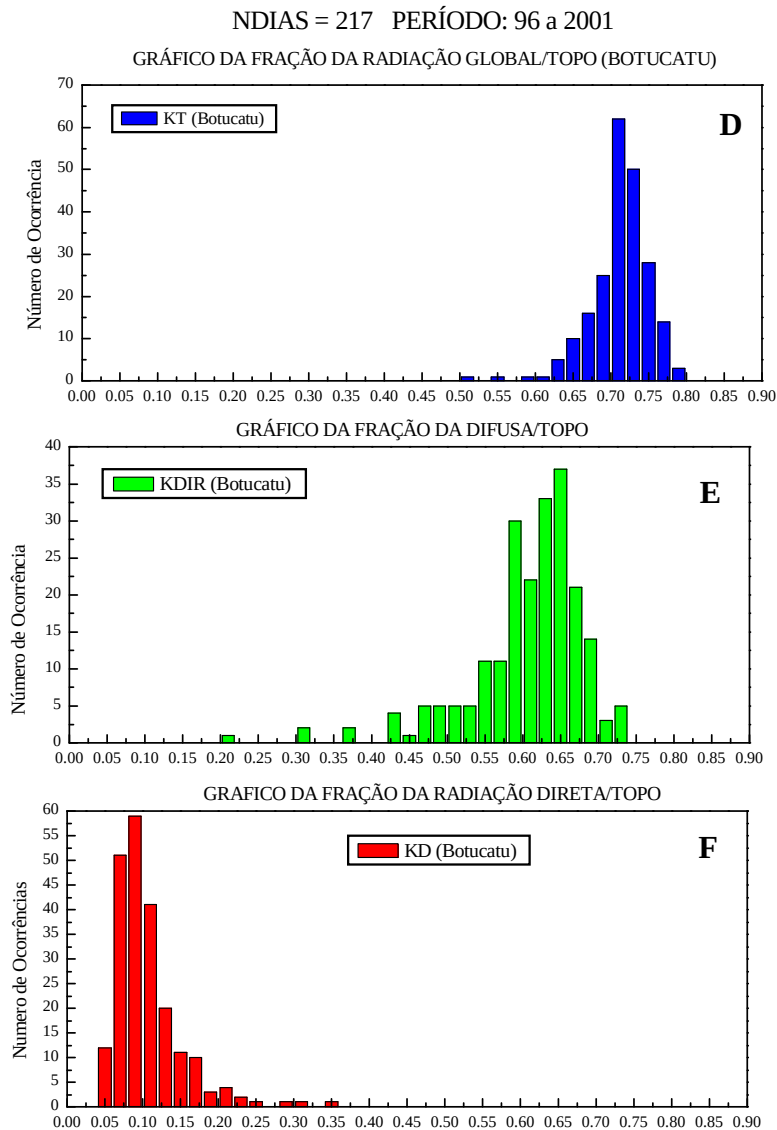


Figura 5: Gráfico D: Fração da Radiação Solar Global pela Radiação no Topo (K_T); Gráfico E: Fração da Radiação Solar Direta pela Radiação no Topo (K_{DIR}); Gráfico F: Fração da Radiação Solar Difusa pela Radiação no Topo (K_D). A radiação direta foi estimada e não observada. Foram selecionados 217 dias de céu claro em Botucatu, no período de 1996 a 2001.

Ao compararmos as duas cidades observamos que Botucatu recebe mais Radiação Global na superfície do que São Paulo, isto é decorrente da proximidade de São Paulo do oceano ou devido a poluição.

Médias aritméticas das frações são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3: Média das frações das componentes da radiação solar.

	Botucatu		São Paulo		%
	Média	Erro	Média	Erro	
$\overline{I}/E_T$	0.7123	0.0027	0.6667	0.0035	.401797
$\overline{I_d}/E_T$	0.1061	0.003	0.1175	0.0029	10.7446
$\overline{I_r}/E_T$	0.6062	0.0052	0.5493	0.0027	.386341
$\overline{I_d}/E_G$	0.1519	0.0051	0.1792	0.0054	17.9724
$\overline{I_r}/E_G$	0.8482	0.0051	0.8208	0.0054	3.23037

Com estes dados (tabela3), de dias de céu claro, observamos que Botucatu recebe cerca de 6.5% mais Radiação Solar Global do que São Paulo, também recebe cerca de 9,5% a mais de Radiação Direta, porém a Radiação Difusa é recebida por Botucatu, cerca de 11% a menos do que em São Paulo. Observando a fração da Difusa pela Global, vemos que em São Paulo ocorre um espalhamento de cerca de 18% mais da Radiação Global do que em Botucatu, isto pode ser decorrente de maior umidade na cidade de São Paulo ou da suspensão de material particulado existente na atmosfera.

Podemos considerar esta porcentagem como sendo a diferença percentual do que recebida por cada cidade, pois utilizamos a mesma latitude e longitude de São Paulo para o calculo da radiação no topo.

6. Conclusão

1. Observamos que ocorrem mais dias de céu claro em Botucatu do que em São Paulo, sabemos que o efeito da umidade é um fator bastante importante para este fato, mas ainda falta verificar se existe uma influencia da poluição;
2. Verificou-se que São Paulo recebe menos Radiação Solar Global e recebe mais Radiação Solar Difusa do que Botucatu.

3. De acordo com as frações obtidas, a Radiação Global é espalhada cerca de 18% a mais, do que em Botucatu.

7. Atividades Relacionadas

1. Participei do VII Simpósio de Iniciação Científica IAG/USP, em 19/04/02 (Anexo I);
2. Participei como co-autora de um trabalho que será apresentado no IX Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciências Térmicas (Anexo II);
3. Estou inscrita para o X Simpósio de Iniciação Científica da USP (Anexo III);
4. Aprovação nas 5 matérias inscritas no curso de graduação em Meteorologia:
 - Cálculo para Licenciatura III (nota 5.0);
 - Climatologia I (nota 6.4);
 - Laboratório de Física Experimental I (nota 7.6);
 - Física II (nota 5.3);
 - Introdução à Computação para Ciências Exatas e Tecnologia (nota 6.6).

8. Referências

Oliveira, A.P., Escobedo, J.F., Machado, A.J. and Soares, J., 2002a: Diurnal evolution of solar radiation at the surface in the City of São Paulo: seasonal variation and modeling. *Theoretical and Applied Climatology*, 71(3-4),231-249;

Oliveira, A.P, Soares, J., Escobedo, J.F., Machado, A.J., Codato, G. and Galvani, E. 2002b, Diurnal evolution of surface radiation budget components in the cities of São Paulo and Botucatu. Proceeding of the ENCIT 2002, Caxambú – MG, Brazil – Paper CIT02-0185.