

RELATÓRIO FINAL

Período: Agosto de 2003 a julho de 2004

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

Georgia Codato

Amauri P. Oliveira - Orientador

Agosto/04

CNPq-PIBIC

Indicie

1. Introdução	3
2. Etapas Propostas	3
3. Etapas Concluídas	4
4. Metodologia	6
5. Resultados	7
5.1 Dias de Céu Claro	7
5.2 Totais Diários Médios Mensais	9
5.2.1 Valores Diários Mensais de Radiação de Onda Curta	11
5.2.2 Valores Diários Mensais de Radiação de Onda Longa	13
5.2.3 Valores Horários Mensais de Radiação de Onda Curta	14
5.2.4 Valores Horários Mensais de Radiação de Onda Longa	17
5.3 Frações dos Totais Diários Médios Mensais	18
5.3.1 Valores Diários Mensais	18
5.3.2 Valores Horários Mensais	21
5.4 Totais Horários Médios Mensais do Material Particulado	23
5.4.1 Evolução diurna do material particulado para os meses de Inverno	24
5.4.2 Evolução diurna do material particulado para os meses de Verão	24
6. Conclusão	25
7. Atividades Relacionadas	26
8. Referências	27

1. Introdução

Este trabalho tem como objetivo estudar o comportamento da radiação solar na cidade de São Paulo e identificar o papel da poluição sobre a mesma (CETESB, 2003). Determinou-se as características radiométricas para a cidade de São Paulo tendo como referência a cidade de Botucatu.

Estas duas cidades foram escolhidas porque:

- (a) Observações de radiação solar estão sendo realizadas de forma simultânea e com o mesmo controle de qualidade desde 1994 (Oliveira *et al.*, 2002a, Assunção *et al.*, 2004).
- (b) A latitude e altitude da estação de medição de Botucatu são praticamente a mesma da estação de São Paulo (Tabela 1). Permitindo uma comparação das propriedades radiométricas da atmosfera destes dois locais.
- (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).

Tabela 1: Características geográficas de São Paulo e Botucatu

Cidade	Distancia 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)

Foram analisados também dados de duas estações da CETESB, Lapa e Cerqueira César, pois situam-se próximas a USP.

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 e São Paulo;

- II. Estimar a fração difusa, direta, o índice de claridade, e outros parâmetros que caracterizam as propriedades radiométricas das atmosferas em São Paulo e Botucatu;
- III. Calcular os erros das médias e das frações horárias, diárias e mensais;
- IV. 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);
- V. 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;
- VI. 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.
- VII. Calcular os totais horários e mensais dos dados de material particulado da CETEB;

3. Etapas Cumpridas

Estudo realizado no primeiro ano de vigência da bolsa de Iniciação Científica (PIBIC) foram realizadas as seguintes atividades:

- i) Seleção dos dias de céu claro em São Paulo, para 6 anos de observações e para Botucatu, com 6 anos de observações (Tabela 2);
- ii) Adaptação do programa em Linguagem Fortran para os cálculos dos totais diários e horários de radiação solar incidente no topo da atmosfera e na superfície na forma de radiação global, direta e difusa para as observações em São Paulo e Botucatu;

- iii) Adaptação do programa para os cálculos das frações diárias e horárias dos componentes da radiação para ambos os locais;
- iv) Adaptação do programa para o cálculo do erro estatístico associado aos valores médios mensais dos totais diários e respectivas frações;
- v) 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.

Neste segundo ano do projeto foram realizadas as seguintes atividades:

- vi) Correção dos dados de radiação difusa da cidade de Botucatu;
- vii) Cálculo das médias horárias mensais dos dados da CETESP: material particulado; monóxido de carbono; monóxido de nitrogênio; dióxido de nitrogênio; óxidos de nitrogênio; dióxido de enxofre e ozônio (Tabela 3) para as estações da Lapa e Cerqueira César (Anexo I);
- viii) Cálculo da evolução diurna horária e diária da média mensal da radiação de onda longa emitida pela atmosfera para dias de céu claro e todos os dias.

Tabela 2: Período dos dados analisados da cidade de São Paulo e Botucatu

Local	Rad. Global	Rad. Difusa	Rad. Direta (*)	Rad. de Onda Longa
São Paulo	96 a 01 (6anos)	96 a 01 (6anos)	96 a 01 (6anos)	97 a 01 (5anos)(**)
Botucatu	96 a 01 (6anos)	96 a 01 (6anos)	96 a 01 (6anos)	-

(*) Media realizada de forma indireta

(**) Dados de onda longa começam em setembro de 97.

Tabela 3: Período dos dados analisados das estações da CETESB

Poluente	Estação da CETESB	
	Lapa	Cerqueira César
CH ₄	-	-
CO	5 anos (1996 a 2000)	5 anos (1996 a 2000)
MP	5 anos (1996 a 2000)	5 anos (1996 a 2000)
NO	5 anos (1996 a 2000)	5 anos (1996 a 2000)
NO ₂	(*) 5 anos (1996 a 2000)	5 anos (1996 a 2000)
NO _x	4 anos (1997 a 2000)	(*) 4 anos (1997 a 2000)
O ₃	5 anos (1996 a 2000)	-
SO ₂	2 anos (1996 a 1997)	5 anos (1996 a 2000)
* Dados disponíveis nos primeiras horas do dia.		

4. Metodologia

Foi calculado para os totais médios mensais o erro estatístico do valor da média, que foi aplicados nas figuras 3, 4 e 5, da seguinte forma:

$$erro = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \quad (1)$$

onde

$$\sigma = \left[\frac{1}{n} \sum_i^n (x_i - \bar{x})^2 \right]^{1/2} \quad (2)$$

Onde n é o número total de dias analisados no mês e x_i é o valor de cada medida da componente da radiação utilizada.

Os erros das frações médias mensais das componentes da radiação distribuídas ao longo do ano foram calculados através da seguinte fórmula de propagação de erro:

$$erro = \frac{\bar{a}}{\bar{b}} \sqrt{\left(\frac{\sigma_a}{\bar{a}} \right)^2 + \left(\frac{\sigma_b}{\bar{b}} \right)^2} \quad (3)$$

onde σ é o foi definido na equação 2, a e b são os valores médios das componentes da radiação solar.

5. Resultados

5.1 Dias de Céu Claro

O critério utilizado para definir dias de céu claro adaptado neste trabalho consiste em inspecionar visualmente os gráficos da evolução horária da radiação solar global e difusa e considerar um dia de céu claro aquele em que estes parâmetros apresentam uma evolução temporal suave ou sem variações de pequena escala de tempo associado a passagens de nuvens. Desta forma foram selecionados dias de céu claro nas cidades de São Paulo e Botucatu. Um exemplo de um dia em que as observações atendem a este critério é mostrado na Figura 1.

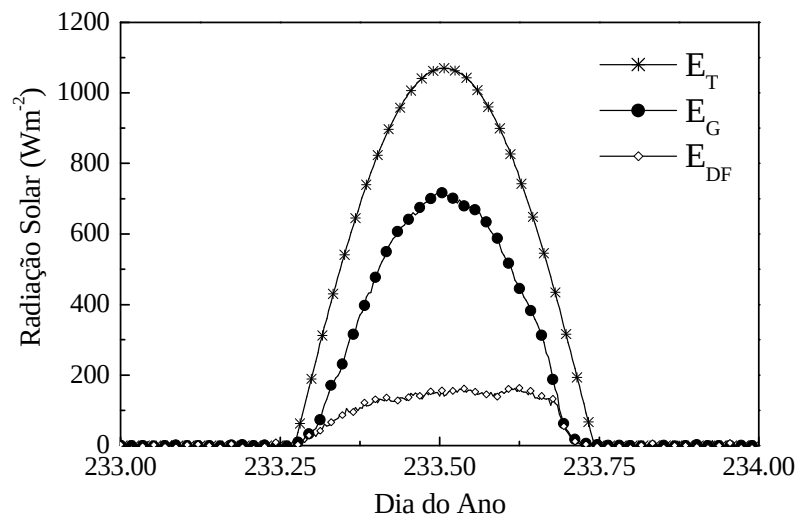


Figura 1: Evolução diurna da radiação solar global (E_G), radiação no topo (E_T) e radiação difusa (E_{DF}), observada no dia 22 de agosto de 1998 em São Paulo.

Foi utilizado o mesmo critério de identificação, de dias de céu claro para as duas cidade, São Paulo e Botucatu, ambas com 6 anos de dados. Na tabela 4 são apresentados os números de dias de céu claro para as duas cidades.

Tabela 4: Distribuição Anual dos Dias de Céu Claro em São Paulo e Botucatu.

	1996	1997	1998	1999	2000	2001	Total
São Paulo	10	13	10	26	12	17	88
Botucatu	31	38	35	44	34	34	216

A distribuição mensal da frequência de dias de céu claro em função dos meses do ano é apresentado na figura 2.

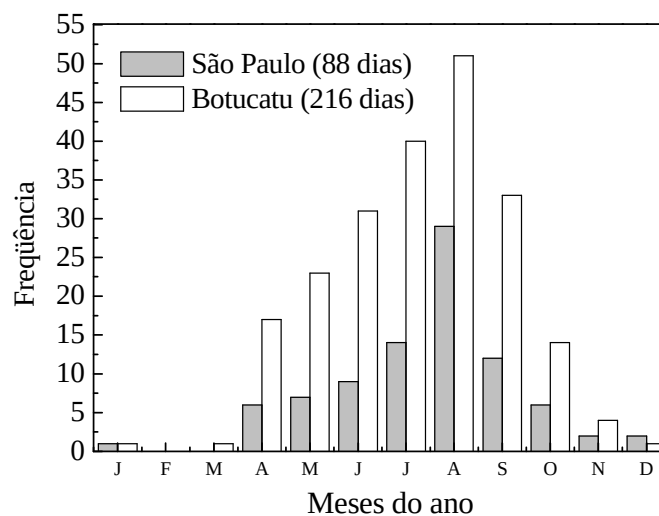


Figura 2: Distribuição mensal da frequência de dias de céu claro em função dos meses do ano. Dias de céu claro em Botucatu (barra verde), total de dias observados 216 e São Paulo (barra vermelha), total de dias observados 88.

Neste gráfico (Figura 2) podemos verificar que ocorrem mais dias de céu claro em Botucatu do que em São Paulo.

O maior número de dias de céu claro encontra-se nos meses de outono-inverno, pois neste período a umidade é menor e a formação de nuvens menos frequente. O valor máximo no número de dias de céu claro, em ambas as cidades, é dado no mês de agosto, sendo Botucatu com 51 dias e São Paulo com 29 dias, portanto ocorreram 56,7% menos dias de céu claro em São Paulo do que em Botucatu. Deve ser levado em conta que o número total

de dias com observações em São Paulo (1876 dias) é muito maior do que em Botucatu (2162 dias).

5.2 Totais Diários e Horários Médios Mensais

Para a realização dos cálculos diários, e horário foram utilizado um programa já existente, em linguagem Fortran. Foram realizadas diversas alterações para que se pudesse utilizar para os dados de São Paulo e Botucatu.

Etapas realizadas na linguagem Fortran:

- a. Simplificação do código Fortran;
- b. Adaptação para cálculo dos totais diários de dias de céu claro;
- c. Adaptação do programa para leitura dos dados de Botucatu;
- d. Cálculo da radiação solar no topo da atmosfera.
- e. Inclusão do cálculo para os dias com 100% de observação;
- f. Cálculo dos erros das médias diárias mensais das componentes da radiação solar;
- g. Cálculo dos erros das médias das frações diárias mensais;
- h. Alteração completa do código já existem, em Fortran, para cálculos de totais horários, visando a simplificação e melhor compreensão do usuário;
- i. Cálculo dos erros das médias horárias mensais das componentes da radiação solar;
- j. Cálculo dos erros das frações das médias horárias mensais;
- k. Inclusão da leitura dos dados de onda longa, assim como a média horária e diária mensal para os dados de São Paulo;
- l. Criação de um programa para ler os dados da CETESB, que gera um arquivo no mesmo formato de leitura dos dados de São Paulo e Botucatu;
- m. Limpeza dos dados da CETESB, pois um mesmo arquivo possuía formatos diferentes no mesmo arquivo, o que dispensou uma grande parte de tempo;

- n. Adaptação do programa de cálculo dos valores médios mensais para os valores horários de concentração de poluentes medidas pela CETESB;
- o. Inclusão de uma tela inicial no algoritmo de cálculo de médias mensais para escolher o tipo de análise e facilitar o cálculo das médias mensais de concentração de poluentes;

Toda análise a seguir foi baseada no fato de que as duas cidades receberem a mesma quantidade de radiação solar no topo da atmosfera. Podemos observar na figura (3) que esta hipótese esta correta.

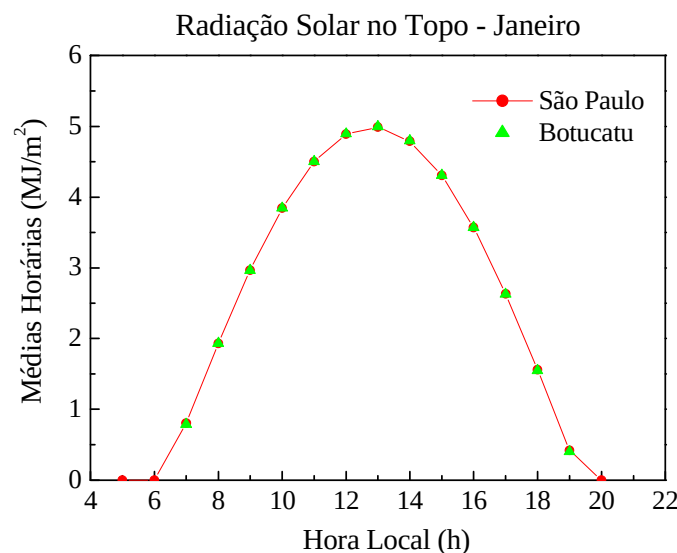


Figura 3: Média horária mensal da radiação no topo da atmosfera no mês de Janeiro em ambas as cidades.

Assim como não existem diferenças entre a radiação no topo nas duas cidades, podemos utilizar Botucatu como referência para estudar São Paulo.

5.2.1 Valores Diários Mensais de Onda Curta

A média mensal diária da radiação solar global ($\langle E_G^d \rangle$), para todos os dias e dias de céu claro em função dos meses do ano são apresentados na figura 4.

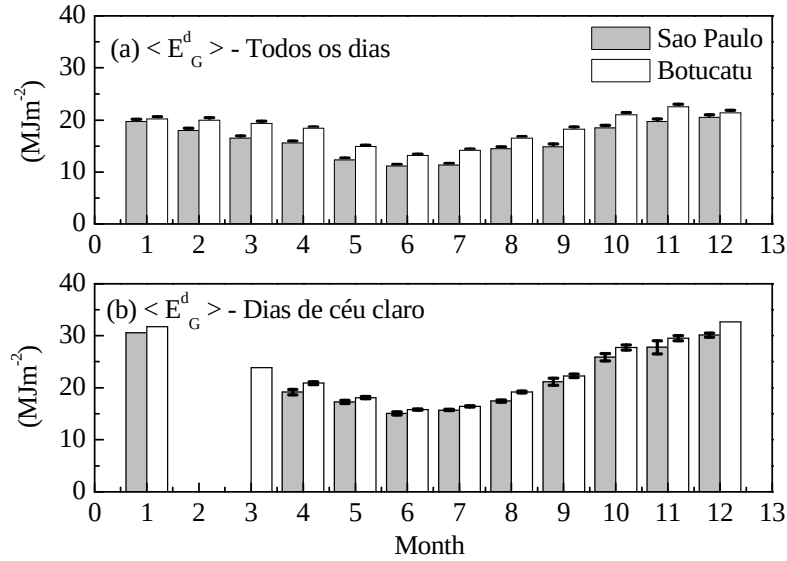


Figura 4: Média diária mensal da radiação global ($\langle E_G^d \rangle$) para os(a) todos os dias e (b) para os dias de céu claro para ambas as cidades.

A quantidade de radiação global ($\langle E_G^d \rangle$) na figura (4a), ao longo dos meses do ano, é sempre maior em Botucatu. Levando em conta que as duas cidades encontram-se localizadas em altitudes e latitudes muito próximas pode-se concluir que a atmosfera de São Paulo atenua mais radiação solar do que Botucatu.

Na figura 4b são considerados somente os dias de céu claro. Neste caso, verificou-se que não existem diferenças significativas entre estas cidades nestes dias.

Média mensal diária da radiação solar difusa ($\langle E_{DF}^d \rangle$), para todos os dias e dias de céu claro em função dos meses do ano são apresentados na figura 5.

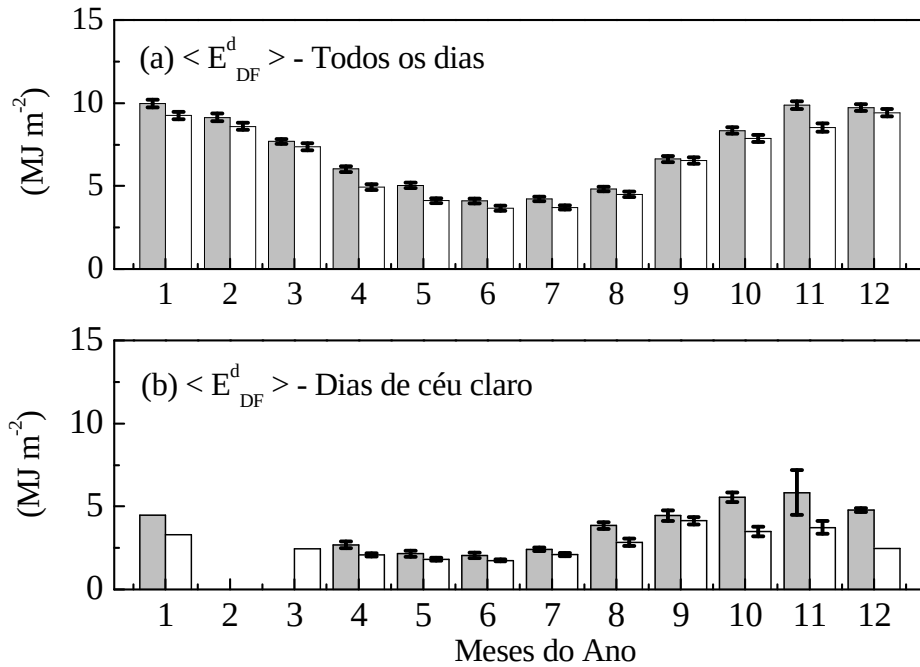


Figura 5: Média diária mensal da radiação difusa ($\langle E_{DF}^d \rangle$) para (a) os todos os dias e (b) os dias de céu claro para ambas as cidades.

Observando a figura 5a, em todos os meses do ano a radiação difusa ($\langle E_{DF}^d \rangle$) foi maior na cidade de São Paulo do que na cidade de Botucatu. Nos dias de céu claro (Figura 5b) apenas nos meses de maio, junho e julho não ocorrerem diferenças significativas entre os totais diários mensais para radiação difusa entre São Paulo e Botucatu. Assim, em termos de total diário a quantidade de radiação que é espalhada pela atmosfera nas duas cidades é maior nos meses de outubro a dezembro.

Com base na análise, de todos os dias e dias de céu claro, concluímos que a radiação global em São Paulo é mais atenuada pela atmosfera do que Botucatu. (Tabela 5).

Tabela 5: Valores médios mensais diários de radiação solar medida na superfície.

Radiação Solar (MJ m ⁻²)	São Paulo			
	Dias de Céu claro		Todos os dias	
	Junho	Dezembro	Junho	Dezembro
Topo	22.24 ± 0.11	42.39 ± 0.02	22.14 ± 0.02	42.48 ± 0.01
Global	15.05 ± 0.30	30.10 ± 0.40	11.13 ± 0.30	20.51 ± 0.47
Difusa	2.06 ± 0.18	4.79 ± 0.11	4.11 ± 0.15	9.72 ± 0.20
Direta	13.00 ± 0.41	25.31 ± 0.28	7.03 ± 0.37	10.79 ± 0.60
Número de dias	9	2	146	155
Radiação Solar (MJ m ⁻²)	Botucatu			
	Dias de Céu claro		Todos os dias	
	Junho	Dezembro	Junho	Dezembro
Topo	22.23 ± 0.05	42.36	22.18 ± 0.02	42.47 ± 0.01
Global	15.80 ± 0.11	32.67	13.16 ± 0.26	21.35 ± 0.49
Difusa	1.75 ± 0.06	2.47	3.66 ± 0.15	9.42 ± 0.22
Direta	14.04 ± 0.15	30.20	9.50 ± 0.38	11.93 ± 0.62
Número de dias	31	1	158	164

5.2.2 Valores Diários Mensais de Onda Longa

A análise da radiação de onda longa foi feita apenas para São Paulo, pois não havia disponibilidade dos dados de Botucatu. A análise foi feita com 4 anos de dados para os dias de céu claro e todos os dias (Figura. 6).

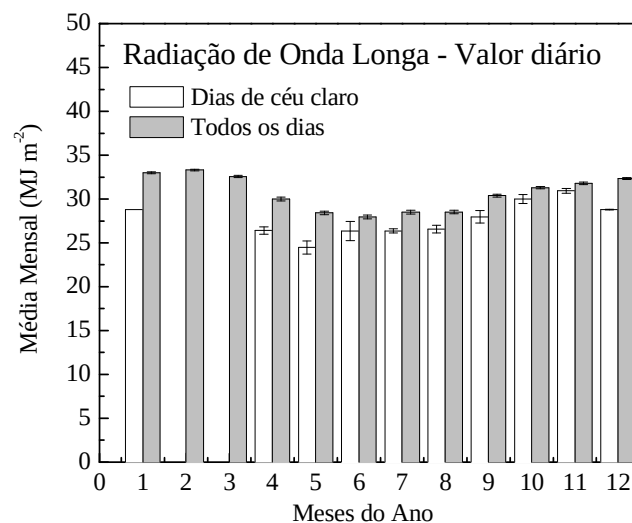


Figura 6: Média diária mensal da radiação de onda longa para os dias de céu claro e para todos os dias.

5.2.3 Valores Horários Mensais de Onda Curta

Na análise dos valores horários utilizou-se como referência o comportamento observado no mês de junho (inverno) e dezembro (verão).

Média mensal horária da radiação solar global ($\langle E_G^h \rangle$), para todos os dias e dias de céu claro em função das horas dos dias são apresentados na figura 7.

Considerando todos os dias, a evolução diurna da $\langle E_G^h \rangle$ indica que Botucatu recebe mais radiação global do que São Paulo durante todas as horas do dia em Junho (Figura 7a) and Dezembro (Figura 7b). Este efeito é menos pronunciado nos meses de verão e intensificado no período da tarde. Por outro lado, a evolução diurna da $\langle E_{DF}^h \rangle$ indica que existe maiores diferenças entre a radiação solar de São Paulo e Botucatu ocorre em Junho. (Figura 8a e 8b).

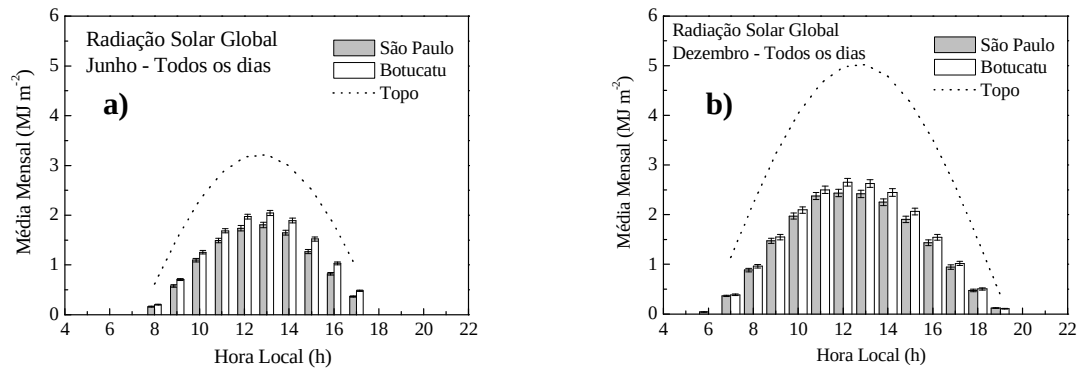


Figure 7: Média mensal da evolução diurna da radiação solar incidente no topo da atmosfera e radiação solar global incidente na superfície de São Paulo e Botucatu, considerando (a) todos os dias em Junho e (b) todos os dias em Dezembro.

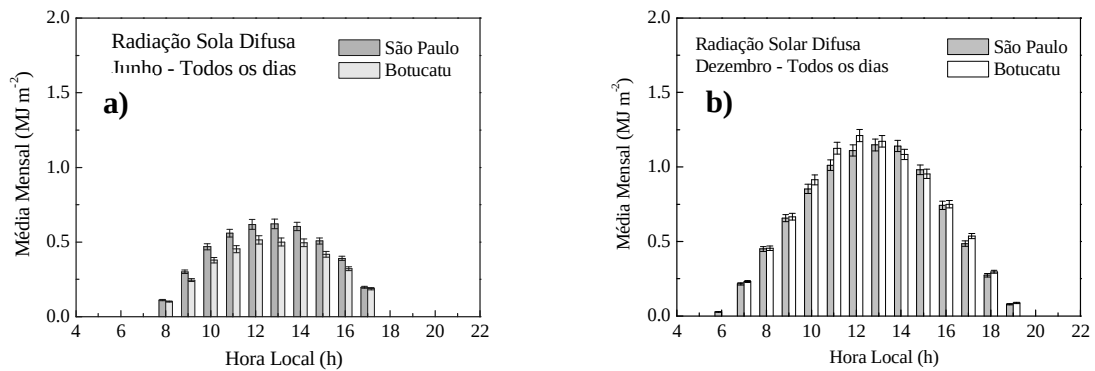


Figure 8: Média mensal da evolução diurna da radiação difusa incidente na superfície de São Paulo e Botucatu, considerando (a) todos os dias em Junho e (b) todos os dias em Dezembro.

Considerando somente os dias de céu claro, a diferença entre Botucatu e São Paulo diminui de intensidade em Junho tanto para radiação global como pra radiação difusa (Figura 9a e 10a). A existência de um número pequeno de dias céu claro em dezembro impossibilita qualquer análise conclusiva (Figura 9b e 10b).

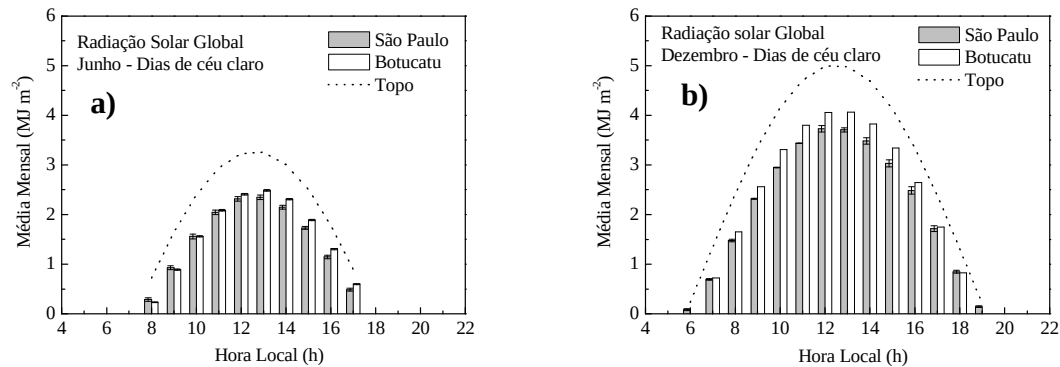


Figure 9: Média mensal da evolução diurna da radiação solar incidente no topo da atmosfera e radiação solar global incidente na superfície de São Paulo e Botucatu, considerando (a) todos os dias em Junho e (b) todos os dias em Dezembro.

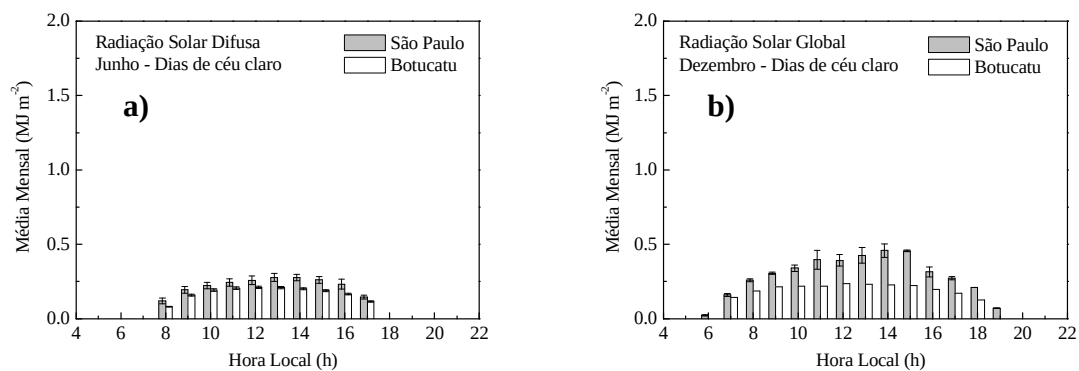


Figure 10: Média mensal da evolução diurna da radiação difusa incidente na superfície de São Paulo e Botucatu, considerando (a) todos os dias em Junho e (b) todos os dias em Dezembro.

Estas diferenças podem estar relacionadas a penetração sistemática da brisa do mar (Oliveira et al., 2003) e a intensificação da contaminação atmosférica devido às emissões urbanas.

5.2.4 Valores Horários Mensais de Onda Longa

A radiação de onda longa em São Paulo apresenta um ciclo sazonal compatível com o esperado, com um máximo no verão e um mínimo no inverno (Figura 11 e 12)

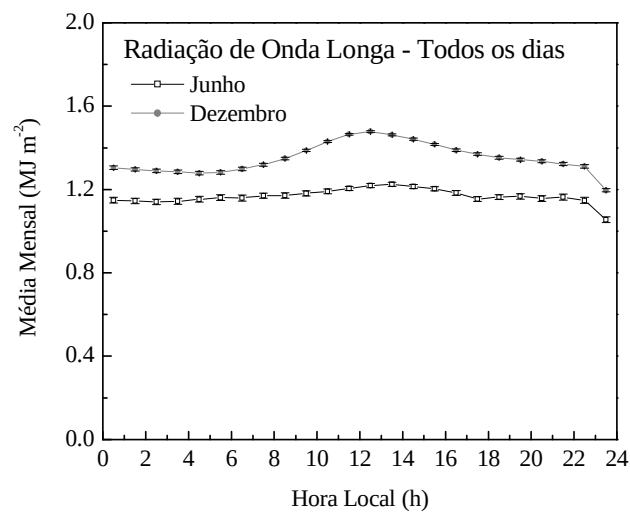


Figura 11: Evolução diurna média mensal da radiação de onda longa para os meses de junho e dezembro para todos os dias.

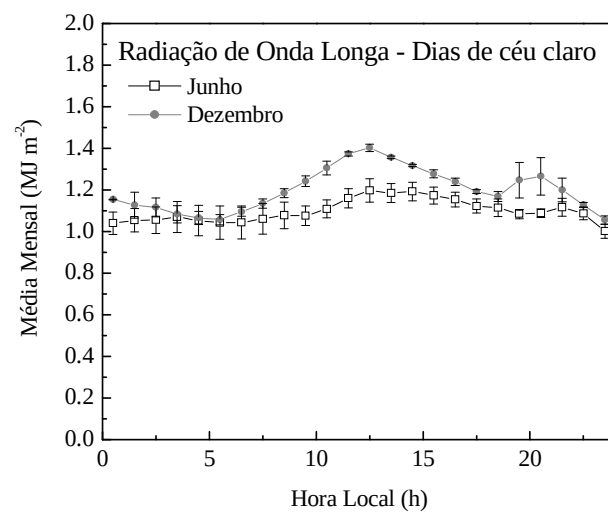


Figura 12: Evolução diurna média mensal da radiação de onda longa para os meses de junho e dezembro para os dias de céu claro.

5.3 Frações dos Totais Diários e Horários Médios Mensais

5.3.1 Valores Diários Mensais

A evolução anual do K_T^d para as cidade de São Paulo e Botucatu apresentam uma maior diferença no período de inverno quando todos os dias são considerados na estatística (Figura 13a). Contudo nos dias de céu claro K_T^d em São Paulo e Botucatu não apresentam diferenças significativas (Figura 13b).

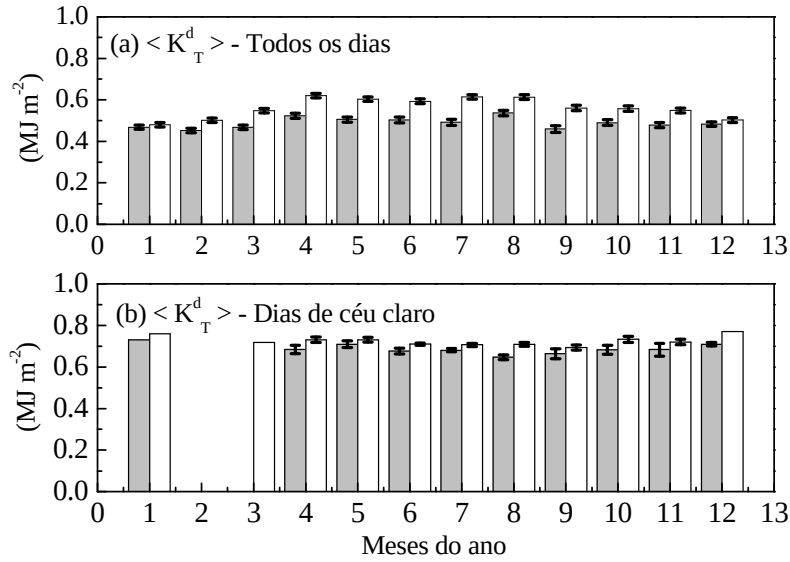


Figura 13: Fração da média diária mensal da radiação global pela radiação no topo ($\langle K_T^d \rangle = \langle E_G^d / E_T^d \rangle$) da atmosfera para (a) todos os dias e (b) dias de céu claro.

As frações das média mensais diárias da radiação solar difusa pela radiação no topo ($\langle K_{DF}^d \rangle$), para todos os dias e dias de céu claro em função dos meses do no são apresentados na figura 14.

Analisando todos os dias (Figura 14a), observou-se que não existem diferenças significativas nos valores diários da fração da radiação difusa pelo topo. Para os dias de céu claro, nos meses de agosto a dezembro, São Paulo espalha mais radiação difusa em relação ao que chega no topo da atmosfera do que Botucatu.

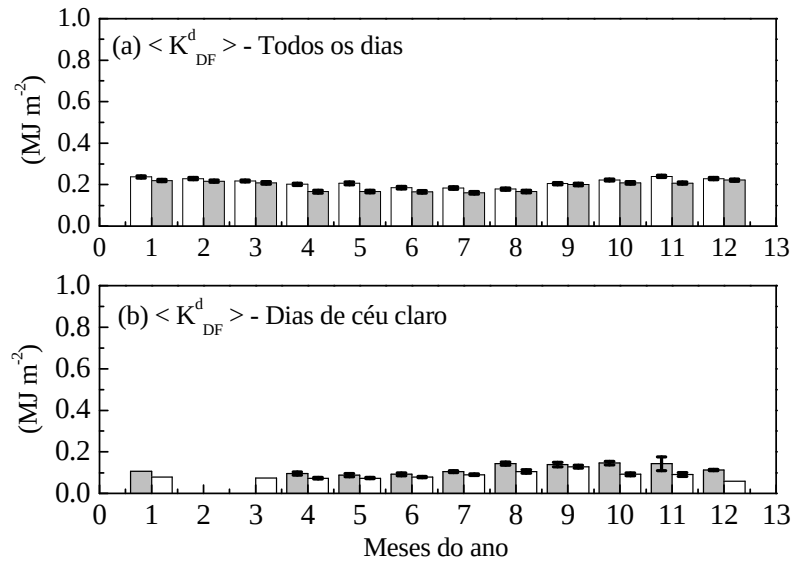


Figura 14: Fração da média diária mensal da radiação difusa pela radiação no topo ($\langle K_{DF}^d \rangle = \langle E_{DF}^d / E_T^d \rangle$) da atmosfera (a) todos os dias e (b) dias de céu claro.

Analisando os dias de céu claro (Figura 15a), observamos claramente na frequência de K_T^d que o pico de maior frequência de K_T^d em São Paulo (0,68) está deslocado em relação a Botucatu (0,72). Este comportamento é consistente a evolução sazonal dos totais diários médios mensais da radiação global (Figuras 4b). Na Figura 15b, o mesmo comportamento é observado na frequência de K_{DF}^d onde o pico de maior frequência em São Paulo (0.12) está deslocado em relação a Botucatu (0.08), consistente com a evolução sazonal dos totais diários médios mensais da radiação difusa (Figura 5b).

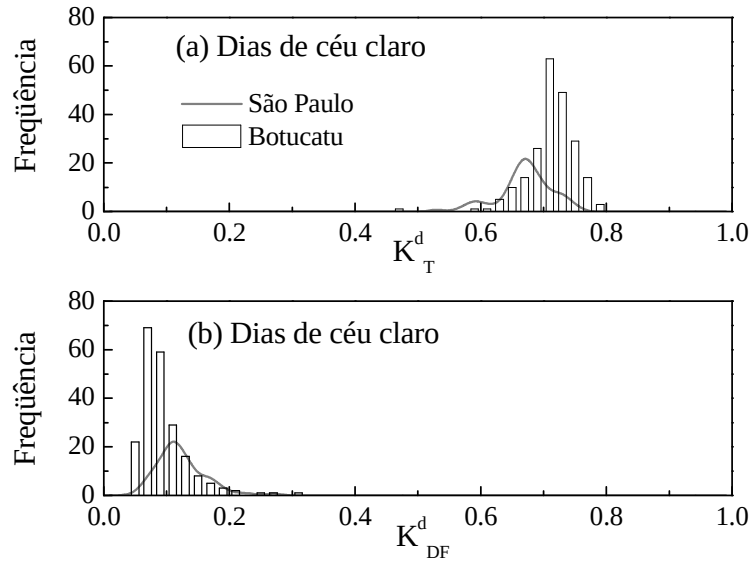


Figura 15: Número de Ocorrências das frações (a) K_T^d e (b) K_{DF}^d para os dias de céu claro.

Analisando os todos os dia (figura 16a), observamos claramente na frequência de K_T^d que o pico de maior frequência de K_T^d em São Paulo (0,46) está deslocado em relação a Botucatu (0,72). Este comportamento é consistente a evolução sazonal dos totais diários médios mensais da radiação global (Figuras 4a). No entanto, pode-se observar que a frequência de K_{DF}^d possui dois picos tanto para São Paulo quanto para Botucatu (Figura 16b).

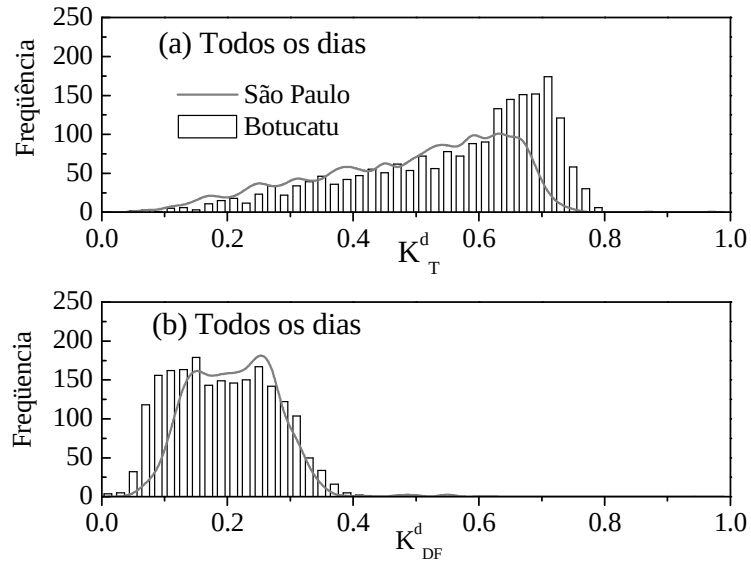


Figura 16: Número de Ocorrências das frações (a) K_T^d e (b) K_D^d para todos os dias.

5.3.2 Valores Horários Mensais

A evolução diurna de $\langle E_G^h \rangle / \langle E_T^h \rangle$ indica que as diferenças existentes entre Botucatu e São Paulo se intensificam após 12h (figuras 17a e 17b) e no mês de junho (inverno) essa diferença é ainda maior com relação do mês de dezembro (verão), analisado todos os dias. Estas diferenças podem ser ocasionadas pela penetração da brisa marítima na Cidade de São Paulo (Oliveira et al., 2003). A evolução diurna de $\langle E_{DF}^h \rangle / \langle E_T^h \rangle$ apresentou diferenças significativas no mês de junho (figura 18), mas não apresentou diferenças significativas no mês de dezembro (18b).

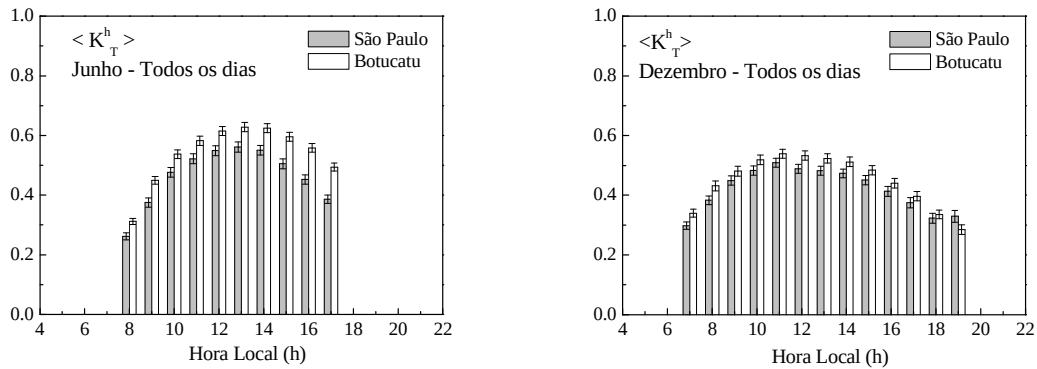


Figura 17: Fração da média horária mensal da radiação global pela radiação no topo da atmosfera ($\langle K_T^h \rangle$) para todos os dias no mês de (a) junho e (b) dezembro.

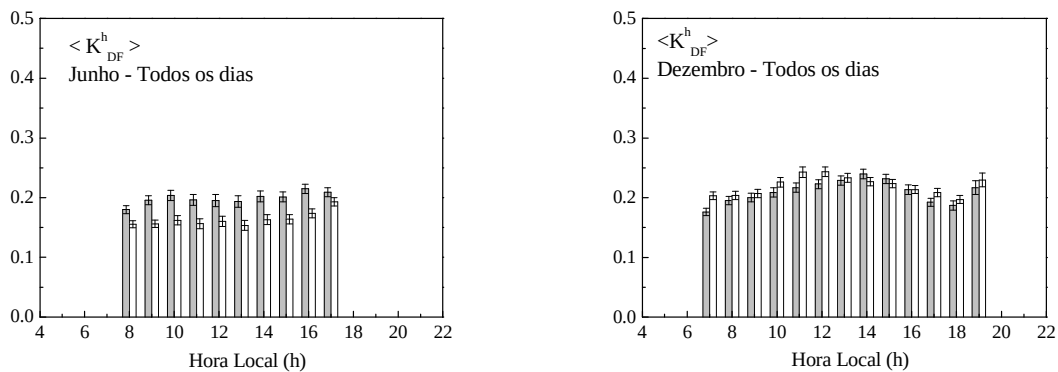


Figura 18: Fração da média horária mensal da radiação difusa pela radiação no topo da atmosfera ($\langle K_{DF}^h \rangle$) para todos os dias no mês de (a) junho e (b) dezembro.

Para os dias de céu claro (Figuras 19a e 20a) as diferenças não são tão significativas quanto para todos os dias (Figuras 17a e 18a). No entanto, pode-se observar que a atenuação da radiação solar global em relação ao topo da atmosfera (Figura 19a e 20a) é evidente no período da tarde como foi identificado na evolução diurna da radiação global (Figura 6a e 6b).

A Fração média horária mensal da radiação solar global e difusa no mês de dezembro (Figura 19b e 20b) não é significativa, pois possui poucos dados analisados.

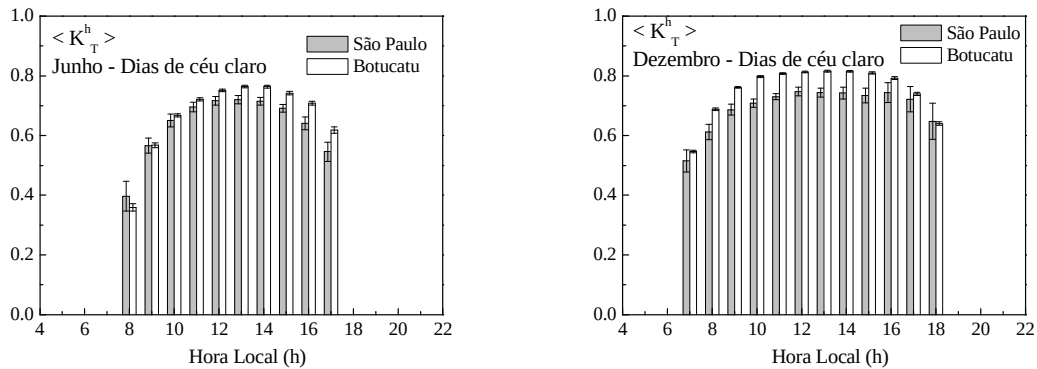


Figura 19: Fração da média horária mensal da radiação global pela radiação no topo da atmosfera ($\langle K_T^h \rangle$) para os dias de céu claro no mês de (a) junho e (b) dezembro.

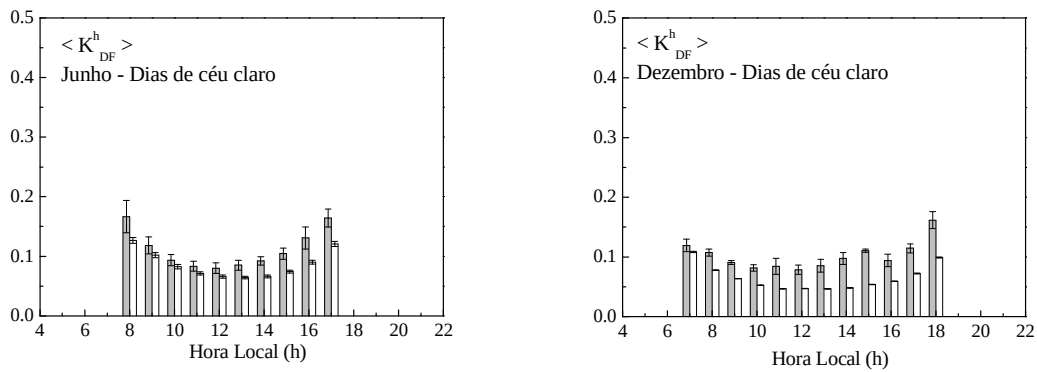


Figura 20: Fração da média horária mensal da radiação difusa pela radiação no topo da atmosfera ($\langle K_{DF}^h \rangle$) para os dias de céu claro no mês de (a) junho e (b) dezembro.

5.4 Totais Horários Médios Mensais do Material Particulado

O programa utilizado para os cálculos da radiação solar, desenvolvido na primeira etapa deste trabalho, foi adaptado para ler os dados de material particulado da CETESP. Foram calculados valores horários médios mensais e seus erros estatísticos. Esta etapa do trabalho ocupou boa parte do período em questão em virtude dos dados da CETESP estarem em um formato que varia de ano para ano.

Foram analisados 5 anos de dados de material particulado (1996-2000) para duas estações, Lapa e Cerqueira César, localizadas próximas a plataforma micrometeorologia no campus da USP.

5.4.1 Evolução diurna do material particulado para os meses de Inverno

Nos meses de inverno a dispersão dos poluentes é dificultada pela maior incidência de inversões térmicas. Além disso durante o inverno a concentração de poluentes tende a ser maior devido a falta de chuva, um importante mecanismo de remoção de poluentes da atmosfera. Desta forma as médias horárias do material particulado são maiores no período de inverno.

Considerando-se todos os dias (Figuras 21b) observamos que as amplitudes do ciclo diurno de material particulado são menores do que nos dias de céu claro (Figuras 21a). No entanto a estação da Lapa parece receber mais material particulado do que a estação de Cerqueira César. As médias mensais horárias de material particulado possuem maior amplitude no período da manhã entre 9-10h para as duas estações.

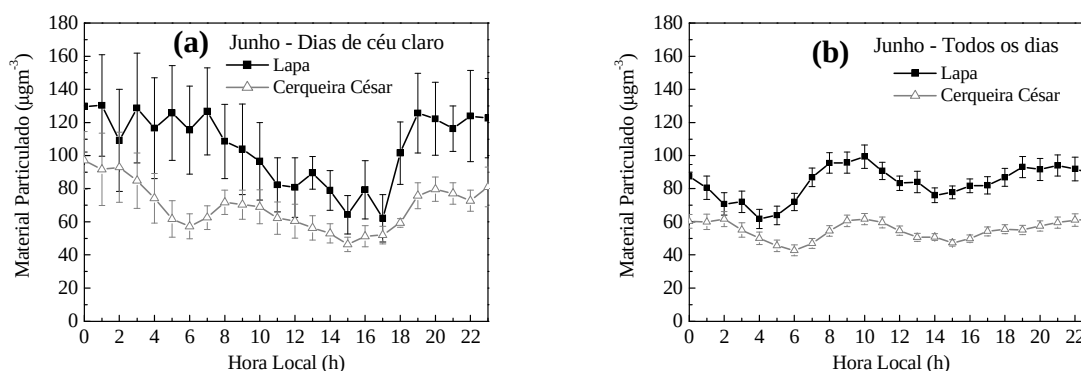


Figura 20 – Valores médios mensais do Material Particulado para (a) dias de céu claro e (b) todos os dias no mês de julho.

5.4.2 Evolução diurna do material particulado para os meses de Verão

Nos meses de verão a dispersão dos poluentes é maior do que nos meses de inverno, pois a incidência de inversões térmicas é menor e as chuvas são mais freqüentes e intensas. Desta forma as médias horárias do material particulado são menores no período de verão quando comparadas com o inverno.

Para o mês de verão (Figuras 22b), considerando todos os dias, a distribuição do material particulado não varia tanto quanto no mês de inverno (Figuras 21b).

No mês de verão ocorre um número menor de dias de céu claro, dessa forma os erros estatísticos das médias horárias de material particulado são bem maiores.

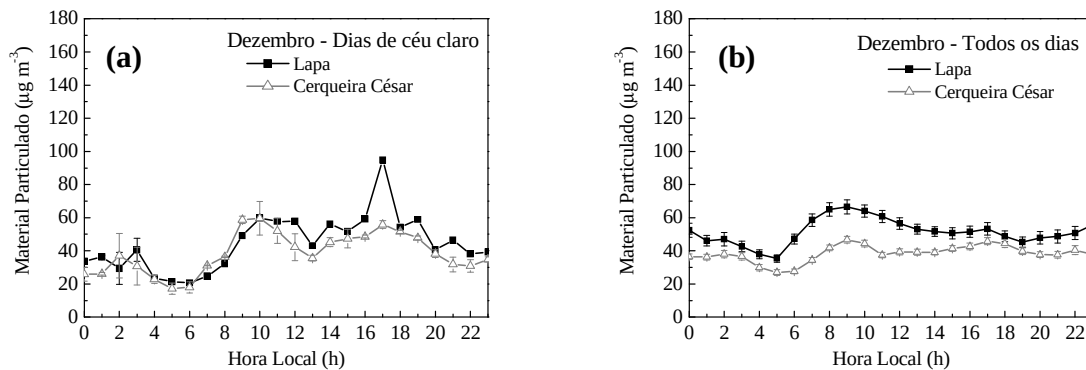


Figura 21 – Valores médios mensais do Material Particulado para (a) dias de céu claro e (b) todos os dias no mês de dezembro.

6. Conclusão

- 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;
- A maior frequência de dias de céu claro ocorre no inverno em São Paulo e Botucatu;
- Verificou-se que São Paulo recebe menos radiação solar global e menos radiação direta, no entanto as diferenças entre as cidades em relação a radiação difusa são muito pequenas;
- A atmosfera em São Paulo atenua mais radiação solar do que a de Botucatu, atingindo um máximo (mínimo) no verão (inverno) de 52% (50%) em São Paulo e 50% (41%) em Botucatu, para os totais diários médios mensais considerando todos os dias do ano;
- A intensidade da radiação difusa (em relação ao que chega no topo) na cidade de São Paulo é maior do que na cidade de Botucatu, atingindo um máximo (mínimo) no verão

(inverno) de 23% (18%) em São Paulo e 22% (16%) em Botucatu para os totais diários médios mensais considerando todos os dias do ano;

- A intensidade da radiação direta (em relação ao que chega no topo) na cidade de São Paulo é menor do que na cidade de Botucatu, atingindo um máximo (mínimo) no verão (inverno) de 60% (59%) em São Paulo e de 71% (63%) em Botucatu para os totais diários médios mensais considerando os dias de céu claro;
- Os padrões apresentados pelos totais diários médios mensais de radiação global, difusa e direta também foram observados em todas as horas do dia pelos totais horários médios mensais;
- As diferenças entre o comportamento médio mensal observado em São Paulo e Botucatu se intensificam de forma sistemática (Oliveira et al., 2003) no período da tarde;
- Estas diferenças podem ser explicadas em termos da penetração da brisa marítima e da maior intensidade da poluição em São Paulo. Estes dois fenômenos não estão presentes em Botucatu.

7. Atividades Relacionadas

- Participei do XI Simpósio Internacional de Iniciação Científica da USP, com o trabalho intitulado: “Variação Diurna da Radiação Solar na Cidade de São Paulo”, em novembro de 2003 (Anexo II);
- Participei do VIII Simpósio de Iniciação Científica da Universidade de São Paulo, em agosto 2004 (Anexo III);
- Participei do 17º treinamento pré-arquipélago ministrado na Base Naval de Natal, no período de 17 a 24 de agosto de 2003. (Anexo IV);
- Participei da 2ª campanha de observação no Arquipélago São Pedro São Paulo, entre 10 e 30 de janeiro de 2004, fazendo medidas meteorológicas (Anexo V);
- Aprovação do trabalho enviado para o XIII Congresso Brasileiro de Meteorologia (AnexoVI);

- Elaboração de um artigo: “A comparative study of Solar Radiation in an urban and rural areas”.

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.
- Oliveira, A.P., R.D. Bornstein and J. Soares, 2003: Annual and diurnal wind patterns in the city os São Paulo. *Weter, Air & Soil Pollution; FOCUS (WAFO) Special issue*. 3 (5-6), 3-15.
- Assunção, F.H., Escobedo, J.F. and Oliveira, A.P., 2003: Modelling frequency distributions of 5 minute-averaged solar radiation indexes using Beta probability functions. *Theoretical and Applied Climatology*,75, 213-224.
- CETESB - *Relatório de Qualidade do Ar no Estado de São Paulo - 2003*, Secretaria do Meio Ambiente, Série Relatórios - ISSN 0103-4103, São Paulo, 2002 (<http://www.cetesb.sp.gov.br>).

São Paulo, 27 de agosto de 2003.

Georgia Codato

Bolsista

Amauri P. Oliveira

Orientador