

Relatório

Projeto

Estudo Observacional da Radiação Solar na Cidade de São Paulo



Responsáveis:

Amauri Pereira de Oliveira

Antonio Jaschke Machado

**Grupo de Micrometeorologia
Departamento de Ciências Atmosféricas
IAG/USP**

Junho de 1999

Índice

		Pág.
1	Introdução	4
2	Descrição dos Equipamentos	6
2.1	Descrição da Rotina de Observação	8
3	Descrição dos Arquivos de Dados	16
3.1	Descrição dos Arquivos de Dados em Bruto	16
3.2	Descrição dos Arquivos de Dados Tratados	16
3.3	Descrição dos Arquivos de Dados Tratados para Calibração dos Piranômetros	17
3.4	Descrição dos Arquivos de Dados Tratados para as Observações com o Pireliometro	18
3.5	Descrição do Tratamento de Dados	18
4	Avaliação do Desempenho dos Sensores	25
4.1	Avaliação dos Piranômetros	25
4.1.1	Metodologia de Calibração dos Piranômetros	26
4.1.2	Resultados da Aferição dos Piranômetros	27
4.1.2.1	Piranômetro Padrão Secundário – PSP1	28
4.1.2.2	Piranômetros da Eppley (PSP2 e PBW)	28
4.1.2.3	Piranômetros Protótipos da Unesp de Botucatu	29
4.2	Desempenho dos Sensores de Temperatura e Umidade Relativa do ar e de Pressão Atmosférica	29
5	Estimativa da Correção da Radiação Difusa	46

Índice

		Pág.
6	Evolução Temporal da Radiação Solar Global, Difusa e Direta	52
6.1	Totais Horários, Diários e Mensais	52
6.2	Frações e Médias Mensais	53
6.3	Diagramas $K_T^x - K_d^x$	55
7	Dias de Céu Claro – Efeito da Poluição	60
7.1	Dias de Céu Claro	60
7.2	Efeito do Material Particulado	60
8	Conclusão	67
9	Referência	70
	Apêndice A – Calendário dos dias de funcionamentos dos sensores da plataforma Radiaométrica.	A-I
	Apêndice B – Tabelas contendo as constantes de Calibração dos Sensores de Radiação	B-I
	Apêndice C – Figuras 6.4 à 6.51	C-I
	Apêndice D – Tabelas 6.3 à 6.9	D-I

1 - Introdução

As medições de radiação solar em regiões urbanas são relevantes na descrição dos efeitos da poluição sobre o clima urbano. Além de contribuir para uma descrição do clima urbano e do impacto que a poluição tem sobre o mesmo, as observações das componentes da radiação solar são também importantes no manejo de coletores solares, sensoriamento remoto, etc.

A poluição urbana tem um efeito considerável sobre as componentes da radiação solar. Peterson et al. (1978) observaram uma redução de cerca de 6 a 8% na radiação solar global durante as primeiras horas do dia (quando a CLP é estável) na região de Los Angeles (EUA). Na Cidade de São Paulo foi possível detectar uma redução de 18% na transmitância atmosférica para a radiação solar direta, durante um período de 5 dias, associada a um aumento na concentração de poeira inalável após a passagem de uma frente fria (Oliveira, et al. 1996).

A descrição temporal e espacial das componentes da radiação solar requer a utilização de uma rede de sensores com grande precisão, implicando em um custo muito elevado. Daí a importância de desenvolver-se sensores de radiação solar.

Nesse sentido, o grupo de Micrometeorologia do Departamento de Ciências Atmosféricas do Instituto Astronômico e Geofísico da USP instalou uma plataforma radiométrica no campus da USP, que está em operação contínua desde o dia 26 de abril de 1994.

Nesta plataforma, foram e estão sendo feitas medidas de radiação solar global e difusa utilizando protótipos de piranômetros construídos pelo Grupo de Radiometria Solar da UNESP de Botucatu e por piranômetros da "Eppley Laboratory Inc". As medidas de radiação solar difusa estão sendo realizadas com auxílio de um anel de sombreamento desenvolvido pelo grupo da Unesp de Botucatu (Mello, 1993, Escobedo et al., 1997a e 1997b).

Este relatório tem como objetivo descrever as principais etapas do desenvolvimento do projeto: "Estudo Observacional da Radiação Solar na Cidade de São Paulo". Entre as diversas etapas desenvolvidas deste projeto pode-se destacar:

- Testes de verificação do comportamento dos protótipos de piranômetros construídos pelo Grupo de Radiometria Solar da Unesp de Botucatu e também dos piranômetros da Eppley;
- Organização do banco de dados de observação contínua de radiação solar global e difusa, coletados deste 26 de Abril de 1994 até o presente (5 anos);
- A descrição da variação sazonal dos valores horários, diários e mensais das componentes de radiação solar global, difusa e direta na Cidade de São Paulo a partir destes dados.
- Modelagem da radiação solar difusa através dos ajustes de curvas dos diagramas Kt-Kd para as médias mensais dos valores horários, diários e mensais de radiação solar.

Este trabalho fez parte do projeto de desenvolvimento de radiômetros (Proc. Fapesp No.92/3686-2), e do projeto de infraestrutura para construção da plataforma

radiométrica sobre a sede do IAG na Cidade Universitária (Proc. Fapesp No. 94/4778-3).

2 - Descrição dos Equipamentos

As observações de radiação solar global e difusa estão sendo efetuadas na Cidade de São Paulo, sobre o prédio da sede do IAG na Cidade Universitária (23°33'35"S, 46°43'55"W) a uma altitude de 741,6 m, acima do nível do mar, desde abril de 1994.

Estas medidas estão sendo feitas através de duas bancadas metálicas (com anel de sombreamento), orientadas de acordo com a linha Norte-Sul. Os anéis de sombreamento são constituídos de uma faixa metálica circular, fixa em relação à bancada, com diâmetro de 80 cm e largura de 10 cm, e com o eixo paralelo à direção Norte-Sul. A variação da sombra do anel com o ciclo anual da declinação solar é compensada deslocando-se periodicamente sobre a linha Norte-Sul os piranômetros alocados à medição da radiação solar difusa (Fig.2.1).

Em uma bancada estão instalados dois piranômetros da "Eppley Laboratory Inc", denominados por "Spectral Precision Pyranometer", modelo 2 (identificado por PSP2), e "Black and White Pyranometer", modelo 8-48 (identificado por PBW), medindo respectivamente radiação solar difusa e global.

Durante os períodos de calibração, um outro piranômetro da "Eppley Laboratory, Inc.", tipo PSP, modelo 2 (identificado por PSP1), está sendo utilizado como referência. As constantes de calibração e informações adicionais dos piranômetros citados acima são apresentadas na Tabela 2.1.

Na outra bancada, foram instalados os protótipos desenvolvidos pelo grupo de Botucatu. A partir de abril de 1994 foram utilizados 5 protótipos, identificados por P1, P2, ESC2, ESC3 e ESC4. O período de utilização destes protótipos está indicado na Fig. 2.3. Nesta figura pode-se verificar que os protótipos funcionaram entre abril de 1994 e dezembro de 1996. Os protótipos P1 e P2 foram substituídos por ESC2 e ESC3 depois da construção da plataforma, em Novembro de 1995. O ESC2 foi substituído pelo ESC4 no dia 8 de dezembro de 1995. No dia 16 de abril de 1996 o ESC4 foi substituído pelo ESC2.

Em geral os protótipos P1, P2, ESC2 e ESC3 apresentaram um bom desempenho durante o período em que estão operando (vide Capítulo 4).

O piranômetro P1 utiliza como sensor uma termopila tipo estrela, enquanto o P2 utiliza uma termopilha tipo disco concêntrico (Oliveira, et al. 1996). As termopilhas empregadas nestes protótipos são compostas de 36 junções. As constantes de calibração e informações adicionais dos protótipos P1 e P2 são apresentadas na Tab. 2.2.

Em meados de julho de 1995, a plataforma de medidas de radiação sobre o prédio do IAG, na cidade Universitária, passou por um período de reformas através do projeto de infraestrutura da FAPESP (Proc. Fapesp No.94/4778-3) com a interrupção das medidas de radiação solar global e difusa. Com a conclusão do projeto, as medições de radiação foram retomadas em 8 de dezembro de 1995.

A partir de dezembro de 1995 foram utilizados dois novos protótipos identificados por ESC4 e ESC3, medindo radiação global e difusa respectivamente (Fig. 2.3). O protótipo ESC4 esteve em funcionamento até o dia 17 de janeiro de 1996, sendo substituído por um outro piranômetro identificado como ESC2, a partir 15 de abril de 1996 até 31 de dezembro de 1996 (Fig. 2.3).

Os protótipos usados nesta fase utilizam como sensor termopilhas do tipo estrela com 60 junções. As constantes de calibração e informações adicionais dos protótipos ESC2, ESC3 e ESC4 são apresentadas na Tabela 2.3.

Também são apresentadas na Tabela 2.4 as constantes de calibração do pireliômetro (NIP) e do pirgeômetro (PIRG), instalados na plataforma em 30 de abril e 10 de setembro de 1997 respectivamente.

Na bancada dos protótipos foram instalados a partir de janeiro de 1995 sensores de temperatura e umidade relativa do ar da Campbell Scientific, Inc., modelo HMP35C, com o objetivo de obter dados meteorológicos adicionais que possam influenciar no desempenho dos piranômetros.

A evolução temporal da fração do mês com observações simultâneas de radiação solar global (PBW) e difusa (PSP2) são apresentadas na Fig. 2.2. Nela está indicado também a evolução temporal da fração do mês com observações somente de radiação global realizados simultaneamente pelos piranômetros PSP1, PSP2 e PBW, referentes aos períodos de calibração.

Atualmente contamos com os seguintes equipamentos em funcionamento: radiômetros PBW, PSP2 e PSP1, pirgeômetro, pireliômetro, sensores de temperatura e umidade relativa do ar e da pressão atmosférica. Os protótipos de radiômetro de Botucatu (P1 e P2) estiveram em operação até o início da construção da plataforma. O radiômetro ESC4 operou de dezembro de 95 a janeiro de 96 apenas, enquanto que os radiômetros ESC2 e ESC3 operaram desde o término da construção da plataforma até fevereiro e março de 97, respectivamente. Os sensores de temperatura e umidade relativa do ar estão operando desde 11 de janeiro de 96. O sensor de pressão e o pireliômetro operam desde 30 de abril de 97, enquanto que o pirgeômetro está operando desde 10 de setembro de 97.

A plataforma radiométrica atualmente está equipada com 8 sensores (Fig. 2.1). Compreende uma área de 40.5 m^2 onde estão instalados, além dos 5 piranômetros e os sensores de temperatura e umidade descritos no capítulo 2, um heliógrafo Campbell-Stokes, um barômetro tipo SPB270, um pirgeômetro, um pireliômetro com rastreador solar e um pluviômetro.

Com exceção do heliógrafo, todos os outros equipamentos já estão conectados ao sistema de aquisição dados, podendo ser amostrados continuamente com uma taxa de amostragem de 0.2 Hz.

2.1 – Descrição da rotina de observação

As evoluções semanais de todas as parâmetros observados na plataforma radiométrica são obtidas, rotineiramente, no início de cada semana e disponibilizadas na *web page* do laboratório (<http://www.iag.usp.br/meteo/labmicro>).

A aquisição destes dados, automatizada a partir do 2º semestre de 1997, tem permitido obter séries contínuas de dados, salvo alguma rara exceção (quebra de equipamento, microcomputador, ou *blackout*, ou ainda alguma recarga da bateria).

Nas Figs. 2.4, 2.5 e 2.6 são apresentadas as evoluções semanais dos parâmetros atmosféricos observados na plataforma radiométrica.

Foi feito um levantamento completo de todo o conjunto de dados e atualmente o laboratório de micrometeorologia possui um arquivo com todos os gráficos semanais.

Os dados são automaticamente salvos no disco rígido a cada seis horas, mesmo durante feriados e fins de semana. A importância da automatização deste processo pode ser apreciada na Fig.2.2. A partir do mês 43, equivalente a outubro de 1997 consegue-se manter um nível de observação sempre superior a 75%, com média acima de 85% e alguns picos com 100% de observação.

A ausência de dados de radiação difusa devem-se praticamente apenas aos períodos de calibração, que deve-se ressaltar foram encolhidos, dos habituais sete a nove dias em 1996 e boa parte de 1997, para quatro ou quando muito cinco dias a partir de outubro de 1998. Exceção feita ao mês 51, que corresponde a julho de 1998, quando foi realizado um grande período especial de calibração, com duração de 15 dias, em que buscou-se a comprovação do efeito do anel de sombreamento que até este momento não era totalmente removido na bancada durante os episódios de calibração.

Note-se ainda que durante os meses 17, 18 e 19 que correspondem a agosto, setembro e outubro de 1995, respectivamente, não foram feitas observações em virtude da construção da plataforma radiométrica. Até o mês 16, julho de 1995, praticamente não eram feitas calibrações, sendo as perdas devidas quase que exclusivamente à falta do sistema automático de salvamento dos dados em disco rígido durante fins de semana e feriados. Já as perdas ocorridas entre os meses 20 (novembro de 1996) e 42 (setembro de 1997) devem-se a ambos os fatores somados, períodos de calibração e ausência de automatização.

É possível agora, com este sistema automatizado, obter totais mensais e diários sem perdas. Creio que isto poderia ser interessante em comparações futuras destes totais, entre dias ou meses correspondentes. Mas paradoxalmente, ficar-se-ia sem a possibilidade de calibrar-se o instrumento *in loco*. E esta falta de atualização da constante de calibração do aparelho, ou sua remoção temporária em substituição a outro instrumento, mesmo que semelhante, poderia colocar em risco a boa qualidade dos dados que é uma das metas deste trabalho.

Aliás, citando a qualidade dos dados, cabe ressaltar o cuidado semanal que é tomado no sentido de manter os aparelhos da plataforma limpos, e corretamente posicionados. Todas as quartas-feiras é verificada a sombra do anel sobre o piranômetro PSP2. São feitas anotações e identificados os momentos em que a sombra eventualmente não esteja sobre o PSP2 (é raro isto acontecer, monitorando-se ao menos uma vez por semana) ou o pireliômetro não esteja focalizando o disco solar.

É interessante notar os picos que aparecem no perfil da pressão atmosférica, no início da semana. Estes picos podem dever-se ao efeito de massa, ou seja, as rajadas de vento agindo sobre o aparelho, contribuindo a variações abruptas da pressão. Isto talvez seja um indicativo de que se deve pensar em uma alternativa para melhor acomodar este aparelho sobre a plataforma, isolando-o deste efeito indesejável que estaria contribuindo para uma fonte de erro. A grande variabilidade percebida no gráfico da radiação de onda longa (Fig. 2.5, base) também deve ser melhor investigada.

Tabela 2.1.: Constantes de calibração dos piranômetros PSP1, PSP2 e PBW da Eppley.

Período da calibração (Local)	Informações de calibração	K_{PSP1} ($\mu V/Wm^{-2}$)	k_{PSP2} ($\mu V/Wm^{-2}$)	K_{PBW} ($\mu V/Wm^{-2}$)
1990 (EUA)	Não fornecidas Pelo fabricante	$8,53 \pm 0,05$	$8,55 \pm 0,05$	$8,62 \pm 0,09$

Tabela 2.2: Constantes de calibração originais dos piranômetros P1 e P2, construídos pelo Grupo de Radiometria Solar da Unesp de Botucatu, utilizando como referência o piranômetro PSP1 ($8,53 \pm 0,09 \mu V/Wm^{-2}$).

Período da calibração (Local)	Informações de calibração	K_{P1} ($\mu V/Wm^{-2}$)	k_{P2} ($\mu V/Wm^{-2}$)
30 de janeiro à 3 de fevereiro 1995. (SP)	Método Do quociente	$11,47 \pm 0,02$	$15,46 \pm 0,03$

Tabela 2.3: Constantes e períodos de calibração originais dos piranômetros ESC2, ESC3 e ESC4, construídos pelo Grupo de Radiometria Solar da Unesp de Botucatu, utilizando como referência piranômetro PSP Eppley com constante de calibração igual a $8,17 \mu V/Wm^{-2}$. (tb. da Unesp de Botucatu).

Período da calibração (Local)	Informações de calibração	K_{ESC2} Escobedo7 ($\mu V/Wm^{-2}$)	k_{ESC3} Escobedo8 ($\mu V/Wm^{-2}$)	k_{ESC4} Escobedo4 ($\mu V/Wm^{-2}$)
08 de setembro à 12 de outubro de 1995. (Botucatu)	Método do quociente	$13,51 \pm 0,41$	$15,75 \pm 0,19$	$10,21 \pm 0,11$

Tabela 2.4: Constantes de calibração originais do pireliômetro (NIP) e do pirgeômetro (PIRG) ambos da Eppley.

Período da calibração (Local)	Informações de calibração	K_{NIP} ($\mu V/Wm^{-2}$)	k_{PIRG} ($\mu V/Wm^{-2}$)
1990 (EUA)	Não fornecidas pelo fabricante	$9,09 \pm 0,05$	$3,63 \pm 0,04$

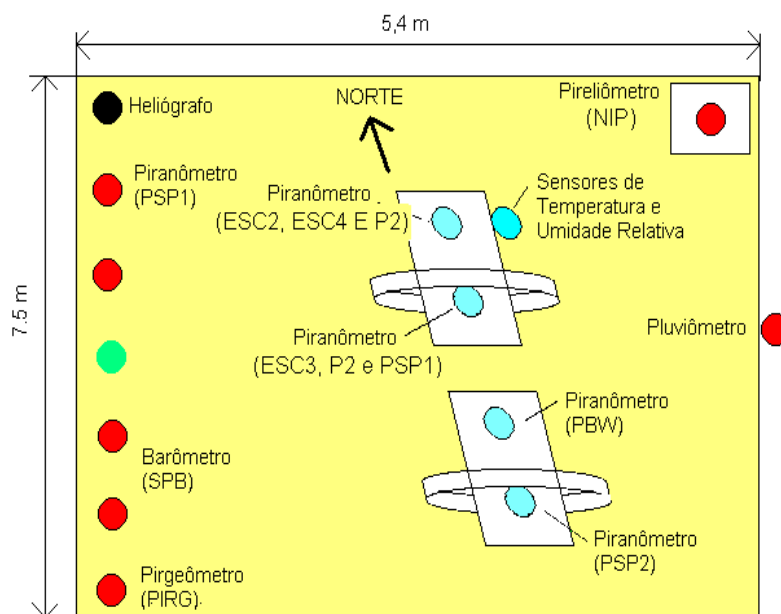


Figura 2.1: Representação esquemática da Plataforma Radiométrica do IAG-USP e da distribuição espacial dos instrumentos instalados a partir dezembro de 1995.

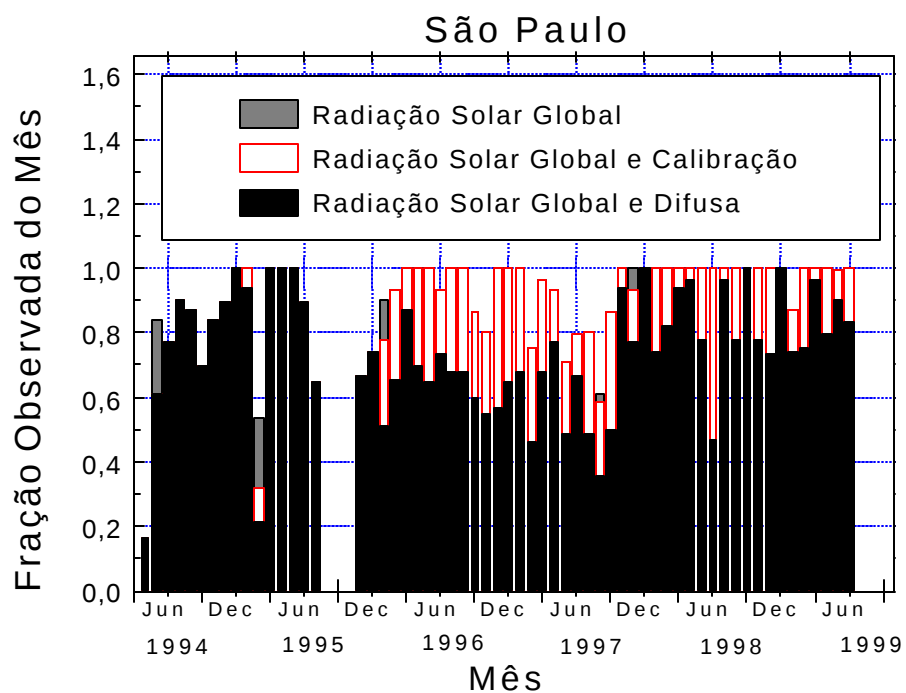


Figura 2.2: Evolução temporal da fração mensal da radiação solar global e difusa observadas na plataforma radiométrica do IAG-USP entre 26 de abril de 1994 e 30 de junho de 1999.

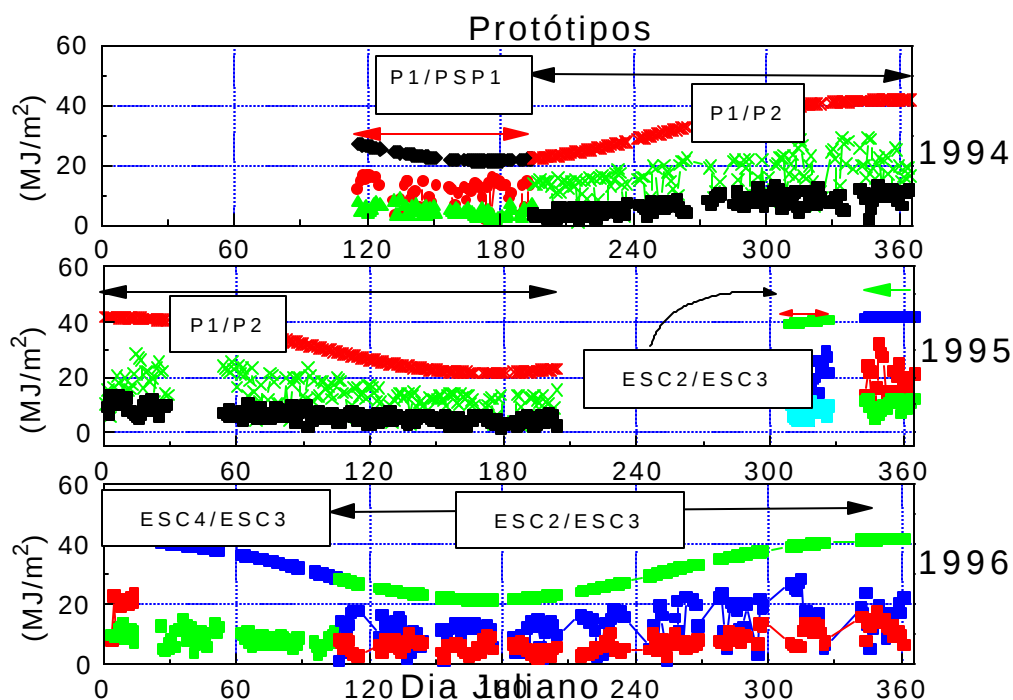


Figura 2.3: Evolução temporal do total diário da radiação solar global (P1, ESC2 e ESC4), difusa (P2 e ESC3) e incidente no topo da atmosfera. Observações realizadas na plataforma radiométrica do IAG-USP durante o período de 26 de abril de 1994 a 31 de dezembro de 1996, utilizando os protótipos de piranômetros desenvolvidos pelo Grupo de Radiometria Solar da Unesp de Botucatu.

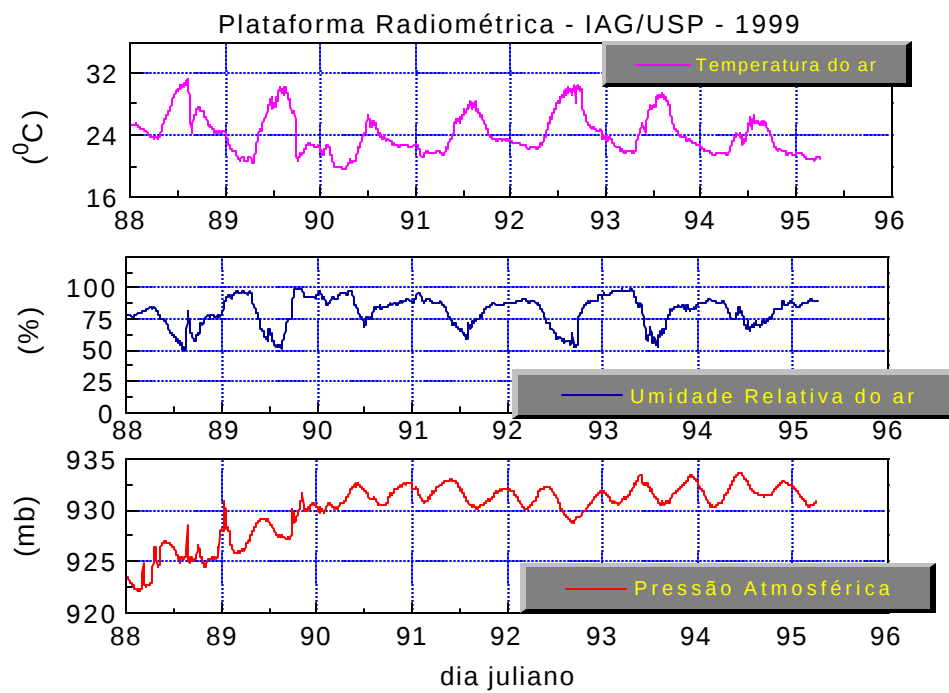


Figura 2.4: Evolução semanal da temperatura, umidade relativa e pressão atmosférica (fevereiro/março de 1999).

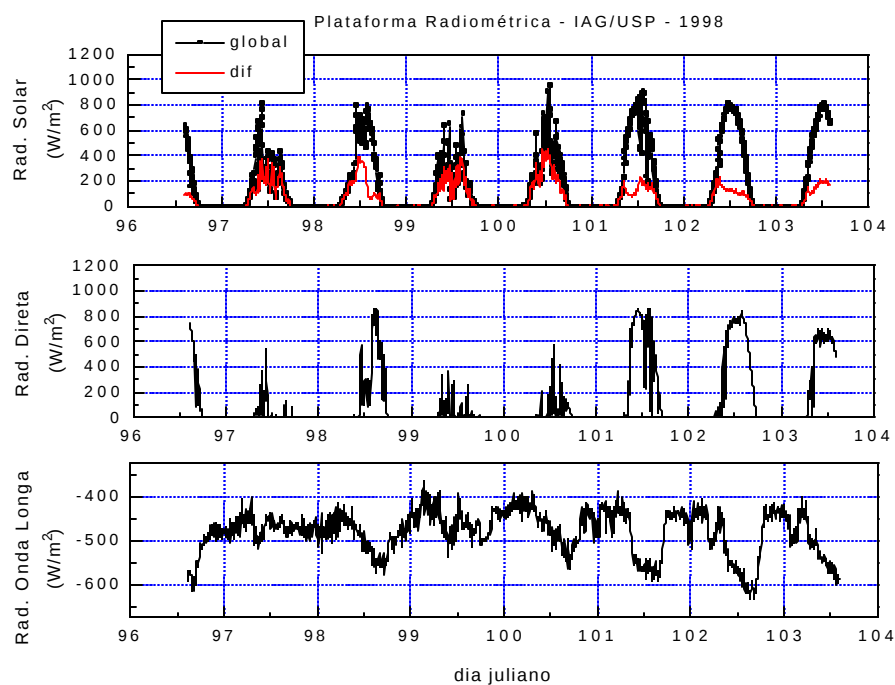


Figura 2.5: Evolução semanal da radiação solar global (PBW), difusa (PSP2) e direta (PIR) e da radiação de onda longa (PIRG).

3 - Descrição dos Arquivos de Dados

As observações de radiação solar global e difusa estão sendo efetuadas com uma taxa de amostragem de 1 Hz (antes da reforma) e de 0.2 Hz (após as reformas, 8 de dezembro de 1995). A taxa de amostragem foi modificada para acomodar o tempo de resposta dos sensores. Os dados estão sendo coletados por um sistema de aquisição de dados denominado “datalogger” (Micrologger 21XL, da Campbell) e armazenados na forma de médias de 5 minutos.

3.1 – Descrição dos Arquivos de Dados em Bruto

Os dados estão organizados em arquivos contendo dados em brutos e dados tratados. Estes por sua vez estão divididos em arquivos semanais, mensais e anuais (Fig.3.1) com diferentes formatos em função dos instrumentos em operação. Nas Tabelas 3.3 e 3.4 são apresentadas as estruturas dos arquivos originais gerados pelo “datalogger”, enquanto que na Tabela 3.1 é mostrado um trecho de um arquivo de dados em bruto. Antes de 1996 a coluna referente ao PSP1 só aparece nos arquivos gerados durante períodos de calibração. A partir de janeiro de 1996 verifica-se um aumento gradativo do número de medidas (colunas) feitas na plataforma.

O organograma geral das etapas de tratamento dos dados é apresentado na Figura 3.1. Nele pode-se verificar que os sensores são amostrados pelo “datalogger” que está acoplado a um micro ASA-486. Neste micro são armazenados, dia após dia, no arquivo denominado de “botu97.dat”, os dados em bruto provenientes do “datalogger”. No início de cada semana, os dados em bruto, correspondente à semana anterior, são armazenados em um arquivo semanal denominado: “botuddd.dat”, onde ddd corresponde ao último dia juliano da semana coletada (Tab. 3.1).

Ao término de cada mês estes arquivos semanais, com dados em bruto, são concatenados, gerando-se assim arquivos mensais com dados em bruto, denominados “bddd ddd.dat”, onde o primeiro ddd corresponde ao dia juliano do primeiro dia do mês e o segundo ddd ao último dia juliano do mês.

Os arquivos mensais são concatenados dando origem aos arquivos anuais com dados em bruto, denominados de “b aaaa.dat”, onde aaaa corresponde ao ano em questão.

Com exceção da temperatura e da umidade relativa do ar, todas as grandezas físicas observadas na plataforma são armazenados nos arquivos com os dados em brutos em unidades de *mV*. Convencionou-se utilizar o número **-99999** ou **-8888.8** para identificar ausência ou problemas com as medidas (Tabela 3.1).

3.2 – Descrição dos Arquivos de Dados Tratados

Os arquivos com dados em bruto (semanais, mensais e anuais) são utilizados para gerar os arquivos com os dados tratados através do programa chamado “*split*”. Os dados de utilização deste programa está contido em arquivos do

tipo com a extensão ***.par**. Para cada período indicado nas Tabelas 3.3 e 3.4 existem três arquivos. ***.par**, usados para gerar os arquivos de dados tratados semanais, mensais e anuais.

Este tratamento, difere nos casos dos arquivos semanais, mensais e anuais, em termos do número de grandezas armazenados no arquivo de dados tratados.

No caso dos arquivos semanais com dados tratados o número de colunas é igual ao dos arquivos com dados em bruto (Tabela 3.1-3.4), substituindo-se a 1ª coluna pelo valor da hora local em fração de 24 horas. As colunas seguintes são alocadas para os parâmetros amostrados. A penultima coluna é alocada para a hora em frações de minutos. Na última coluna está indicado o dia juliano. Com exceção das variáveis (PIRG2, PIRG3 e PIRG4), todas as grandezas estão em suas respectivas unidades no Sistema Internacional. Nos arquivos com dados tratados não contem o código da observação (Tabela 3.2).

Os arquivos de dados tratados mensais e anuais o programa “**split**” é utilizado para gerar arquivos com 5 colunas, onde estão alocadas as seguintes variáveis: **hora em fração de 24 horas; radiação solar difusa; radiação global; hora em fração de minutos e dia juliano**.

Os arquivos com dados tratados mensais e anuais são utilizados como arquivos de entrada para os programas “fortran” que geram:

(b) Os totais horários, diários e mensais de radiação solar no topo da atmosfera, global, difusa e direta na superfície e suas respectivas frações;

(a) Os diagramas de dispersão K_T versus K_d e as respectivos curvas de regressão.

Os métodos de cálculo destas quantidades estão descritos no capítulo 6.

3.3. – Descrição dos Arquivos de Dados Tratados para Calibração dos Piranômetros

Os arquivos brutos semanais descritos acima são utilizados para gerar os arquivos com dados tratados para os dias em que foi feito o procedimento de calibração (capítulo 4). Nestes dias o anel é removido da bancada e o piranômetro PSP1 é instalado.

O formato de saída destes arquivos é igual ao tratados semanais (Tabela 3.2) com a diferença que os valores da radiação solar estão em unidades de mV. Os arquivos de dados tratados são nomeados como “**calin.dat**” para serem utilizados no programa que calcula as constantes de calibração “**calibra.for**”.

Os procedimentos de calibração são descritos no capítulo 4. A saída do programa foi organizado em dois arquivos: “**xcalout.dat**”, que contem os resultados da calibração para os protótipos de piranômetros (ESC2, ESC3 e ESC4), e “**ycalout.dat**”, que contem os resultados da calibração para dos piranômetros Eppley (PSP2 e PBW).

3.4 – Descrição dos Arquivos de Dados Tratados para as Observações com o Pireliometro

Nos períodos em que o pereliometro estava operando adequadamente (capítulo 6) os arquivos com dados em brutos anuais foram utilizados para gerar os arquivos tratados correspondentes a estes periodos: **pire97.dat**, **pire98a.dat** e **pire98b.dat**. Os arquivos de dados tratados o programa “split” é utilizado para gerar arquivos com **6 colunas**, onde estão alocadas as seguintes variáveis: **hora em fração de 24 horas; radiação solar difusa; radiação global; radiação solar direta normal ao plano de incidencia; hora em fração de minutos e dia juliano**.

3.5 – Descrição do Tratamento de Dados

Os dados passam basicamente por três etapas desde a coleta pelo “datalogger” (Fig. 3.1):

- Na **primeira etapa**, os arquivos com os dados em bruto são separados em arquivos semanais, mensais e anuais;
- Na **segunda etapa**, os arquivos com dados em brutos são convertidos em arquivos com dados tratados, baseando-se este tratamento na conversão das unidades das grandezas lidas para o sistema internacional (semanais). Nesta etapa os arquivos mensais e anuais tratados contem somente as medidas de radiação global e difusa em *mV*
- Na **terceira etapa**, existem três procedimentos:
 - Os arquivos de dados tratados semanais são utilizados para confecção gráficos para verificação do comportamento dos instrumentos. Uma vez verificado a sua qualidade estes gráficos são incluídos no site;
 - Os arquivos tratados mensais são utilizados no cálculo dos totais diários para confecção de gráficos para uma segunda verificação do comportamento dos instrumentos. Os arquivos tratados anuais são utilizados no cálculo dos totais horários, diários ou mensais de radiação (Vide capítulo 6).
 - No caso dos períodos de calibração, os arquivos de dados tratados (item 3.3) são utilizados para o cálculo das constantes de calibração (Vide capítulo 4).

Como resultado da organização e da verificação das observações de radiação solar global e difusa foram elaborados calendários anuais (Tabela 3.6-3.11, apêndice A) com a distribuição dos dados de radiação solar global e difusa. Na tabela 3.5 são apresentados um resumo da distribuição anual dos dados de radiação. Verifica-se que dos 1831 dias decorridos entre 26 de abril de 1994 e 30 de abril de 1999 existem 1299 dias com observação de radiação solar global e difusa (71.0%), 268 dias com radiação global para calibração dos piranômetros (14.6%); dias com radiação global somente (1.1%) e dias sem

observação (13.3%) ou em que as observações tinham problemas e não podem ser utilizadas (Tabelas 3.5).

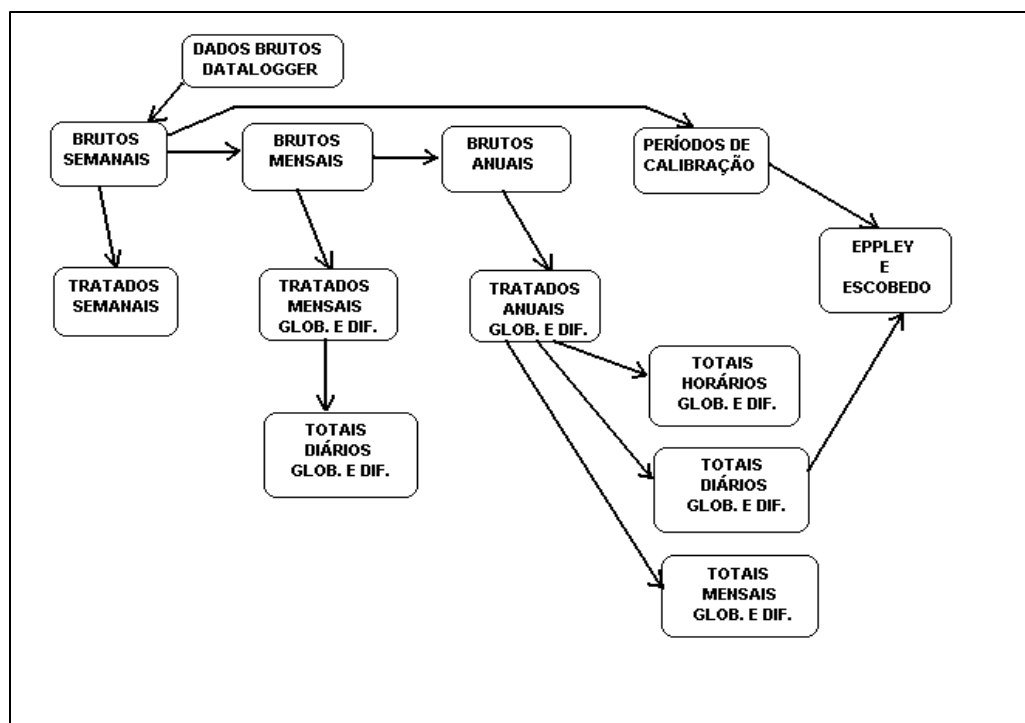


Figura 3.1 – Diagrama da organização dos dados provenientes da Plataforma Radiométrica do Laboratório de Micrometeorologia – IAG/USP.

Tabela 3.1 – Trecho do arquivo semanal com dados em bruto **botu151.dat** referente as observações realizadas no dia juliano 144 (24 de maio de 1999),

entre 12:00 e 12:10 hora local. A linha inicia-se sempre com o código 108 neste caso. As demais colunas estão indicadas na Tabela 3.3-3.4.

108,144,1200, .65026, 6.2595, -99999, -99999, -99999, -99999, -99999, 7.3853, -1.0748, -
.33497, .19354, -99999, 20.396, 47.152, 110.73, 0
108,144,1205, .65215, 6.2219, -99999, -99999, -99999, -99999, -99999, 7.3481, -1.0865, -
.35401, .05062, -99999, 20.639, 46.613, 110.7, 0
108,144,1210, .66636, 6.2302, -99999, -99999, -99999, -99999, -99999, 7.3775, -1.0615, -
.33676, .00568, -99999, 20.676, 46.621, 110.66, 0

Tabela 3.2 – Trecho do arquivo semanal de dados tratados **B99151a.dat** referente ao dia juliano 144 (24 de maio de 1999), entre 12:00 e 12:10 hora local. A linha inicia-se sempre com hora local em frações de 24 horas e encerra-se com o dia juliano. Arquivo gerado através do programa **split** usando **bout99a.par** e **botu151.dat**.

.5 79.983 702.53 -99999 -99999 -99999 -99999 -99999 812.46 -296.09 -
.33497 .19354 -99999 20.396 47.152 932.88 -8888.8 12 144
.50347 80.215 698.31 -99999 -99999 -99999 -99999 -99999 808.37 -
299.31 -.35401 .05062 -99999 20.639 46.613 932.84 -8888.8 12.083 144
.50694 81.963 699.24 -99999 -99999 -99999 -99999 -99999 811.61 -
292.42 -.33676 .00568 -99999 20.676 46.621 932.79 -8888.8 12.167 144

Tabela 3.3: Descrição dos arquivos brutos gerados pelo datalogger até 31 de dezembro de 1995. Onde **Cod** representa o código da medida; **Dj** o dia juliano; **Hhmm** a hora+minuto; **Psp2, Pbw, P1, Psp1, Esc2, Esc3, ESC4, Poli, Pire,**

Pirg1, Pirg2, Pirg3, Pirg4 representam as medidas de radiação em *mV*, **Temp** representa a temperatura (°C), **UR(%)** a umidade relativa do ar, **Press** pressão atmosférica em *mV*, **Precip** precipitação em número inteiros

Período	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8
116-194 1994	Cod	Dj	Hhmm	Psp2	Pbw	P1	Psp1	
195-365 1994	Cod	Dj	Hhmm	Psp2	Pbw	P2	P1	Psp1
001-204 1995	Cod	Dj	Hhmm	Psp2	Pbw	P2	P1	Psp1
205-306 1995								
307-334 1995	Cod	Dj	Hhmm	Psp2	Pbw	Esc3	Esc2	Psp1
335-342 1995	Cod	Dj	Hhmm	Psp2	Pbw			
342-365 1995	Cod	Dj	Hhmm	Psp2	Pbw	Esc3	Esc4	Psp1

Tabela 3.4: Descrição dos arquivos brutos gerados pelo datalogger a partir de 1 de janeiro de 1996. Onde **Cod** representa o código da medida; Dj o dia juliano; **Hhmm** a hora+minuto; **Psp2, Pbw, P1, Psp1, Esc2, Esc3, ESC4, Poli, Pire, Pirg1, Pirg2, Pirg3, Pirg4** representam as medidas de radiação em *mV*, **Temp** representa a temperatura (°C), **UR**(%) a umidade relativa do ar, **Press** pressão atmosférica em *mV*, **Precip** precipitação em número inteiros.

Período	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14	C15	C16	C17	C18	C19
001-011 1996	Cod	Dj	Hhmm	Psp2	Pbw	Esc3	Esc4	Psp1											
011-024 1996	Cod	Dj	Hhmm	Psp2	pbw	Esc3	Esc2	Psp1	Temp	UR									
024-365 1996	Cod	Dj	Hhmm	Psp2	Pbw	Esc3	Esc2	Psp1	Temp	UR	Precip								
001-120 1997	Cod	Dj	Hhmm	Psp2	Pbw	Esc3	Esc2	Psp1	Temp	UR	Precip								
120-253 1997	Cod	Dj	Hhmm	Psp2	Pbw	Esc3	Esc2	Psp1	Poli	Poli	Pire	Temp	UR	Press	Precip				
253- 1997-99	Cod	Dj	Hhmm	Psp2	Pbw	Esc3	Esc2	Psp1	Poli	Poli	Pire	Pirg1	Pirg2	Pirg3	Pirg4	Temp	UR	Press	Precip

Tabela 3.5: Distribuição anual dos dias com e sem observação de radiação solar global e difusa na plataforma radiométrica do IAG/USP. Número total de dias entre 26 de abril de 1994 a 30 de junho de 1999 é de 1892 dias

Ano	Radiação Difusa e Global	Radiação Global Calibração	Radiação Global	Dias Sem dados de Radiação
1994	207	0	7	36
1995	216	4	6	139
1996	239	106	4	17
1997	236	78	3	48
1998	303	62	0	0
1999 *	151	26	0	4
Total	1352	276	20	244

(* Até 30 de junho).

4. – Avaliação do Desempenho dos Sensores

Durante todo o funcionamento da plataforma radiométrica, desde abril de 1994, foram realizadas várias avaliações do desempenho dos instrumentos utilizados. A partir de janeiro de 1996 os piranômetros passaram a ser avaliados de forma rotineira, enquanto que os sensores de temperatura, umidade relativa do ar e pressão passaram por avaliações menos intensas. Toda a metodologia de avaliação dos piranômetros e os principais resultados são apresentados no item 4.1 abaixo. A avaliação dos sensores de temperatura, umidade relativa do ar e pressão estão descritas no item 4.2.

4.1 – Avaliação dos Piranômetros

Para se avaliar o desempenho de piranômetros a WMO recomenda que sejam feitas pelo menos uma aferição a cada seis meses utilizando como referência um piranômetro padrão (WMO, 1971). Na ausência de um padrão, a WMO recomenda a utilização de um piranômetro padrão secundário.

De acordo com WMO a aferição de um piranômetro deve ser feita a partir de observações obtidas da radiação solar global quando o Sol encontra-se em ângulos zenitais inferiores a 60 graus. Estas observações devem incluir as condições atmosféricas mais variadas possíveis, desde céu claro a nublado, de modo a ser representativo das condições locais onde está sendo usado o sensor.

É recomendado também que sejam feitas observações da temperatura, umidade e outros parâmetros meteorológicos simultâneos à observações de radiação, durante o período de aferição, para que seja identificadas as possíveis influências destes parâmetros no comportamento do sensor.

Na prática, a aferição de um piranômetro é realizada através da comparação direta com um padrão secundário (Norris, 1973). Em geral utiliza-se como padrão um piranômetro de precisão elevada, por exemplo um PSP da Eppley, que tenha sido aferido em relação a um padrão e que tenha tido um mínimo de exposição as condições ambientes.

Seguindo estas recomendações, entre abril de 1994 e dezembro de 1995, foram realizadas 3 campanhas de calibração dos piranômetros usados na plataforma radiométrica do IAG/USP, incluindo-se uma campanha de calibração em Botucatu, durante o período de modificação da plataforma radiométrica do IAG em 1995. Em todas estas campanhas foram utilizados como referência um piranômetro PSP da Eppley de pouco ou nenhum tempo de uso (Tabela 4.1).

Contudo, foi detectada uma variação no comportamento das constantes de calibração maior do que os erros estatísticos implícitos. Além disso, foi detectado também que o sinal da discrepância entre as constantes de calibração estimadas neste período e as fornecidas pelo fabricante variava em função do piranômetro (Tab. 4.1).

No caso do piranômetro PBW foi detectada uma discrepância positiva, com os valores obtidos pelas calibrações sistematicamente *maiores* do que o indicado

pelo fabricante $8,62 \pm 0,09 \mu\text{V/W m}^2$. Por exemplo, em janeiro de 1995 a calibração do PBW indicou um valor para constante igual a $9,23 \pm 0,02 \mu\text{V/W m}^2$, cerca de 8% maior do que o valor de fábrica. No caso do piranômetro PSP2, foi detectado uma discrepância negativa, com os valores obtidos com as calibrações sistematicamente *menores* ou iguais ao indicado pelo fabricante $8,55 \pm 0,04 \mu\text{V/W m}^2$. Por exemplo, em janeiro de 1995 a calibração do PSP2 indicou um valor para constante igual a $8,131 \pm 0,003 \mu\text{V/W m}^2$, cerca de 4% menor do que o valor de fábrica (Tab. 4.1).

Dessa forma, decidiu-se realizar um série mensal de calibrações de todos os piranômetros existentes, utilizando como referência o piranômetro espectral da Eppley (PSP1) para investigar o comportamento apresentado pelos piranômetros PBW e PSP2. Foi incluído também neste estudo os piranômetros protótipos da Unesp de Botucatu (ESC2, ESC3 e ESC4)

Assim, a partir de janeiro de 1996, passou-se a avaliar o desempenho dos sensores de radiação solar através da realização de campanhas de aferição mensais. Nestas aferições, todos os piranômetros (referência, protótipos e da Eppley) são expostos à radiação solar global durante um período entre 3 e 15 dias. Simultaneamente, passou-se a efetuar medidas de temperatura e umidade relativa do ar no nível dos sensores de radiação (capítulo 5).

4.1.1 – Metodologia de Calibração dos Piranômetros

A determinação da constante de calibração de um piranômetro pode ser efetuada através de três métodos: método do quociente, método da regressão e método da regressão passando pelo zero.

O método do quociente, recomendado pela WMO (1971), consiste em determinar a constante de calibração através da seguinte expressão:

$$k_p = k_R \left(\overline{\frac{V_p}{V_R}} \right) \quad (1)$$

onde k_p e k_R são as constantes de calibração dos piranômetro protótipo e padrão respectivamente, V_p e V_R são seus respectivos sinais medidos em Volts e $\overline{(\quad)}$ representa a média dos valores individuais do quociente entre estes sinais.

No método da regressão, a constante de calibração do piranômetro é estimada através da seguinte relação:

$$k_p = a.k_R + b \quad (2)$$

onde a e b correspondem, respectivamente, aos valores do coeficiente angular e da interceptação com o eixo V_p de uma reta de regressão ajustada pelo método dos mínimos quadrados através dos pontos $\{V_{Ri}, V_{Pi}\}$ e expressos como:

$$a = \frac{\sum_{i=1}^n V_{R_i} \cdot \sum_{i=1}^n V_{P_i} - n \sum_{i=1}^n V_{R_i} \cdot V_{P_i}}{\left(\sum_{i=1}^n V_{R_i} \right)^2 - n \cdot \sum_{i=1}^n V_{R_i}^2} \quad (3)$$

$$b = \frac{\sum_{i=1}^n V_{R_i} \cdot \sum_{i=1}^n V_{R_i} \cdot V_{P_i} - \sum_{i=1}^n V_{P_i} \cdot \sum_{i=1}^n V_{R_i}^2}{\left(\sum_{i=1}^n V_{R_i} \right)^2 - n \cdot \sum_{i=1}^n V_{R_i}^2} \quad (4)$$

Uma forma alternativa de usar o método da regressão é “forçar” a reta de regressão pela origem do sistema de coordenadas. Nesse caso, a constante de calibração assume a seguinte forma:

$$k_p = a^* \cdot k_R \quad (5)$$

e o coeficiente angular da reta forçada a passar pela origem, a^* , é calculado através da expressão:

$$a^* = \frac{\sum_{i=1}^n V_{P_i} \cdot V_{R_i}}{\sum_{i=1}^n V_{R_i}^2} \quad (6)$$

Para garantir as restrições impostas pela WMO com relação a elevação solar todas as calibrações foram efetuadas utilizando-se observações entre 10:00 e 14:00 Hora Local.

Em condições ideais de funcionamento os três métodos descritos acima devem ser equivalentes. Como no caso apresentado na Figura 4.1, que corresponde ao período de calibração realizado em Janeiro de 1999. Neste caso, a constante do PSP2 é idêntica para os 3 métodos em questão, $8,31 \mu\text{V/W m}^2$, enquanto que a constante para o PBW apresenta uma variação mínima, $8,94 \pm 0,21 \mu\text{V/W m}^2$; $8,91 \mu\text{V/W m}^2$ e $8,92 \mu\text{V/W m}^2$, para os métodos do quociente (ou razão), da regressão e regressão passando pela origem, respectivamente.

4.1.2 - Resultados da Aferição dos Piranômetros

Os piranômetros da plataforma radiométrica do IAG foram avaliados de forma sistemática entre janeiro de 1996 e junho de 1999 através de 39 campanhas de calibrações.

Os principais resultados estão contidos nas Tabelas 4.2 e 4.3 (apêndice A). Os valores do coeficiente de calibração calculado através dos método da regressão passando pelo zero (eq. 5) e o método da regressão (eq. 2) são indicados nestas tabelas no espaço indicado por “método da regressão”, com o resultado do método da regressão passando pelo zero indicado na primeira linha e o método da regressão linha de baixo.

4.1.2.1 – Piranômetro Padrão Secundário – PSP1

Em 16 de abril de 1998 o piranômetro PSP1, usado como padrão secundário em todas as calibrações descritas abaixo, foi calibrado na **Meteo-France, França**, onde foi usado como referência um padrão. O valor da constante de calibração obtida foi igual a $8.38 \pm 0.05 \mu\text{V/W m}^{-2}$ (Tab. 4.1). Este valor é cerca de 1.8% menor do que o valor fornecido pelo fabricante ($8.53 \pm 0.05 \mu\text{V/W m}^{-2}$). Tendo em vista que a calibração fornecida pelo fabricante correspondente a 1990 esta diminuição está dentro do esperado para esta classe de piranômetro (WMO, 1971).

O critério de utilização do piranômetro PSP1 como padrão neste estudo foi feito em função do fato do mesmo ter sido pouco utilizado e, portanto, ter sido menos afetado pelo processo de envelhecimento devido a exposição ao ambiente.

A pouca variabilidade encontrada na constante de calibração do PSP1 após 8 anos de uso, confirma o bom desempenho deste piranômetro e reafirma a qualidade das calibrações realizadas na plataforma radiométrica do IAG/USP entre janeiro de 1996 e junho de 1999.

4.1.2.2 – Piranômetros da Eppley (PSP2 e PBW)

Os resultados obtidos com as 39 campanhas de calibração, realizadas entre janeiro de 1996 e junho de 1999 (Tabelas 4.2 e 4.3, Apêndice A) confirmaram o comportamento dos piranômetros PSP2 e PBW encontrado anteriormente (Tab. 4.1).

A evolução temporal das constantes de calibração durante este período é apresentada na Fig. 4.2. De um modo geral a maioria dos valores para cada campanha encontra-se dentro da faixa de variação do valor médio, determinada através do valor médio de todas as 39 constantes de calibração e o desvio padrão em torno desta média (indicada pelas 3 linhas horizontais abaixo e acima das duas linhas centrais que indicam o valor nominal das constantes de calibração). O intervalo de variação individual das 39 campanhas de calibração são maiores no caso do piranômetro PBW.

Os valores médios das constantes de calibração utilizados para estimar as componentes das radiação solar global, difusa e direta na cidade de São Paulo, são indicadas nas Tabela (4.4). Estes valores correspondem a média das respectivas 39 constantes de calibração. Como pode ser visto, a constante de calibração do PSP2 sofre uma redução de aproximadamente 4,6 % em relação ao valor nominal. Por outro lado a constante do PBW sofreu um aumento de 3,7% em relação ao seu valor de fabrica. Este comportamento confirma, em menor escala, o comportamento destes sensores antes de janeiro de 1996.

Visualmente, as constantes de calibração apresentam uma certa dependência com relação aos valores médios da temperatura do ar, umidade relativa do ar e a intensidade do sinal do PSP1 (Figs.4.3-4.5). Esta característica torna-se

mais evidente quando os coeficientes de correlação linear estas variáveis médias e as constantes de calibração destes sensores são calculados (Tab. 4.5). O piranômetro PBW parece sofrer mais o efeito das variações térmicas negativas, sobretudo se observarmos os picos em sua evolução temporal da sua constante (Fig. 4.2 e Fig. 4.7) que parecem coincidir com os meses de inverno. Enquanto que o PSP2 está mais afetado pelas variações de umidade relativa (Tab. 4.5). Constatou-se também que os métodos do quociente e da regressão passando pelo zero são equivalentes, enquanto que o método da razão é mais afetado pelos erros sistemáticos (Fig. 4.6) para ambos sensores.

4.1.2.3 – Piranômetros Protótipos da Unesp de Botucatu

Os piranômetros protótipos desenvolvidos pelo Grupo de Radiometria Solar da Unesp de Botucatu foram utilizados para medir radiação solar global e difusa na plataforma do IAG entre abril de 1994 a abril de 1997. Os protótipos P1 (global) e P2 (difusa) foram usados até 23 de Julho de 1995. Os protótipos ESC2 (global) e ESC3 (difusa) foram usados entre 4 de novembro e 8 dezembro de 1995. Os protótipos ESC4 (global) e ESC3 (difusa) foram usados entre 8 de dezembro de 1995 a 16 de abril de 1996. Os protótipos ESC2 (global) e ESC3 (difusa) entre 16 de abril de 1996 e abril de 1997. Em janeiro de 1996 o ESC4 foi danificado por um raio.

Durante janeiro de 1996 e abril de 1997 os piranômetros protótipos ESC2 e ESC3 foram calibrados juntamente com os demais piranômetros (PSP2 e PBW) usando o PSP1 como referência (Tab. 4.2). Neste período foram realizadas 15 calibrações, sendo que a partir de novembro de 1996 ambos os protótipos (ESC2 e ESC3) deixaram de funcionar devido à infiltração de água.

Um resultado interessante foi que os protótipos apresentaram uma estabilidade compatível com os piranômetros da Eppley (Figs 4.2 e 4.8) durante o período de funcionamento, sendo capazes de reproduzir os valores totais diários de radiação solar global e difusa observados em São Paulo (Figs. 4.9 a 4.13).

4.2 - Desempenho dos Sensores de Temperatura e Umidade Relativa do ar e de Pressão Atmosférica

A partir do dia 11 de janeiro de 1996 passou-se a realizar medidas de temperatura e umidade relativa do ar (HMP35C). A partir de 30 de abril de 1996 passou-se também a efetuar medidas de pressão (SBP270). O sensor de temperatura e umidade relativa do ar foi instalado na bancada que contém o anel de sombreamento, a aproximadamente 1.5 m. Este arranjo próximo aos piranômetros tem como objetivo amostrar o estado térmico e o teor de exposição a umidade sofrido pelos mesmos (vide 4.1).

A partir do segundo semestre de 1997 procedeu-se a avaliação do desempenho dos sensores de temperatura, umidade relativa e pressão instalados na plataforma do IAG/USP.

O barômetro SBP270 (acurácia: $\pm 0,2$ hPa, *offset*: 800 e *multiplier*: 1,2) foi avaliado mediante comparações com as leituras de pressão de um barômetro

analógico, com acurácia de $\pm 0,05$ hPa, e os valores dos registros gráficos obtidos com o barógrafo (Fig. 4.14). Foram realizados 18 registros semanais, com acurácia também de $\pm 0,05$ hPa, entre 17 de setembro de 1997 e 2 de fevereiro de 1998.

O sensor de temperatura e de umidade relativa do ar foram avaliados efetuando-se comparações com observações destes parâmetros efetuadas com um psicrômetro de aspiração elétrica do tipo Assmann, com acurácia de $\pm 0,1$ grau (Fig. 4.15 e 4.16).

Observando as Figs. 4.14 a 4.16 notamos que os valores de umidade apresentam uma variabilidade maior do que a dos valores de pressão e temperatura. Esta maior dispersão no caso da umidade relativa deve-se a possíveis problemas nas condições de exposição do psicrômetro. Pela falta de um abrigo adequado, o aparelho esteve várias vezes sujeito à influência do vento que pode ter interferido no valor de equilíbrio da temperatura de bulbo úmido. Além disso, em alguns casos com a pilha fraca, a ventilação pode ter sido insuficiente.

Por outro lado, os valores de pressão e temperatura parecem estar bem correlacionados (98%), sugerindo uma melhor precisão dos instrumentos utilizados na plataforma. Todavia, nota-se um viés (Figs. 4.14 e 4.15) associado a um possível erro sistemático destes sensores. Para o caso da pressão este viés é da ordem de -2.13 mb aproximadamente, enquanto que para a temperatura este viés é +0,8 °C, dentro dos intervalos de pressão e temperatura observados neste levantamento.

Tabela 4.4. Constantes de calibração dos piranômetros PSP1, PSP2 e PBW da Eppley.

Período da calibração (Local)	Informações de calibração	KPSP1 ($\mu\text{V/Wm}^{-2}$)	kPSP2 ($\mu\text{V/Wm}^{-2}$)	KPBW ($\mu\text{V/Wm}^{-2}$)
1990 (EUA)	Não fornecidas Pelo fabricante	$8,53 \pm 0,05$	$8,55 \pm 0,05$	$8,62 \pm 0,09$
16 de abril de 1998 (Meteo-France, França)	Método do Quociente	$8,38 \pm 0,05$		
Janeiro de 1996 a Maio de 1999-06-28 (SP)	Método do Quociente		$8,17 \pm 0,12$	$8,93 \pm 0,13$

Tabela 4.5. Coeficiente de correlação linear entre as constantes de calibração dos piranômetros PSP2 e PBW e os valores médios da temperatura, umidade relativa do ar e intensidade do sinal do PSP1.

	kPSP2 ($\mu\text{V/Wm}^{-2}$)	KPBW ($\mu\text{V/Wm}^{-2}$)
Temperatura média do ar ($^{\circ}\text{C}$)	-0,05	-0,40
Umidade relativa média do ar (%)	0,45	0,31
Intensidade média do sinal do PSP1 (mV)	0,06	-0,53

Tabela 4.6: Constantes e períodos de calibração dos piranômetros ESC2, ESC3 e ESC4, construídos pelo Grupo de Radiometria Solar da Unesp de Botucatu, utilizando como referência o piranômetro PSP1 Eppley com constante de calibração igual a $8,53 \mu\text{V/Wm}^{-2}$ e realizada em Botucatu. Em 1996 foi utilizada uma constante de calibração para o PSP1 igual a $8,38 \mu\text{V/Wm}^{-2}$

Período da calibração (Local)	Informações de calibração	kESC2 Escobedo7 ($\mu\text{V/Wm}^{-2}$)	kESC3 Escobedo8 ($\mu\text{V/Wm}^{-2}$)	kESC4 Escobedo4 ($\mu\text{V/Wm}^{-2}$)
08 de setembro à 12 de outubro de 1995. (Botucatu)	Método do quociente	$13,51 \pm 0,41$	$15,75 \pm 0,19$	$10,21 \pm 0,11$
1996 (SP)	Método do quociente	$13,68 \pm 0,25$	$15,02 \pm 0,23$	$11,73 \pm 0,19$

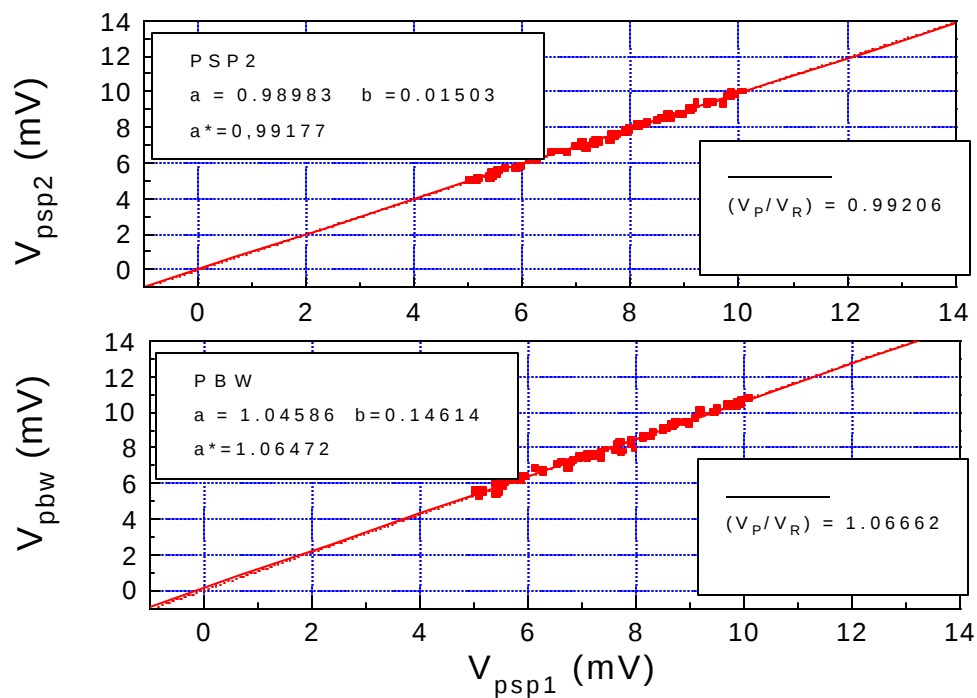


Figura 4.1: Curvas de calibração obtidas a partir da observação de radiação global realizadas durante período de calibração de Janeiro de 1999, para os piranômetros da Eppley, PSP2 (topo) e PBW. A curva obtida pelo método da regressão é indicada por uma linha contínua e da regressão passando pela origem por uma linha tracejada. O valor médio do quociente é indicado no canto inferior direito em cada gráfico.

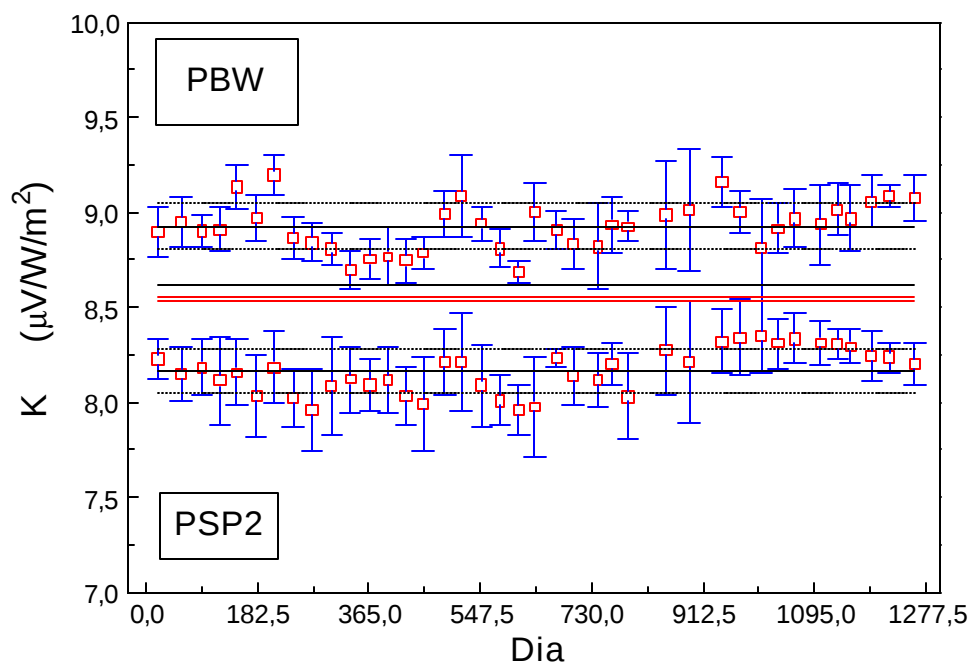


Figura 4.2: Evolução temporal das constantes de calibração dos piranômetros PSP2 e PBW observada durante as 39 campanhas de calibração entre janeiro de 1996 e junho de 1999.

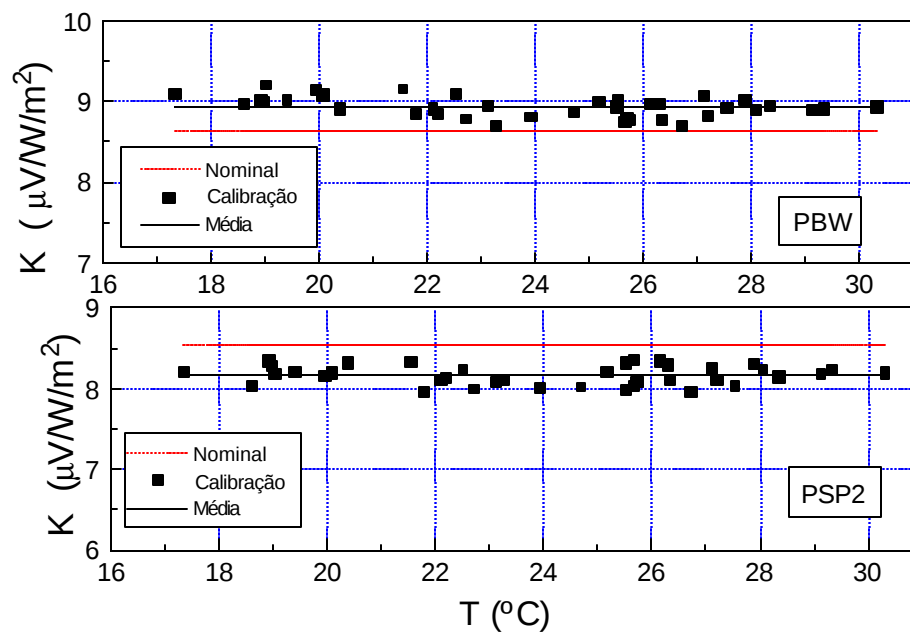


Figura 4.3: Distribuição das constantes de calibração dos piranômetros PSP2 e PBW em função da temperatura média do ar observada durante as 39 campanhas de calibração entre janeiro de 1996 e abril de 1999.

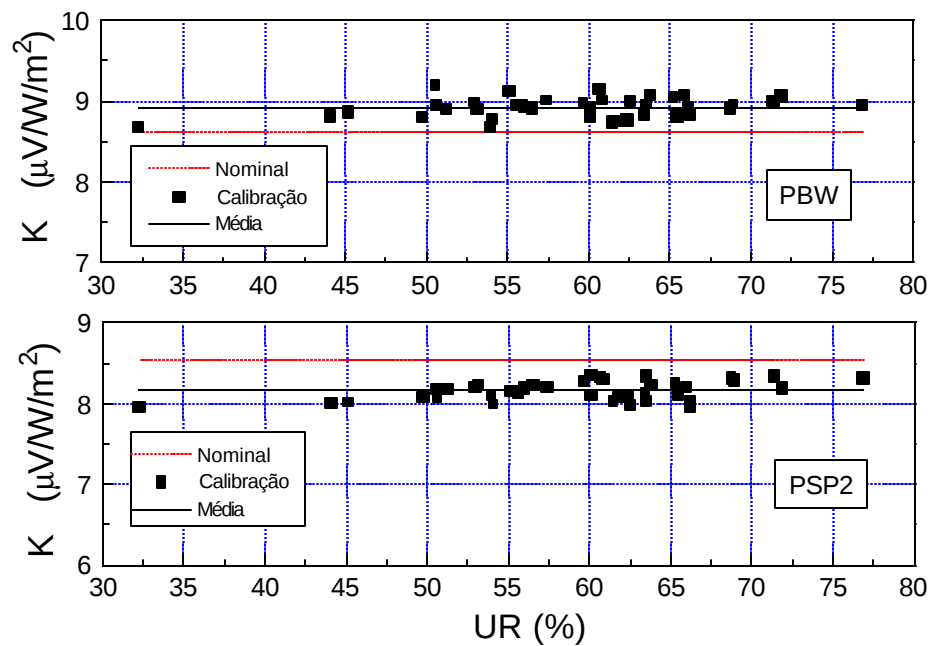


Figura 4.4: Distribuição das constantes de calibração dos piranômetros PSP2 e PBW em função da umidade relativa média do ar observada durante as 39 campanhas de calibração entre janeiro de 1996 e abril de 1999.

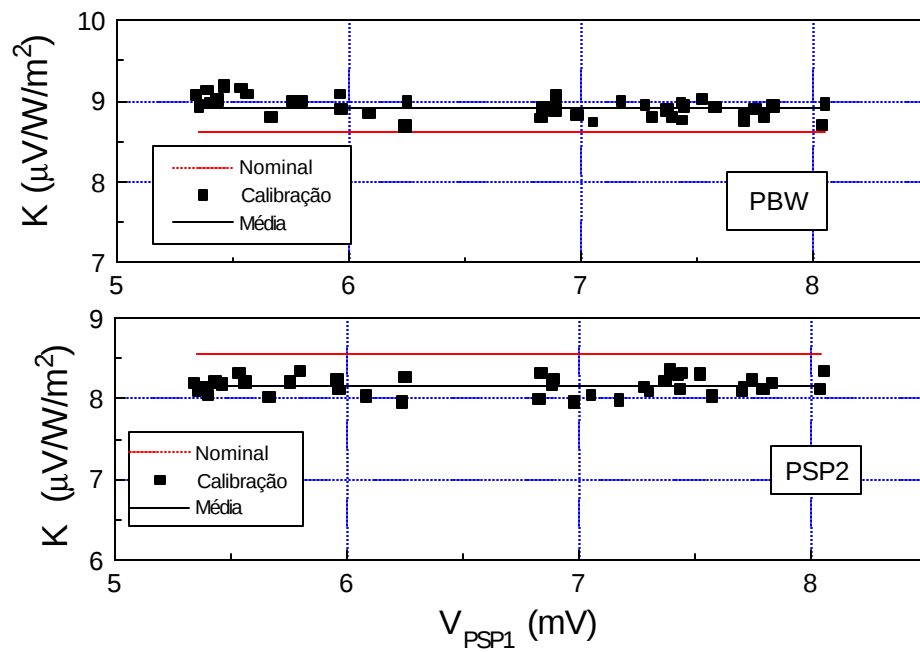


Figura 4.5: Distribuição das constantes de calibração dos piranômetros PSP2 e PBW em função da intensidade média do sinal do PSP1 observada durante as 39 campanhas de calibração entre janeiro de 1996 e abril de 1999.

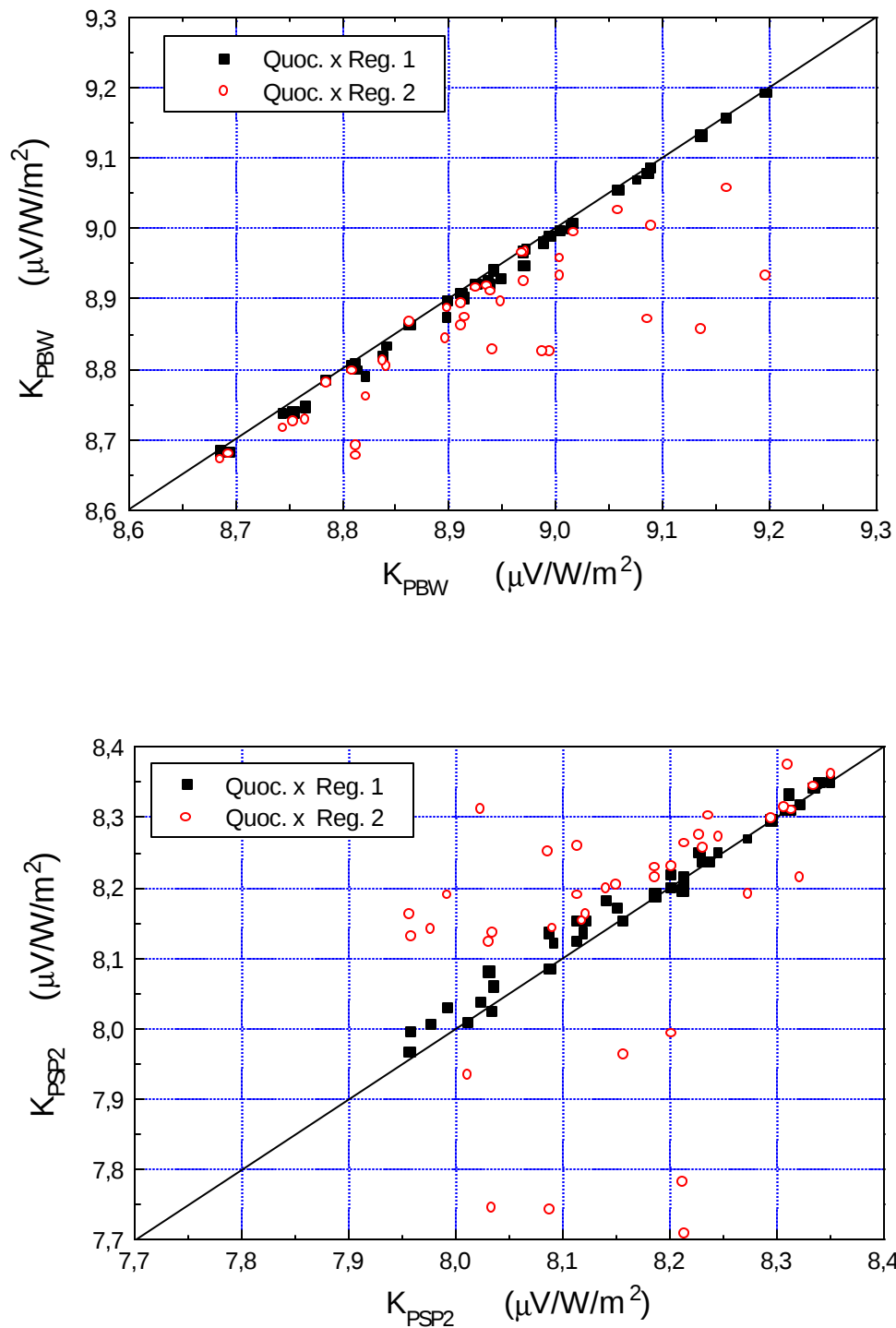


Figura 4.6: Diagrama de dispersão dos coeficientes de calibração calculados pelo método do quociente (Quoc. e eq. 1) versus método da regressão passando pelo zero (Reg. 1 e eq. 5) e versus método da regressão (Reg. 2 eq. 2).

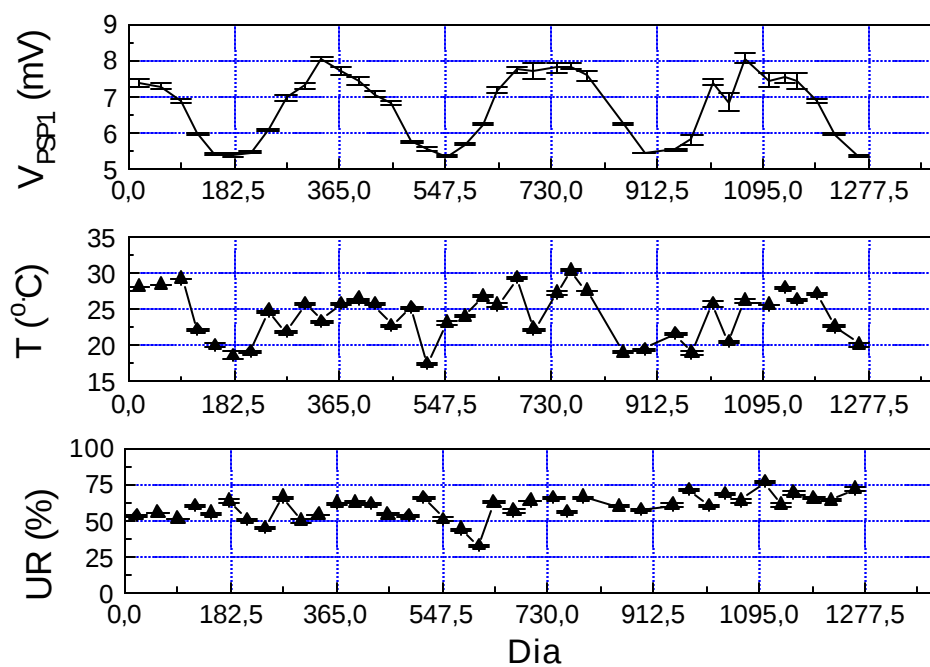


Figura 4.7: Evolução temporal da intensidade média do sinal medido pelo piranômetro PSP1 (topo); temperatura média do ar (centro) e umidade relativa média do ar. Dados observados durante as 39 campanhas de calibração de janeiro de 1996 a junho de 1999.

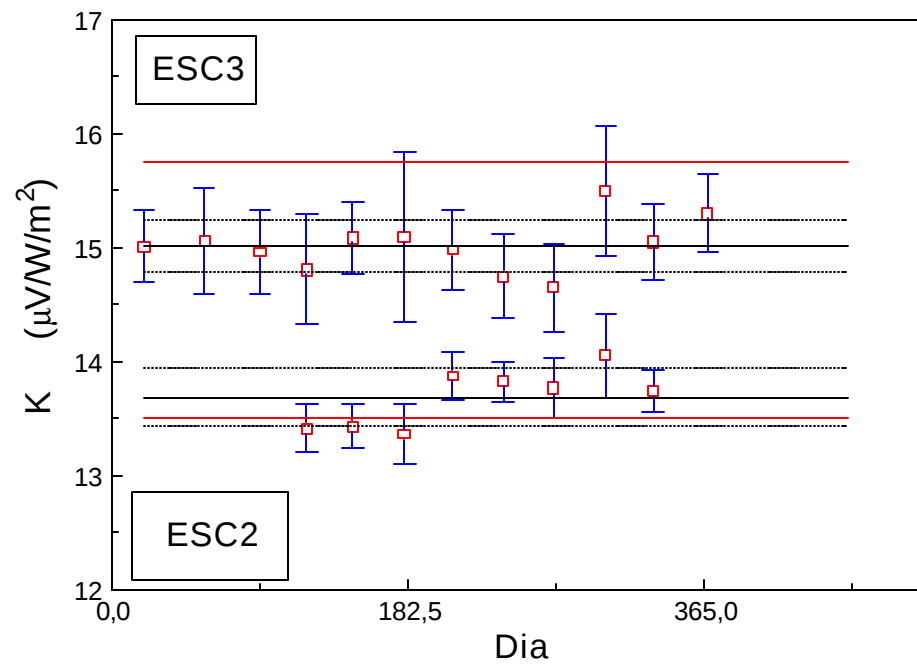


Figura 4.8: Evolução temporal da constante de calibração dos piranômetros ESC2 e ESC3, para o período de janeiro a dezembro de 1996.

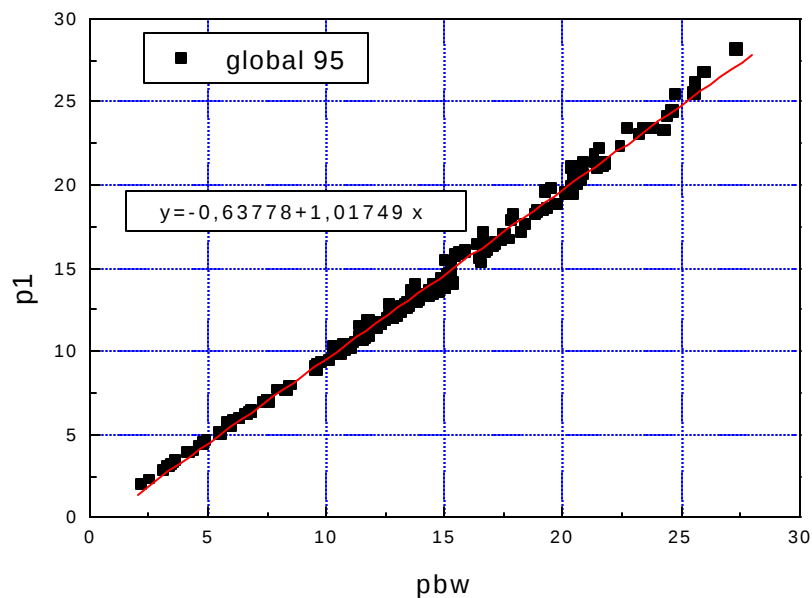


Figura 4.9: Diagrama de dispersão entre os totais horários de radiação global (W/m^2) observados pelo protótipo P1 em relação ao piranômetro PBW, entre 1 de janeiro e 23 de julho de 1995.

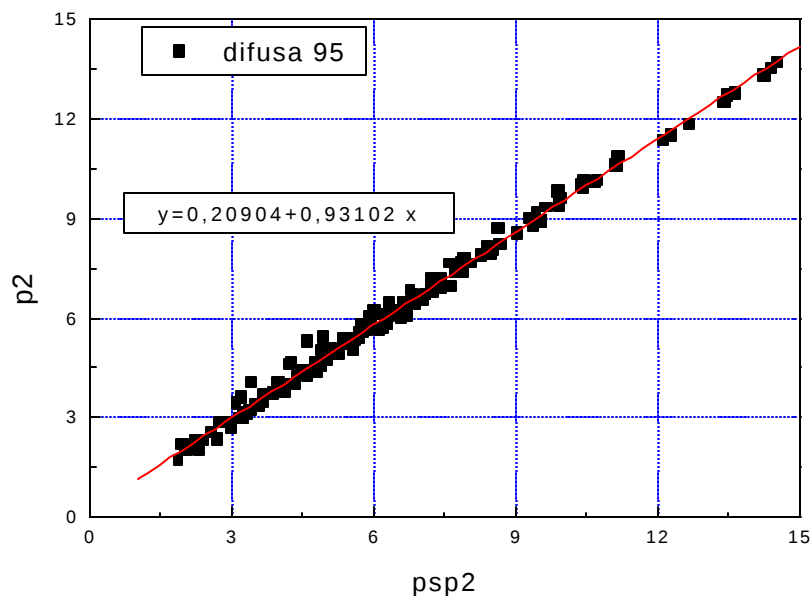


Figura 4.10: Diagrama de dispersão entre os totais horários de radiação difusa (MJ/m^2) observados pelo protótipo P2 em relação ao piranômetro PSP2, entre 1 de janeiro e 23 de julho de 1995.

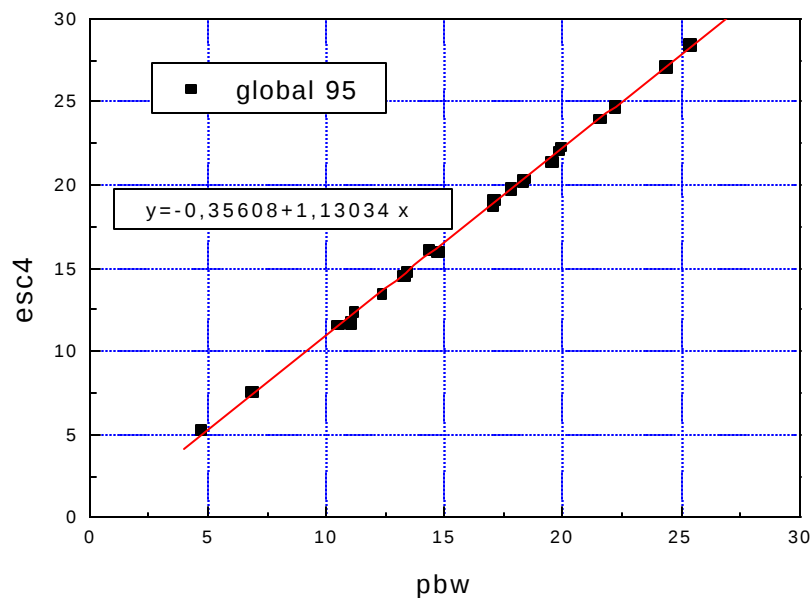


Figura 4.11: Diagrama de dispersão entre os totais horários de radiação global (MJ/m^2) observados pelo piranômetro ESC4 em relação ao piranômetro PBW, entre os dias 8 e 31 de dezembro de 1995.

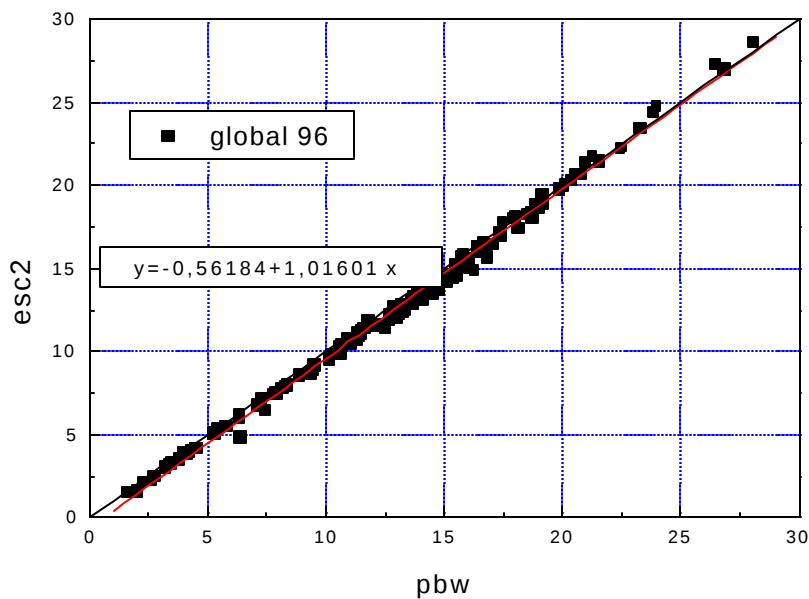


Figura 4.12: Diagrama de dispersão entre os totais horários de radiação global (MJ/m^2) observados pelo piranômetro ESC2 em relação ao piranômetro PBW, entre 15 de abril e 31 de dezembro de 1996.

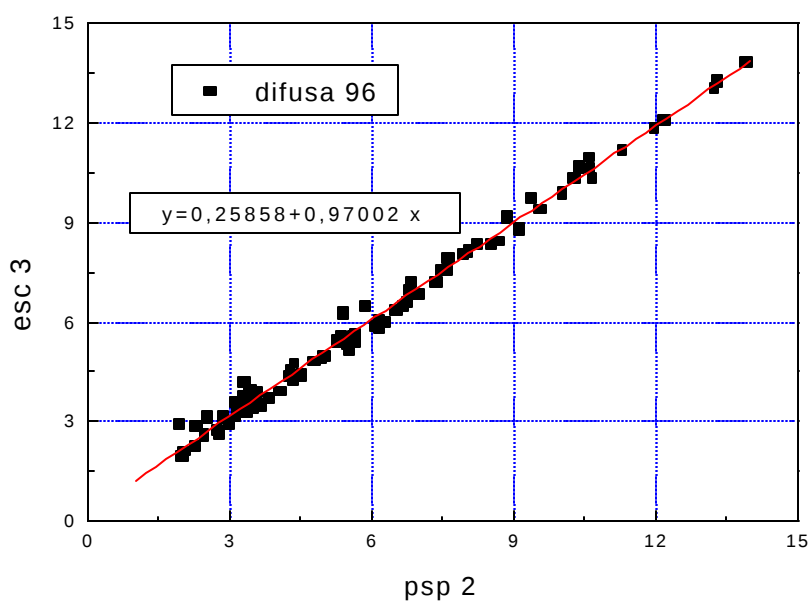


Figura 4.13: Diagrama de dispersão entre os totais horários de radiação difusa (MJ/m^2) observados pelo piranômetro ESC3 em relação ao piranômetro PSP2, entre 15 de abril e 31 de dezembro de 1996.

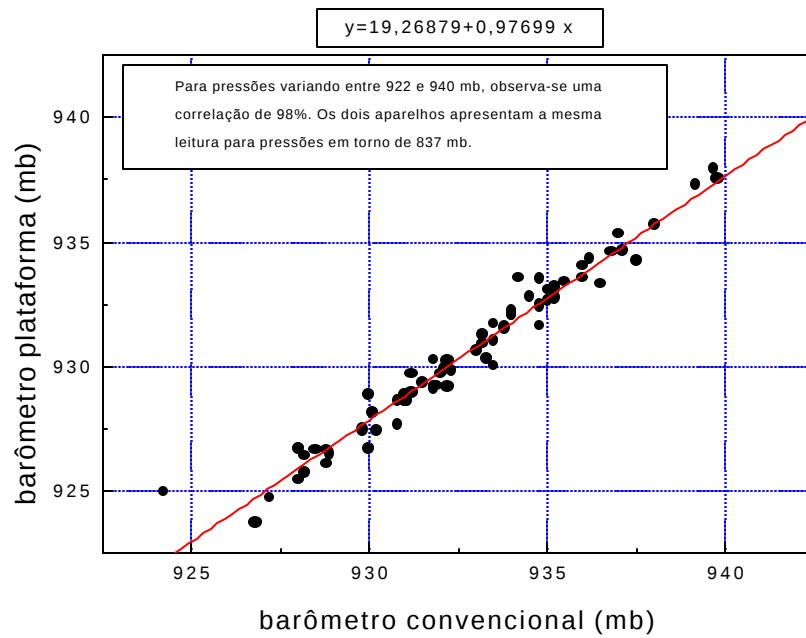


Figura 4.14: Regressão linear entre os valores de pressão lidos no barômetro do laboratório e os obtidos com o barômetro da plataforma.

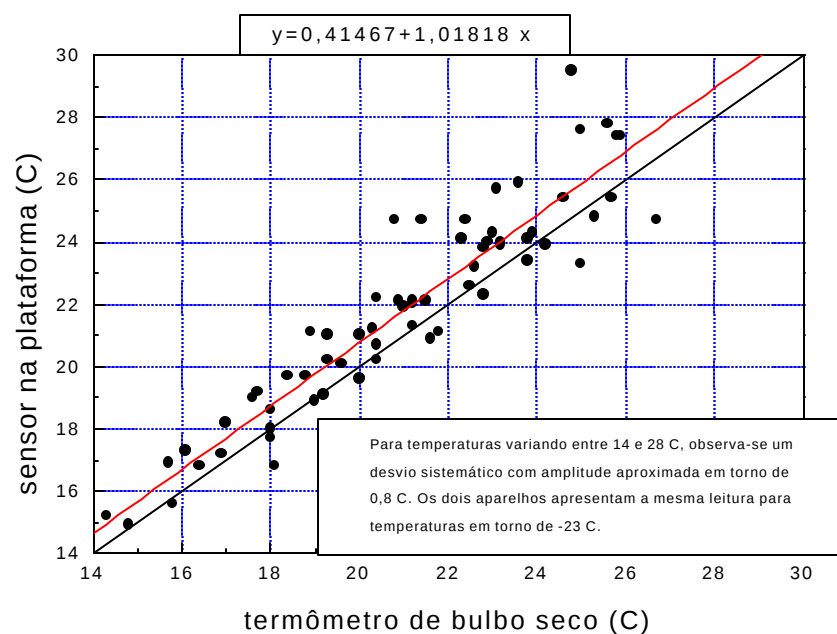


Figura 4.15: Regressão linear entre os valores de temperatura lidos com o termômetro de bulbo seco e os obtidos com o sensor da plataforma.

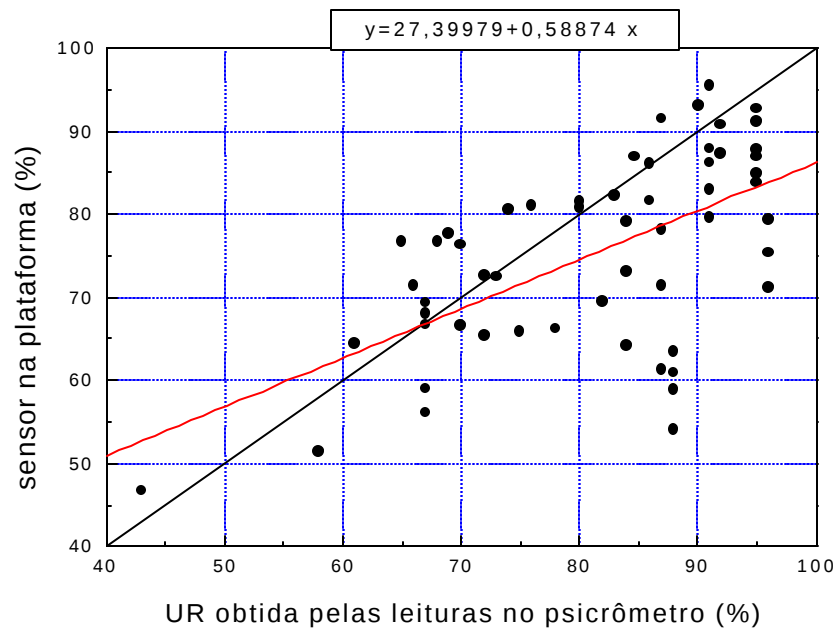


Figura 4.16: Regressão linear entre os valores de umidade relativa obtidos através das leituras no psicrômetro e os valores obtidos com o sensor da plataforma.

5 – Estimativa da Correção da Radiação Difusa

As observações da radiação solar difusa na plataforma radiométrica do IAG/USP são feitas através do bloqueio da radiação solar direta por um anel de sombreamento, desenvolvido pelo grupo de Radiometria Solar da UNESP (Melo, 1993).

Neste dispositivo, a sombra é gerada por um anel sombreador de 40,5 cm de raio e 10 cm de largura. A posição do anel sombreador é fixa e o seu eixo está orientado paralelamente ao eixo da Terra. A variação sazonal da sombra do anel é acompanhada movendo-se horizontalmente o piranômetro sombreado (Fig. 5.1).

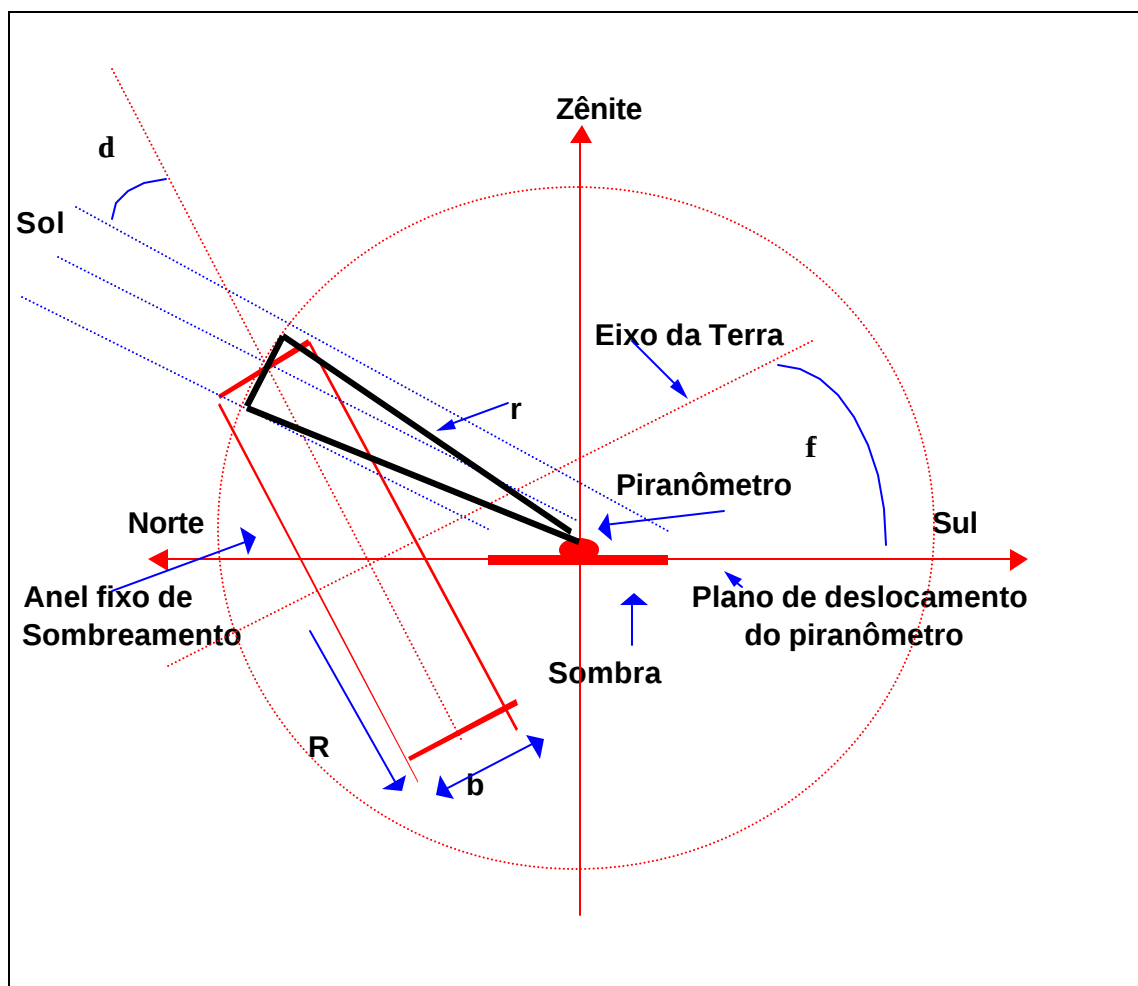


Figura 5.1: Esquema do dispositivo de sombreamento usado na plataforma do IAG/USP para estimar radiação difusa. Neste dispositivo o anel está fixo e o piranômetro é deslocado horizontalmente para acompanhar a variação da posição da sombra. Neste esquema R e b correspondem ao raio e largura do anel; δ e ϕ correspondem a declinação solar e a latitude local. O círculo (linha tracejada) corresponde a esfera centrada no piranômetro, cujo raio r indica a distância entre o anel e o piranômetro.

O dispositivo usado aqui foi escolhido para medir a radiação solar difusa devido ao fato de ele ter uma configuração muito mais simples e um custo menor, quando comparado a outros dispositivos (Escobedo, et al., 1997 a e b). Este dispositivo requer somente que se mova o sensor horizontalmente para compensar-se a variação sazonal da posição do Sol.

Como nos outros dispositivos que usam anel, os valores de radiação difusa necessitam de uma correção para compensar a parcela da radiação difusa que também acaba sendo bloqueada pelo anel. Em geral, esta correção é feita multiplicando-se o valor observado por um fator de correção calculado através da seguinte expressão: $F_c = (1 - X/T)^{-1}$, onde X/T representa a fração da radiação difusa que é interceptada pelo anel.

No caso do anel usado na plataforma do IAG/USP, esta fração é dada por:

$$\frac{X}{T} = \left(\frac{2b}{\pi R} \right) \cos(\delta) \left[\frac{\cos(\phi + \delta)}{\cos(\phi)} \right]^2 \frac{\int_0^{\omega_p} \cos(z) d\omega}{[1 - (b/2R) \tan(\phi)]^2} \quad (7)$$

e corresponde à razão entre a parcela da radiação solar difusa interceptada pelo anel sombreador e a quantidade total que atinge a superfície horizontal,

sendo que $\int_0^{\omega_p} \cos(z) d\omega$ corresponde à integral do co-seno do ângulo zenital do Sol em relação ao seu ângulo horário (ω), sobre metade do período diurno (ω_p).

A expressão acima é equivalente à expressão para o dispositivo de Drumond (no qual o piranômetro é fixo e o anel por sua vez é deslocado na direção paralela ao eixo da Terra), tornando-se igual a zero quando o dispositivo de Escobedo é utilizado sobre o Equador (Lebaron et al., 1990).

Para a latitude de São Paulo, o fator de correção tem um valor máximo igual a 1,27 no solstício de verão (no período compreendido entre os dias julianos 14 e 17 e novamente no período entre os dias 329 e 332) quando a distância entre o anel e o piranômetro alcança seu valor mínimo de 35 cm (Fig. 5.1).

Apesar de parecer uma grande correção e poder gerar algumas dúvidas sobre os benefícios de utilizar-se este dispositivo, parece razoável quando comparado ao dispositivo de Drumond (com R e b similares) que requer no pior caso cerca de 17 % de correção (entre os dias julianos 55 a 58 e 289 a 292, Fig. 5.2, topo), que correspondem aos períodos quando a distância entre o anel sombreador e o piranômetro está próximo a um mínimo de 41 cm.

Por outro lado, próximo ao solstício de inverno o dispositivo de Escobedo tem um fator igual a 1,058 (entre os dias julianos 170 e 173) que corresponde a uma distância máxima entre o anel e o piranômetro de 51,3cm, que é menor quando comparado ao dispositivo de Drumond que tem um fator de 1,080 (entre os dias 170 e 173), que corresponde à distância máxima de 44,0 cm (Fig. 5.2).

A fim de verificar-se a performance do dispositivo utilizado para estimar a radiação solar difusa, um conjunto de 17 dias de observações de radiação difusa, em 1997, usando-se o anel sombreador, é comparado com a radiação solar difusa estimada, a partir de medidas de radiação solar direta utilizando-se o pireliômetro NIP, assumindo-se a medida obtida pelo NIP como referência de ambas as componentes da radiação solar. Esta hipótese é justificada pelo fato de que o NIP é considerado um sensor de primeira classe (WMO, 1971).

Nas Figuras 5.3 e 5.4 são apresentadas as radiações difusa e direta integradas no período de uma hora, sem e com fator de correção respectivamente. A componente difusa é sistematicamente subestimada quando o anel sombreador é usado. E torna-se mais próximo do valor assumido como verdadeiro (pireliômetro) quando o fator de correção é aplicado. Por outro lado a componente direta medida por ambas as técnicas são equivalentes e a aplicação do fator de correção não afeta significativamente os resultados. Na figura 5.3 é evidente a aproximação da linha ajustada à diagonal e o valor do coeficiente angular aproxima-se mais do valor unitário quando o fator de correção é aplicado.

Deve ser ressaltado que apesar de ocorrer uma melhora na estimativa da radiação difusa, existe ainda uma discrepância que necessita de ser investigada. Uma das possíveis razões para esta discrepância pode estar ligada a validade da hipótese da isotropia, assumida para estimar o fator de correção (equação 6).

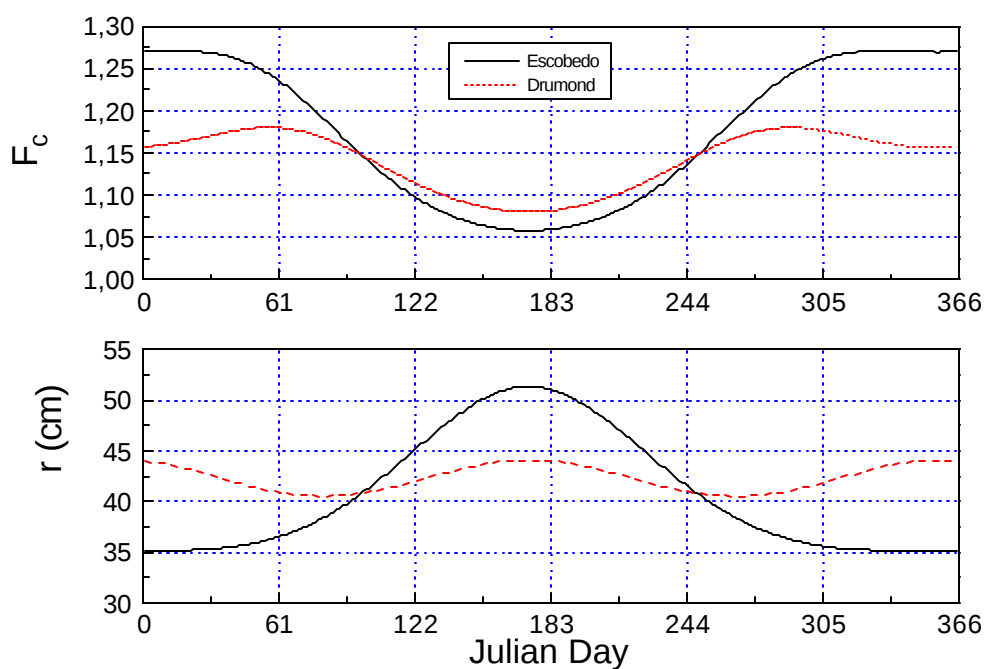


Figura 5.2: Variação sazonal do fator de correção (topo) e da distância entre o anel sombreador e o piranômetro para o anel sombreador com raio igual a 40,5 cm e largura igual a 10 cm. As linhas contínuas correspondem ao dispositivo usado na plataforma do IAG/USP o (anel fixo e piranômetro móvel) enquanto as linhas tracejadas correspondem a um dispositivo similar ao de Drumond (piranômetro fixo e anel móvel) com raio e largura iguais aos do IAG. A latitude 23.56° S corresponde à Cidade de São Paulo.

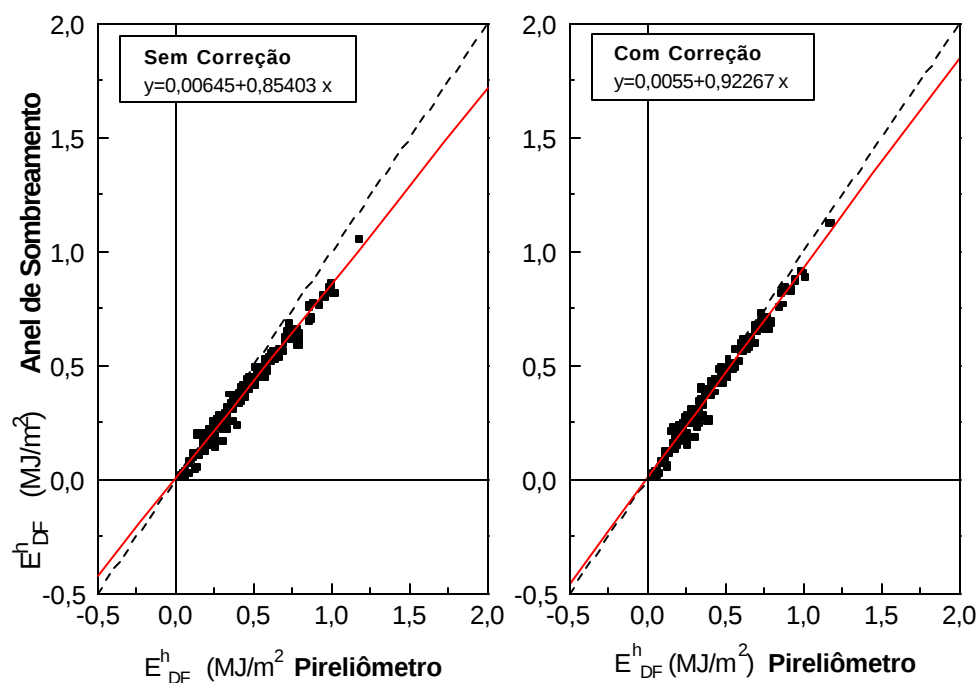


Figura 5.3: Componente difusa da radiação solar integrada no período de uma hora, medida simultaneamente por um anel sombreamento e por um pireliômetro, durante 17 dias em 1997 (9 a 13 de Maio, 8 a 16 de Julho e 18 a 19 de Agosto). As linhas tracejadas correspondem à diagonal e as linhas contínuas correspondem à regressão linear pelo método dos mínimos quadrados, como indicado na legenda no topo de cada gráfico.

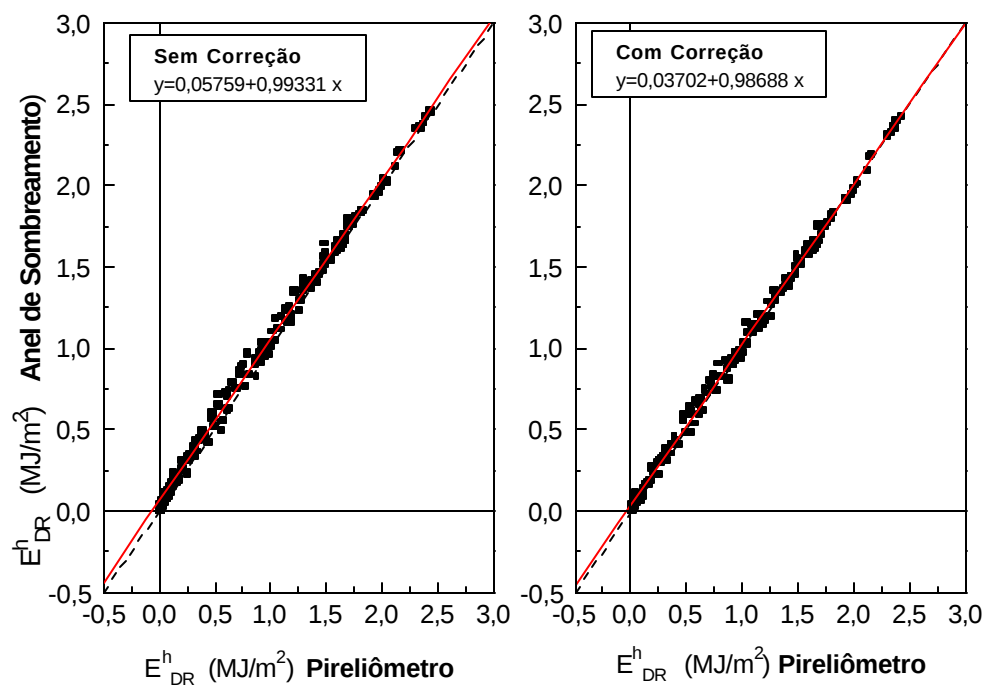


Figura 5.4: Componente direta da radiação solar integrada no período de uma hora, medida simultaneamente com o anel de sombreamento e com o pireliômetro, durante 17 dias em 1997 (9 a 13 de Maio, 8 a 16 de Julho e 18 a 19 de Agosto). As linhas tracejadas correspondem à diagonal e as linhas contínuas correspondem à regressão linear pelo método dos mínimos quadrados, como indicado na legenda no topo de cada gráfico.

6- Evolução Temporal da Radiação Solar Global, Difusa e Direta

Desde da implementação da plataforma radiométrica em abril de 1994, as observações de radiação solar global e difusa estão sendo efetuadas de forma contínua, formando até o presente momento um acervo único de mais de 5 anos de dados de radiação solar na Cidade de São Paulo (Cap. 3).

Estas observações estão sendo realizadas com piranômetros da Eppley, PBW (global) e PSP2 (difusa), que estão sendo aferidos de forma contínua desde a instalação da plataforma. As variações inerentes do comportamento destes sensores estão sendo levadas em consideração (Cap. 4). Os valores de radiação difusa estão sendo corrigidos para se levar em conta o efeito de bloqueio do anél sombreador (Cap. 5).

6.1 – Totais Horários, Diários e Mensais

Foram estimados três totais: horário, diário e mensal, para a radiação solar no topo da atmosfera, para a radiação solar incidente na superfície e as suas componentes: difusa e direta.

Estas partições estão sendo indicadas pelos símbolos E_Y^x . O índice Y indica a componente da radiação: **T** para a radiação solar incidente no topo; **G** para a radiação global na superfície, **DF** para a radiação difusa e **DR** para a radiação direta. O índice x indica o intervalo de tempo usado na totalização da radiação: **h**, **d** e **m** indicam períodos de uma hora, um dia e um mês, respectivamente.

Assim, os totais horários, diários e mensais da radiação solar incidente no topo da atmosfera são indicados por: (E_T^h, E_T^d, E_T^m) ; para a radiação solar global na superfície: (E_G^h, E_G^d, E_G^m) ; para a radiação difusa: $(E_{DF}^h, E_{DF}^d, E_{DF}^m)$ e para radiação direta por: $(E_{DR}^h, E_{DR}^d, E_{DR}^m)$.

Os totais horários, diários e mensais da radiação solar global e difusa são estimados a partir da integração do valor observado (1 e 5 minutos) da irradiância da radiação global (I_G) e da sua componente difusa (I_{DF}) de acordo com a expressão:

$$E_Y^x(t_x) = \int_{t_x - \frac{x}{2}}^{t_x + \frac{x}{2}} I_Y(t) dt \quad (8)$$

onde x descreve o intervalo de tempo (1 hora, 1 dia and 1 mês), t_x refere-se ao tempo no meio do intervalo de integração e Y refere-se a cada componente (G para global e DF para difusa). A componente direta da radiação solar na superfície esta sendo estimada através da diferença entre a global e a difusa. $(E_{DR}^x = E_G^x - E_{DF}^x)$.

A radiação solar no topo da atmosfera (E_T^x) está sendo determinada analiticamente

$$E_Y^x(t_x) = \int_{t_x - \frac{x}{2}}^{t_x + \frac{x}{2}} I_Y(t) dt \quad (9)$$

onde a variação temporal da radiação solar é dada através da expressão:

$$I_T(t) = \left[\bar{d} / d(t) \right]^2 \cdot I_0(\bar{d}) \cos[z(t)] \quad (10)$$

onde $[z(t)]$ é o ângulo zenital do sol, $[d(t)]$ é a distancia Sol-Terra, $I_0(\bar{d})$ é a constante solar (1356 W/m^2). As evoluções temporais da declinação solar, da distância Sol-Terra e da equação do tempo são determinadas através de polinômios do tipo $F(\theta) = a_0 + a_1 \cos \theta + a_2 \sin \theta + a_3 \cos 2\theta + a_4 \sin 2\theta$, onde $\theta = 2\pi d^*/365$, e $d^* = 0$ para o dia Juliano iguala 1 e $d^* = 364$ para o dia Juliano igual a 365. Os coeficientes dos polinômios são apresentados na tabela 6.1. Neste trabalho a equação do tempo é utilizada para converter a evolução horária da radiação no topo em termos da hora local, tendo em vista que todos os dados observados estão registrados em hora local.

O total diário de radiação solar que atinge o topo da atmosfera por unidade de área é estimado pela seguinte expressão:

$$E_T^d = E_0^d(d) \left[(\pi/180) \cdot H_{\text{ocaso}} \cdot \sin \phi \cdot \sin \delta + \cos \phi \cdot \cos \delta \cdot \sin H_{\text{ocaso}} \right] \quad (11)$$

onde H_{ocaso} é o ângulo horário do por do Sol; ϕ é a latitude geográfica e δ é a declinação solar. E_0 é determinado pela seguinte expressão:

$$E_0^d(d) = (\bar{d}/d)^2 \cdot I_0(\bar{d}) \cdot (86400/\pi) \quad (12)$$

O total horário da radiação solar que atinge o topo da atmosfera por unidade de área pode ser estimado pela seguinte expressão:

$$E_T^d = E_0^h(d) \left[(\pi/180) \cdot [H_t - H_{t+\Delta t}] \cdot \sin \phi \cdot \sin \delta + \cos \phi \cdot \cos \delta \cdot [\sin H_t - \sin H_{t+\Delta t}] \right]$$

onde H_t e $H_{t+\Delta t}$ são os ângulos horários do Sol nos instantes t e $t+\Delta t$ e $E_0^h(d)$ é determinado pela seguinte expressão:

$$E_0^h(d) = (\bar{d}/d)^2 \cdot I_0(\bar{d}) \cdot (43200/\pi) \quad (13)$$

Na Figura 6.1 são apresentadas a evolução diurna dos valores horários da radiação solar no topo da atmosfera, da radiação solar global, difusa e direta observadas durante o dia mais longo do ano de 1997 (22 de dezembro) e durante o dia mais curto do ano de 1995 (22 de junho). Na Figura 6.2 são apresentados a evolução mensal dos totais diários observados durante o mes de junho de 1999. Na Figura 6.3 são apresentados a evolução temporal dos totais mensais da radiação solar no topo da atmosfera, global e difusa observados entre abril de 1994 a junho de 1999. Na Fig. 6.2 são apresentados também os totais diários da radiação solar difusa (quadrado aberto) estimados a partir do valor total diário da radiação global observada e utilizando-se um polinomio de quarta ordem.

6.2 – Frações e Médias Mensais

A partir dos totais horários, diários e mensais foram estimados dois conjuntos de frações: E_Y^x/E_T^x e E_Y^x/E_G^x . O primeiro conjunto de frações indica a distribuição relativa dos totais da radiação solar global, difusa e direta em relação aos respectivos totais da radiação no topo da atmosfera. O segundo conjunto de frações (E_Y^x/E_G^x) indica a distribuição relativa dos totais da radiação solar difusa e direta em relação aos respectivos totais da radiação global na superfície.

Os valores médios mensais são indicados pelo símbolo “ $\langle \rangle$ ” e foram estimados através das seguintes relações:

$$\begin{aligned}\langle E_Y^h \rangle &= \frac{1}{N \cdot M} \left[\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M (E_Y^h)_{i,j} \right] \\ \langle E_Y^d \rangle &= \frac{1}{N \cdot M} \left[\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M (E_Y^d)_{i,j} \right] \\ \langle E_Y^m \rangle &= \frac{1}{M} \left[\sum_{j=1}^M (E_Y^m)_{i,j} \right]\end{aligned}\tag{14}$$

onde **N** o número de dias do mês e **M** é o número de meses no conjunto de dados.

Estes valores médios mensais dos totais horários, diários e mensais foram utilizados para estimar as **frações das médias** da seguinte forma: $\langle E_Y^x \rangle / \langle E_T^x \rangle$ e $\langle E_Y^x \rangle / \langle E_G^x \rangle$. É interessante observar que as **frações das médias mensais** no caso de $\langle E_Y^x \rangle / \langle E_T^x \rangle$ é sempre igual a **média mensal das frações**, $\langle E_Y^x / E_T^x \rangle$, para os totais horários, diários e mensais. Isto se deve ao fato dos totais horário, diário e mensal da radiação solar no topo da atmosfera não variar muito durante o período de um mês. Por outro lado, as **frações das médias mensais** no caso de $\langle E_Y^x \rangle / \langle E_G^x \rangle$ só é igual a **média mensal das frações**, $\langle E_Y^x / E_G^x \rangle$ para os totais mensais. Nos totais horários e diários $\langle E_Y^x \rangle / \langle E_G^x \rangle$ é sempre maior do que $\langle E_Y^x / E_G^x \rangle$.

Uma descrição detalhada destes totais médios mensais, bem como das frações destes valores médios, além das médias mensais das frações, é apresentada nas tabelas 6.2 a 6.9 (Apêndice D), tanto para totais horários, como diários e mensais.

A evolução diurna do total horário médio mensal estimado para todos os 12 meses do ano é apresentada nas Figs. 6.4 a 6.15 (Apêndice C).

A evolução diurna das frações com relação ao valor horário médio mensal da radiação solar no topo da atmosfera são apresentadas nas Figs. 6.16 até 6.27 (Apêndice C)

A evolução diurna das frações com relação ao valor horário médio mensal da radiação solar global é apresentada nas Figs. 6.28 até 6.39 (Apêndice C)

Estes gráficos foram obtidos utilizando-se:

- As constantes de calibração **obtidas a partir das 39 calibrações** (Tabela 4.4) e as **com** correções da radiação difusa devido ao efeito de bloqueio;
- as constantes de calibração **nominais** (Tabela 4.4) e **com** as correções da radiação difusa devido ao efeito de bloqueio;

(c) as constantes de calibração **nominais** (Tabela 4.4) e **sem** as correções da radiação difusa devido ao efeito de bloqueio;

De um modo geral verifica-se que existem discrepâncias muito grandes entre as condições (a) e (c), principalmente no caso das frações dos valores médios utilizando-se a radiação global.

Nas Figuras 6.40 a 6.42 são mostrados evolução anual dos valores totais horários médios mensais e as respectivas frações das médias mensais, observados entre 12:00 e 13:00 horas. Este horário corresponde ao máximo da evolução diurna destas variáveis.

Nas Figuras 6.43 a 6.45 são mostrados a evolução anual dos valores totais diários médios mensais e as respectivos frações das médias mensais.

Nas Figuras 6.46 a 6.48 são mostrados a evolução anual dos valores totais mensais médios mensais e as respectivas frações das médias mensais.

Nestas figuras são também indicados as estimativas utilizando-se as condições (b) e (c) apresentadas acima. As discrepâncias observadas nas evoluções diurnas dos totais horários são encontradas nestas evoluções anuais. As maiores discrepâncias são encontradas no período de verão, quando as correções devido ao efeito do bloqueio do anél é maior.

É possível identificar dois padrão de comportamento nestes valores medios mensais: (i) período ***primavera-verão*** e o período de ***outono-inverno***. Este comportamento se deve ao fato de que nos meses de inverno, a atmosfera em São esta mais seca e com menor quantidade de nebulosidade (Cap. 7).

6.3 – Diagramas $K_T^x - K_d^x$

Algumas destas frações apresentam uma relação entre bem definida entre elas e podem ser utilizadas para estimativas empíricas do comportamento da radiação difusa (Liu e Jordan 1961). A fração entre a radiação global e a radiação incidente no topo é denominada de índice de “claridade” (“clearness index”) enquanto que a fração entre a componente difusa e a radiação global é denominada de fração difusa (“Diffuse fraction”). Estas frações são também conhecidas como $K_T^x = E_G^x / E_T^x$ e $K_d^x = E_d^x / E_G^x$ e apresentam um grau de correlação muito grande, o que permite determinar uma relação entre elas. Em geral, estas relações são determinadas a partir de diagramas $K_T^x - K_d^x$ e são apresentadas na forma de polinômios do tipo $K_d^x = f(K_T^x)$.

Nas figuras 6.49-51 são apresentados os diagramas $K_T^x - K_d^x$ para os valores horários, diários e mensais. Na tabela 6.10 são apresentados os coeficientes dos polinômios derivados a partir das observações.

Tabela 6.1: Constantes utilizadas nas expressões polinomiais aplicadas para estimar a evolução temporal da declinação solar, a distância Terra-Sol e a equação do tempo, $F(\theta) = a_0 + a_1 \cos \theta + a_2 \sin \theta + a_3 \cos 2\theta + a_4 \sin 2\theta$, Iqbal (1983).

Constante (*)	Ângulo de declinação solar	Distância Terra-Sol	Equação do Tempo
a_0	0.006918	1.000110	0.000075
a_1	-0.399912	0.034221	0.001868
a_2	0.070257	0.001280	-0.032077
a_3	-0.006758	0.000719	-0.014615
a_4	0.000908	0.000077	-0.04089

Tabela 6.10: Coeficiente dos polinômios de 4ª ordem ($K_d^x = \sum_{i=1}^5 A_i (K_T^x)^i$), obtidos a partir de um ajuste através dos pontos dos diagramas de dispersão $K_T^x - K_d^x$, horários, diários e mensais. Intervalo de validade $\left[(K_T^x)_{\min} \leq K_T^x \leq (K_T^x)_{\max} \right]$ e valores mínimos de $(K_d^x)_{\min}$.

	A_0	A_1	A_2	A_3	A_4	Intervalo	Mínimo
K_d^h Horário	0.96577	0.79483	-2.99926	-3.13844	5.15774	0.17-0.75	0.185
K_d^d Diário	1.00473	0.47023	-2.88228	-2.53388	4.5938	0.17-0.70	0.150
K_d^m Mensal	1.23518	-1.6820	-	-	-	0.35-0.65	-

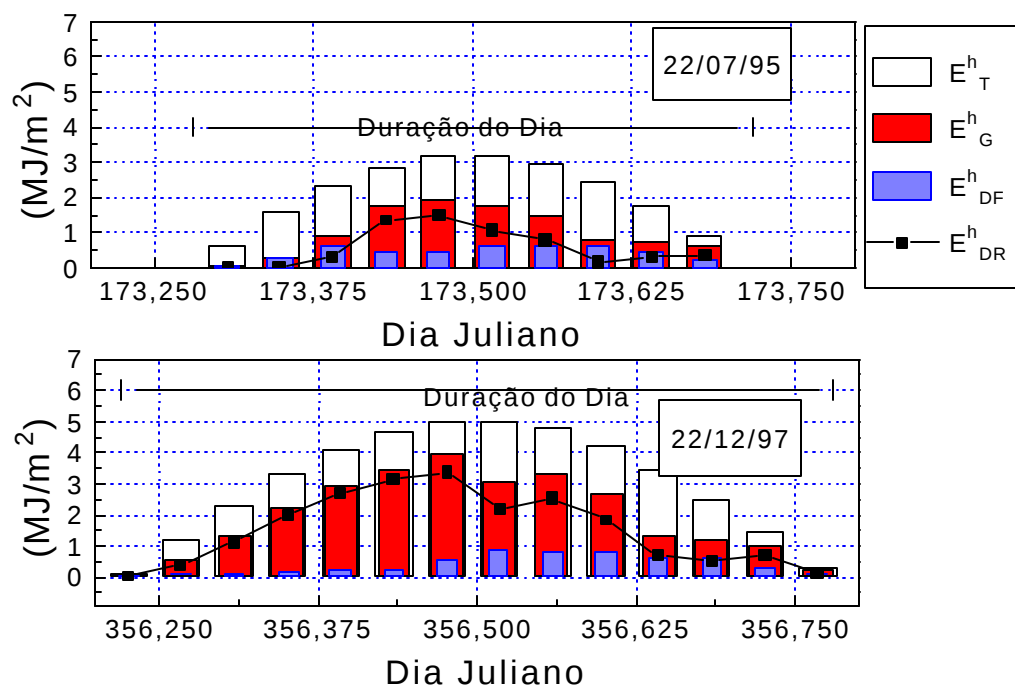


Figura 6.1: Evolução diurna dos totais horários da radiação solar no topo da atmosfera, global, difusa e direta observados nos dias mais curto (173) e mais longo (356) do ano.

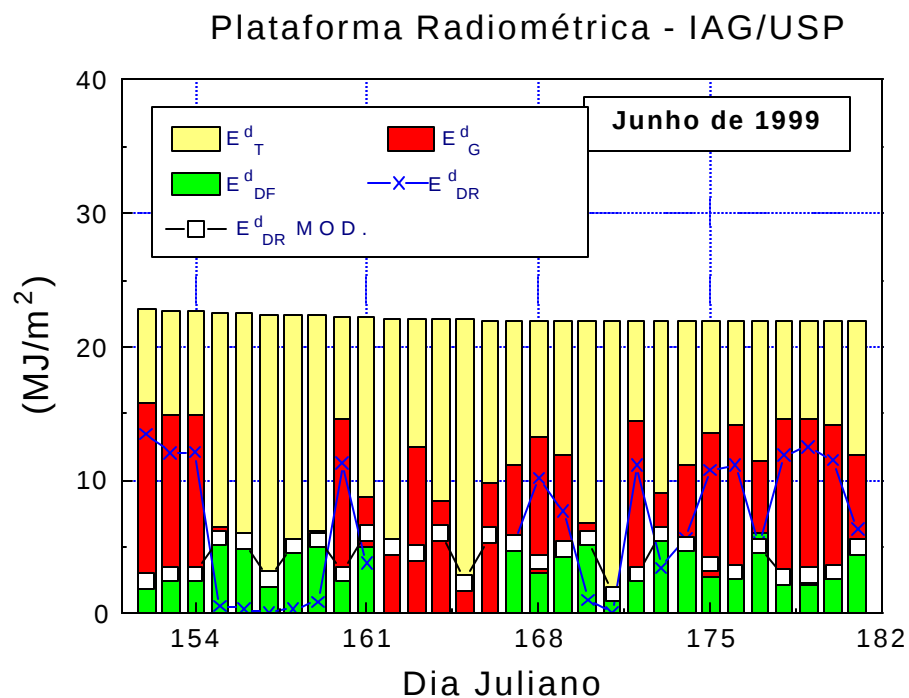
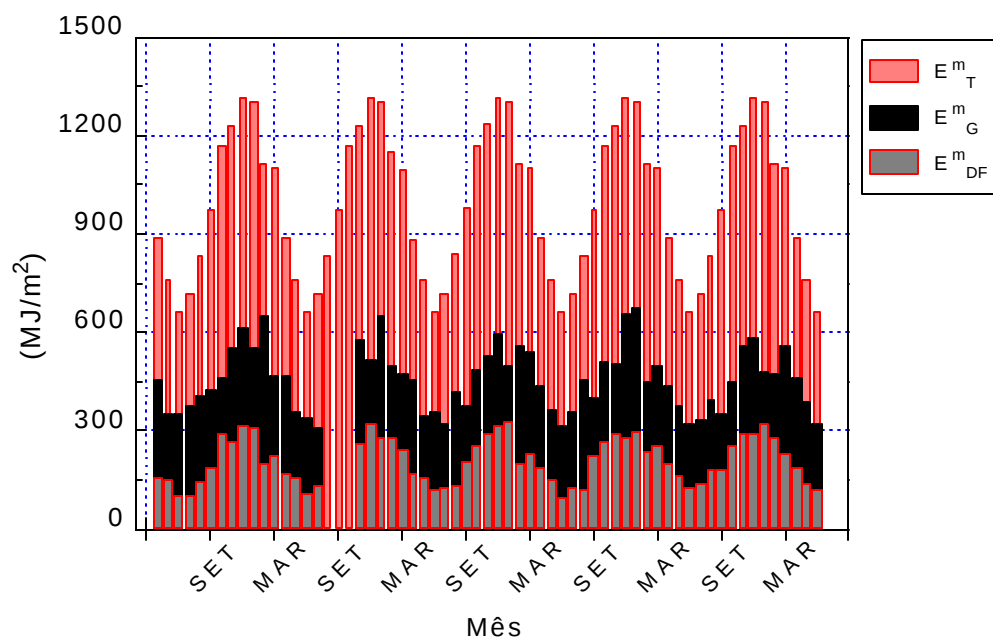


Figura 6.2: Evolução mensal dos totais diários de radiação solar no topo da atmosfera, global, difusa e direta. Valores observados e estimados na Cidade de São Paulo em Junho de 1999.



7 - Dias de Céu Claro – Efeito da Poluição

A partir da organização destes dados, busca-se um padrão que relacione os valores de concentração do material particulado com algum parâmetro radiativo para os dias de céu claro. Para tanto, foi feito o levantamento de tais dias dentro do acervo de dados disponível no Laboratório de Micrometeorologia, para os anos de 1994 a 1999. Novos levantamentos devem ser realizados a fim de implementar este conjunto de dias de céu claro que aqui é apresentado.

7.1 – Dias de Céu Claro

Os dias de céu claro são aqueles dias em que a nebulosidade não é significativa, com as curvas da evolução temporal da radiação solar global e difusa sem oscilações associadas à passagem de nuvens. Na Fig. 7.1 são apresentados um exemplo de dias com característica de céu claro adotados aqui. Utilizando este critério foi possível identificar 190 dias de céu claro dentro de um período de 1892 dias (26 de abril de 1994 a 30 de junho de 1999)

Com exceção dos meses de maio e abril, os dias de céu claro na Cidade de São Paulo apresentam uma distribuição de frequência aproximadamente gaussiana, com um máximo bem definido durante o período de inverno, em Junho com 40 dias (Figura 7.2, topo). No mês de abril ocorre 29 dias de céu claro enquanto que no mês de maio somente 18 dias. Deve ser ressaltado que estes resultados são representativos do período de 5 anos de observação como indicado pela distribuição número de dias e de anos de dados usados nesta análise na Fig. 7.2.

O histograma da distribuição dos dias de céu claro pelas frações dos totais diários da radiação solar apresentados na Fig. 7.3 indicam uma distribuição bem definida em termos destas propriedades (Tabela 7.1). Pode-se verificar que nos dias de céu claro cerca de 80% da radiação global observada na superfície esta associada ao componente direta.

7.2 – Efeito do Material Particulado

Os dados de material particulado estão disponíveis na forma de valores horários médios de poeira inalável ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) obtidos a partir das observações efetuadas em duas estações medidoras da CETESB: Cerqueira Cesar e Lapa. Estas estações estão localizadas a cerca de 4 km da Cidade Universitária (CETESB, 1995). Estão disponíveis dados de abril de 1994 a setembro de 1997, na forma de tabelas. Estes dados foram digitados em arquivos de microcomputador.

Os valores médios diários de material particulado observado nas duas estações de medição (Lapa e Cerqueira César) apresenta uma boa correlação, sendo que na Lapa a concentração é sistematicamente maior do que em Cerqueira Cesar (Figura 7.4). Tendo em vista estes resultados, optou-se em correlacionar as frações de radiação solar observadas durante estes dias de céu claro com os valores de concentração média diária de material particulado observados na Lapa (Fig. 7.5). Observa-se que existe uma correlação negativa entre as frações dos totais diários de radiação solar global pelo topo e o valor médio da concentração de material particulado presente na atmosfera. Curiosamente, não foi observado nenhum

correlação significativa com a fração dos total diário de radiação difusa pela topo e a concentração média de material particulado.

Tabela 7.1: Valores médios das frações dos totais diários de radiação solar observados durante os 190 dias de céu claro em São Paulo.

Parâmetro	Valor Médio
$\langle E_G^d / E_T^d \rangle$	0.651
$\langle E_{DF}^d / E_T^d \rangle$	0.128
$\langle E_{DR}^d / E_T^d \rangle$	0.518
$\langle E_{DF}^d / E_G^d \rangle$	0.196
$\langle E_{DR}^d / E_g^d \rangle$	0.804

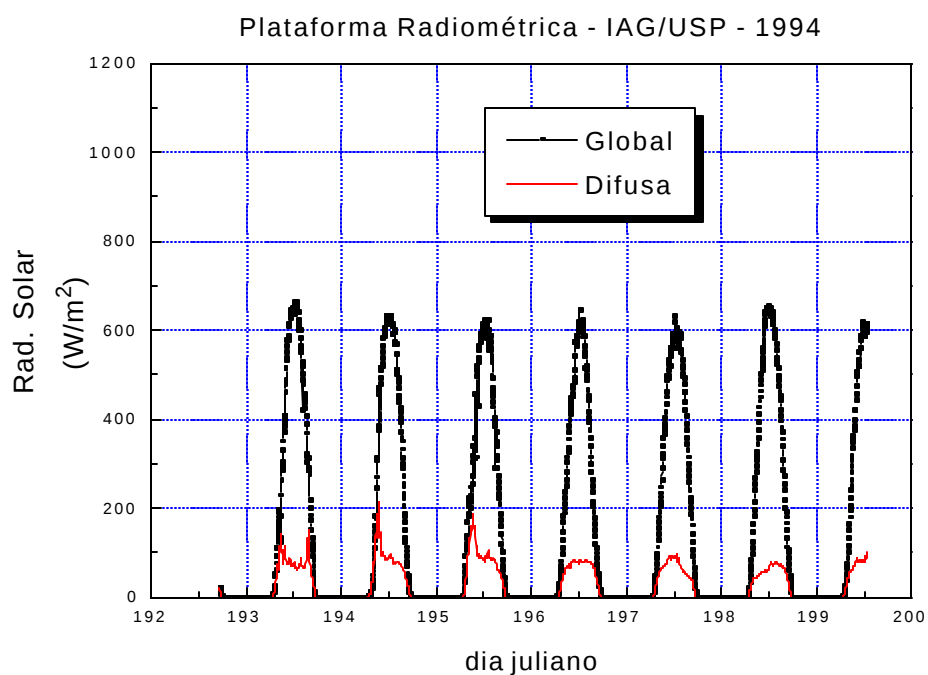


Figura 7.1: Evolução temporal das irradiâncias solar global e difusa observadas durante os dias de céu claro entre 12 e 17 de julho de 1994

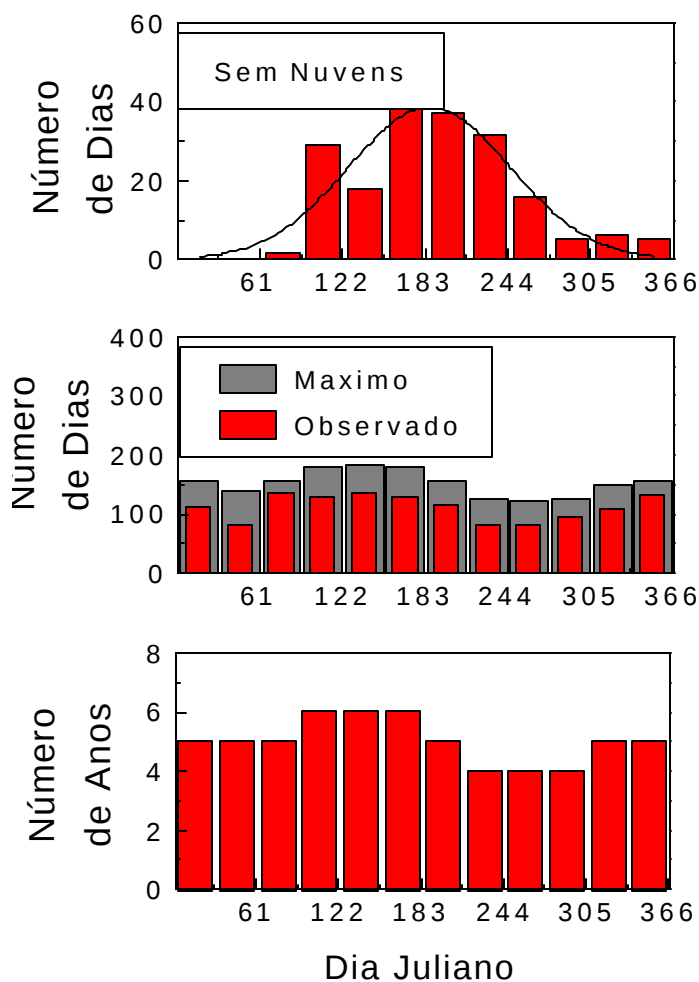


Figura 7.2: Distribuição da freqüência do número de dias de céu claro na Cidade de São Paulo, em função da época do ano. Número total de dias de céu claro é igual a 190 dias, 10% do período.

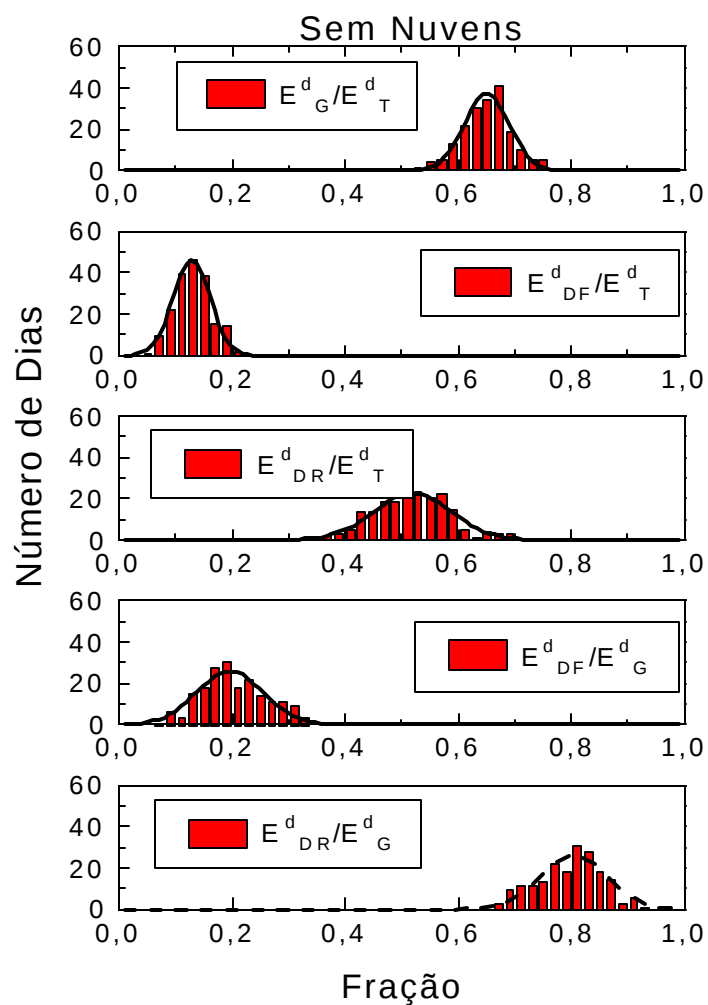


Figura 7.3: Histograma número de dias sem nebulosidade em função das frações dos totais diários de radiação solar na Cidade de São Paulo entre abril de 1994 e junho de 1999.

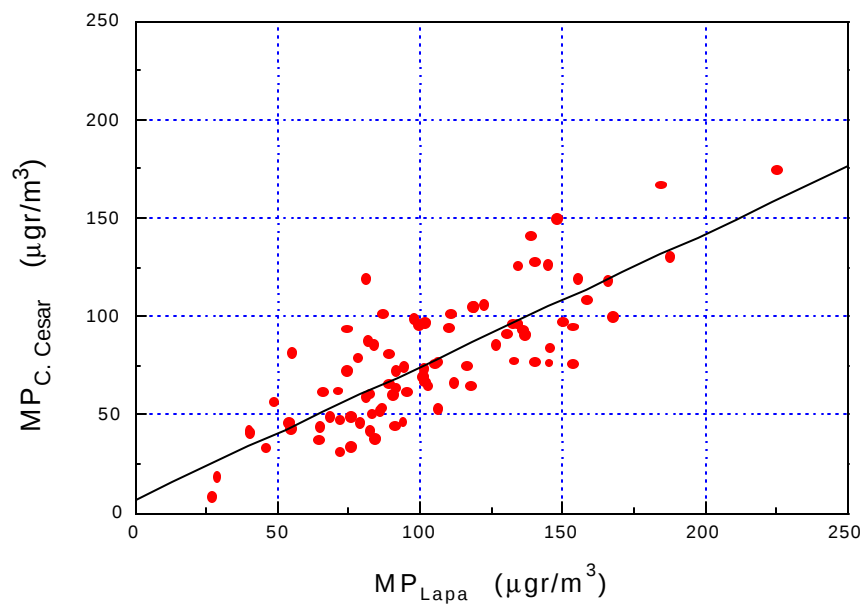


Figura 7.4: Diagrama de dispersão das concentrações de material particulado média diária observadas no bairro de Cerqueira César em relação às observadas no bairro da Lapa, durante os dias de céu claro.

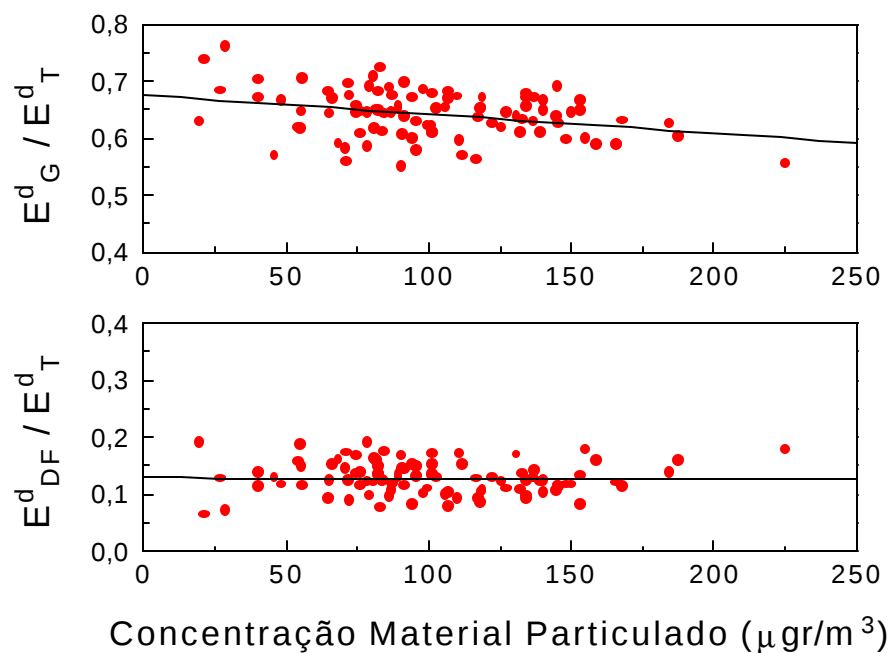


Figura 7.5: Diagramas de dispersão da fração da radiação solar global (topo) e difusa em relação a radiação solar no topo da atmosfera em função da concentração de material particulado média diária observada no bairro da Lapa durante os dias sem nebulosidade.

8 - Conclusão

Neste relatório foram apresentados os principais resultados do projeto: Estudo Observacional da Radiação Solar na Cidade de São Paulo. Este projeto teve início em abril de 1994, com a instalação da plataforma radiométrica no prédio do IAG da Cidade Universitária, São Paulo.

Inicialmente, nesta plataforma, foram instalados um conjunto sensores de radiação solar sobre duas bancadas metálicas para efetuar observações de radiação solar global e difusa utilizando. Estas medidas foram realizadas utilizando um conjunto de pirômetros da Eppley e um conjunto de pirômetros protótipos desenvolvidos pelo Grupo de Radiometria Solar de Botucatu.

Os sensores de radiação solar (pirômetros da Eppley) e sistema de aquisição de dados ("Datalogger 21X") foram adquiridos com financiamento da FAPESP no projeto de Iperó (Proc. No. 90/4492-2).

As bancadas de radiação com os anéis sombreadores e os pirômetros protótipos foram financiados pela Fapesp através do projeto "Desenvolvimento de Radiômetros Solares com termopilha de filme finos para equipar estações agro-meteorológicas do Brasil". (Proc. No. 92/3686-2) coordenado pelo Prof. Escobedo.

Nesta fase do projeto havia uma grande expectativa que seria possível testar os protótipos de pirômetros, realizando calibrações bastante frequentes dos sensores de radiação. Em 1995, com a aprovação do projeto de infraestrutura da FAPESP (Proc. No. 94/4778-3, valor concedido R\$ 38.226,10) foi realizada a expansão plataforma do IAG. Entre 24 de Julho e 3 de Novembro de 1995 as observações de radiação solar foram suspensas para reforma da plataforma radiométrica.

A partir de Dezembro de 1995, as medidas de radiação global e difusa foram reiniciadas. Em Janeiro de 1996 iniciam-se as observações de temperatura e umidade relativa do ar e de precipitação. A partir deste período iniciou-se a fase de calibrações mensais dos pirômetros da protótipos e também dos da Eppley.

Durante o período de 1995 a 1997 as atividades de observação e análise dos dados de radiação contaram com a participação dos bolsistas de Iniciação Científica Juan José Uroz-Uroz (FAPESP 96/0518-2) e Paulo Enrique Beni (CNPq).

A partir de setembro de 1997, iniciamos a fase de organização dos dados e o gerenciamento da plataforma passou a contar com a colaboração do Técnico do Departamento de Ciências Atmosféricas Antonio J. Machado. A partir deste momento foi possível sistematizar:

- (a) manutenção e ajuste dos sensores da plataforma (2 a 3 vezes por semana);
- (b) coleta de dados (que passou a ser feita de forma automática);
- (c) tratamento dos dados coletados (que passou a ser feita em bases semanais);
- (d) organização do conjunto de dados
- (e) calibrações mensais dos sensores de radiação;
- (f) aferição dos demais sensores.

Como resultado do gerenciamento da plataforma radiométrica pelo Técnico Antonio J. Machado foi possível atingir os seguintes objetivos:

- Todos os dados coletados durante este período foram checados e organizados em arquivos padrões semanais, mensais e anuais;
- Foram gerados gráficos semanais de todos os parâmetros observados na plataforma.
- Todos instrumentos utilizados para medir radiação solar global e difusa (Eppley e os Protótipos de Botucatu) foram calibrados utilizando como referência o piranometro PSP da Eppley (PSP1). Foi desenvolvido um programa (fortran) que efetua o calculo das constantes de calibração e dos parametros relacionados;
- Os sensores de temperatura do ar, umidade relativa do ar e pressão atmosférica foram verificados através de comparações com sensores padrões;
- Foi desenvolvido uma expressão para determinar a correção da radiação solar difusa medida pelo anel sombreador, que apresentou uma correlação muito boa com as medidas de radiação difusa obtidas com pireliometro;
- Foram desenvolvidos programas (fortran) para calcular os totais horários, diários e mensais das da radiação solar incidente no topo, global, difusa e direta as respectivas frações e os respectivos valores mensais destes parametros;
- Foram realizados graficos da evolução mensal dos totais diários:
- Foram determinados polinômios para estimar os valores totais horários, diários e mensais de radiação solar difusa a partir dos valores observados de radiação global;
- Foi determinado número de dias de céu claro a partir dos graficos semanais dos dados;
- Foi determinada uma correlação entre os valore diário das frações com as medias diáris da concentração de material particulado.

Durante estes 5 anos de funcionamento da plataforma radiamétrica do IAG os dados de radiação foram utilizados nos trabalhos relacionados abaixo:

1. Oliveira, A. P., Escobedo, J. F., Plana-Fattori, A., Soares, J. , e Santos, P. M., 1996: Medidas de Radiação Solar na Cidade de São Paulo: Calibração de Piranômetros e Aplicações Meteorológicas. Revista Brasileira de Geofísica, **14(2)**, 203-216.
2. Beni, P.E. , A P. Oliveira e J.F. Escobedo, 1997: Estudo Observacional da Radiação Solar na Cidade de São Paulo, V. Simpósio de Iniciação Científica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 3 a 5 de novembro de 1997, V.II (12.30): 409.
3. Beni, P.E. , A P. Oliveira e J.F. Escobedo, 1997: Estudo Observacional da Radiação Solar na Cidade de São Paulo, II Simpósio de Iniciação Científica do IAG-USP, São Paulo, maio de 1997, V.1, 16.

Os próximos passos deste projeto:

- Dar continuidade à descrição das componentes de radiação solar global e difusa na Cidade de São Paulo
- Dar continuidade à investigação do impacto dos poluentes atmosféricos na evolução das componentes da radiação solar global, difusa e direta na Cidade de São Paulo;
- Iniciar a descrição da evolução sazonal da radiação atmosférica de onda longa observado com pirgeômetro desde 1997;
- Dar continuidade a comparações entre as medidas de radiação solar difusa observadas pelo anel sombreador com as estimativas feitas com observação da radiação direta através do pireliômetro.

9 - Referências

- CETESB, 1995: Relatório de Qualidade do Ar no Estado de São Paulo - 1994, CETESB, São Paulo, 87 p.
- Escobedo, J.F., Frisina, V.A., Saglietti, J.R. e Oliveira, A.P., 1997: Radiômetros Solares Com Termopilhas de Filmes Finos I - Descrição e Custos. *Revista Brasileira de Aplicações de Vácuo*, 16 (1),10-15.
- Escobedo, J.F., Frisina, V.A., Saglietti, J.R. e Oliveira, A.P., 1997: Radiômetros Solares Com Termopilhas de Filmes Finos: II - Performance. *Revista Brasileira de Aplicações de Vácuo*. 16 (1),16-21.
- Frohlich, C. & London, J. (eds.), 1986. Revised Instruction Manual on Radiation Instruments and Measurements . World Climate Research Programme (WCRP), WMO - ICSU Joint Scientific Committee, publication WMO/TD N° 149, 139p.
- LeBaron, B. A., Peterson, W. A. and Girmhirn, I. (1990) Corrections for diffuse Irradiance measured with shadowbands, *Solar Energy*, **25**, 1-13.
- Liu, B. Y. H. and Jordan, R.C. (1960) The interrelationship and characteristic distribution of direct, diffuse and total solar radiation, *Solar Energy*, **4**, 1-9.
- Melo, J. M. D. de, 1993 : Desenvolvimento de um Sistema para Medir Simultaneamente Radiações Global, Difusa e Direta. Tese de Doutorado, UNESP,Botucatu, 130p.
- Norris, D. J. (1973), Calibration of pyranometers, *Solar Energy*, **14**, 99-108,
- Oliveira, A. P., Escobedo, J. F., Plana-Fattori, A., Soares, J., e Santos, P. M., 1996: Medidas de Radiação Solar na Cidade de São Paulo: Calibração de Piranômetros e Aplicações Meteorológicas. *Revista Brasileira de Geofísica*, **14(2)**, 203-216.
- Petterson, J.T., Flowers, E.C. & Rudisill, 1978: Urban-rural solar radiation and atmospheric turbidity measurements in the Los Angeles Basin, *Journal of Applied Meteorology*, **17**, 1595-1609.
- WMO, 1971, Guide to meteorological instrument and observing practices, Fifth edition, Geneva, Secretariat of World Meteorological Organization, publication WMO No. 8.

Tabela:3.6: Calendário Juliano de **1994** com os dias de observação de radiação solar diusa e global (claro), dias com observação de radiação global para calibração de piranômetros (cinza); dias com dados de radiação global (__) e dias sem dados (escuro).

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
Jan	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
Fev	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59			
Mar	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90
Abr	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103	104	105	106	107	108	109	110	111	112	113	114	115	116	117	118	119	120	
Mai	121	122	123	124	125	126	127	128	129	130	131	132	133	134	135	136	137	138	139	140	141	142	143	144	145	146	147	148	149	150	151
Jun	152	153	154	155	156	157	158	159	160	161	162	163	164	165	166	167	168	169	170	171	172	173	174	175	176	177	178	179	180	181	
Jul	182	183	184	185	186	187	188	189	190	191	192	193	194	195	196	197	198	199	200	201	202	203	204	205	206	207	208	209	210	211	212
Ago	213	214	215	216	217	218	219	220	221	222	223	224	225	226	227	228	229	230	231	232	233	234	235	236	237	238	239	240	241	242	243
Set	244	245	246	247	248	249	250	251	252	253	254	255	256	257	258	259	260	261	262	263	264	265	266	267	268	269	270	271	272	273	
Out	274	275	276	277	278	279	280	281	282	283	284	285	286	287	288	289	290	291	292	293	294	295	296	297	298	299	300	301	302	303	304
No v	305	306	307	308	309	310	311	312	313	314	315	316	317	318	319	320	321	322	323	324	325	326	327	328	329	330	331	332	333	334	
Dez	335	336	337	338	339	340	341	342	343	344	345	346	347	348	349	350	351	352	353	354	355	356	357	358	359	360	361	362	363	364	365

Dia sem dados

Tabela 3.7: Calendário Juliano de **1995** com os dias de observação de radiação solar diusa e global (claro), dias com observação de radiação global para calibração de piranômetros (cinza); dias com dados de radiação global (__) e dias sem dados (escuro).

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
Jan	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
Fev	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59			
Mar	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90
Abr	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103	104	105	106	107	108	109	110	111	112	113	114	115	116	117	118	119	120	
Mai	121	122	123	124	125	126	127	128	129	130	131	132	133	134	135	136	137	138	139	140	141	142	143	144	145	146	147	148	149	150	151
Jun	152	153	154	155	156	157	158	159	160	161	162	163	164	165	166	167	168	169	170	171	172	173	174	175	176	177	178	179	180	181	
Jul	182	183	184	185	186	187	188	189	190	191	192	193	194	195	196	197	198	199	200	201	202	203	204	205	206	207	208	209	210	211	212
Ago	213	214	215	216	217	218	219	220	221	222	223	224	225	226	227	228	229	230	231	232	233	234	235	236	237	238	239	240	241	242	243
Set	244	245	246	247	248	249	250	251	252	253	254	255	256	257	258	259	260	261	262	263	264	265	266	267	268	269	270	271	272	273	
Out	274	275	276	277	278	279	280	281	282	283	284	285	286	287	288	289	290	291	292	293	294	295	296	297	298	299	300	301	302	303	304
No v	305	306	307	308	309	310	311	312	313	314	315	316	317	318	319	320	321	322	323	324	325	326	327	328	329	330	331	332	333	334	
Dez	335	336	337	338	339	340	341	342	343	344	345	346	347	348	349	350	351	352	353	354	355	356	357	358	359	360	361	362	363	364	365

Dia de Calibração

Dia sem dados

Tabela 3.8: Calendário Juliano de **1996** com os dias de observação de radiação solar diusa e global (claro), dias com observação de radiação global para calibração de piranômetros (cinza); dias com dados de radiação global (__) e dias sem dados (escuro).

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
Jan	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
Fev	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60		
Mar	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91
Abr	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103	104	105	106	107	108	109	110	111	112	113	114	115	116	117	118	119	120	121	
Mai	122	123	124	125	126	127	128	129	130	131	132	133	134	135	136	137	138	139	140	141	142	143	144	145	146	147	148	149	150	151	152
Jun	153	154	155	156	157	158	159	160	161	162	163	164	165	166	167	168	169	170	171	172	173	174	175	176	177	178	179	180	181	182	
Jul	183	184	185	186	187	188	189	190	191	192	193	194	195	196	197	198	199	200	201	202	203	204	205	206	207	208	209	210	211	212	213
Ago	214	215	216	217	218	219	220	221	222	223	224	225	226	227	228	229	230	231	232	233	234	235	236	237	238	239	240	241	242	243	244
Set	245	246	247	248	249	250	251	252	253	254	255	256	257	258	259	260	261	262	263	264	265	266	267	268	269	270	271	272	273	274	
Out	275	276	277	278	279	280	281	282	283	284	285	286	287	288	289	290	291	292	293	294	295	296	297	298	299	300	301	302	303	304	305
No v	306	307	308	309	310	311	312	313	314	315	316	317	318	319	320	321	322	323	324	325	326	327	328	329	330	331	332	333	334	335	
Dez	336	337	338	339	340	341	342	343	344	345	346	347	348	349	350	351	352	353	354	355	356	357	358	359	360	361	362	363	364	365	366

Dia de Calibração

Dia sem dados

Tabela 3.9: Calendário Juliano de **1997** com os dias de observação de radiação solar diusa e global (claro), dias com observação de radiação global para calibração de piranômetros (cinza); dias com dados de radiação global (__) e dias sem dados (escuro).

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
Jan	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
Fev	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59			
Mar	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90
Abr	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103	104	105	106	107	108	109	110	111	112	113	114	115	116	117	118	119	120	
Mai	121	122	123	124	125	126	127	128	129	130	131	132	133	134	135	136	137	138	139	140	141	142	143	144	145	146	147	148	149	150	151
Jun	152	153	154	155	156	157	158	159	160	161	162	163	164	165	166	167	168	169	170	171	172	173	174	175	176	177	178	179	180	181	
Jul	182	183	184	185	186	187	188	189	190	191	192	193	194	195	196	197	198	199	200	201	202	203	204	205	206	207	208	209	210	211	212
Ago	213	214	215	216	217	218	219	220	221	222	223	224	225	226	227	228	229	230	231	232	233	234	235	236	237	238	239	240	241	242	243
Set	244	245	246	247	248	249	250	251	252	253	254	255	256	257	258	259	260	261	262	263	264	265	266	267	268	269	270	271	272	273	
Out	274	275	276	277	278	279	280	281	282	283	284	285	286	287	288	289	290	291	292	293	294	295	296	297	298	299	300	301	302	303	304
No v	305	306	307	308	309	310	311	312	313	314	315	316	317	318	319	320	321	322	323	324	325	326	327	328	329	330	331	332	333	334	
Dez	335	336	337	338	339	340	341	342	343	344	345	346	347	348	349	350	351	352	353	354	355	356	357	358	359	360	361	362	363	364	365

Dia de Calibração

Dia sem dados

Tabela 3.10: Calendário Juliano de **1998** com os dias de observação de radiação solar diusa e global (claro), dias de calibração (cinza) e dias sem dados (escuro).

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
Jan	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
Fev	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59			
Mar	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90
Abr	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103	104	105	106	107	108	109	110	111	112	113	114	115	116	117	118	119	120	
Mai	121	122	123	124	125	126	127	128	129	130	131	132	133	134	135	136	137	138	139	140	141	142	143	144	145	146	147	148	149	150	151
Jun	152	153	154	155	156	157	158	159	160	161	162	163	164	165	166	167	168	169	170	171	172	173	174	175	176	177	178	179	180	181	
Jul	182	183	184	185	186	187	188	189	190	191	192	193	194	195	196	197	198	199	200	201	202	203	204	205	206	207	208	209	210	211	212
Ago	213	214	215	216	217	218	219	220	221	222	223	224	225	226	227	228	229	230	231	232	233	234	235	236	237	238	239	240	241	242	243
Set	244	245	246	247	248	249	250	251	252	253	254	255	256	257	258	259	260	261	262	263	264	265	266	267	268	269	270	271	272	273	
Out	274	275	276	277	278	279	280	281	282	283	284	285	286	287	288	289	290	291	292	293	294	295	296	297	298	299	300	301	302	303	304
No v	305	306	307	308	309	310	311	312	313	314	315	316	317	318	319	320	321	322	323	324	325	326	327	328	329	330	331	332	333	334	
Dez	335	336	337	338	339	340	341	342	343	344	345	346	347	348	349	350	351	352	353	354	355	356	357	358	359	360	361	362	363	364	365

Dia de Calibração

Tabela 3.11: Calendário Juliano de **1999** com os dias de observação de radiação solar diusa e global (claro), dias de calibração (cinza) e dias sem dados (escuro).

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
Jan	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
Fev	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59			
Mar	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90
Abr	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103	104	105	106	107	108	109	110	111	112	113	114	115	116	117	118	119	120	
Mai	121	122	123	124	125	126	127	128	129	130	131	132	133	134	135	136	137	138	139	140	141	142	143	144	145	146	147	148	149	150	151
Jun	152	153	154	155	156	157	158	159	160	161	162	163	164	165	166	167	168	169	170	171	172	173	174	175	176	177	178	179	180	181	
Jul	182	183	184	185	186	187	188	189	190	191	192	193	194	195	196	197	198	199	200	201	202	203	204	205	206	207	208	209	210	211	212
Ago	213	214	215	216	217	218	219	220	221	222	223	224	225	226	227	228	229	230	231	232	233	234	235	236	237	238	239	240	241	242	243
Set	244	245	246	247	248	249	250	251	252	253	254	255	256	257	258	259	260	261	262	263	264	265	266	267	268	269	270	271	272	273	
Out	274	275	276	277	278	279	280	281	282	283	284	285	286	287	288	289	290	291	292	293	294	295	296	297	298	299	300	301	302	303	304
No v	305	306	307	308	309	310	311	312	313	314	315	316	317	318	319	320	321	322	323	324	325	326	327	328	329	330	331	332	333	334	

Dez	335	336	337	338	339	340	341	342	343	344	345	346	347	348	349	350	351	352	353	354	355	356	357	358	359	360	361	362	363	364	365
------------	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

Dia de Calibração

Dia sem dados

Tabela 4.1: Constantes de calibração dos piranômetros da Eppely (PSP1, PSP2, PBW) e os protótipos de Botucatu (P1 e P2).

Período (local)	Informações de calibração	KPSP1 ($\mu\text{V/W m}^{-2}$)	KPSP2 ($\mu\text{V/W m}^{-2}$)	KPBW ($\mu\text{V/W m}^{-2}$)	kp1 ($\mu\text{V/W m}^{-2}$)	kp2 ($\mu\text{V/W m}^{-2}$)
1990 (EUA)	Não fornecidas pelo fabricante	8,53±0,04	8,55±0,04	8,62±0,09	-	-
12 à 21 de março 1992 (Iperó)	Método: Quociente	-	8,589±0,003	-	-	-
	Método: Regressão	-	8,58	-	-	-
	Referência	-	PSP1	-	-	-
	Nº de obs.	-	502	-	-	-
	Radiação	-	Global	-	-	-
26 à 30 de junho 1994 (SP)	Método: Quociente	8,61±0,01	-	-	10,53±0,02	-
	Método: Regressão	8,61	-	-	10,64	-
	Referência	PSP2	-	-	PBW	-
	Nº de obs.	365	-	-	365	-
	Radiação	Difusa	-	-	Global	-
30 de janeiro à 3 de fevereiro 1995 (SP)	Método: Quociente	8,53±0,09	8,131±0,003	9,23±0,02	11,47±0,02	15,46±0,03
	Método: Regressão	-	8,19	8,97	11,61	15,17
	Referência	PSP*	PSP1	PSP1	PSP1	PSP1
	Nº de obs.	-	1451	1451	1818	1818
	Radiação	Global	Global	Global	Global	Global
8 de setembro a 12 de outubro de 1995 (Botucatu)	Método: Quociente	8,28±0,05	8,36±0,03	8,54±0,25	-	-
	Método: Regressão	-	-	-	-	-
	Referência	PSP*-	PSP*	PSP3	-	-
	Nº de obs.	4044	4044	4044	-	-
	Radiação	Global	Global	Global	-	-
14 de abril de 1998 (França)	Método: Quociente	8,38±0,05	-	-	-	-
	Método: Regressão	-	-	-	-	-
	Referência	Padrão	-	-	-	-
	Nº de obs.	-	-	-	-	-
	Radiação	Global	-	-	-	-

(^)As referências utilizadas nas calibrações em janeiro e setembro de 1995 são indicadas por PSP e correspondem aos piranômetros PSP da Eppley novos.

Tabela 4.2: Constantes de calibração dos piranômetros PSP2, PBW, ESC2, ESC3 e ESC4, de janeiro de 1996 a abril 1997.

Período (local)	Informações de calibração	k _{PSP2} (mV/W m ⁻²)	k _{PBW} (mV/W m ⁻²)	k _{ESC2} (mV/W m ⁻²)	k _{ESC3} (mV/W m ⁻²)	k _{ESC4} (mV/W m ⁻²)
15 a 24 de Janeiro de 1996 (SP)	Método: Quociente	8,23±0,10	8,90±0,14	-	15,21±0,20	11,73±0,19
	Método: Regressão	8,25 8,28	8,87 8,85	-	15,24 15,24	11,75 11,75
	Referência	PSP1	PSP1	-	PSP1	PSP1
	Nº de obs.	178	178	-	60	60
	Radiação	Global	Global	-	Global	Global
22 de fevereiro a 1 de março 1996 (SP)	Método: Quociente	8,15±0,14	8,95±0,13	-	15,06±0,47	-
	Método: Regressão	8,19 8,23	8,93 8,89	-	15,07 15,08	-
	Referência	PSP1	PSP1	-	PSP1	-
	Nº de obs.	255	255	-	255	-
	Radiação	Global	Global	-	Global	-
29 de Março a 3 de Abril 1996 (SP)	Método: Quociente	8,19±0,15	8,90±0,08	-	14,96±0,37	-
	Método: Regressão	8,19 8,23	8,90 8,89	-	14,95 14,86	-
	Referência	PSP1	PSP1	-	PSP1	-
	Nº de obs.	230	230	-	230	-
	Radiação	Global	Global	-	Global	-
25 de Abril a 3 de Maio 1996 (SP)	Método: Quociente	8,11±0,23	8,91±0,12	13,41±0,20	14,81±0,49	-da
	Método: Regressão	8,12 8,26	8,91 8,86	13,41 13,41	14,80 14,71	-
	Referência	PSP1	PSP1	PSP1	PSP1	-
	Nº de obs.	147	147	147	147	-
	Radiação	Global	Global	Global	Global	-
24 a 31 de Maio de 1996 (SP)	Método: Quociente	8,16±0,17	9,14±0,12	13,43±0,18	15,08±0,31	-
	Método: Regressão	8,15 7,96	9,13 8,86	13,43 13,20	15,09 15,38	-
	Referência	PSP1	PSP1	PSP1	PSP1	-
	Nº de obs.	120	120	120	120	-
	Radiação	Global	Global	Global	Global	-

Tabela 4.2: Constantes de calibração dos piranômetros PSP2, PBW, ESC2, ESC3 e ESC4, de janeiro de 1996 a abril de 1997 (Continuação).

Período (local)	Informações de calibração	K_{PSP2} (mV/W m⁻²)	k_{PBW} (mV/W m⁻²)	k_{ESC2} (mV/W m⁻²)	k_{ESC3} (mV/W m⁻²)
25 de junho a 2 de julho 1996 (SP)	Método: Quociente	8,03±0,22	8,97±0,12	13,36±0,27	15,09±0,75
	Método: Regressão	8,02 7,75	8,97 8,97	13,35 12,97	15,07 14,31
	Referência	PSP1	PSP1	PSP1	PSP1
	Nº de obs.	70	70	70	70
	Radiação	Global	Global	Global	Global
24 de julho a 1 de Agosto 1996 (SP)	Método: Quociente	8,19±0,19	9,20±0,11	13,87±0,21	14,97±0,35
	Método: Regressão	8,19 8,22	9,19 8,93	13,87 13,67	14,97 14,75
	Referência	PSP1	PSP1	PSP1	PSP1
	Nº de obs.	178	178	178	178
	Radiação	Global	Global	Global	Global
23 de agosto a 2 de setembro 1996 (SP)	Método: Quociente	8,02±0,15	8,86±0,11	13,82±0,18	14,75±0,36
	Método: Regressão	8,04 8,31	8,86 8,87	13,83 13,97	14,76 15,03
	Referência	PSP1	PSP1	PSP1	PSP1
	Nº de obs.	292	292	292	292
	Radiação	Global	Global	Global	Global
25 de setembro a 2 de outubro 1996 (SP)	Método: Quociente	7,96±0,22	8,84±0,10	13,77±0,26	14,65±0,39
	Método: Regressão	8,00 8,13	8,83 8,80	13,79 13,88	14,71 14,92
	Referência	PSP1	PSP1	PSP1	PSP1
	Nº de obs.	155	155	155	155
	Radiação	Global	Global	Global	Global
25 de outubro a 4 de novembro 1996 (SP)	Método: Quociente	8,09±0,25	8,81±0,09	14,05±0,37	15,49±0,57
	Método: Regressão	8,14 8,25	8,81 8,80	14,11 14,26	15,56 15,72
	Referência	PSP1	PSP1	PSP1	PSP1
	Nº de obs.	222	222	222	222
	Radiação	Global	Global	Global	Global
22 de novembro a 5 de dezembro 1996 (SP)	Método: Quociente	8,12±0,17	8,69±0,10	13,74±0,18	15,05±0,34
	Método: Regressão	8,15 8,16	8,68 8,68	13,76 13,77	15,08 15,09
	Referência	PSP1	PSP1	PSP1	PSP1
	Nº de obs.	357	357	357	357
	Radiação	Global	Global	Global	Global

Tabela 4.2: Constantes de calibração dos piranômetros PSP2, PBW, ESC2, ESC3 e ESC4, de janeiro a abril de 1997 (Continuação).

Período (local)	Informações de calibração	K_{PSP2} (mV/W m⁻²)	k_{PBW} (mV/W m⁻²)	k_{ESC2} (mV/W m⁻²)	k_{ESC3} (mV/W m⁻²)
27 de dezembro a 6 de janeiro 1997 (SP)	Método: Quociente	8,09±0,14	8,75±0,11	13,25±1,42	15,31±0,33
	Método: Regressão	8,12 8,14	8,74 8,73	13,25 13,25	15,34 15,36
	Referência	PSP1	PSP1	PSP1	PSP1
	Nº de obs.	280	280	273	273
	Radiação	Global	Global	Global	Global
27 de janeiro a 3 de fevereiro de 1997 (SP)	Método: Quociente	8,11±0,17	8,77±0,15	13,10±1,88	14,55±0,80
	Método: Regressão	8,15 8,19	8,75 8,73	13,18 13,24	14,63 14,70
	Referência	PSP1	PSP1	PSP1	PSP1
	Nº de obs.	185	185	185	185
	Radiação	Global	Global	Global	Global
24 de fevereiro a 4 de março 1997 (SP)	Método: Quociente	8,03±0,15	8,74±0,11	-	14,08±4,45
	Método: Regressão	8,06 8,13	8,74 8,72	-	13,54 11,93
	Referência	PSP1	PSP1	-	PSP1
	Nº de obs.	204	204	-	204
	Radiação	Global	Global	-	Global
26 de Março a 1 de Abril 1997 (SP)	Método: Quociente	7,99±0,24	8,78±0,09	-	-
	Método: Regressão	8,03 8,19	8,78 8,78	-	-
	Referência	PSP1	PSP1	-	-
	Nº de obs.	174	174	-	-
	Radiação	Global	Global	-	-

Tabela 4.3: Constantes de calibração dos piranômetros PSP2 e PBW.

Período (local)	Informações de calibração	k_{PSP2} (mV/W m⁻²)	K_{PBW} (mV/W m⁻²)
25 de Abril a 6 de Maio 1997 (SP)	Método: Quociente	8,21±0,17	8,99±0,12
	Método: Regressão	8,21 8,26	8,99 8,82
	Referência	PSP1	PSP1
	Nº de obs.	135	135
	Radiação	Global	Global
27 de maio a 3 de junho de 1997 (SP)	Método: Quociente	8,21±0,26	9,09±0,21
	Método: Regressão	8,20 7,78	9,08 8,87
	Referência	PSP1	PSP1
	Nº de obs.	89	89
	Radiação	Global	Global
30 de junho a 7 de julho 1997 (SP)	Método: Quociente	8,09±0,22	8,94±0,09
	Método: Regressão	8,08 7,74	8,94 8,83
	Referência	PSP1	PSP1
	Nº de obs.	48	48
	Radiação	Global	Global
26 de julho a 8 de Agosto 1997 (SP)	Método: Quociente	8,01±0,13	8,81±0,10
	Método: Regressão	8,01 7,93	8,81 8,68
	Referência Nº de obs.	PSP1 250	PSP1 250
	Radiação	Global	Global
30 de agosto a 5 de setembro 1997 (SP)	Método: Quociente	7,96±0,13	8,69±0,06
	Método: Regressão	7,97 8,16	8,68 8,67
	Referência	PSP1	PSP1
	Nº de obs.	280	280
	Radiação	Global	Global

Tabela 4.3: Constantes de calibração dos piranômetros PSP2 e PBW (Continuação).

Período (local)	Informações de calibração	K_{PSP2} (mV/W m⁻²)	K_{PBW} (mV/W m⁻²)
25 de setembro a 1 de outubro 1997 (SP)	Método: Quociente	7,98±0,26	9,00±0,15
	Método: Regressão	8,01 8,14	9,00 8,96
	Referência	PSP1	PSP1
	Nº de obs.	75	75
	Radiação	Global	Global
31 de outubro a 2 de novembro 1997 (SP)	Método: Quociente	8,23±0,05	8,91±0,10
	Método: Regressão	8,24 8,26	8,91 8,89
	Referência	PSP1	PSP1
	Nº de obs.	121	121
	Radiação	Global	Global
28 a 30 de novembro de 1997 (SP)	Método: Quociente	8,14±0,15	8,84±0,13
	Método: Regressão	8,18 8,20	8,82 8,81
	Referência	PSP1	PSP1
	Nº de obs.	67	67
	Radiação	Global	Global
6 a 11 de janeiro 1998 (SP)	Método: Quociente	8,12±0,14	8,82±0,23
	Método: Regressão	8,14 8,15	8,79 8,76
	Referência	PSP1	PSP1
	Nº de obs.	72	72
	Radiação	Global	Global
30 de janeiro a 3 de fevereiro 1998 (SP)	Método: Quociente	8,20±0,11	8,94±0,15
	Método: Regressão	8,22 8,23	8,93 8,92
	Referência Nº de obs.	PSP1 186	PSP1 186
	Radiação	Global	Global

Tabela 4.3: Constantes de calibração dos piranômetros PSP2 e PBW (Continuação).

Período (local)	Informações de calibração	K_{PSP2} (mV/W m⁻²)	K_{PBW} (mV/W m⁻²)
27 de fevereiro a 2 de março 1998 (SP)	Método: Quociente	8,03±0,22	8,93±0,08
	Método: Regressão	8,08 8,12	8,92 8,92
	Referência	PSP1	PSP1
	Nº de obs.	91	91
	Radiação	Global	Global
30 de Abril a 4 de Maio 1998 (SP)	Método: Quociente	8,27±0,23	8,99±0,28
	Método: Regressão	8,27 8,19	8,98 8,82
	Referência	PSP1	PSP1
	Nº de obs.	142	142
	Radiação	Global	Global
29 de maio a 16 de junho de 1998 (SP)	Método: Quociente	8,21±0,32	9,01±0,32
	Método: Regressão	8,21 7,71	9,00 8,25
	Referência	PSP1	PSP1
	Nº de obs.	305	305
	Radiação	Global	Global
31 de julho a 3 de agosto 1998 (SP)	Método: Quociente	8,32±0,17	9,16±0,13
	Método: Regressão	8,32 8,21	9,16 9,06
	Referência	PSP1	PSP1
	Nº de obs.	89	89
	Radiação	Global	Global
28 a 31 de agosto 1998 (SP)	Método: Quociente	8,34±0,20	9,00±0,11
	Método: Regressão	8,35 8,44	9,00 8,93
	Referência	PSP1	PSP1
	Nº de obs.	30	30
	Radiação	Global	Global
2 a 6 de outubro 1998 (SP)	Método: Quociente	8,35±0,20	8,81±0,26
	Método: Regressão	8,35 8,36	8,80 8,69
	Referência	PSP1	PSP1
	Nº de obs.	90	90
	Radiação	Global	Global

Tabela 4.3: Constantes de calibração dos piranômetros PSP2 e PBW (Continuação).

Período (local)	Informações de calibração	K_{PSP2} (mV/W m⁻²)	K_{PBW} (mV/W m⁻²)
30 de outubro a 4 de novembro 1998 (SP)	Método: Quociente	8,31±0,13	8,91±0,13
	Método: Regressão	8,33 8,37	8,90 8,87
	Referência	PSP1	PSP1
	Nº de obs.	30	30
	Radiação	Global	Global
27 a 30 de novembro 1998 (SP)	Método: Quociente	8,34±0,13	8,97±0,15
	Método: Regressão	8,34 8,34	8,97 8,97
	Referência	PSP1	PSP1
	Nº de obs.	74	74
	Radiação	Global	Global
08 a 11 de janeiro 1999 (SP)	Método: Quociente	8,31±0,11	8,94±0,21
	Método: Regressão	8,31 8,31	8,92 8,91
	Referência	PSP1	PSP1
	Nº de obs.	74	74
	Radiação	Global	Global
05 a 08 de fevereiro 1999 (SP)	Método: Quociente	8,31±0,08	9,02±0,13
	Método: Regressão	8,31 8,32	9,01 9,00
	Referência	PSP1	PSP1
	Nº de obs.	88	88
	Radiação	Global	Global
26 de fevereiro a 01 de março 1999 (SP)	Método: Quociente	8,29±0,09	8,97±0,17
	Método: Regressão	8,30 8,30	8,95 8,92
	Referência	PSP1	PSP1
	Nº de obs.	35	35
	Radiação	Global	Global
01 a 05 de abril 1999 (SP)	Método: Quociente	8,25±0,13	9,06±0,13
	Método: Regressão	8,25 8,27	9,05 9,03
	Referência	PSP1	PSP1
	Nº de obs.	165	165
	Radiação	Global	Global

Tabela 4.3: Constantes de calibração dos piranômetros PSP2 e PBW (Continuação).

Período (local)	Informações de calibração	K_{PSP2} (mV/W m⁻²)	K_{PBW} (mV/W m⁻²)
30 de abril a 3 de maio 1999 (SP)	Método: Quociente	8,24±0,08	9,09±0,06
	Método: Regressão	8,24	9,09
		8,30	9,00
	Referência	PSP1	PSP1
	N° de obs.	135	135
	Radiação	Global	Global
11 a 15 de junho 1999 (SP)	Método: Quociente	8,20±0,11	9,08±0,12
	Método: Regressão	8,20	9,07
		7,99	8,23
	Referência	PSP1	PSP1
	N° de obs.	33	33
	Radiação	Global	Global

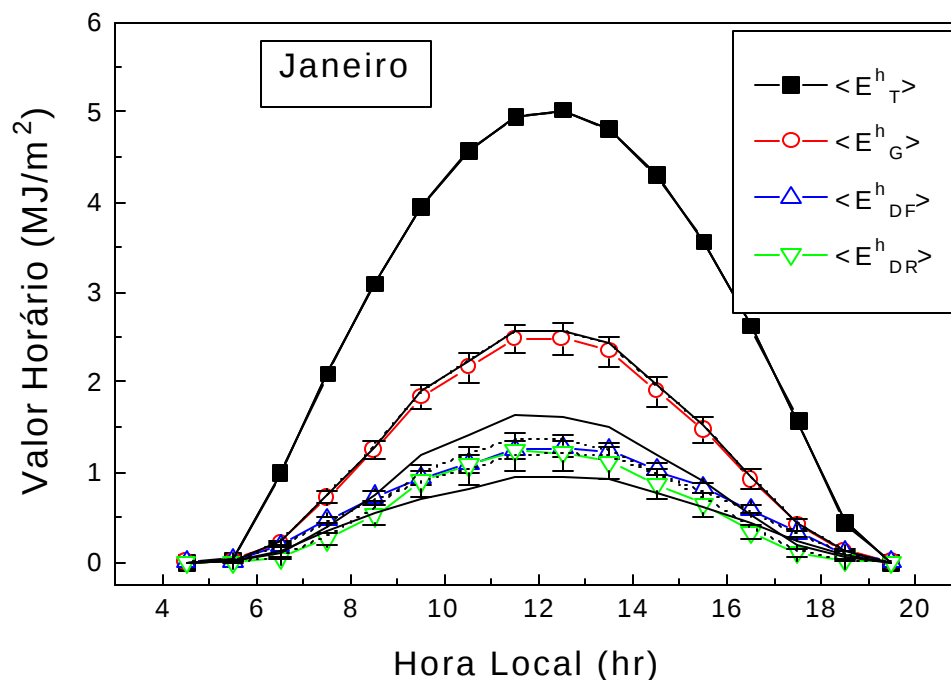


Figura 6.4: Variação diurna dos valores horários médios mensais da radiação solar incidente no topo e da radiação solar global, difusa e direta incidente na superfície durante o mês de Janeiro.

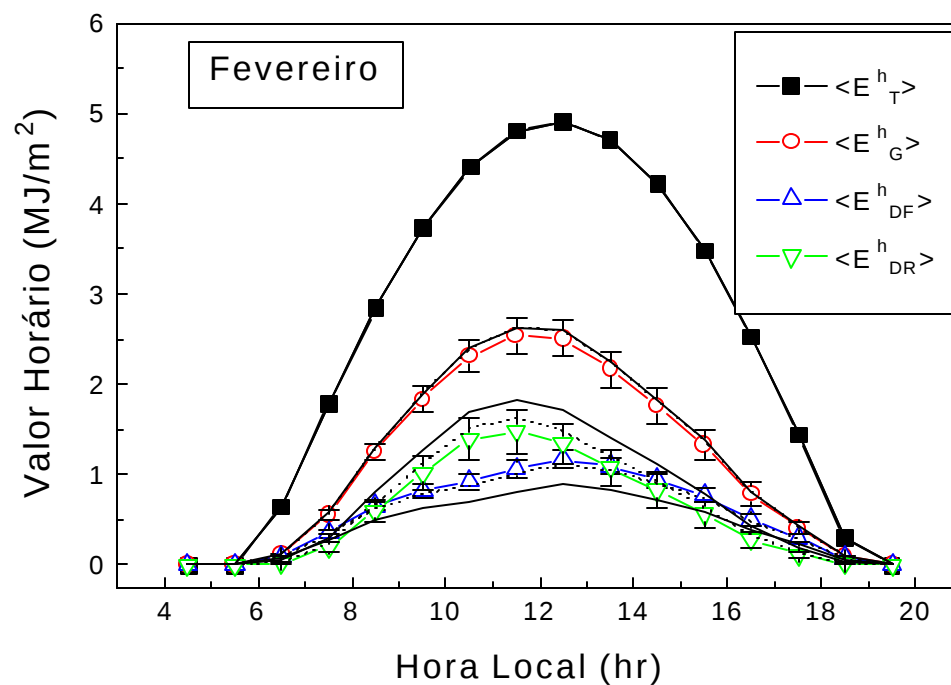


Fig. 6.5: idem àFig. 6.4 para o mês de fevereiro

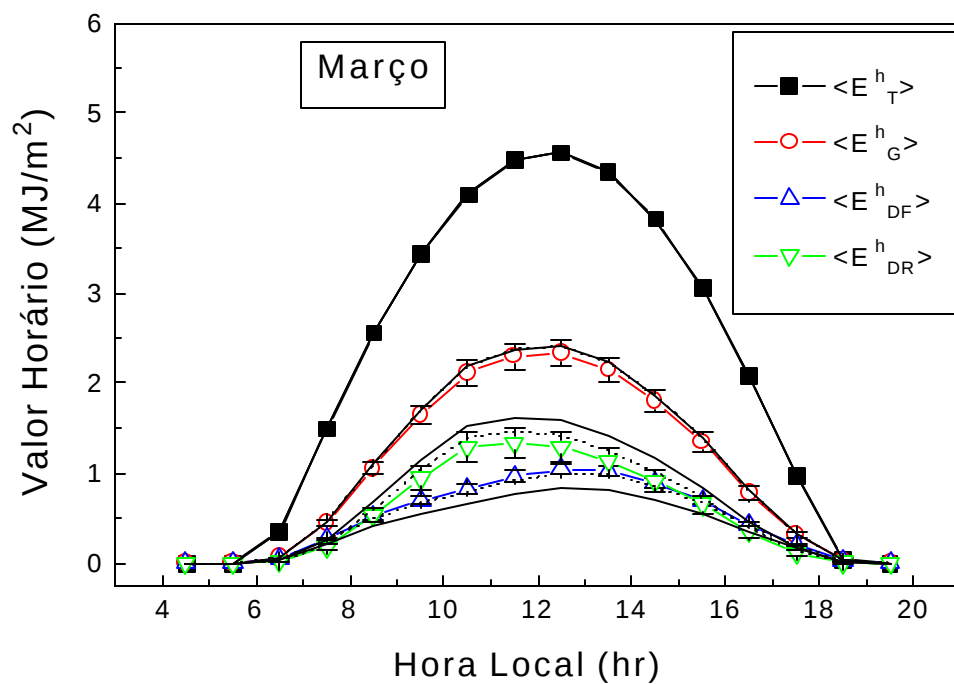


Fig. 6.6: idem àFig. 6.4 para o mês de março

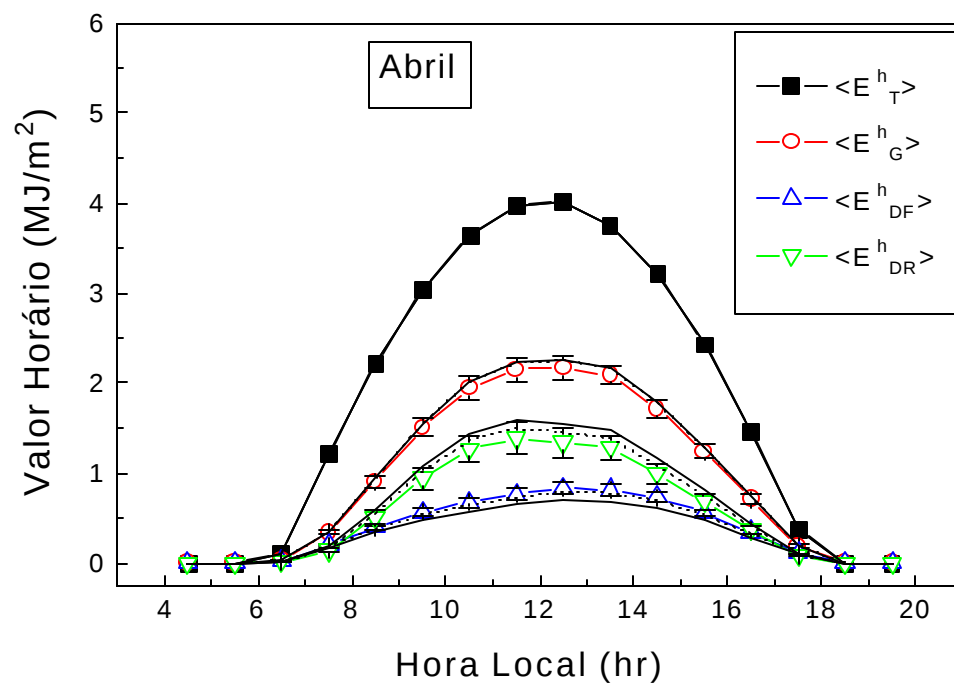
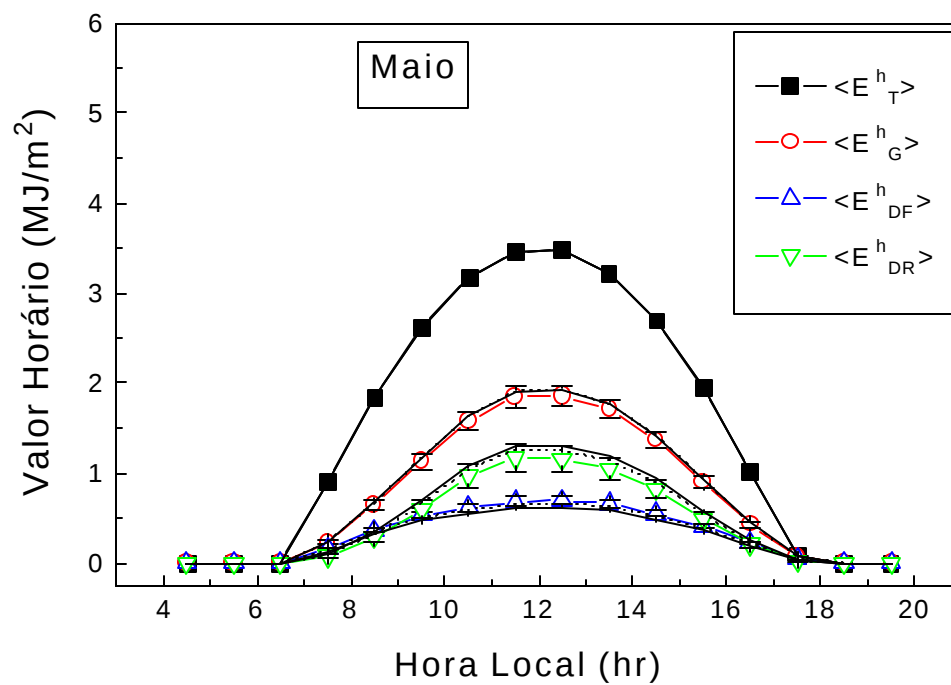
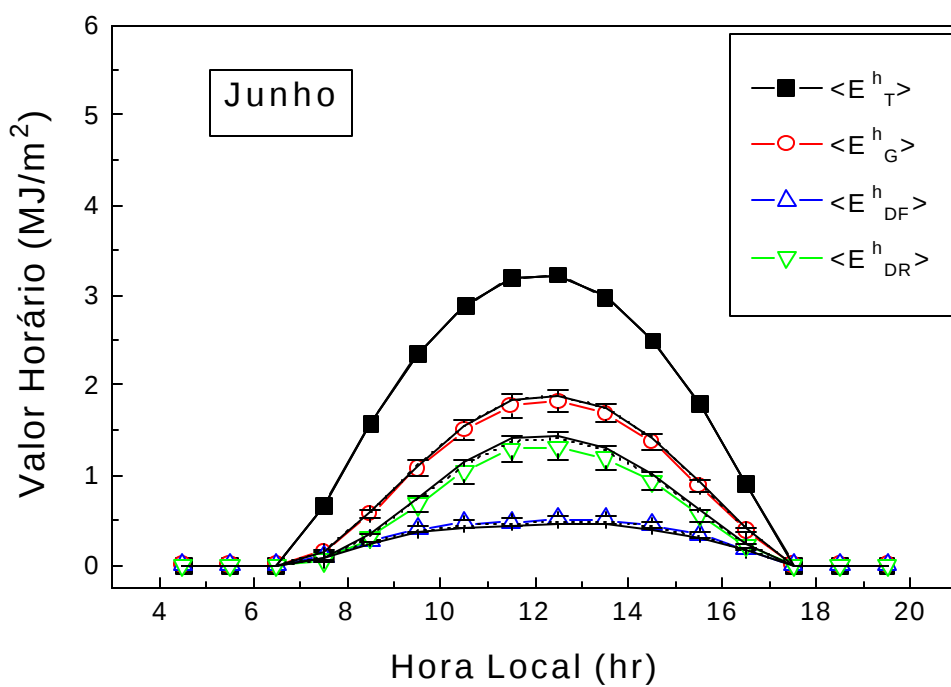


Fig. 6.7: idem àFig. 6.4 para o mês de abril

**Fig. 6.8:** idem àFig. 6.4 para o mês de maio**Fig. 6.9:** idem àFig. 6.4 para o mês de junho

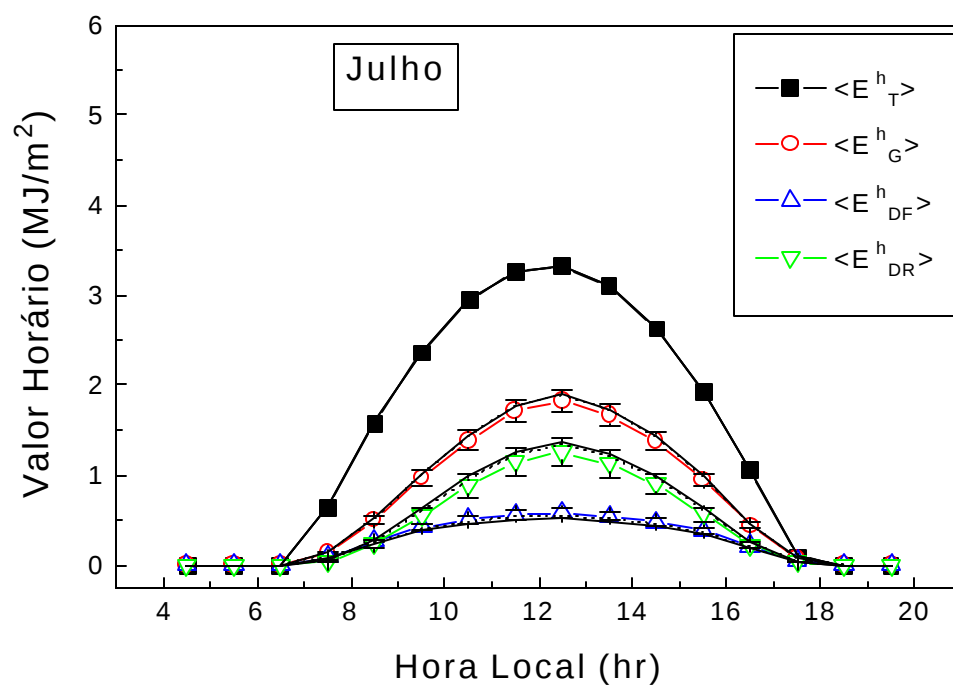


Fig. 6.10: idem àFig. 6.4 para o mês de julho

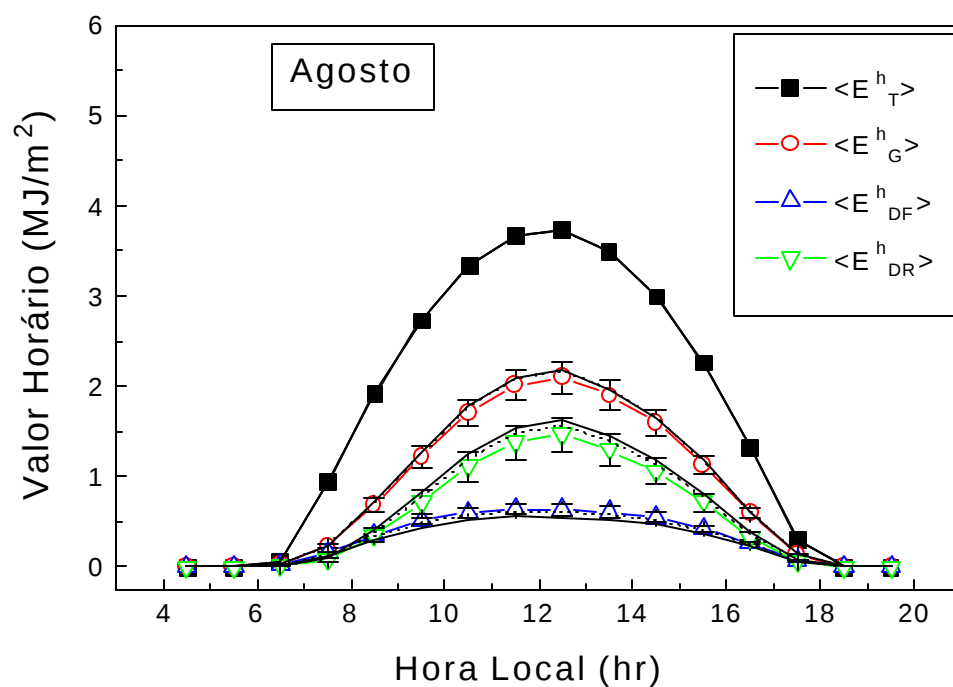
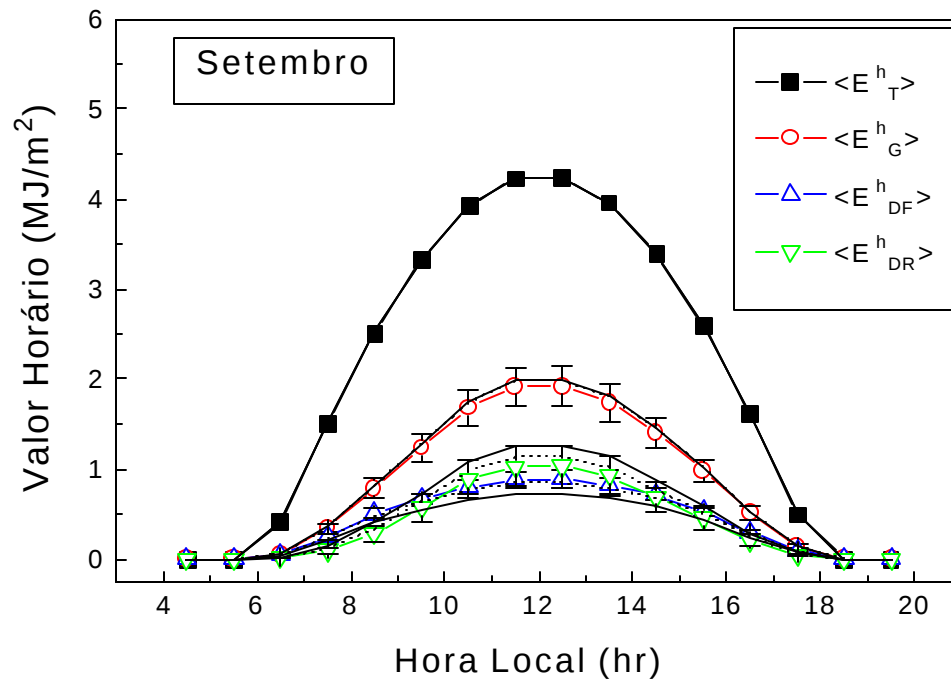
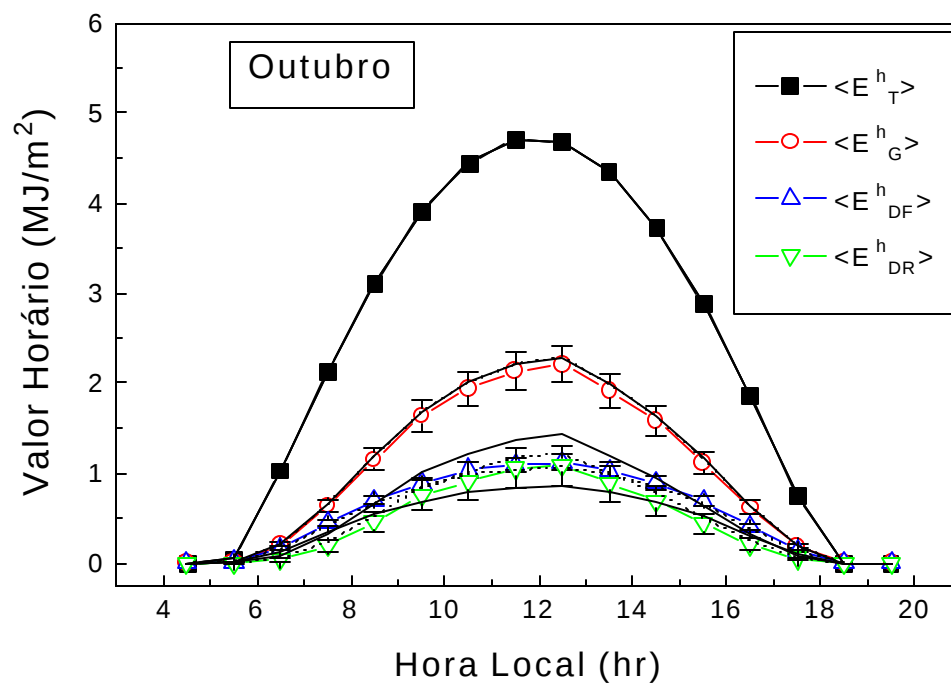


Fig. 6.11: idem àFig. 6.4 para o mês de agosto

**Fig. 6.12:** idem àFig. 6.4 para o mês de setembro**Fig. 6.13:** idem àFig. 6.4 para o mês de outubro

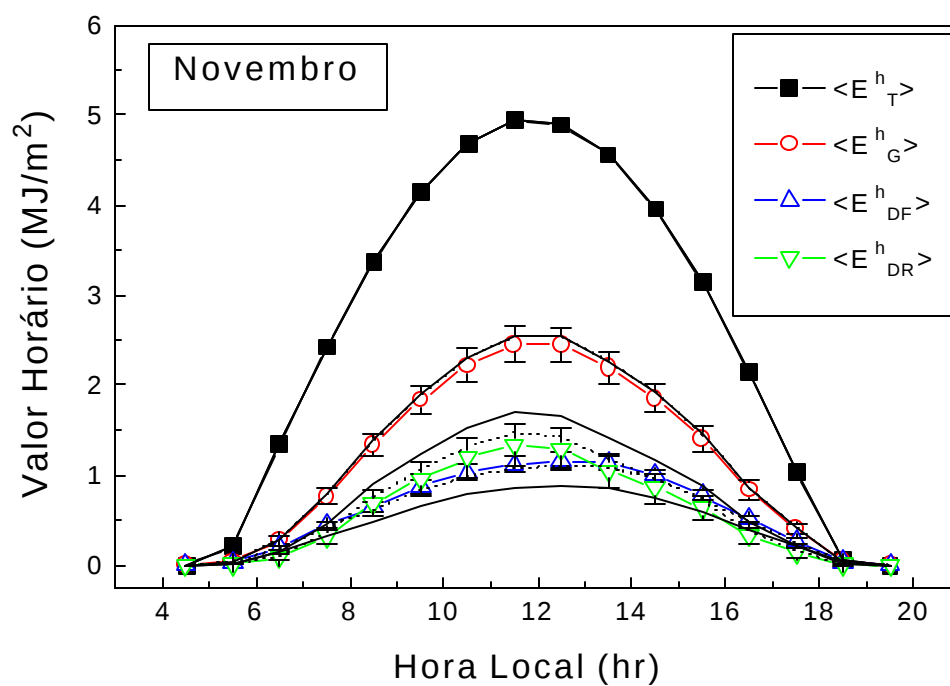


Fig. 6.14: idem àFig. 6.4 para o mês de novembro

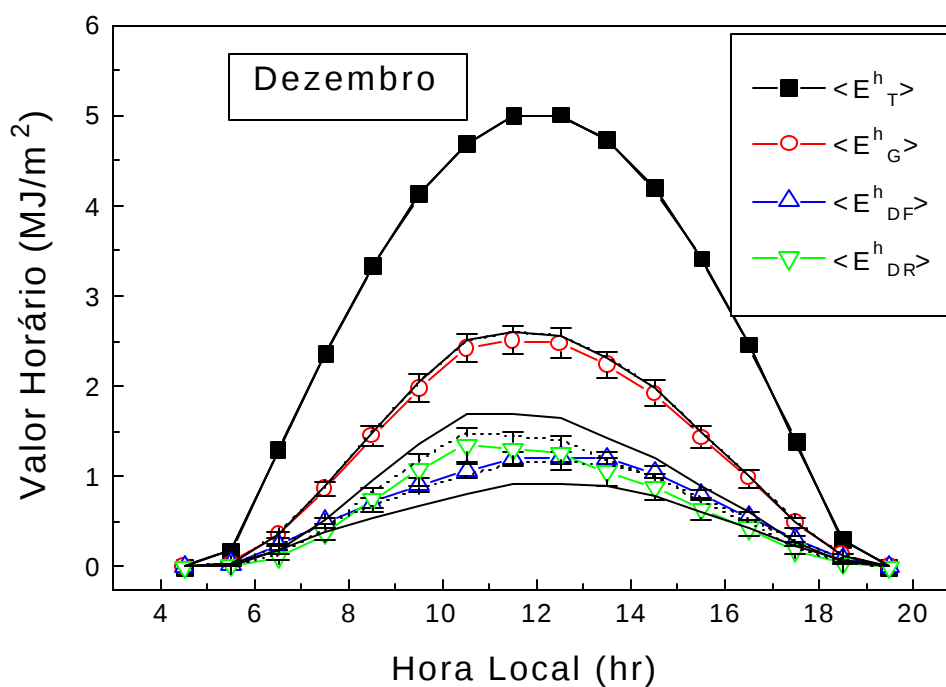


Fig. 6.15: idem àFig. 6.4 para o mês de dezembro

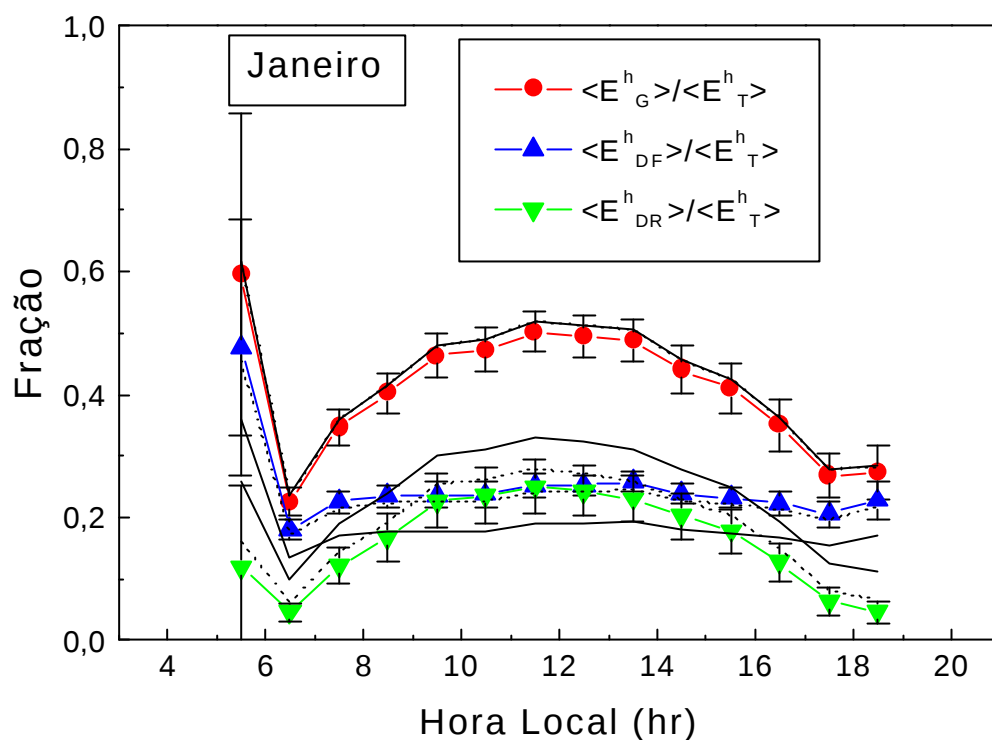


Figura 6.16: Variação diurna das frações dos valores horários médios mensais da radiação solar global, difusa e direta incidente na superfície em relação à radiação solar incidente no topo da atmosfera, durante o mês de Janeiro.

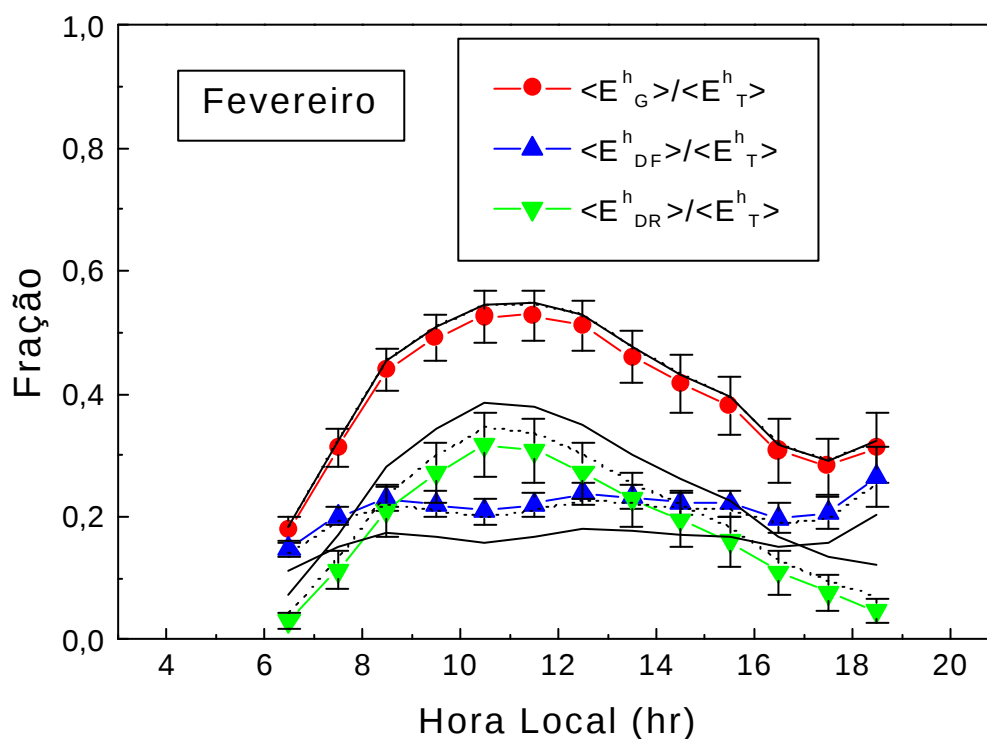


Fig. 6.17: idem àFig. 6.16 para o mês de fevereiro

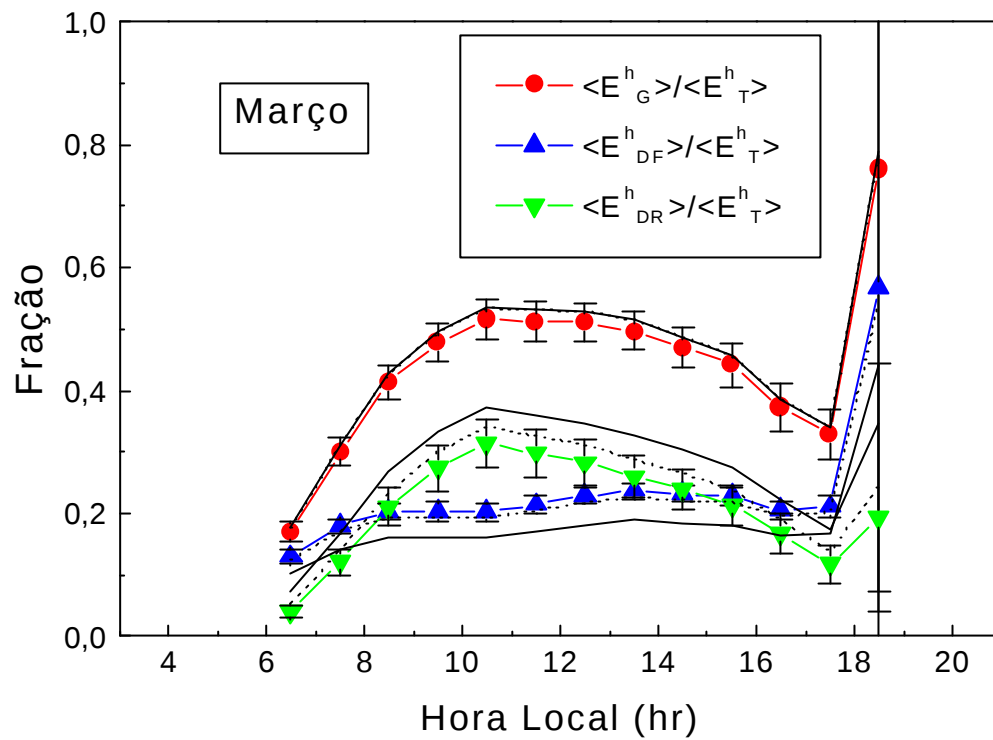


Fig. 6.18: idem àFig. 6.16 para o mês de março

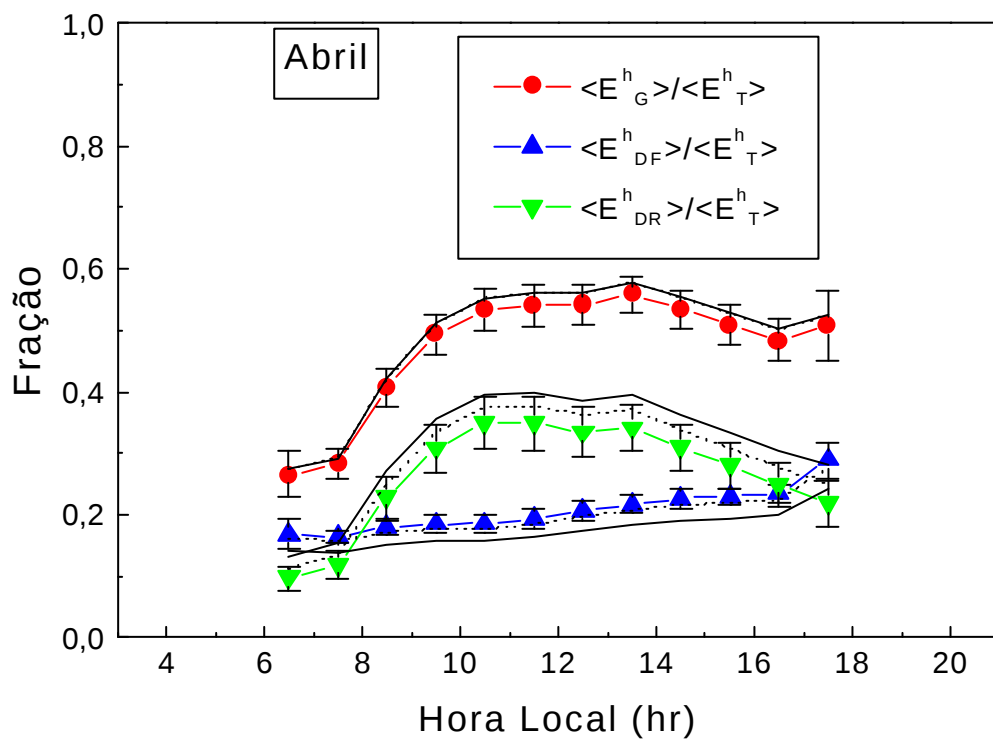


Fig. 6.19: idem àFig. 6.16 para o mês de abril

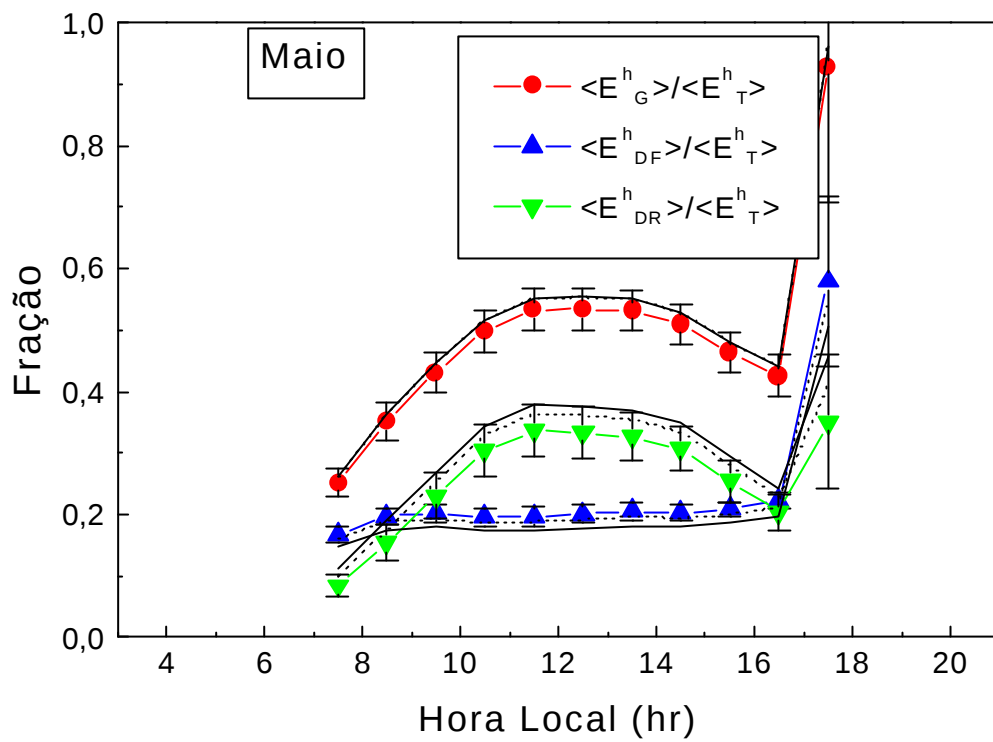


Fig. 6.20: idem àFig. 6.16 para o mês de maio

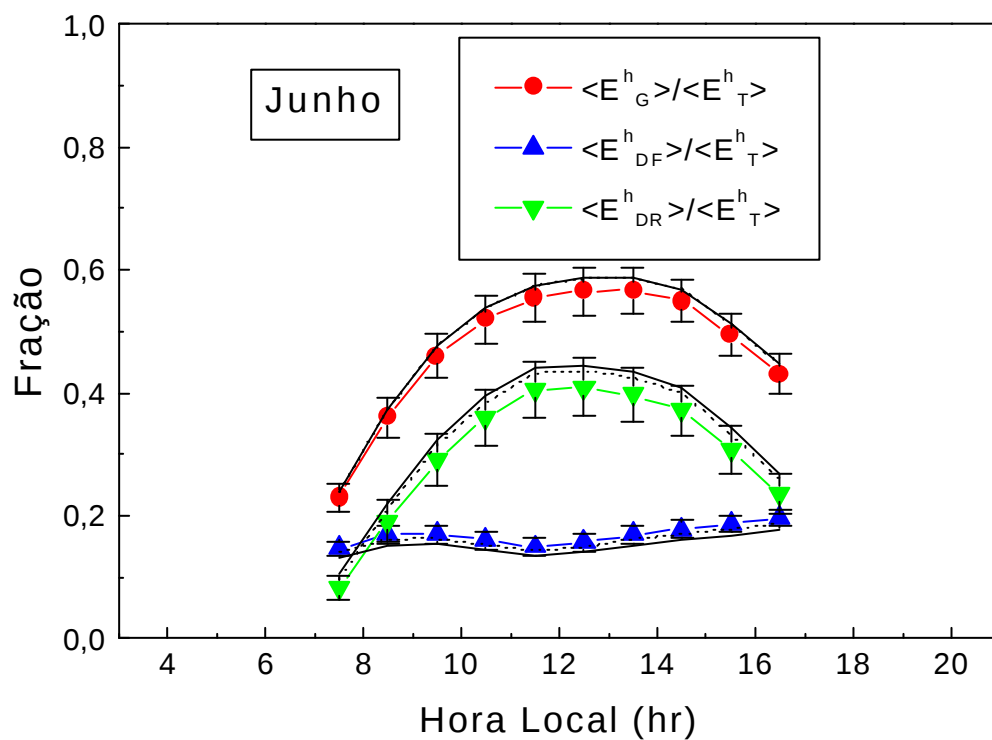


Fig. 6.21: idem àFig. 6.16 para o mês de junho

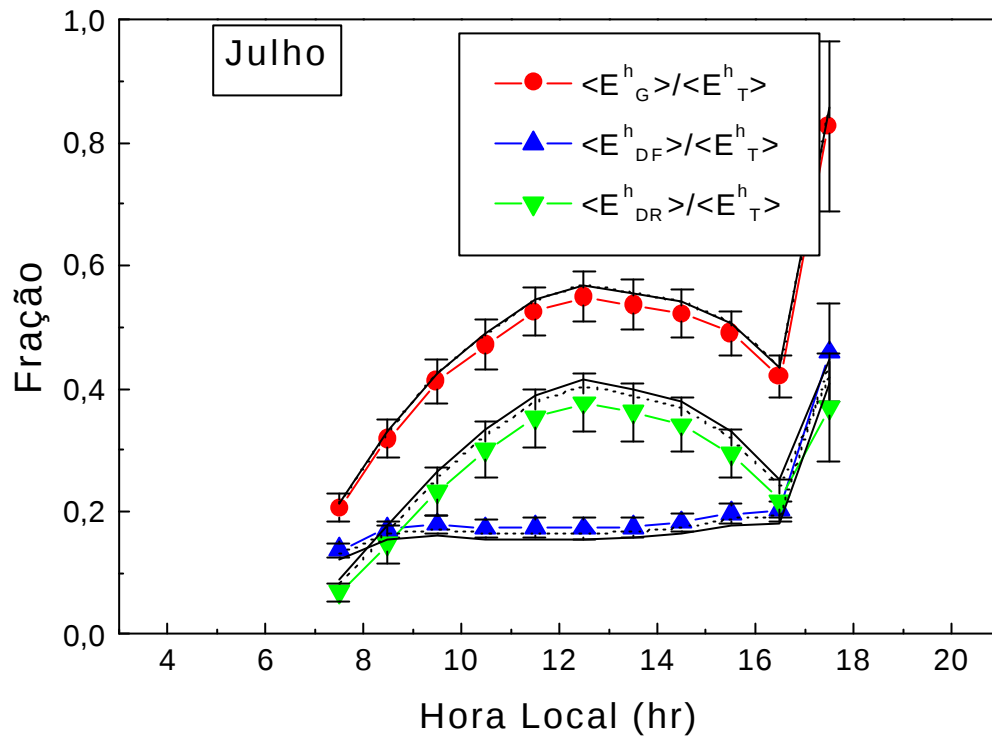


Fig. 6.22: idem àFig. 6.16 para o mês de julho

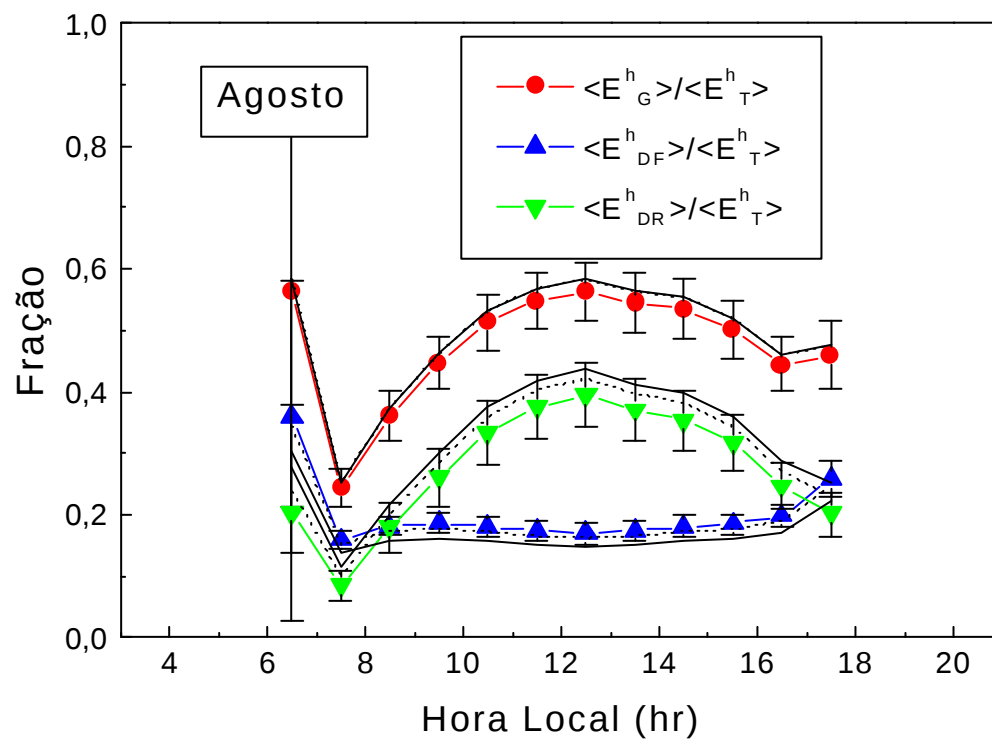


Fig. 6.23: idem àFig. 6.16 para o mês de agosto

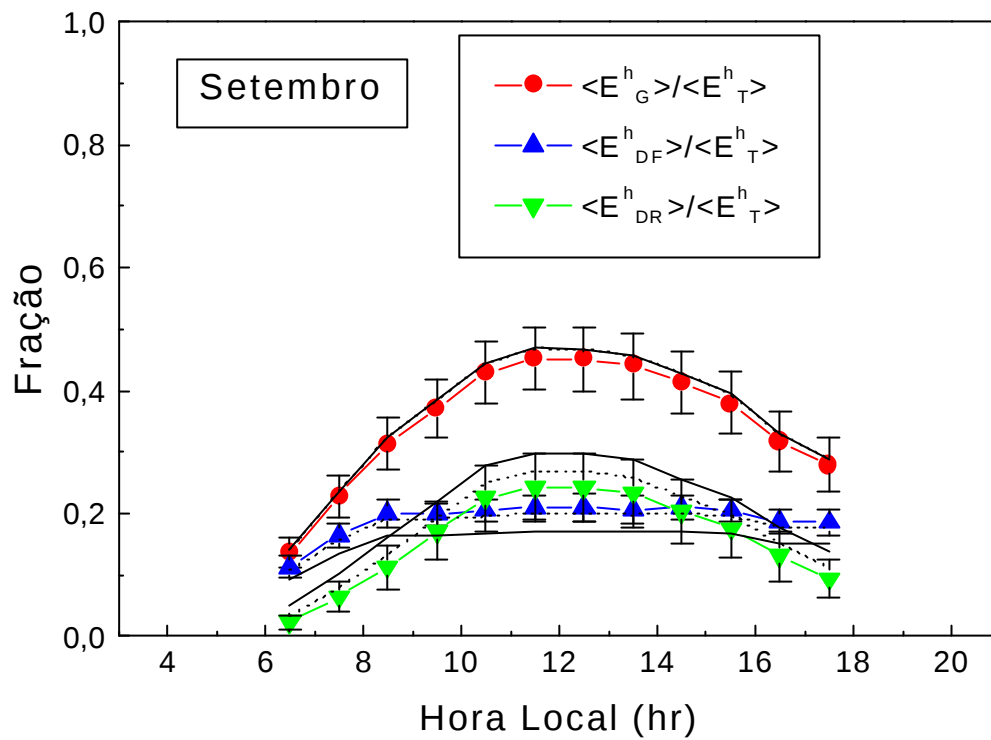


Fig. 6.24: idem àFig. 6.16 para o mês de setembro

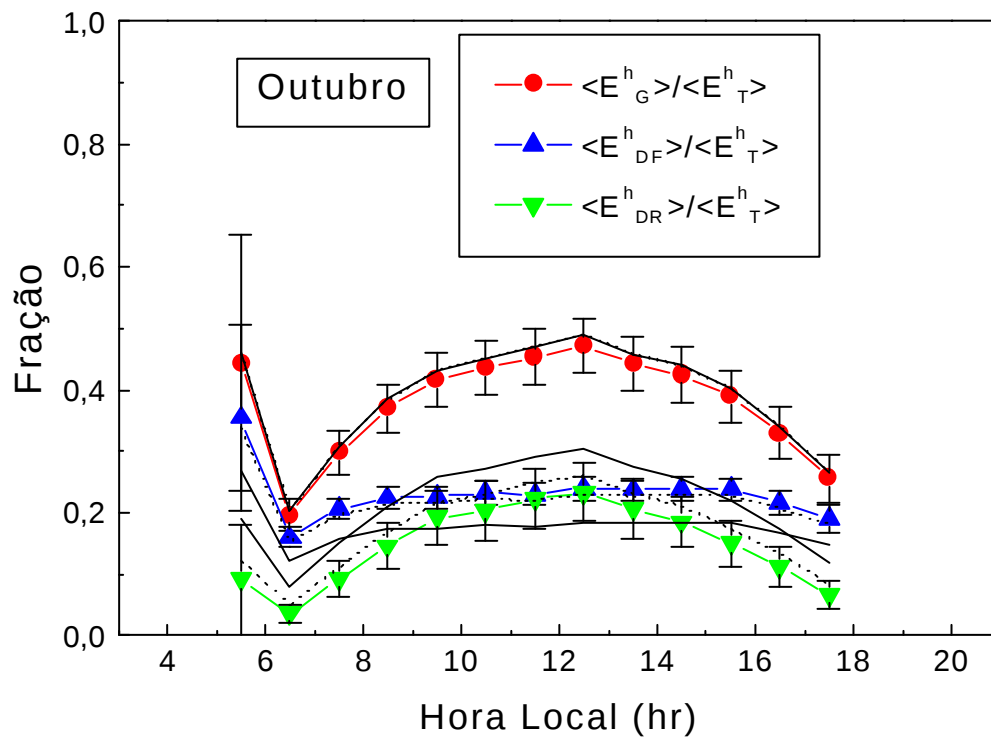


Fig. 6.25: idem àFig. 6.16 para o mês de outubro

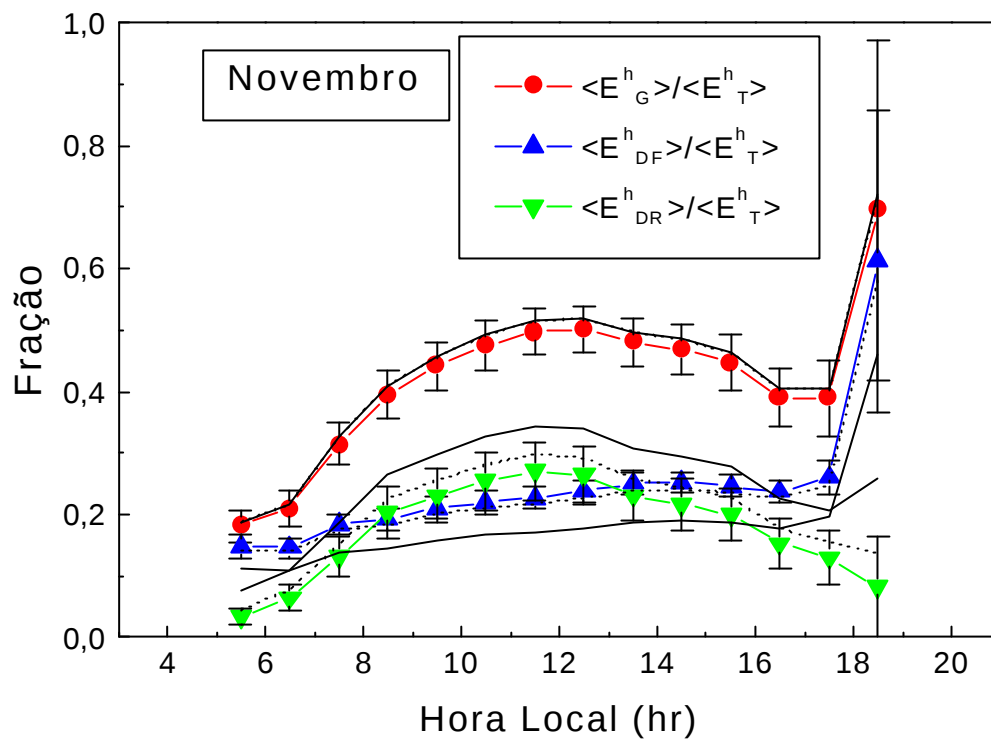


Fig. 6.26: idem àFig. 6.16 para o mês de novembro

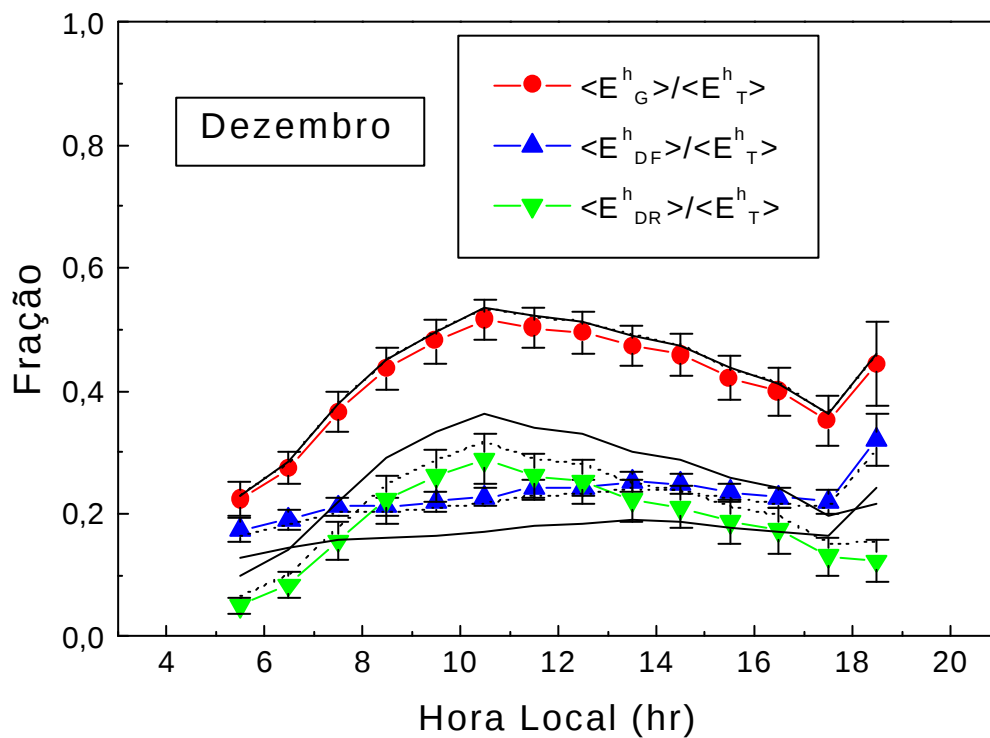


Fig. 6.27: idem àFig. 6.16 para o mês de dezembro

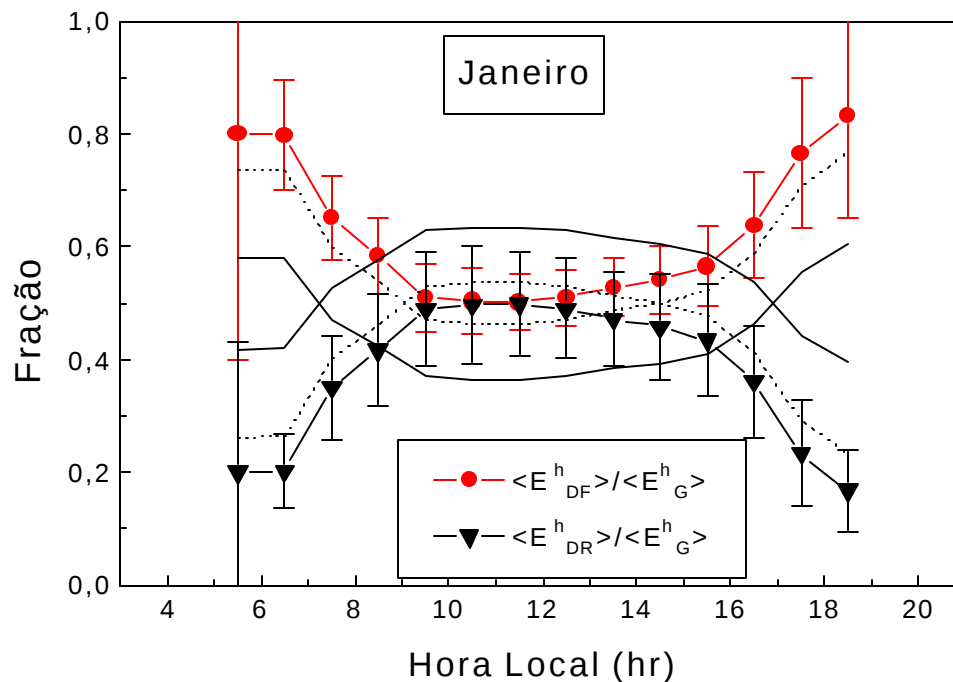


Figura 6.28: Variação diurna das frações dos valores horários médios mensais da radiação solar difusa e direta em relação à radiação solar global incidentes na superfície durante o mês de Janeiro.

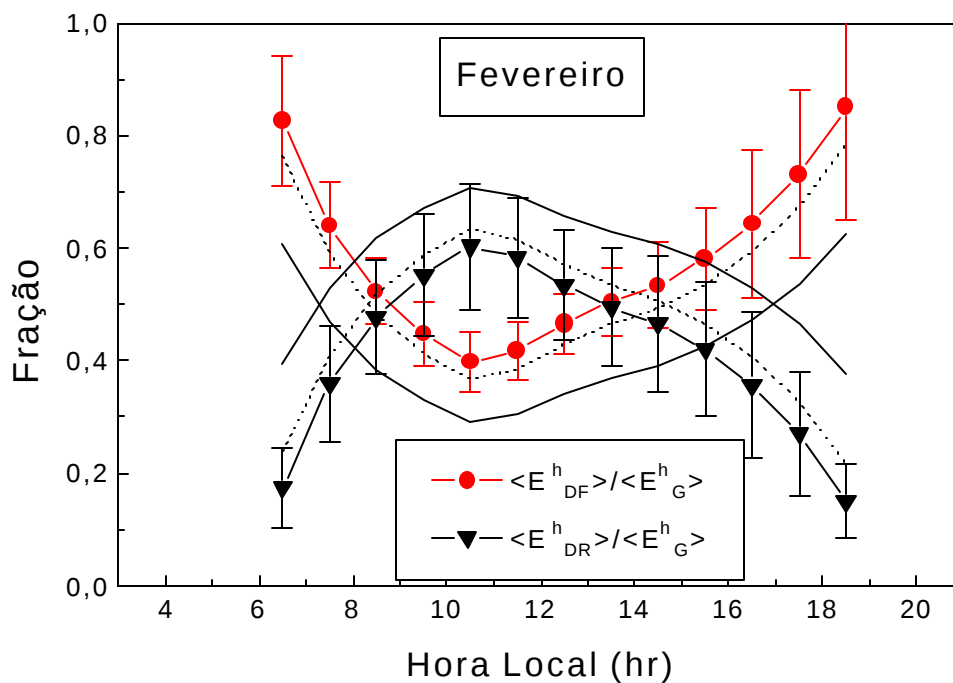


Fig. 6.29: idem à Fig. 6.28 para o mês de fevereiro

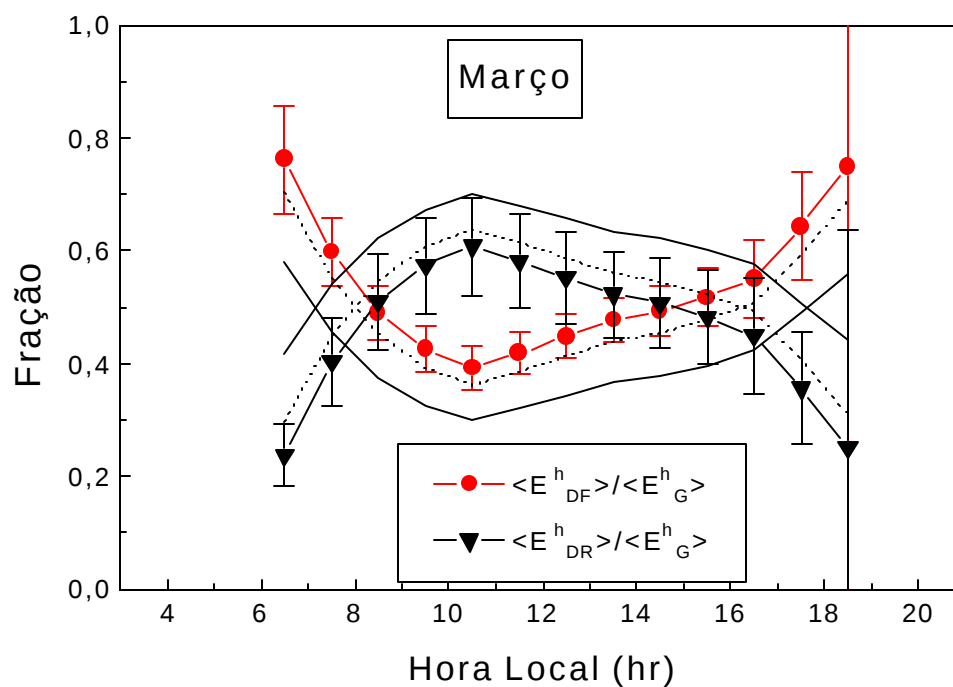


Fig. 6.30: idem àFig. 6.28 para o mês de março

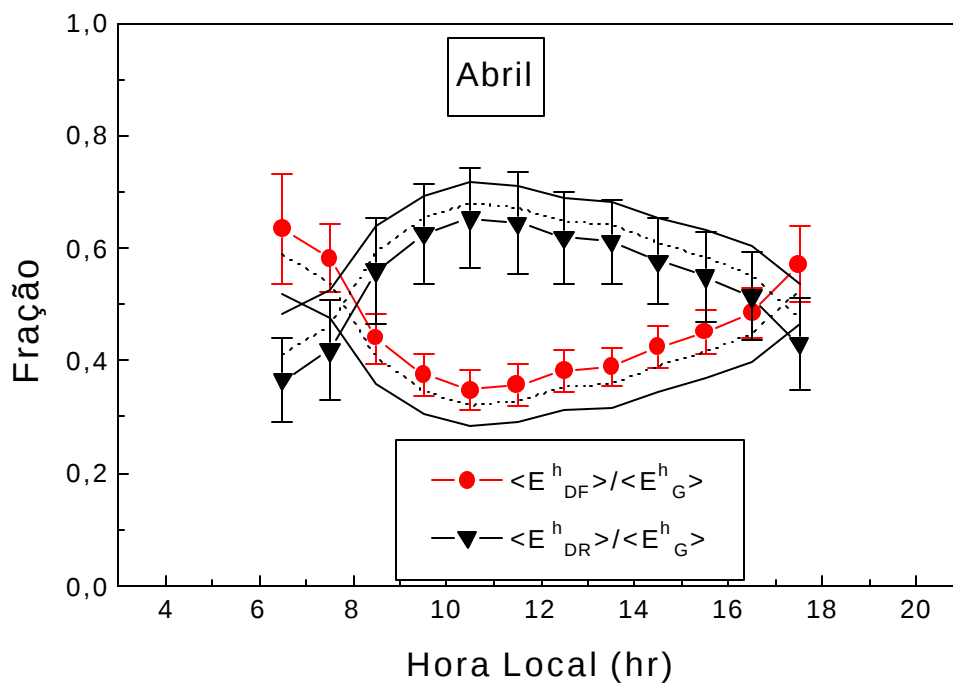


Fig. 6.31: idem àFig. 6.28 para o mês de abril

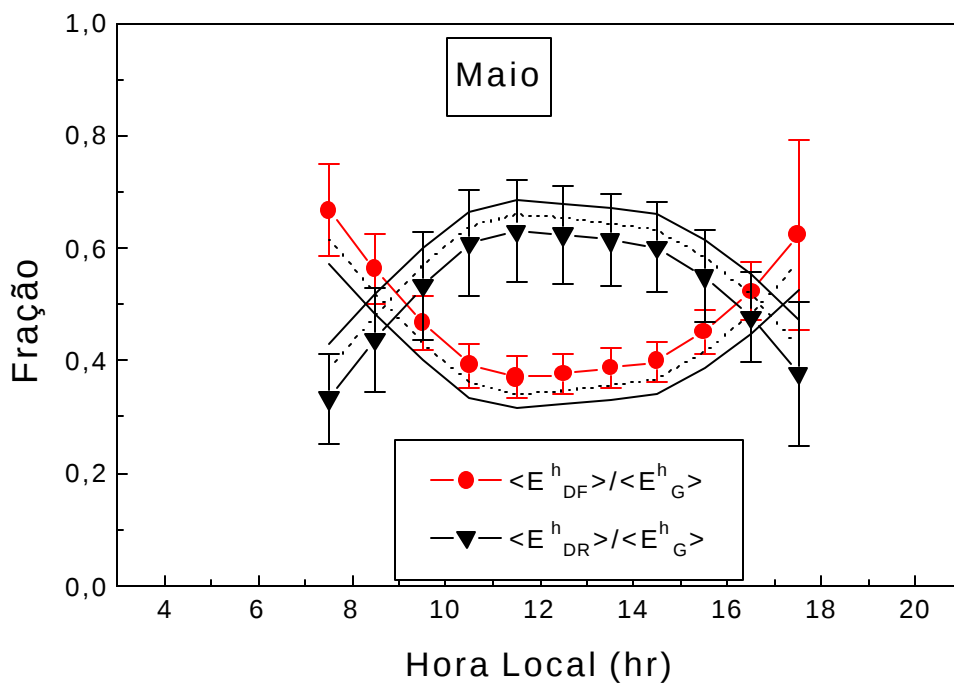


Fig. 6.32: idem àFig. 6.28 para o mês de maio

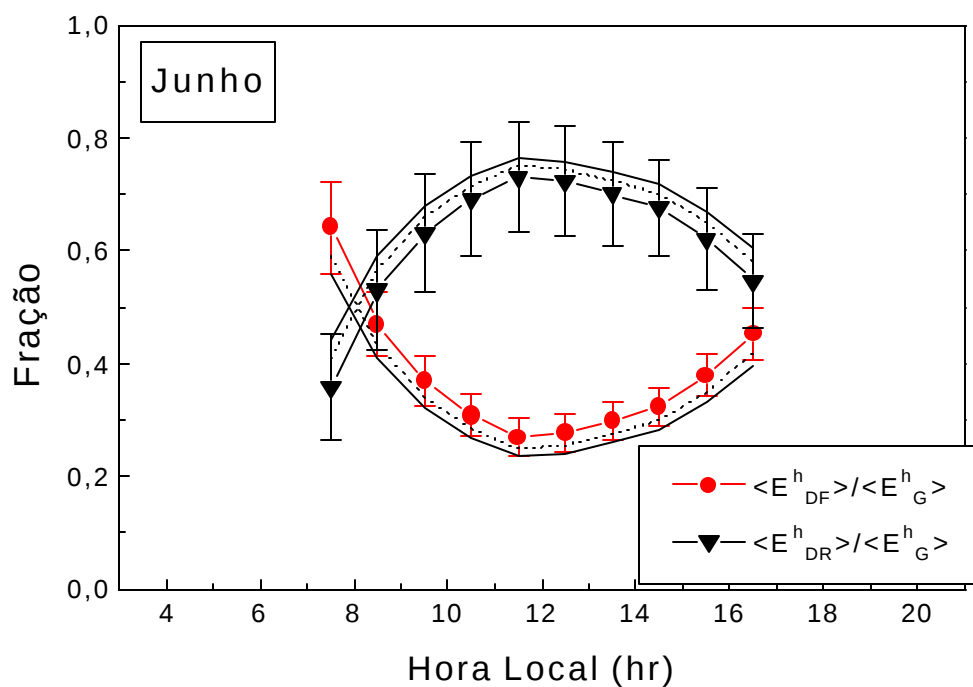


Fig. 6.33: idem àFig. 6.28 para o mês de junho

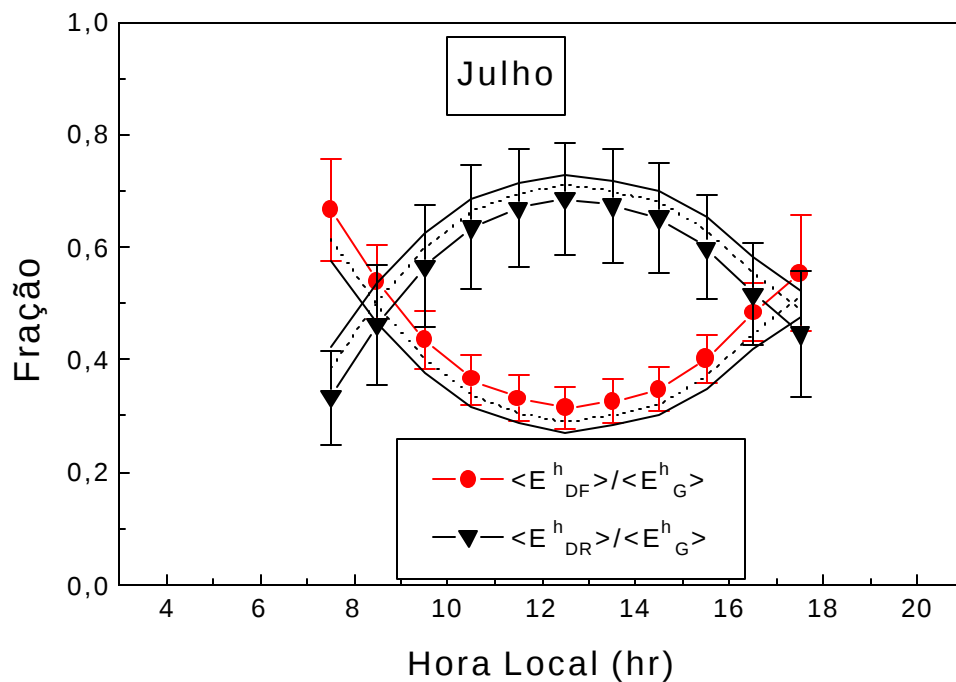


Fig. 6.34: idem àFig. 6.28 para o mês de julho

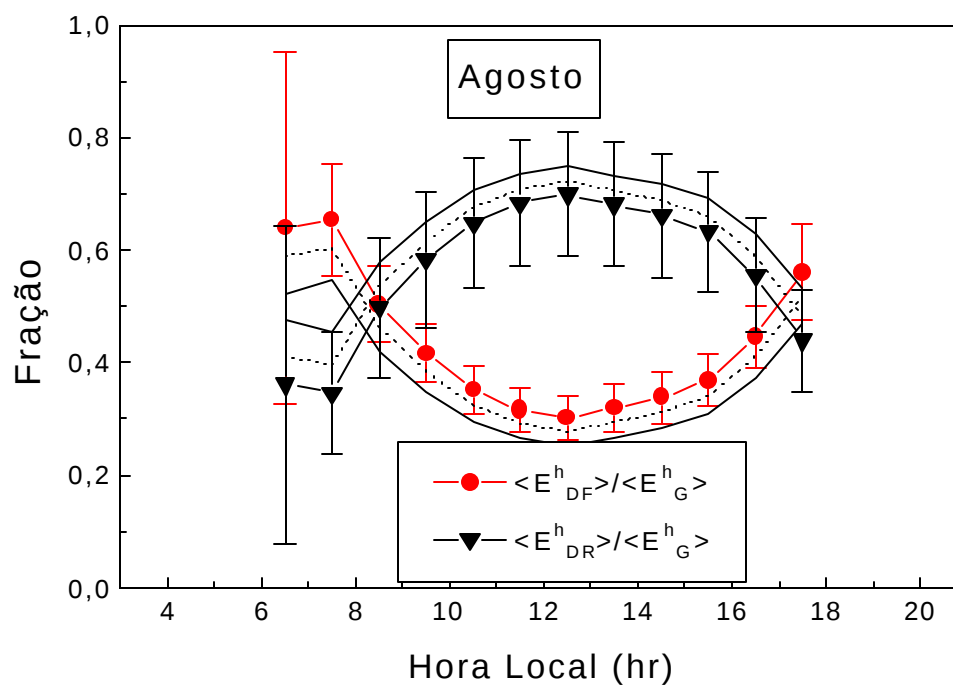


Fig. 6.35: idem àFig. 6.28 para o mês de agosto

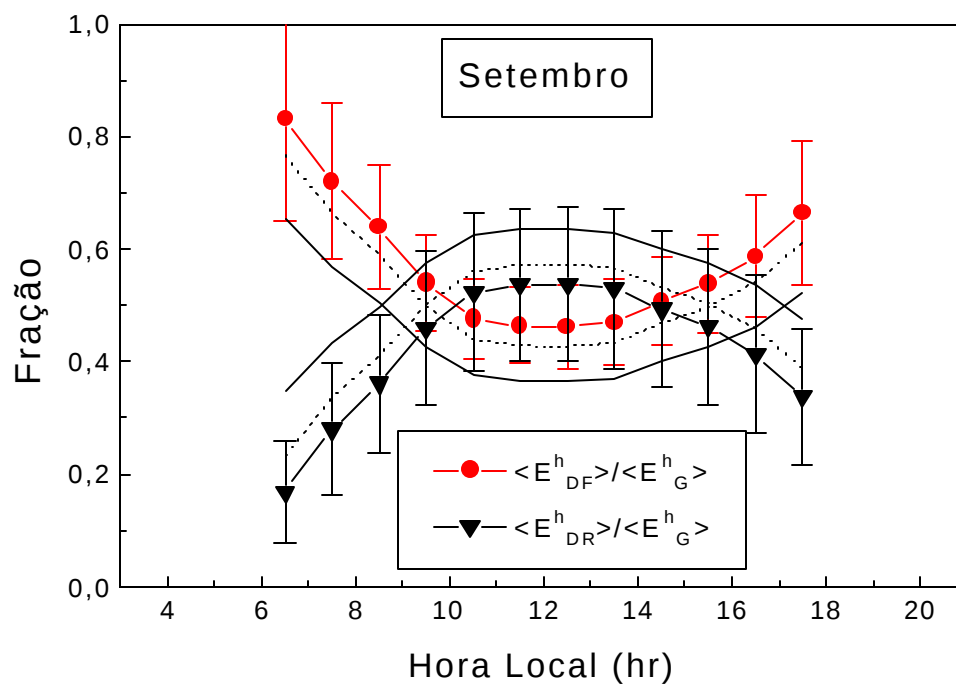


Fig. 6.36: idem àFig. 6.28 para o mês de setembro

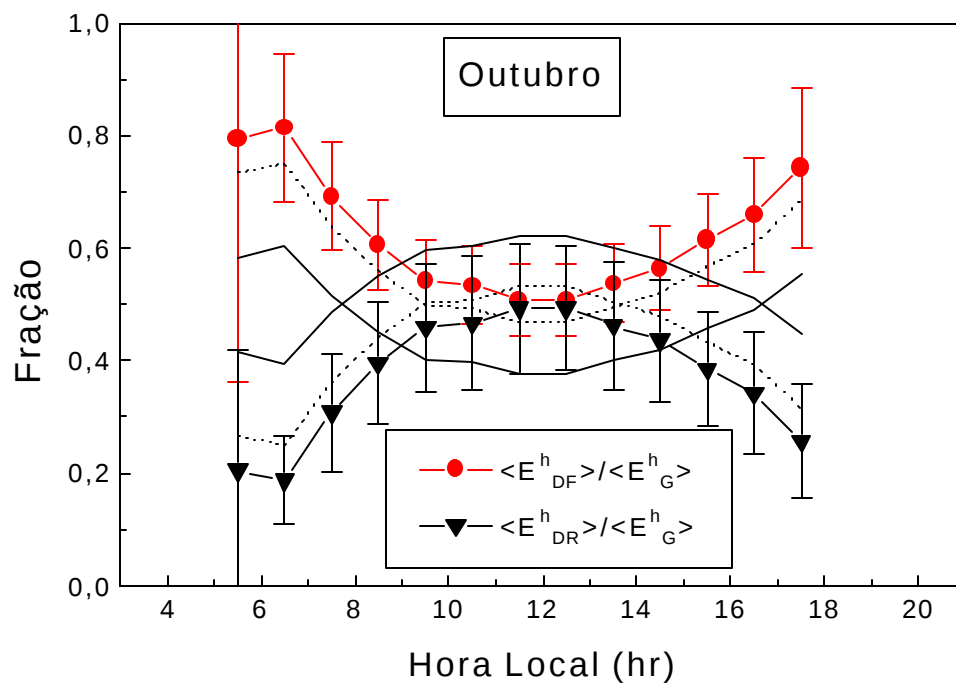


Fig. 6.36: idem àFig. 6.28 para o mês de outubro

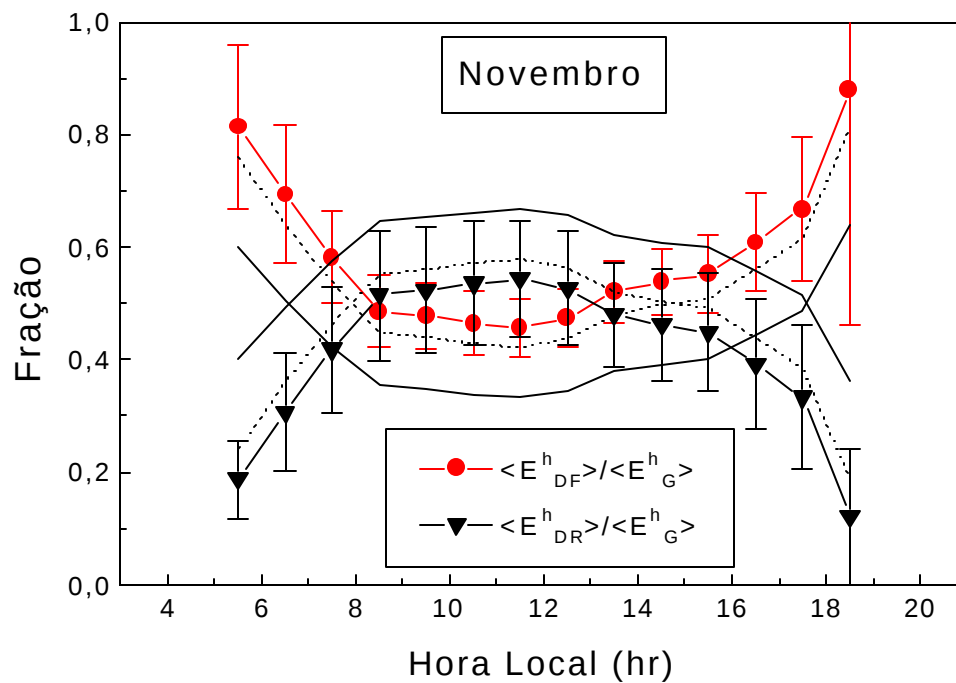


Fig. 6.38: idem àFig. 6.28 para o mês de novembro

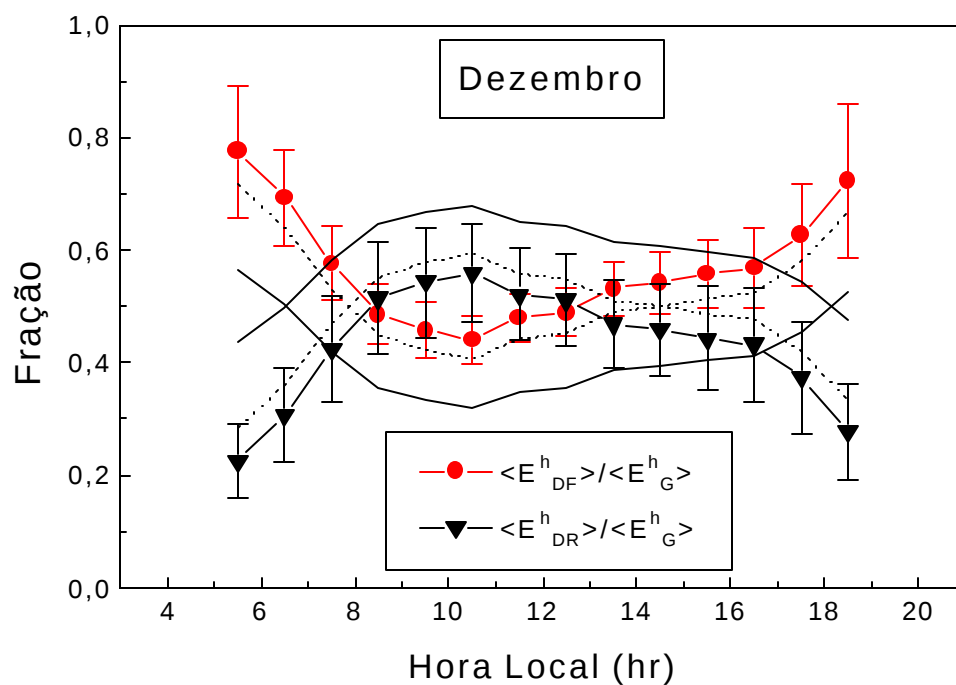


Fig. 6.39: idem àFig. 6.28 para o mês de dezembro

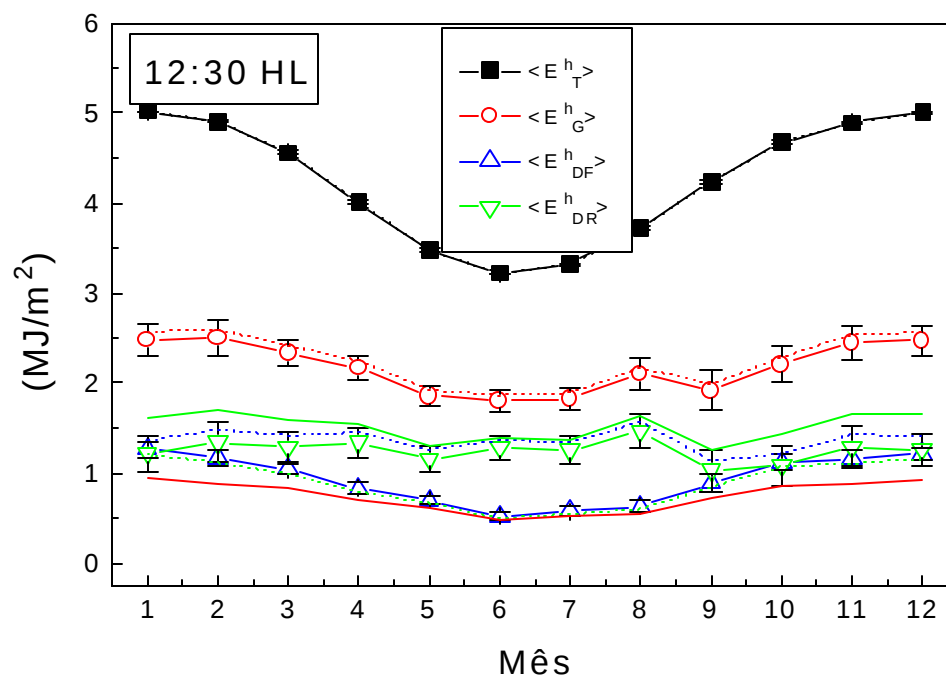


Figura 6.40: Variação anual dos valores horários médios mensais da radiação solar incidente no topo da atmosfera e da radiação solar global, difusa e direta incidentes na superfície, entre 12.00 e 13.00 horas local.

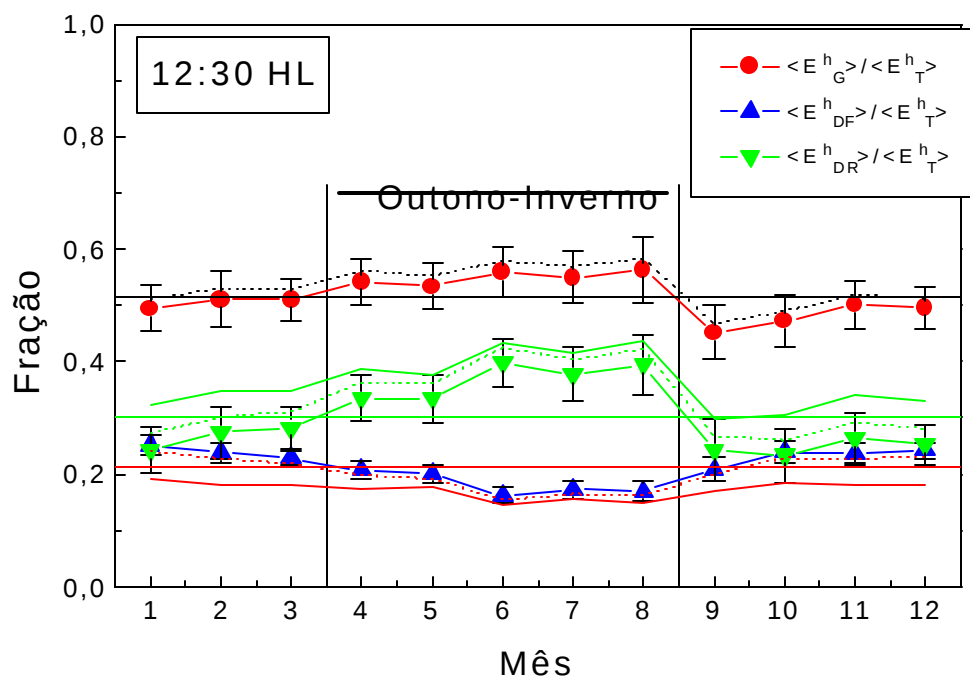


Fig. 6.41: Variação das frações dos valores horários médios da radiação solar global, difusa e direta na superfície, em relação aos valores horários médios da radiação solar incidente no topo, entre 12.00 e 13.00 horas local.

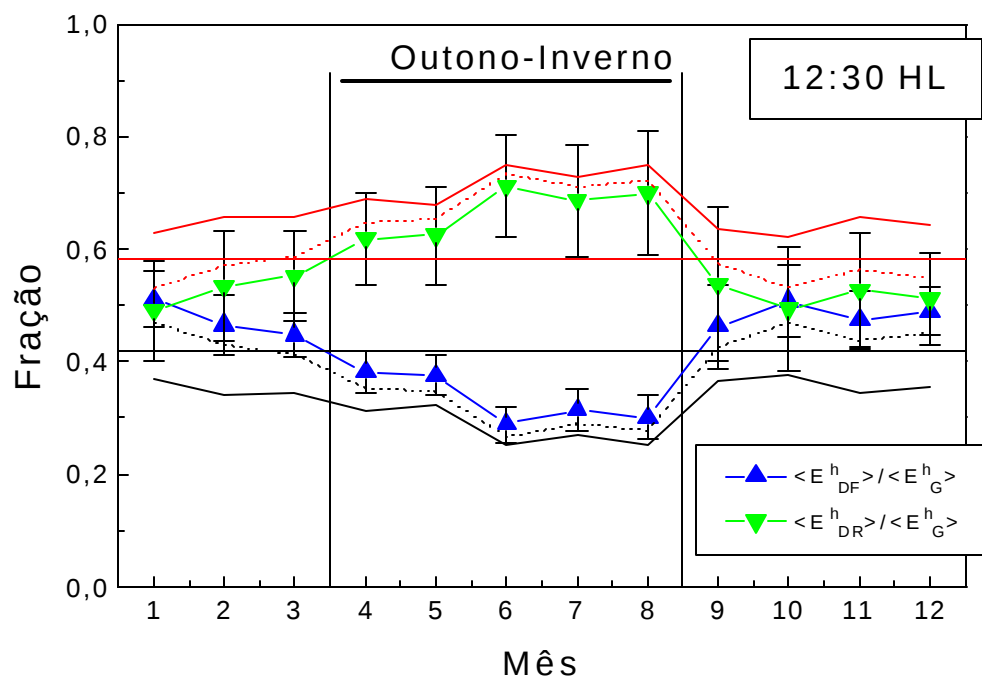


Fig. 6.42: Variação anual das frações dos valores horários médios mensais da radiação solar difusa e direta em relação aos valores horários médios mensais da radiação solar global, incidentes na superfície, entre 12.00 e 13.00 horas locais.

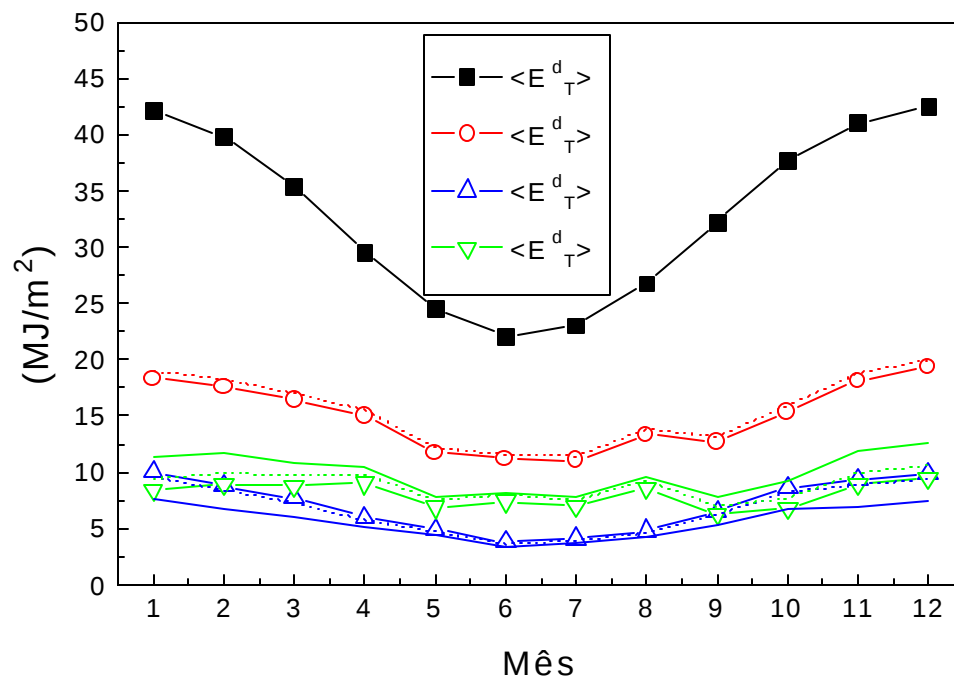


Figura 6.43: Variação anual dos valores diários médios mensais da radiação solar incidente no topo da atmosfera e da radiação solar global, difusa e direta incidentes na superfície.

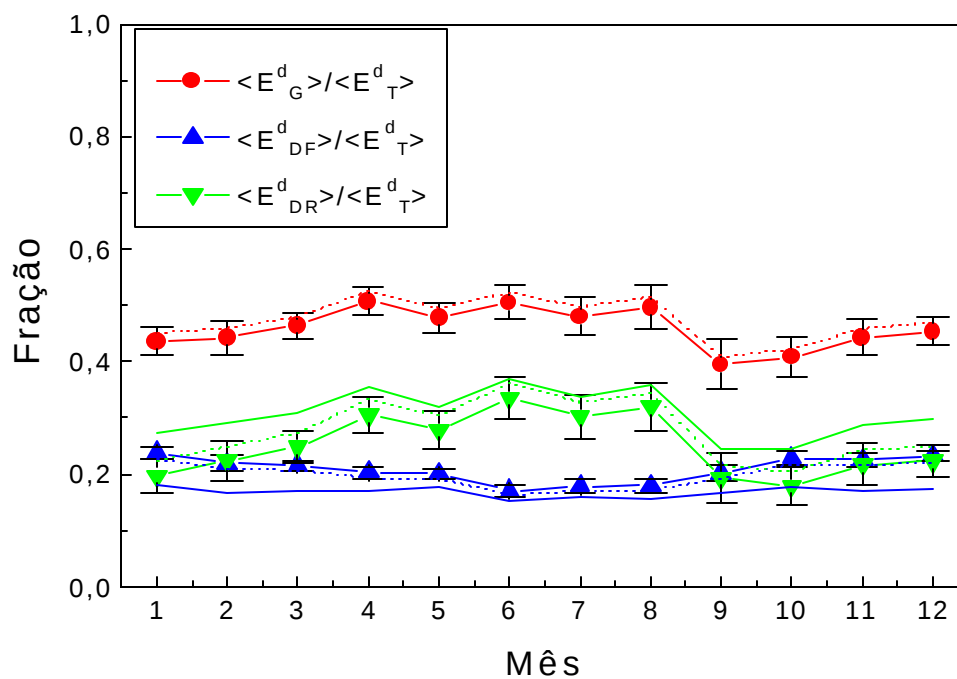


Fig. 6.44: Variação anual das frações dos valores diários médios mensais da radiação solar global, difusa e direta incidentes na superfície, em relação aos valores médios mensais da radiação solar incidente no topo da atmosfera.

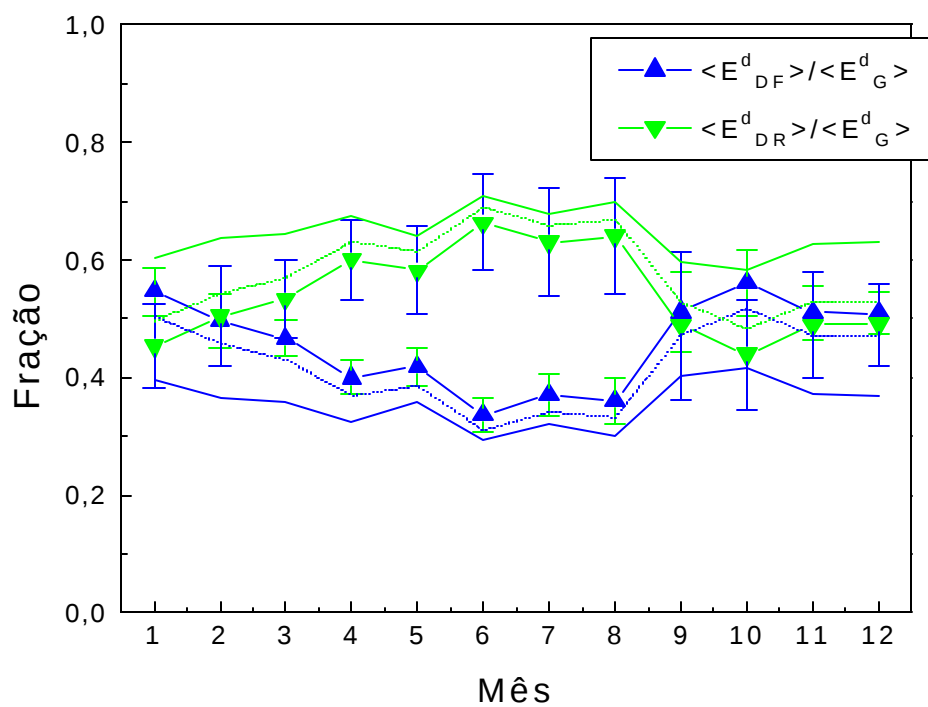


Fig. 6.45: Variação anual das frações dos valores diários médios mensais da radiação solar difusa e direta em relação aos valores diários médios mensais da radiação solar global, incidentes na superfície.

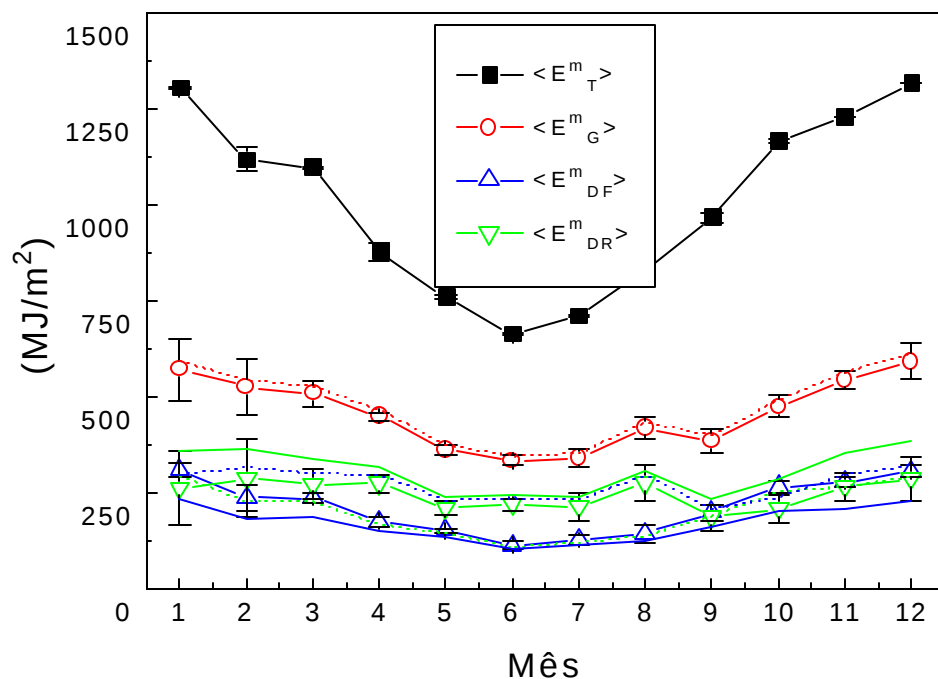


Figura 6.46: Variação anual dos valores mensais médios da radiação solar incidente no topo da atmosfera e da radiação solar global, difusa e direta incidentes na superfície.

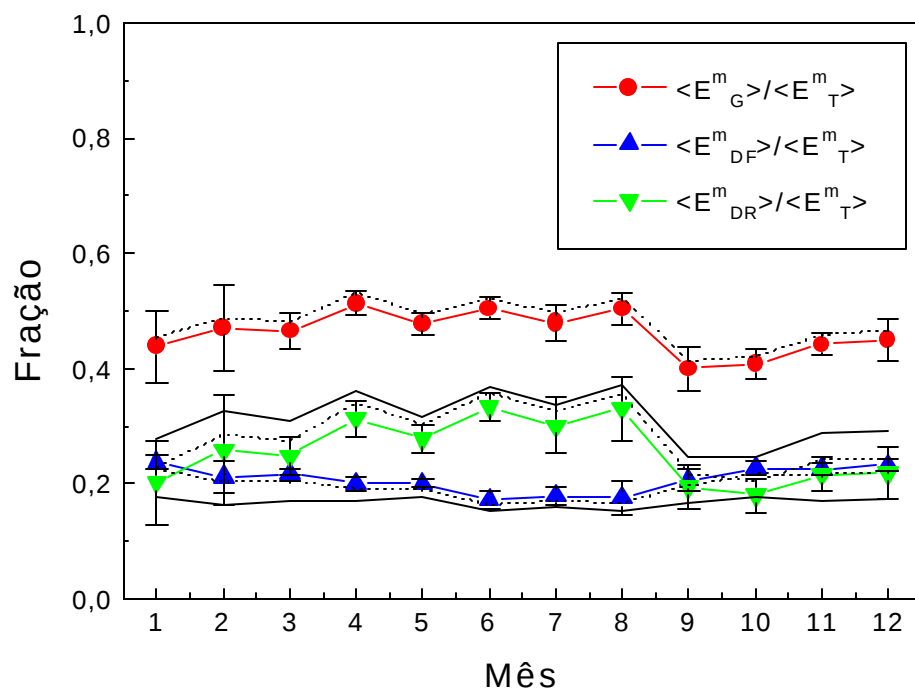


Fig. 6.47: Variação anual das frações dos valores mensais médios da radiação solar global, difusa e direta incidentes na superfície, em relação aos valores mensais médios da radiação solar incidente no topo da atmosfera.

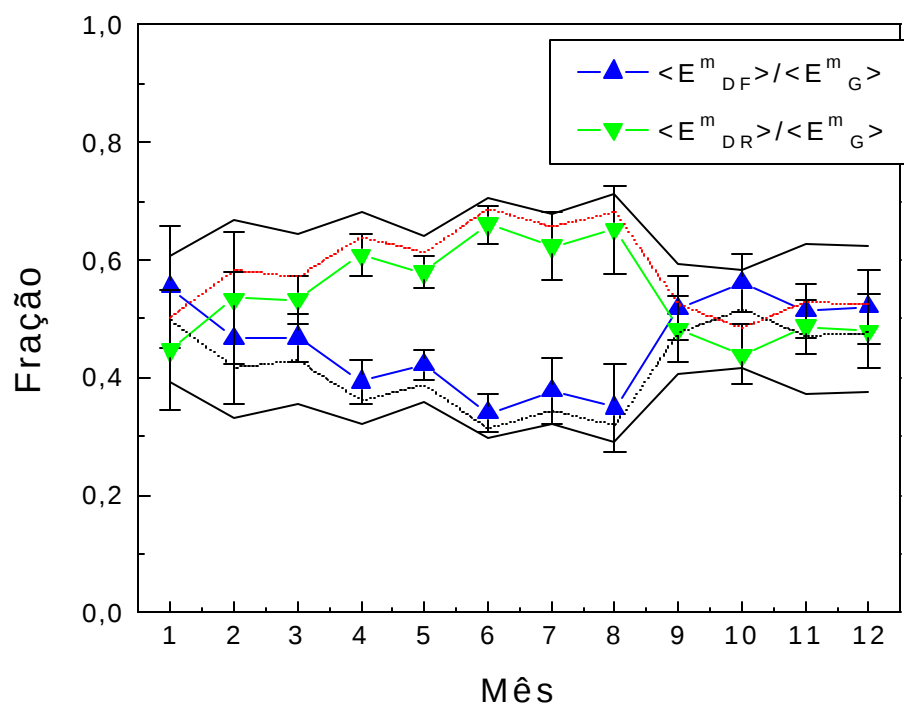


Fig. 6.48: Variação anual das frações dos valores mensais médios da radiação solar difusa e direta em relação aos valores mensais médios da radiação solar global, incidentes na superfície.

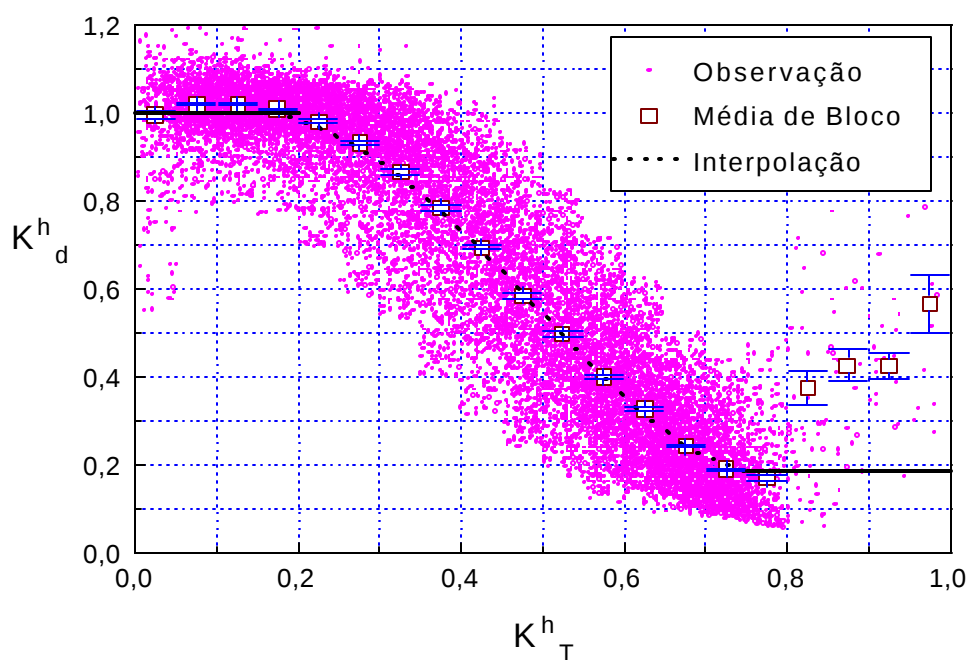


Figura 6.49: Diagrama de dispersão $K_T^h - K_d^h$ para os totais horários de radiação solar na Cidade de São Paulo.

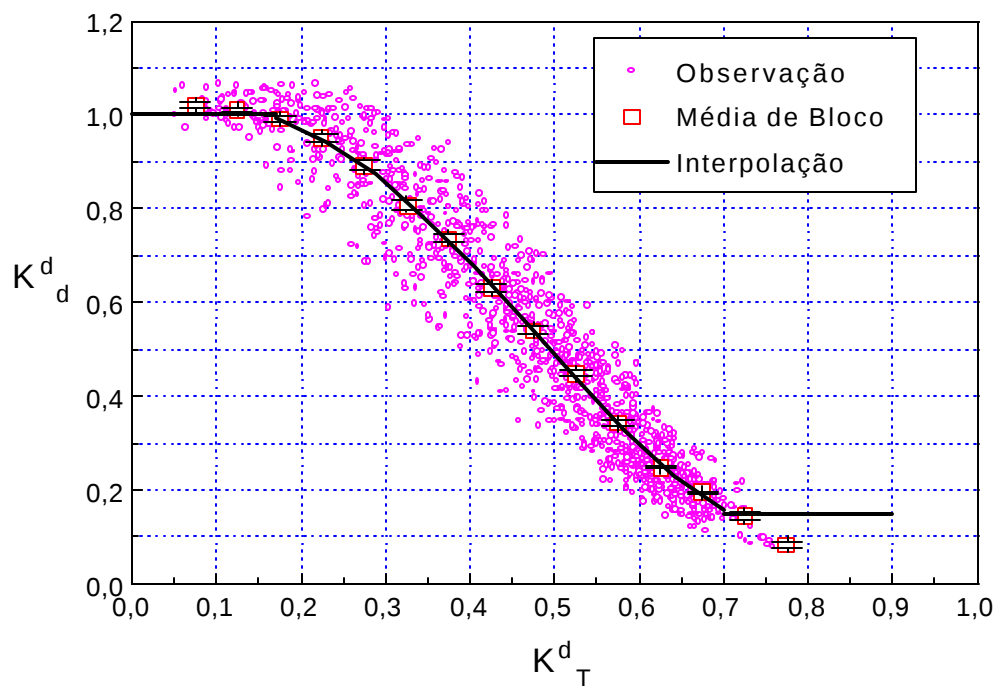


Figura 6.50: Diagrama de dispersão $K_T^d - K_d^d$ para os totais diários de radiação solar na Cidade de São Paulo.

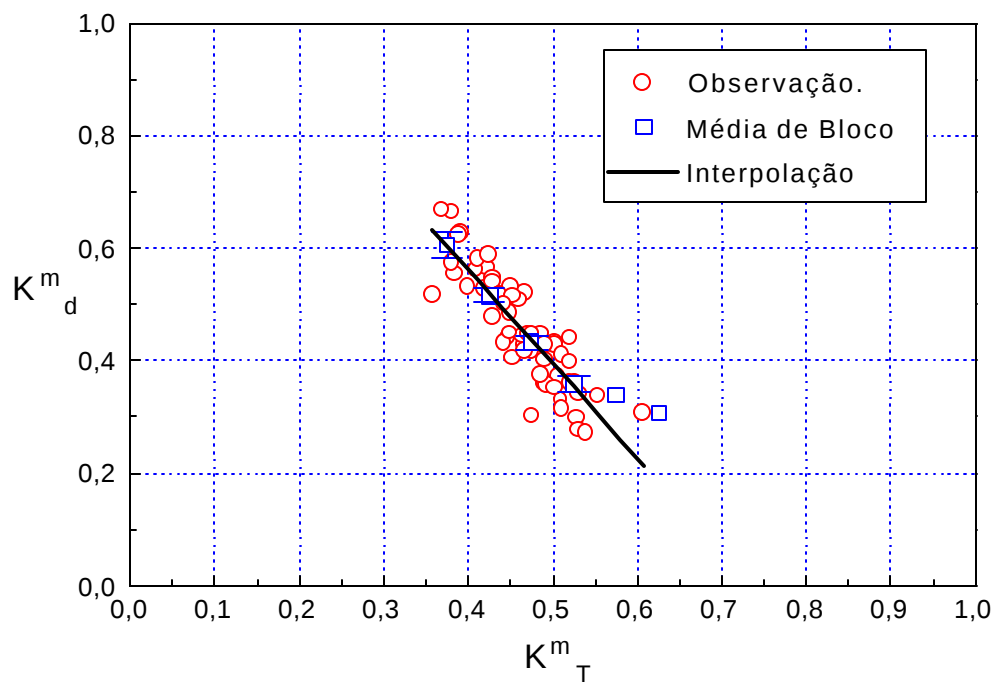


Figura 6.51: Diagrama de dispersão $K_T^m - K_d^m$ para os totais mensais de radiação solar na Cidade de São Paulo.

Tabela 6.2: Média mensal dos valores horários às 12:30 HL na Cidade de São Paulo. A coluna N corresponde ao número de valores usados na estatística.

	$\langle E_T^h \rangle \pm \epsilon_T^h$	$\langle E_G^h \rangle \pm \epsilon_G^h$	$\langle E_{DF}^h \rangle \pm \epsilon_{DF}^h$	$\langle E_{DR}^h \rangle \pm \epsilon_{DR}^h$	N
Jan	5.018±0.001	2.481±0.085	1.265±0.044	1.217±0.102	112
Fev	4.908±0.006	2.508±0.099	1.167±0.046	1.340±0.112	82
Mar	4.561±0.011	2.330±0.073	1.043±0.031	1.287±0.084	138
Abr	4.010±0.013	2.171±0.063	0.830±0.032	1.341±0.082	132
Mai	3.477±0.010	1.856±0.059	0.697±0.026	1.159±0.073	137
Jun	3.221±0.002	1.800±0.057	0.519±0.023	1.281±0.070	131
Jul	3.319±0.006	1.824±0.065	0.572±0.028	1.252±0.079	114
Ago	3.722±0.007	2.096±0.090	0.630±0.032	1.465±0.097	83
Set	4.240±0.007	1.915±0.112	0.886±0.049	1.029±0.117	84
Out	4.674±0.009	2.209±0.105	1.122±0.047	1.087±0.110	96
Nov	4.894±0.003	2.451±0.095	1.161±0.044	1.290±0.113	109
Dez	5.000±0.001	2.474±0.084	1.212±0.036	1.262±0.091	136

Tabela 6.3: Frações mensais médias baseadas nos valores horários das componentes da radiação solar às 12:30 HL na Cidade de São Paulo.

	$\langle E_G^h/E_T^h \rangle \pm \varepsilon_{G/T}^h$	$\langle E_{DF}^h/E_T^h \rangle \pm \varepsilon_{DF/T}^h$	$\langle E_{DR}^h/E_T^h \rangle \pm \varepsilon_{DR/T}^h$	$\langle E_{DF}^h/E_G^h \rangle \pm \varepsilon_{DF/G}^h$
Jan	0.495±0.017	0.252±0.009	0.243±0.020	0.610±0.029
Fev	0.511±0.020	0.238±0.009	0.273±0.023	0.559±0.032
Mar	0.511±0.016	0.229±0.007	0.282±0.018	0.548±0.025
Abr	0.542±0.016	0.206±0.008	0.336±0.020	0.476±0.026
Mai	0.533±0.017	0.201±0.007	0.333±0.021	0.486±0.027
Jun	0.559±0.018	0.161±0.007	0.398±0.022	0.410±0.028
Jul	0.549±0.020	0.172±0.008	0.377±0.024	0.438±0.032
Ago	0.563±0.024	0.169±0.009	0.393±0.026	0.417±0.034
Set	0.452±0.026	0.209±0.011	0.243±0.028	0.636±0.039
Out	0.473±0.022	0.240±0.010	0.233±0.024	0.646±0.033
Nov	0.501±0.019	0.237±0.009	0.264±0.023	0.600±0.032
Dez	0.495±0.017	0.242±0.007	0.252±0.018	0.601±0.026

Tabela 6.4: Frações das médias mensais baseadas nos valores horários das componentes da radiação solar às 12:30 HL na Cidade de São Paulo.

	$\langle E_G^h \rangle / \langle E_T^h \rangle \pm \varepsilon_{G/T}^h$	$\langle E_{DF}^h \rangle / \langle E_T^h \rangle \pm \varepsilon_{DF/T}^h$	$\langle E_{DR}^h \rangle / \langle E_T^h \rangle \pm \varepsilon_{DR/T}^h$	$\langle E_{DF}^h \rangle / \langle E_G^h \rangle \pm \varepsilon_{DF/G}^h$
Jan	0.494±0.020	0.252±0.009	0.242±0.020	0.510±0.025
Fev	0.511±0.024	0.238±0.009	0.273±0.023	0.465±0.026
Mar	0.511±0.019	0.229±0.007	0.282±0.019	0.448±0.019
Abr	0.541±0.020	0.207±0.008	0.334±0.020	0.382±0.018
Mai	0.534±0.020	0.201±0.007	0.333±0.021	0.376±0.018
Jun	0.559±0.022	0.161±0.007	0.398±0.022	0.288±0.016
Jul	0.550±0.024	0.172±0.008	0.377±0.024	0.314±0.019
Ago	0.563±0.029	0.169±0.009	0.394±0.026	0.301±0.020
Set	0.452±0.024	0.209±0.012	0.243±0.028	0.463±0.037
Out	0.473±0.023	0.240±0.010	0.233±0.024	0.508±0.032
Nov	0.501±0.022	0.237±0.009	0.264±0.023	0.474±0.026
Dez	0.495±0.019	0.242±0.007	0.252±0.018	0.490±0.022
Média	0.515±0.022	0.213±0.009	0.302±0.022	0.418±0.023

Tabela 6.5: Médias mensais dos valores diários das componentes da radiação solar para a Cidade de São Paulo. A coluna N corresponde ao número de valores usados na estatística.

	$\langle E_T^d \rangle \pm \epsilon_T^d$	$\langle E_G^d \rangle \pm \epsilon_G^d$	$\langle E_{DF}^d \rangle \pm \epsilon_{DF}^d$	$\langle E_{DR}^d \rangle \pm \epsilon_{DR}^d$	N
Jan	42.076±0.036	18.300±0.514	10.001±0.251	8.299±0.623	112
Fev	39.841±0.094	17.643±0.604	8.755±0.547	8.888±0.690	82
Mar	35.353±0.125	16.378±0.432	7.638±0.157	8.740±0.494	138
Abr	29.575±0.131	14.994±0.365	5.996±0.167	8.998±0.465	132
Mai	24.520±0.089	11.748±0.338	4.914±0.122	6.834±0.396	137
Jun	22.120±0.021	11.172±0.338	3.758±0.122	7.414±0.394	131
Jul	22.954±0.058	11.032±0.386	4.087±0.137	6.945±0.444	114
Ago	26.759±0.132	13.329±0.541	4.794±0.165	8.535±0.516	83
Set	32.225±0.150	12.712±0.713	6.505±0.234	6.208±0.721	84
Out	37.680±0.121	15.341±0.667	8.602±0.222	6.739±0.656	96
Nov	40.999±0.053	18.142±0.655	9.258±0.245	8.885±0.752	109
Dez	42.499±0.013	19.283±0.538	9.826±0.206	9.457±0.617	136

Tabela 6.6: Médias mensais das frações baseadas nos valores diários das componentes da radiação solar na Cidade de São Paulo.

	$\langle E_G^d/E_T^d \rangle \pm \epsilon_{G/T}^d$	$\langle E_{DF}^d/E_T^d \rangle \pm \epsilon_{D/T}^d$	$\langle E_{DR}^d/E_T^d \rangle \pm \epsilon_{DR/T}^d$	$\langle E_{DF}^d/E_G^d \rangle \pm \epsilon_{D/G}^d$
Jan	0.435±0.012	0.238±0.006	0.198±0.015	0.615±0.024
Fev	0.443±0.015	0.220±0.007	0.224±0.017	0.564±0.028
Mar	0.463±0.012	0.216±0.004	0.247±0.014	0.539±0.021
Abr	0.507±0.012	0.202±0.005	0.305±0.016	0.463±0.021
Mai	0.478±0.013	0.201±0.005	0.277±0.016	0.500±0.022
Jun	0.505±0.015	0.170±0.005	0.335±0.018	0.431±0.025
Jul	0.480±0.017	0.178±0.006	0.302±0.019	0.477±0.028
Ago	0.497±0.020	0.179±0.006	0.318±0.021	0.455±0.030
Set	0.394±0.022	0.202±0.007	0.193±0.022	0.665±0.034
Out	0.407±0.018	0.228±0.006	0.179±0.018	0.669±0.028
Nov	0.443±0.016	0.226±0.006	0.217±0.018	0.616±0.028
Dez	0.454±0.013	0.231±0.005	0.223±0.015	0.586±0.022
Céu Claro	0.654±0.011	0.137±0.008	0.517±0.018	0.213±0.016

Tabela 6.7: Frações das médias mensais baseadas nos valores diários das componentes da radiação solar na Cidade de São Paulo.

	$\langle E_G^d \rangle / \langle E_T^d \rangle \pm \varepsilon_{G/T}^d$	$\langle E_{DF}^d \rangle / \langle E_T^d \rangle \pm \varepsilon_{DF/T}^d$	$\langle E_{DR}^d \rangle / \langle E_T^d \rangle \pm \varepsilon_{DR/T}^d$	$\langle E_{DF}^d \rangle / \langle E_G^d \rangle \pm \varepsilon_{DF/G}^d$
Jan	0.435±0.012	0.238±0.006	0.197±0.015	0.547±0.021
Fev	0.443±0.015	0.220±0.007	0.223±0.017	0.496±0.023
Mar	0.463±0.012	0.216±0.005	0.247±0.014	0.466±0.016
Abr	0.507±0.013	0.203±0.006	0.304±0.016	0.400±0.015
Mai	0.479±0.014	0.200±0.005	0.279±0.016	0.418±0.016
Jun	0.505±0.015	0.170±0.005	0.335±0.018	0.336±0.015
Jul	0.481±0.017	0.178±0.006	0.303±0.019	0.370±0.018
Ago	0.498±0.020	0.179±0.006	0.319±0.021	0.360±0.019
Set	0.394±0.022	0.202±0.007	0.193±0.022	0.512±0.034
Out	0.407±0.018	0.228±0.006	0.179±0.017	0.561±0.028
Nov	0.443±0.016	0.226±0.006	0.217±0.018	0.510±0.023
Dez	0.454±0.013	0.231±0.005	0.223±0.015	0.510±0.018
Céu Claro	0.654±0.014	0.137±0.008	0.517±0.019	0.210±0.013
Média	0.459±0.011	0.208±0.007	0.251±0.016	0.457±0.022

Tabela 6.8: Médias mensais dos valores mensais das componentes da radiação solar para a Cidade de São Paulo. A coluna N corresponde ao número de valores usados na estatística. Os valores de E_T^m correspondentes a 1996 não foram considerados.

	E_T^m	$\langle E_G^m \rangle \pm \epsilon_G^m$	$\langle E_{DF}^m \rangle \pm \epsilon_{DF}^m$	$\langle E_{DR}^m \rangle \pm \epsilon_{DR}^m$	N
Jan	1304,20	572 $\pm$ 40	309 $\pm$ 08	264 $\pm$ 48	5
Fev	1113,40	526 $\pm$ 37	238 $\pm$ 17	288 $\pm$ 50	5
Mar	1096,50	509 $\pm$ 17	237 $\pm$ 05	272 $\pm$ 47	5
Abr	888,60	450 $\pm$ 05	176 $\pm$ 07	274 $\pm$ 11	6
Mai	763,13	363 $\pm$ 07	152 $\pm$ 03	210 $\pm$ 09	6
Jun	664,91	334 $\pm$ 06	113 $\pm$ 05	221 $\pm$ 08	6
Jul	714,50	341 $\pm$ 13	127 $\pm$ 06	214 $\pm$ 18	5
Ago	836,32	419 $\pm$ 13	145 $\pm$ 12	275 $\pm$ 24	4
Set	973,86	386 $\pm$ 16	199 $\pm$ 10	187 $\pm$ 17	4
Out	1166,20	475 $\pm$ 14	266 $\pm$ 07	209 $\pm$ 17	4
Nov	1231,50	544 $\pm$ 12	278 $\pm$ 07	266 $\pm$ 18	5
Dez	1316,70	593 $\pm$ 24	306 $\pm$ 08	287 $\pm$ 29	5

Tabela 6.9: Razões mensais médias dos valores mensais da componente difusa pela componente global da radiação solar na superfície e as razões dos valores mensais da radiação solar difusa diária pela radiação solar global diária para a Cidade de São Paulo.

	$\langle E_{DF}^m / E_G^m \rangle \pm \epsilon_{DF/G}^m$	$\langle E_{DF}^d \rangle / \langle E_G^d \rangle \pm \epsilon_{DF/G}^d$
Jan	0,554±0,051	0.547±0.021
Fev	0,466±0,056	0.496±0.023
Mar	0,467±0,020	0.466±0.016
Abr	0,392±0,018	0.400±0.015
Mai	0,421±0,013	0.418±0.016
Jun	0,340±0,017	0.336±0.015
Jul	0,377±0,028	0.370±0.018
Ago	0,348±0,038	0.360±0.019
Set	0,518±0,028	0.512±0.034
Out	0,561±0,026	0.561±0.028
Nov	0,513±0,023	0.510±0.023
Dez	0,521±0,031	0.510±0.018