

**RELATÓRIO TÉCNICO FINAL DO PROJETO DE PESQUISA**

**ESTUDO DA CAMADA LIMITE PLANETÁRIA SOBRE  
REGIÕES COM TOPOGRAFIA COMPLEXA E OCUPAÇÃO  
DO SOLO HETEROGÊNEA**

**PROCESSO NO. 476807/2007-7**

**COORDENADORES**

**AMAURI PEREIRA DE OLIVEIRA E JACYRA SOARES**

GRUPO DE MICROMETEOROLOGIA  
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS  
INSTITUTO DE ASTRONOMIA, GEOFÍSICA E CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS  
UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
SÃO PAULO



**ABRIL DE 2011**

**ÍNDICE**

<b>Item</b>	<b>Descrição</b>	<b>Página</b>
<b>1</b>	<b>Principais objetivos do projeto</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>Principais etapas do projeto concluídas</b>	<b>4</b>
<b>2.1.</b>	<b>Estudo observacional e numérico da CLP em regiões urbanas</b>	<b>4</b>
<b>2.1.1</b>	<b>Plataforma Micrometeorológica do IAG</b>	<b>4</b>
<b>2.1.2</b>	<b>Instalação da Torre Micrometeorológica</b>	<b>4</b>
<b>2.1.3</b>	<b>Instalação dos novos sensores</b>	<b>8</b>
<b>2.1.4</b>	<b>Instalação dos novos computadores</b>	<b>8</b>
<b>2.1.5</b>	<b>Aferição e calibração dos sensores</b>	<b>10</b>
<b>2.1.6</b>	<b>Estimativa do balanço de energia na superfície urbana de São Paulo</b>	<b>14</b>
<b>2.1.7</b>	<b>Estudo observacional em outras regiões urbanas</b>	<b>21</b>
<b>2.1.8</b>	<b>Estudo observacional e numérico da CLP em regiões rurais</b>	<b>24</b>
<b>2.2</b>	<b>Modelagem numérica da CLP na região urbana de São Paulo</b>	<b>25</b>
<b>2.2.1</b>	<b>Modelo TVM-NH</b>	<b>25</b>
<b>2.2.2</b>	<b>Modelo de Fechamento de Segunda Ordem</b>	<b>26</b>
<b>2.2.3</b>	<b>Modelo LES</b>	<b>27</b>
<b>2.3</b>	<b>Balanço de radiação na superfície de São Paulo</b>	<b>37</b>
<b>2.4</b>	<b>Investigação da CLP sobre regiões Oceânicas</b>	<b>40</b>
<b>3</b>	<b>Conclusão</b>	<b>40</b>
<b>4</b>	<b>Referencias bibliográficas</b>	<b>48</b>

## 1 - Principais objetivos do projeto

Este projeto tem como objetivo *geral* investigar as propriedades da CLP sobre regiões continentais - urbana e rural - e oceânicas, utilizando observações e modelos numéricos (LES, MFSO, TVM). Como exemplos de região continental serão estudados a área rural de Iperó (região rural) e uma área piloto urbana da RMSP (região urbana) a ser determinada após levantamentos cartográficos e de ocupação do solo detalhados. Como representativo de regiões oceânicas serão investigados o Arquipélago de São Pedro e São Paulo, localizado em mar tropical aberto, e a plataforma continental sudeste do Brasil.

Neste projeto as simulações da CLP com o modelo LES serão realizadas inicialmente para condições convectivas e sem modificar o código do modelo. No período inicial do projeto pretende-se explorar a capacidade das parametrizações dos processos de interação atmosfera-dossel-superfície, existentes no código, em reproduzir os processos sobre uma superfície horizontalmente homogênea com características urbanas e rurais, tomando-se como referencia o banco de dados disponível na RMSP (Plataforma Micrometeorológica, Estação Meteorológica do IAG, rede de monitoramento ambiental da CETESB).

Serão investigados também o papel das circulações térmicas e mecânicas forçadas pela topografia e ocupação do solo na estrutura dinâmica e termodinâmica da CLP da área piloto urbana e na região rural de Iperó, com o modelo TVM. Será realizado um inventário das emissões veiculares de monóxido de carbono na área urbana piloto.

Serão efetuados também experimentos de campo no local objetivando estabelecer um conjunto de dados que permitam descrever o balanço de energia, massa e momento no dossel urbano e a evolução temporal e espacial da CLP urbana. Estes dados observacionais serão utilizados também para validar os estudos prévios de simulações numéricas. Pretende-se aqui que as simulações forneçam dados sobre a CLP urbana de modo a aperfeiçoar os experimentos de campo com melhor aproveitamento de equipamentos e recursos.

Pretende-se dar continuidade a investigação observacional das componentes do balanço de energia na superfície na cidade de São Paulo. Isto será feito através da aquisição de um conjunto de radiômetros (piranômetros, pirgeômetros e pireliômetro), sensores de pressão e de um novo sistema de aquisição de dados. Todos estes equipamentos são necessários para a renovação dos equipamentos da plataforma micrometeorológica do IAG - USP. Pretende-se também enviar para manutenção os sensores de vento (2 anemômetros Gill), 3 anemômetros sônicos e três higrômetros de criptônio, e a aquisição de transdutores (anemômetro sônico), termopares de arame fino e calibração dos tubos de criptônio dos higrômetros.

Deve ser salientado que a participação de pesquisadores da Universidade Federal do Rio de Janeiro, Universidade do Espírito Santo e Universidade Estadual de Maringá tem objetivo de promover o intercambio regional e a transferência dos conhecimentos acumulados pelo Grupo do IAG na área de micrometeorologia aonde existe grande carência de pesquisadores, facilitando também a transferência dos resultados deste estudo para as áreas urbanas de Vitória, Rio de Janeiro e Maringá.

## **2. Principais etapas executadas no período visando ao alcance dos objetivos:**

O projeto de pesquisa teve duração 3 anos, iniciando em 2008 e finalizando em 2010. Em virtude das reformas executadas no prédio do IAG foi solicitado (e concedido) um ano de prorrogação. Considerando os objetivos do projeto descrito na seção 1, neste período de três anos foram realizadas as seguintes atividades de pesquisa:

### **2.1. Estudo observacional e numérico da CLP em regiões urbanas**

Estes objetivos serão avaliados de forma integrada uma vez que envolvem a descrição observacional e numérica da CLP na região urbana de São Paulo.

A caracterização observacional da CLP na região urbana de São Paulo está sendo realizada através da descrição detalhada dos principais componentes do balanço de energia na superfície, focalizando nos fenômenos meteorológicos locais mais relevantes para a dispersão de poluentes na região e para quantificar os efeitos urbanos no clima local. As observações têm como objetivo identificar os principais processos físicos que determinam a intensidade e a natureza da turbulência na CLP.

#### **2.1.1. Plataforma Micrometeorológica do IAG**

Para investigar observacionalmente a CLP na região urbana de São Paulo o Grupo de Micrometeorologia do IAG da USP está efetuando observações da radiação solar global e difusa no topo do prédio do IAG (23°33'35"S; 46°43'55"W; 741,6 m), localizado no campus da Cidade Universitária do Butantã localizado na zona oeste da Cidade de São Paulo (Indicado por IAG na Fig. 1a) desde abril de 1994 de forma contínua (Oliveira *et al.*, 2002a).

As medidas de radiação difusa estão sendo feitas por meio do método do anel de sombreamento, utilizando o anel de sombreamento de 80 cm de diâmetro e 10 cm de largura, desenvolvido na UNESP de Botucatu (Oliveira *et al.*, 2002b). Estas medidas tem sido utilizadas para desenvolver modelos estatísticos (Oliveira *et al.*, 2002c) e baseados na técnica de rede neural (Soares *et al.*, 2004) para de estimativa da radiação difusa na Cidade de São Paulo.

Em julho de 1995, a plataforma de medidas de radiação sobre o prédio do IAG, passou por um período de reformas, com a aprovação de um projeto de infraestrutura da FAPESP (Proc. Fapesp No.94/4778-3), passando a ocupar a atual área de 40,5 m<sup>2</sup>. Durante o período de reforma houve uma 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.

Nessa nova plataforma foram instalados os sensores de temperatura e umidade relativa do ar, em operando desde 11 de janeiro de 1996 e um pluviômetro que está medindo precipitação desde fevereiro de 1996. Em 1997, um sensor de pressão atmosférica e um pireliômetro modelo PIR da Eppley Lab. Inc., acoplado a um rastreador solar modelo ST1 da Eppley da Lab. Inc. foram instalados. Estes sensores estão efetuando medidas de pressão atmosférica e radiação solar direta no plano de incidência desde 30 de abril de 1997. Ainda em 1997 foi instalado na Plataforma Micrometeorológica um pirgeômetro

modelo PIR da Eppley Lab. Inc que está medindo radiação de onda longa emitida pela atmosfera para baixo enquanto desde 10 de setembro de 1997.

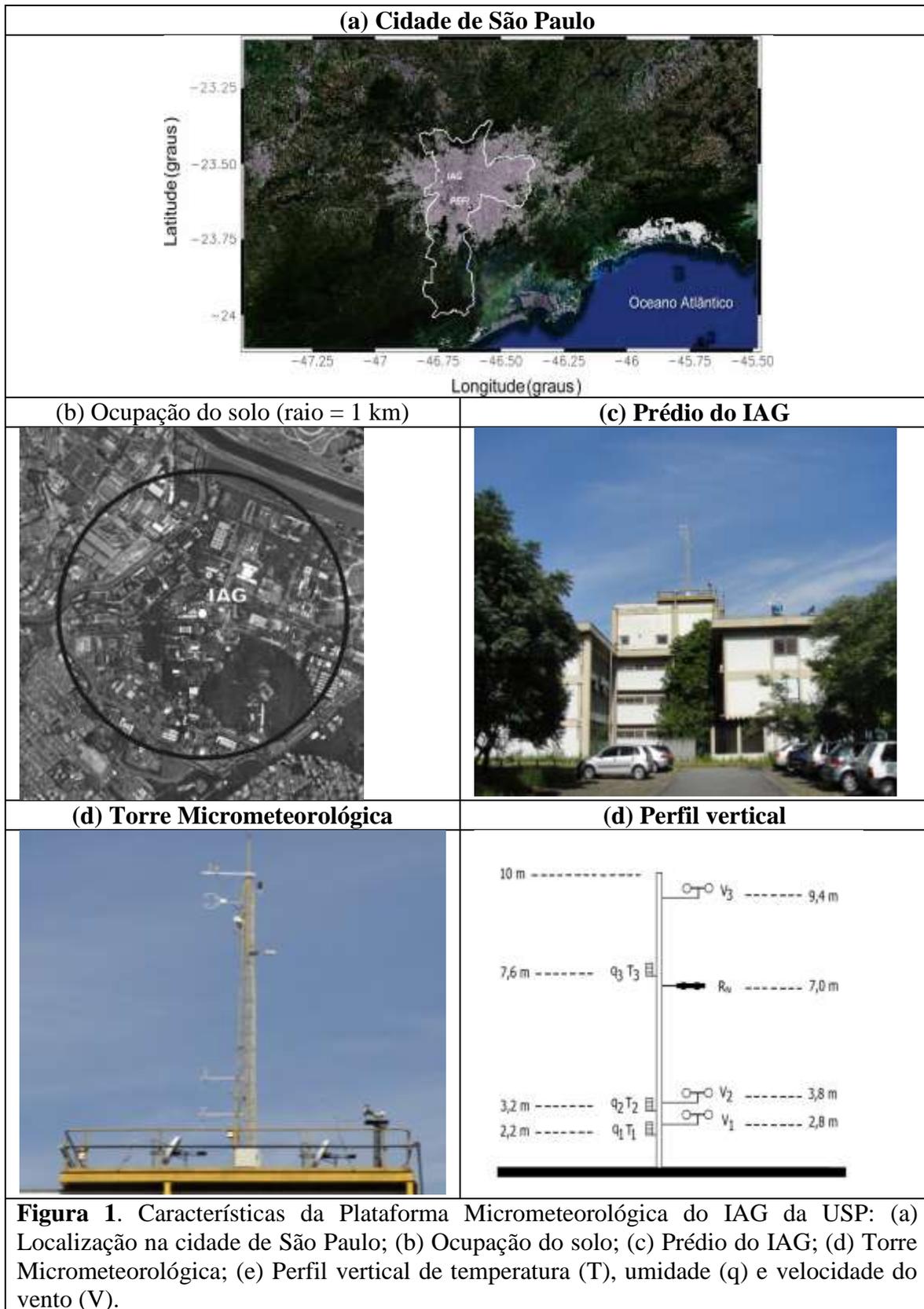
Uma descrição completa das atividades desenvolvidas na Plataforma Micrometeorológica do IAG da USP e do banco de dados pode ser encontrada na página (<http://www.iag.usp.br/meteo/labmicro/index.html>). Na Tabela 1 é apresentada uma relação dos sensores instalados na PM.

**Tabela 1.** Descrição dos equipamentos e sensores em operação atualmente na Plataforma Micrometeorológica do IAG da USP. A cor cinza indica os sensores adquiridos neste projeto.

Item	Equipamento	PROCEDENCIA	Ano	Número de série
1	Piranômetro mod. PSP, Eppley Lab. Inc.	FAPESP	1991	
2	Piranômetro mod. PSP, Eppley Lab. Inc.	PAPESP	1991	
3	Piranômetro mod. PBW, Eppley Lab. Inc.	FAPESP	1991	
4	Pireliômetro mod. NIP, Eppley Lab. Inc.	FAPESP	1991	
5	Pirgeômetro mod. PIR, Eppley Lab. Inc.	FAPESP	1991	
6	Torre de alumínio de 10 metros	FAPESP	1991	
7	Net radiômetro, mod. CNR 1, Kipp Zonen	UNESP		
8	Piranômetro, mod. CG, Kipp Zonen	UNESP		
9	Pirgeômetro, mod. CMP, Kipp Zonen	UNESP		
10	Sensor de radiação PAR mod. YYY, Licor	UNESP		
11	Pluviômetro, modelo Tipping Bucket, Campbell	UNESP		
12	Piranômetro modelo PSP, Eppley Lab. Inc.	CNPQ	2008	
13	Piranômetro modelo PBW, Eppley Lab. Inc.	CNPQ	2008	
14	Pireliômetro modelo NIP, Eppley Lab. Inc.	CNPQ	2008	
15	Datalogger, CR5000, Campbell Inc.	CAPES	2009	
16	Pirgeômetro mod. PIR, Eppley Lab. Inc.	CNPQ	2009	
17	Rastreador solar mod. ST3, Eppley Lab. Inc.	CNPQ	2009	
18	Sensor de veloc. e dir. do vento mod. 034B, MetOne	FAPESP	2008	<b>E4741</b>
19	Sensor de veloc. do vento mod. 014A, MetOne	FAPESP	2008	<b>H5282</b>
20	Sensor de veloc. do vento mod. 014A, MetOne	FAPESP	2008	<b>H5290</b>
21	Sensor de temp. e umidade mod. CS215, Vaisala	FAPESP	2008	<b>E2813</b>
22	Sensor de temp. e umidade mod. CS215, Vaisala	FAPESP	2008	<b>E2802</b>
23	Sensor de temp. e umidade mod. CS215, Vaisala	FAPESP	2008	<b>E2827</b>

Os dados de radiação de onda longa emitidos pela atmosfera coletados na plataforma micrometeorológica do IAG da USP foi utilizado para determinar uma metodologia de correção do efeito de emissão espúria da cúpula do pirgeômetro modelo PIR da Eppley Lab. Inc., através da técnica de rede neural (Oliveira *et al.*, 2006).

As medidas dos parâmetros meteorológicos que vem sendo realizadas na Plataforma Micrometeorológica são representativas de uma área urbana com características suburbanas onde as construções não ultrapassam quatro andares e são espaçadas entre si por áreas cobertas por vegetação. Apesar disso, pode-se verificar que existe um progressivo adensamento da ocupação urbana quando se considera a área de um círculo com 1 km de raio em torno da Plataforma Micrometeorológica (Fig. 1b).



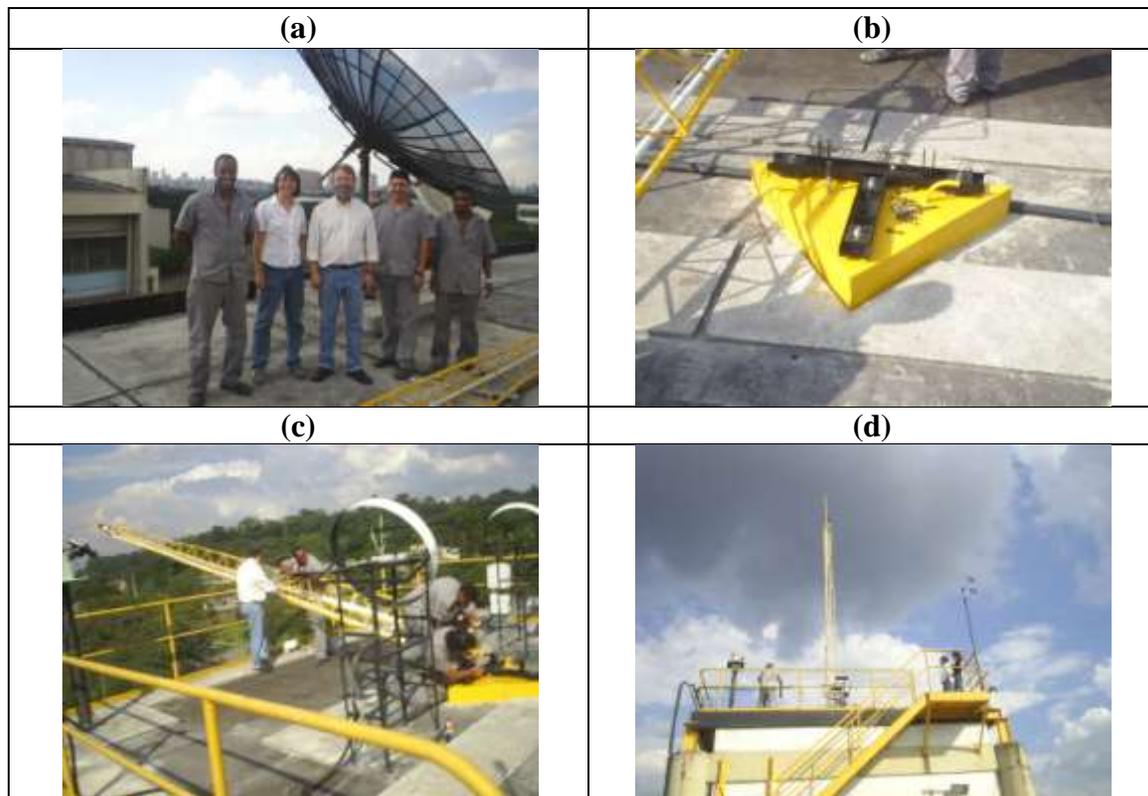
Além da questão da representatividade espacial, os parâmetros meteorológicos representam a estrutura da CLS acima do dossel urbano (Fig. 1c). Tendo em vista o ineditismo desse tipo de observação, espera-se conseguir com a nova estrutura de medidas (Fig. 1d e 1e) determinar as propriedades da CLS urbana que possam ser representativas de toda a área urbana de São Paulo com características suburbanas.

### 2.1.2. Instalação da Torre Micrometeorológica

Com objetivo de estimar as componentes do balanço de energia na superfície da região urbana de São Paulo foi instalada a Torre Micrometeorológica de 10 metros na Plataforma Micrometeorológica do IAG (Fig. 2).

Essa torre, adquirida com recursos da FAPESP do projeto Iperó em 1991 (Tab. 1), ficou instalada no Centro Experimental ARAMAR, entre 1990 e 1993. Entre 2000 e 2005 essa torre ficou instalada no Parque das Fontes do Ipiranga (PEFI) na área pertencente ao IAG. Com a aprovação deste projeto, em 2008, foi feita uma manutenção da torre, que foi instalada na Plataforma Micrometeorológica do IAG.

Deve ser salientada que limpeza e a pintura da torre, a aquisição dos cabos de hasteio, a confecção da fixação (metálica e de concreto, Fig. 2b) foram custeadas pelo IAG como contrapartida institucional do projeto de pesquisa. A fixação da Torre foi realizada pela equipe de manutenção do IAG no dia 28 de março de 2008 (Fig. 2c-2d).



**Figura 2.** Instalação da torre micrometeorológica no dia 28 de março de 2008 na Plataforma Micrometeorológica do IAG (a) Equipe do serviço de manutenção do IAG e os Coordenadores do projeto; (b) base da torre; (c) fixação da torre na base e (d) torre instalada.

### **2.1.3. Instalação dos novos sensores de radiação**

No projeto em questão foram adquiridos sensores radiação solar, pirânometro modelo PSP e PBW, pirgeômetro modelo PIR e um pireliômetro modelo NIP, todos da Eppley Lab. Inc. Além dos piranômetros, foram comprados neste projeto um rastreador solar modelo ST-3, também da Eppley Lab. Inc. Estes sensores foram comprados em duas etapas. Os piranômetros (PSP, PBW) e pirgeômetro (PIR) foram comprados em 2008. O pireliômetro (NIP) e o rastreador solar (ST-3) em 2009, tendo em vista que o montante ultrapassava a quantia permitida para importação pelo Importa Fácil do CNPq. Estes sensores foram instalados na plataforma e passando a coletar dados de forma contínua desde o momento em que chegaram ao IAG.

Os sensores de radiação foram instalados na plataforma micrometeorológica no dia 26 de abril de 2008, conjuntamente com o sistema de aquisição de dados CR5000, sendo este último adquirido com verba CAPES PROEX (Fig. 3).

### **2.1.4. Instalação dos novos computadores PC desktop**

No âmbito do projeto foram adquiridos 6 computadores PC desktop. Estes computadores foram empregados da seguinte forma: no sistema de dados (1), especialista em laboratório (1), coordenadores do projeto (2) e demais pesquisadores e alunos envolvidos no projeto de pesquisa (2).

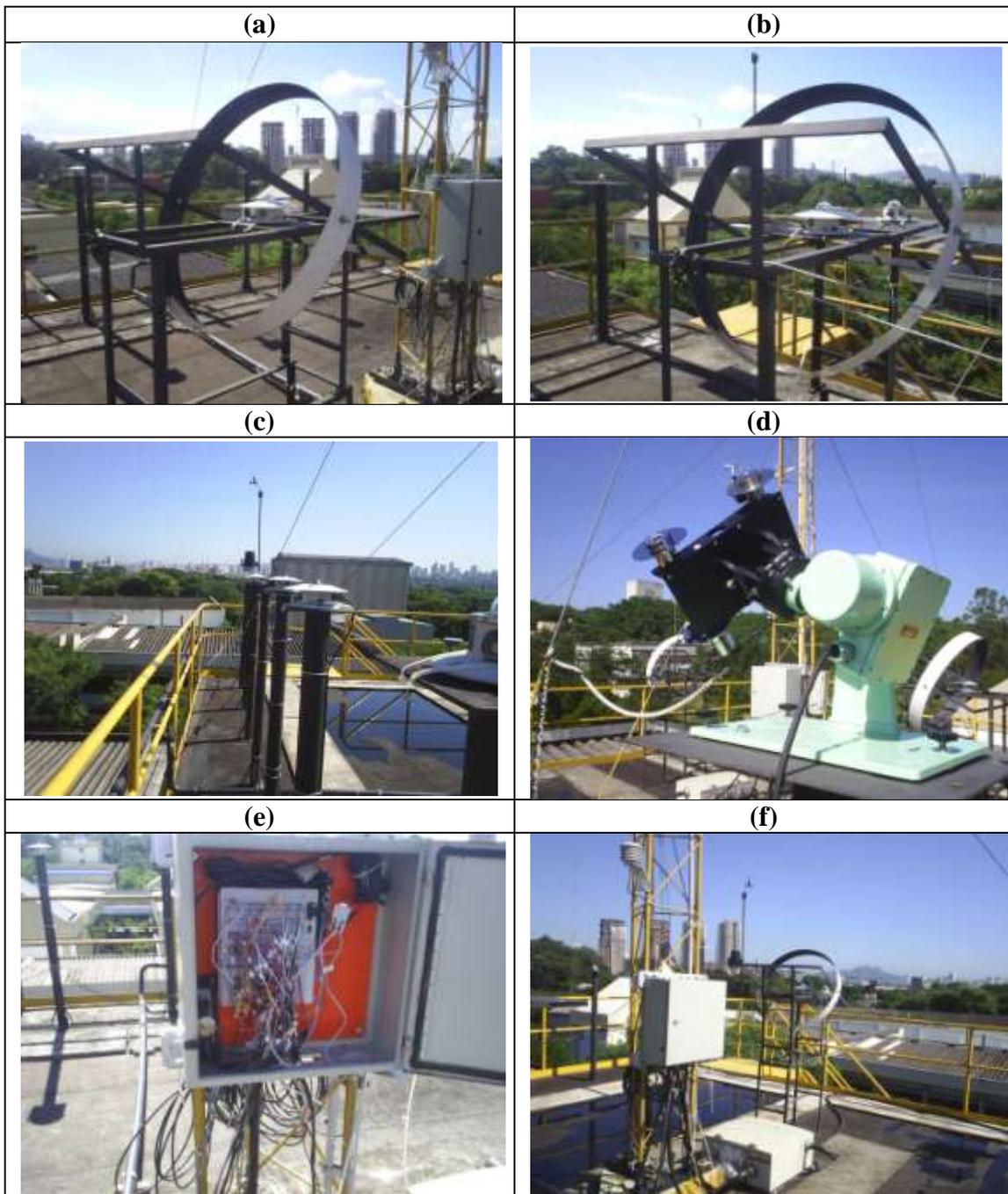
Tendo em vista que todo o sistema de aquisição de dados da Plataforma Micrometeorológica do IAG da USP foi renovado durante o período de vigência do projeto em questão, um dos computadores foi dedicado exclusivamente para a coleta de dados, ficando continuamente conectado ao datalogger CR5000 via modem.

Dentro dessa renovação, um segundo computador PC foi alocado para a análise de dados do Laboratório de Micrometeorologia, a cargo da especialista em Laboratório Georgia Codato, que além disso tem como atividade principal fazer a gestão dos equipamentos da Plataforma Micrometeorológica, além de cuidar do banco de dados e da página do Grupo de Micrometeorologia do IAG da USP.

Nos computadores dos coordenadores e da especialista em laboratório foram instaladas as três licenças do software Visual Fortran (também adquiridas com verba deste projeto).

No caso específico do computador da especialista em laboratório, além de cuidar do banco de dados coletados na Plataforma Micrometeorológica, ele vem sendo utilizado para o desenvolvimento de várias ferramentas de análise dos dados, permitindo a organização de dados da Plataforma Micrometeorológica do IAG da USP e das outras bases de dados que foram utilizadas neste projeto, tais como os dados coletados pela rede de monitoramento ambiental da CETESB, dados da Estação Radiométrica de Botucatu (UNESP), dados meteorológicos da estação climatológica do Parque das Fontes do Ipiranga (PEFI), rede de monitoramento dos efeitos urbanos da cidade de Maringá (PR), e outras estações de superfície do Rio de Janeiro (RJ) e de Vitória (ES).

Deve ser salientado que os quatro computadores PC restantes (adquiridos neste projeto) foram alocados para os pesquisadores e alunos do Grupo de Micrometeorologia envolvidos no projeto de pesquisa em questão.



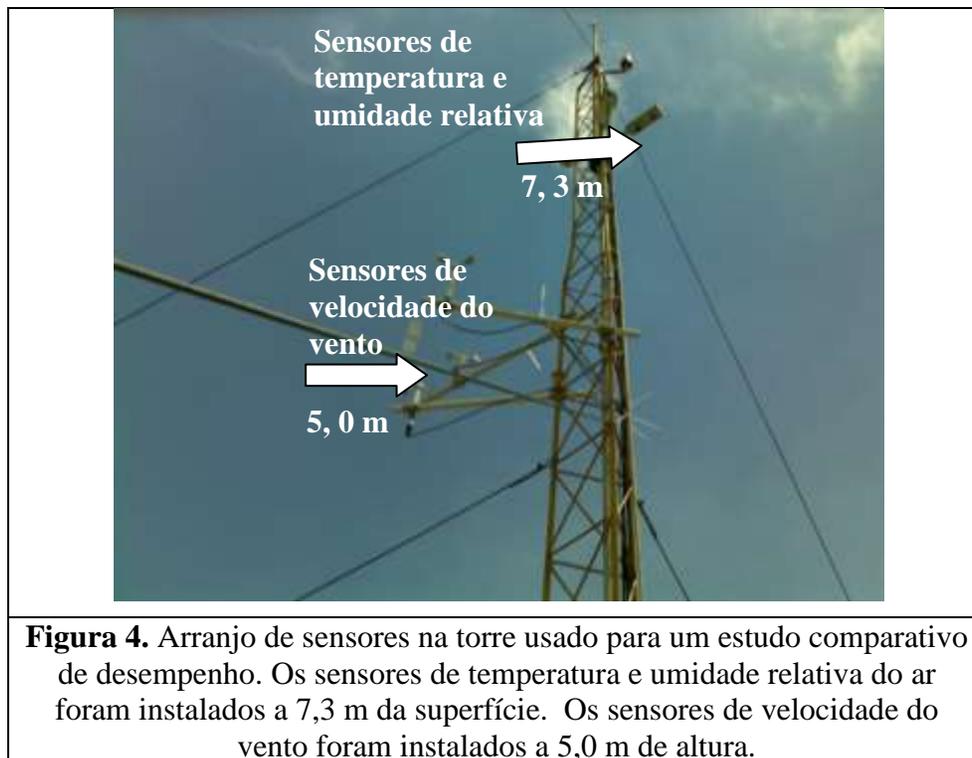
**Figura 3.** Descrição dos sensores da Plataforma Micrometeorológica do IAG da USP. Anel de sombreamento com (a) piranômetro modelo PSP (sombra) existente (b) os piranômetros modelo PSP (sombra) e PBW adquiridos neste projeto, (c) pirgeômetro modelo PIR existente (frente) e adquirido neste projeto (fundo) e (d) pireliômetro modelo NIP existente (direita) e adquirido neste projeto (esquerda) e rastreador solar modelo ST3 adquirido neste projeto, (e) datalogger CR5000 e (f) caixas de proteção do sistema de aquisição de dados.

### 2.1.5. Aferição e calibração dos sensores

Os sensores radiação instalados na Plataforma Micrometeorológica do IAG são rotineiramente calibrados utilizando-se como referência sensores similares que não são intensivamente utilizados (Oliveira *et al.*, 2002a).

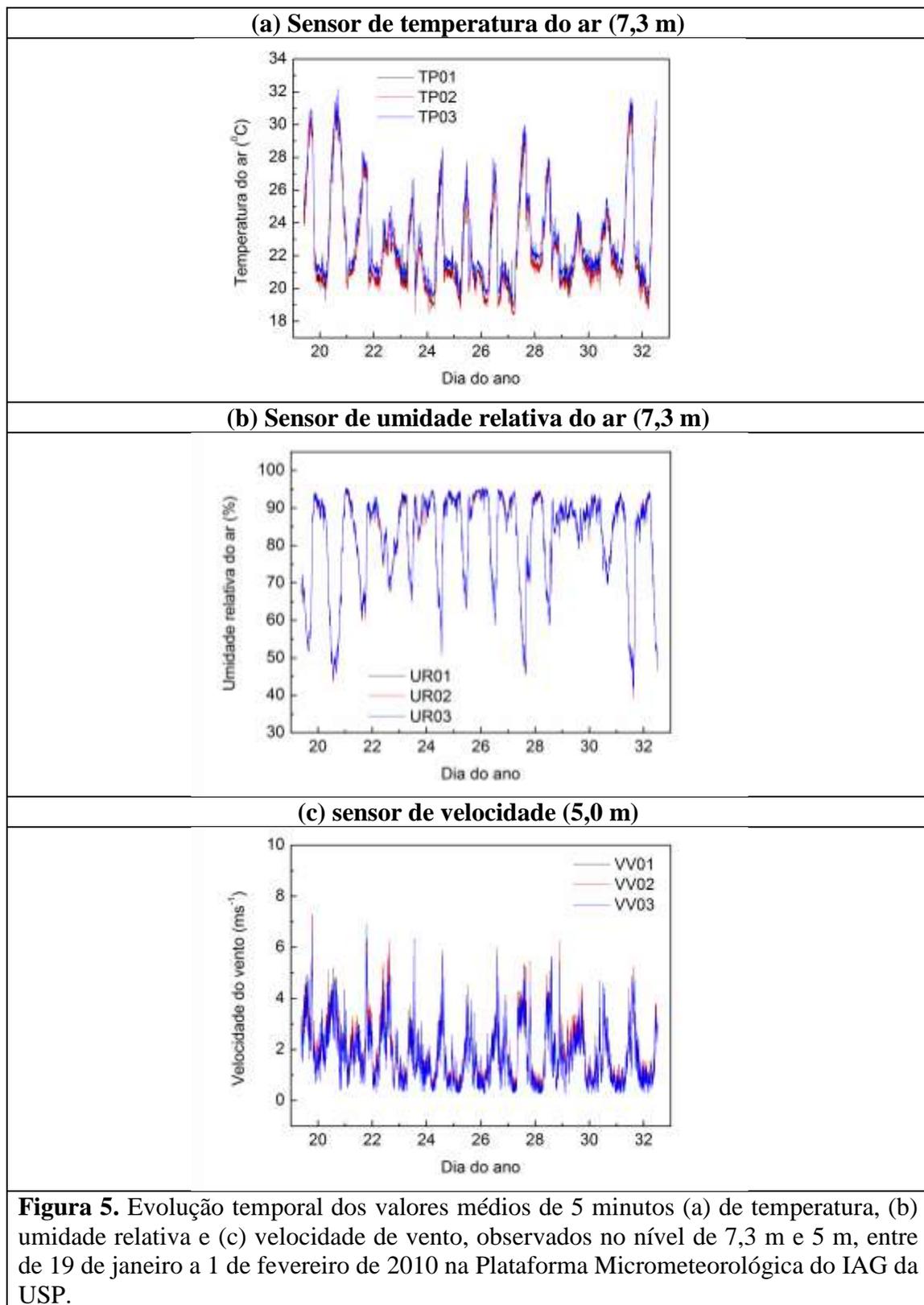
Assim, após a instalação dos sensores de radiação adquiridos no projeto em questão efetuou-se calibração dos mesmos, utilizando os sensores novos como referência dos antigos. Com a aquisição dos novos sensores de radiação, o piranômetro de referencia foi substituído, após calibração inicial, pelo piranômetro modelo PSP da Eppley Laboratory Inc.

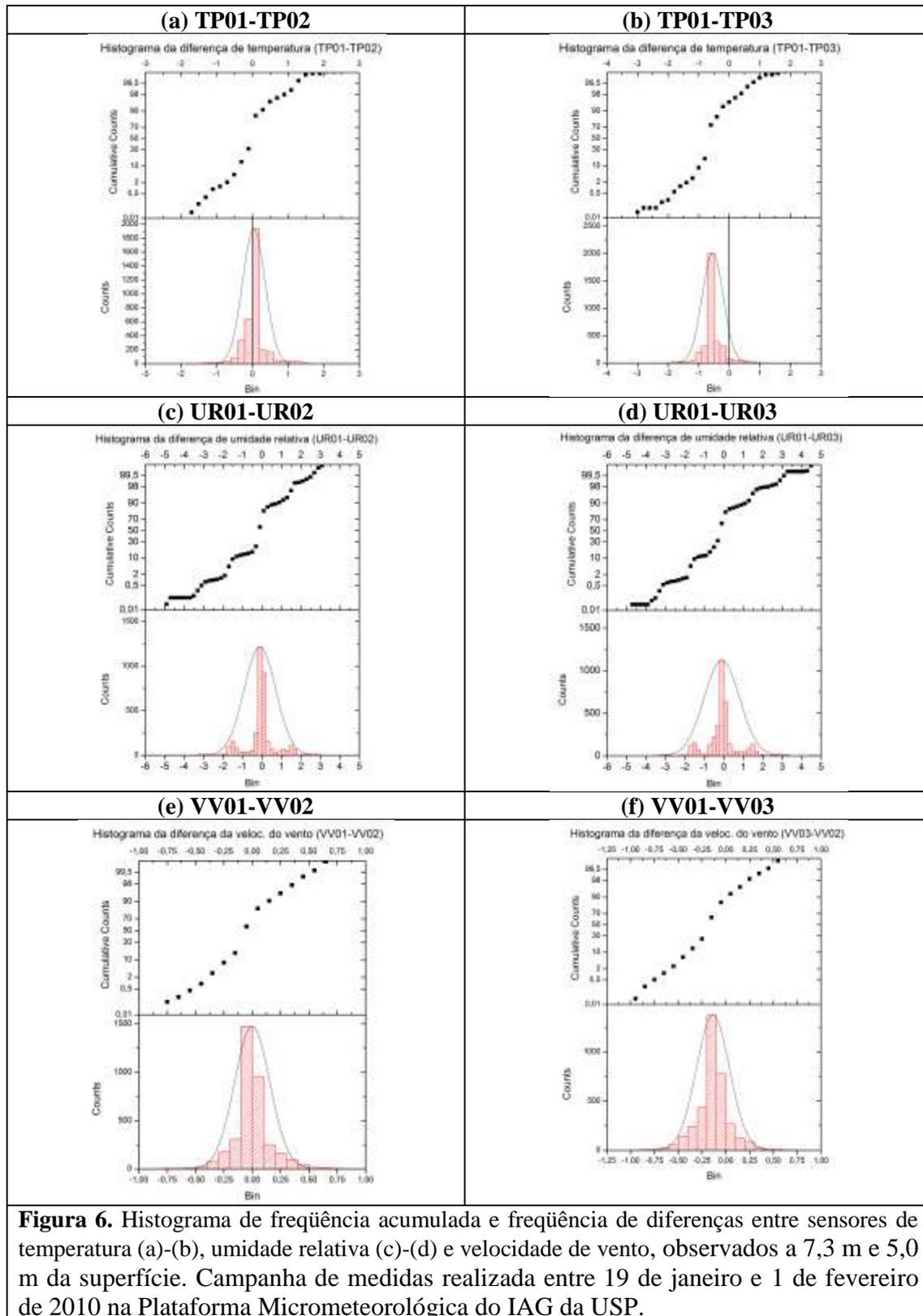
No caso específico dos sensores de velocidade de vento, temperatura e umidade relativa do ar utilizada para estimar o perfil vertical de temperatura, umidade e velocidade vento efetuou-se uma campanha de medidas para determinar como estes sensores se comportam. Assim, no período de 19 de janeiro a 1 de fevereiro de 2010 instalou-se os três sensores de velocidade no mesmo nível a 5 metros da superfície e os três de temperatura e umidade relativa do ar no mesmo nível a 7.3 metros da superfície (Fig. 4).



**Figura 4.** Arranjo de sensores na torre usado para um estudo comparativo de desempenho. Os sensores de temperatura e umidade relativa do ar foram instalados a 7,3 m da superfície. Os sensores de velocidade do vento foram instalados a 5,0 m de altura.

A evolução da temperatura (Fig. 5a), umidade relativa do ar (Fig. 5b) e velocidade do vento (Fig. 5c) indica que apesar dos sensores ocuparem o mesmo nível existe algumas discrepâncias, que precisam ser determinadas de modo a serem levadas em consideração quando estes sensores estiverem distribuídos na vertical medindo perfis verticais. Para estimar o desvio dos sensores efetuaram-se histogramas das diferenças entre as observações realizadas por dois pares de sensores (Fig. 6). As correções dos sensores foram estimadas a partir do valor mais freqüente de desvio (valor médio) e está apresentada na Tabela 2.





**Tabela 2.** Correção dos sensores de temperatura, umidade relativa do ar e velocidade do vento. Sensores de temperatura e umidade instalados a 7,3 m da superfície. Sensores de velocidade instalados a 5,0 m da superfície. Campanha de medidas realizadas entre 19 de janeiro e 1 de fevereiro de 2010 na Plataforma Micrometeorológica do IAG da USP.

Sensor	Número de série	CORREÇÃO
TP01	<b>E2813</b>	TP01
UR01		UR01
TP02	<b>E2802</b>	TP02 = TP01 - 0,047
UR02		UR02 = UR01 + 0,10
TP03	<b>E2827</b>	TP03 = TP01 + 0,542
UR03		UR03 = UR01 + 0,05
VV01	<b>H5290</b>	VV01
VV02	<b>H5282</b>	VV02 = VV01 + 0,00012
VV03	<b>E4741</b>	VV03 = VV01 + 0,14
DD03		DD03

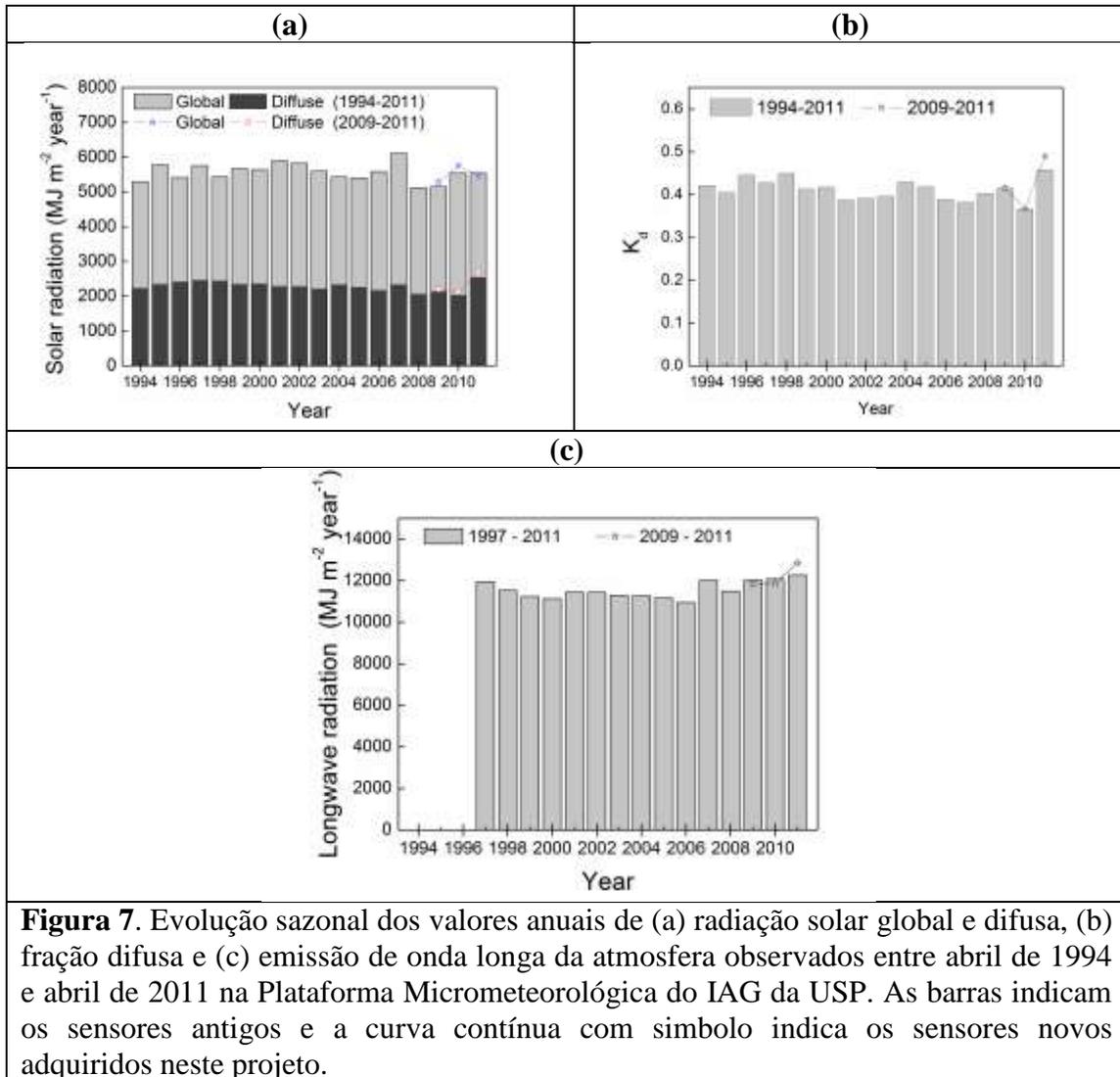
A título de comparação a evolução temporal dos valores anuais de radiação solar global e difusa observados na Plataforma Micrometeorológica com os sensores existentes e os sensores novos são apresentadas na Figura 7a. Verifica-se nesta figura que as estimativas de radiação global com os sensores existentes e novos são equivalentes nos anos 2009 e 2010. A discrepância encontrada no ano de 2011 está relacionada com a pouca representatividade das observações. Neste ano o total anual foi estimado usando valores diários médios de radiação solar global e difusa observadas até o dia 4 de abril de 2011 (um pouco mais que três meses de observação). Tanto a concordância quanto a discrepância ocorre também com a fração difusa (difusa/global) (Fig. 7b) e radiação de onda longa emitida pela atmosfera para baixo (Fig. 7c).

De maneira similar, valores médios mensais de radiação líquida observadas na Plataforma Micrometeorológica com os dois saldos radiômetros. O saldo radiômetro 1 ficou instalado na grade da plataforma, amostrando as componentes de radiação emergentes do lateral do prédio do IAG (Fig. 8a) entre 2004 e 2009. O saldo radiômetro 2 foi instalado na Torre Micrometeorológica, a 7,0 m da superfície desde janeiro de 2009 (Fig. 8b).

Na comparação considerando todo o período de observação verifica-se que não existe, apesar do posicionamento diferente, uma grande discrepância entre os sensores 1 e 2 (Fig. 8c e 8d). Considerando-se somente o ano de 2009 quando os dois saldos radiômetros operaram na PM de forma simultânea verifica-se que as discrepâncias estão localizadas dentro da faixa de erro estatístico (Fig. 8e e 8f).

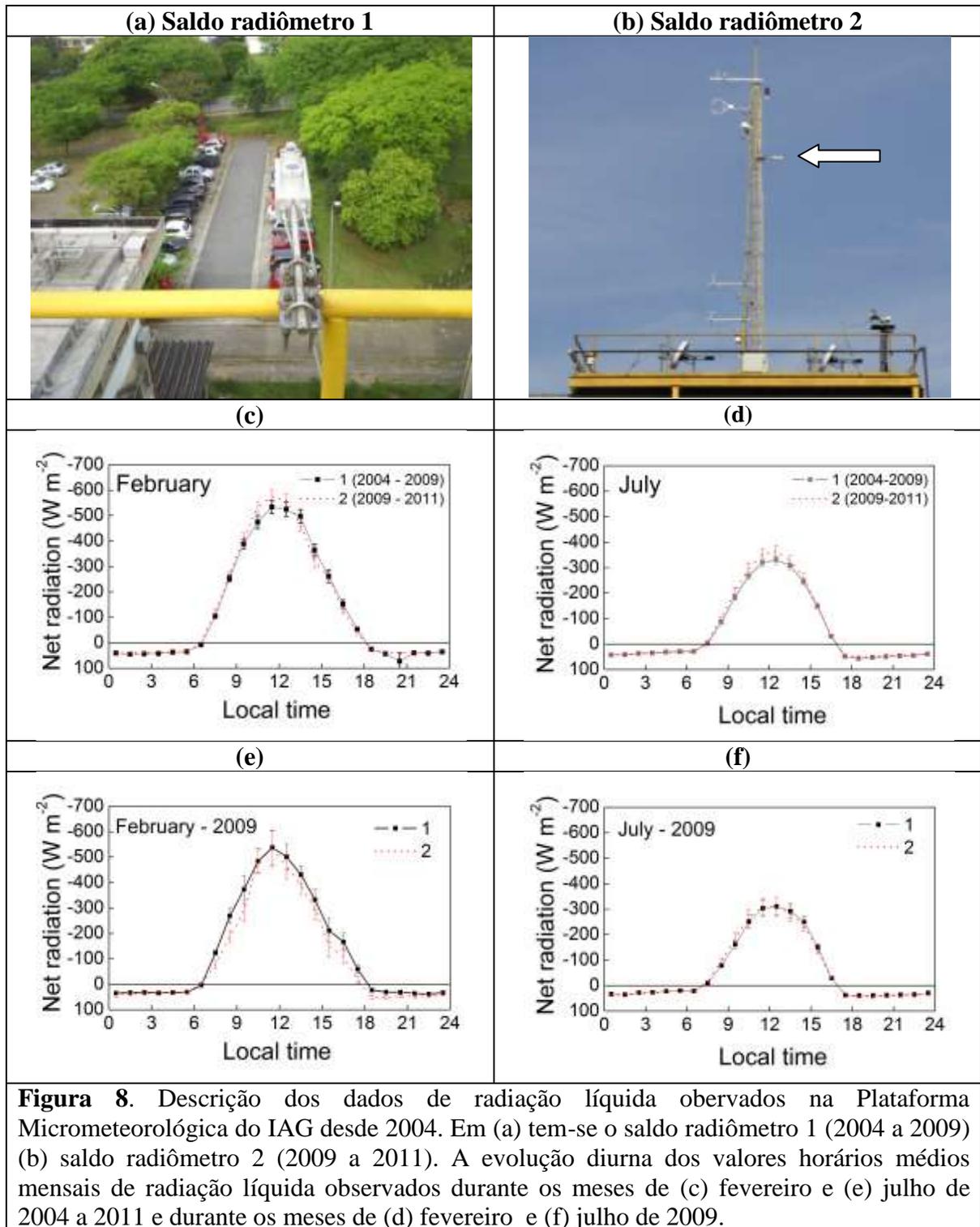
Utilizando os dados de velocidade observados na PM com o anemômetro instalada a 9,4 m acima da superfície foi realizada uma comparação com os valores médios observados nas estações da rede de monitoramento da CETESB entre de 1996 a 2005, nas estações de superfície: Ibirapuera, Lapa, Parque D. Pedro e Osasco (Fig. 9). De um modo geral as observações realizadas no PM (indicada por IAG USP na Fig. 9) indicam um vento mais intenso do que nas estações da CETESB, provavelmente por que na prática as medidas no

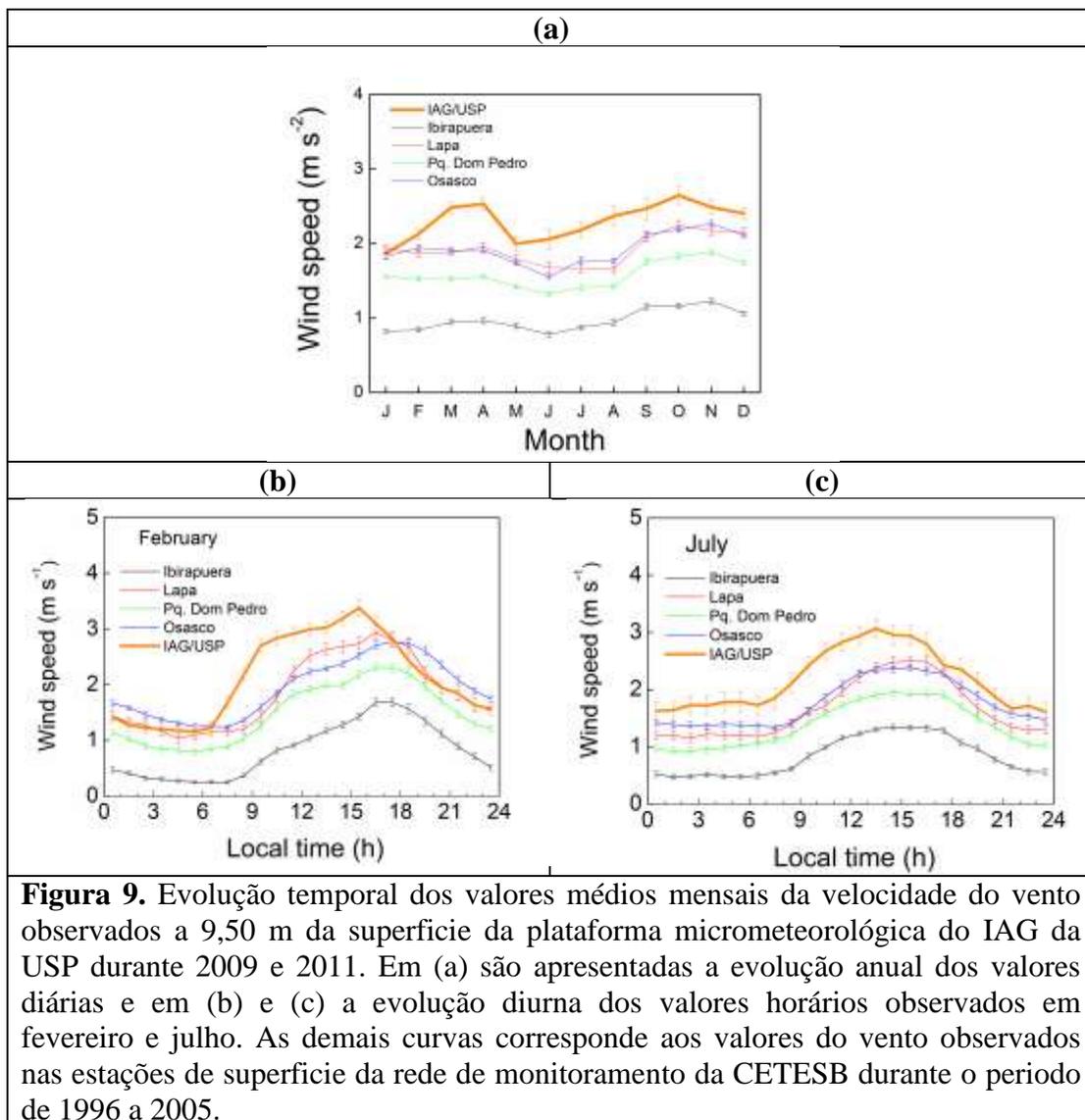
IAG corresponde a nível de 21,5 metros acima da superfície, resultante de 4 andares (12 metros) e posição na torre (9 metros). Por outro lado, as observações realizadas no IAG apresetam um padrão similar as observadas pelas estações da CETESB.



### 2.1.6. Estimativa do balanço de energia na superfície urbana de São Paulo

A proposta original do projeto de se utilizar o sistema de medida de turbulência composto de anemômetro sônico de um eixo, higrômetro de criptônio e o sensor de velocidade Gill, existentes no Laboratório de Micrometeorologia para estimar os fluxos turbulentos de calor sensível, calor latente e de momento na Plataforma Micrometeorológica não foi implementada. Isto ocorreu porque não foi possível fazer manutenção no anemômetro sônico (Modelo CA127) e higrômetro de criptônio (modelo KH20) uma vez que estes sensores deixaram de ser fabricados pela Campbell Inc.

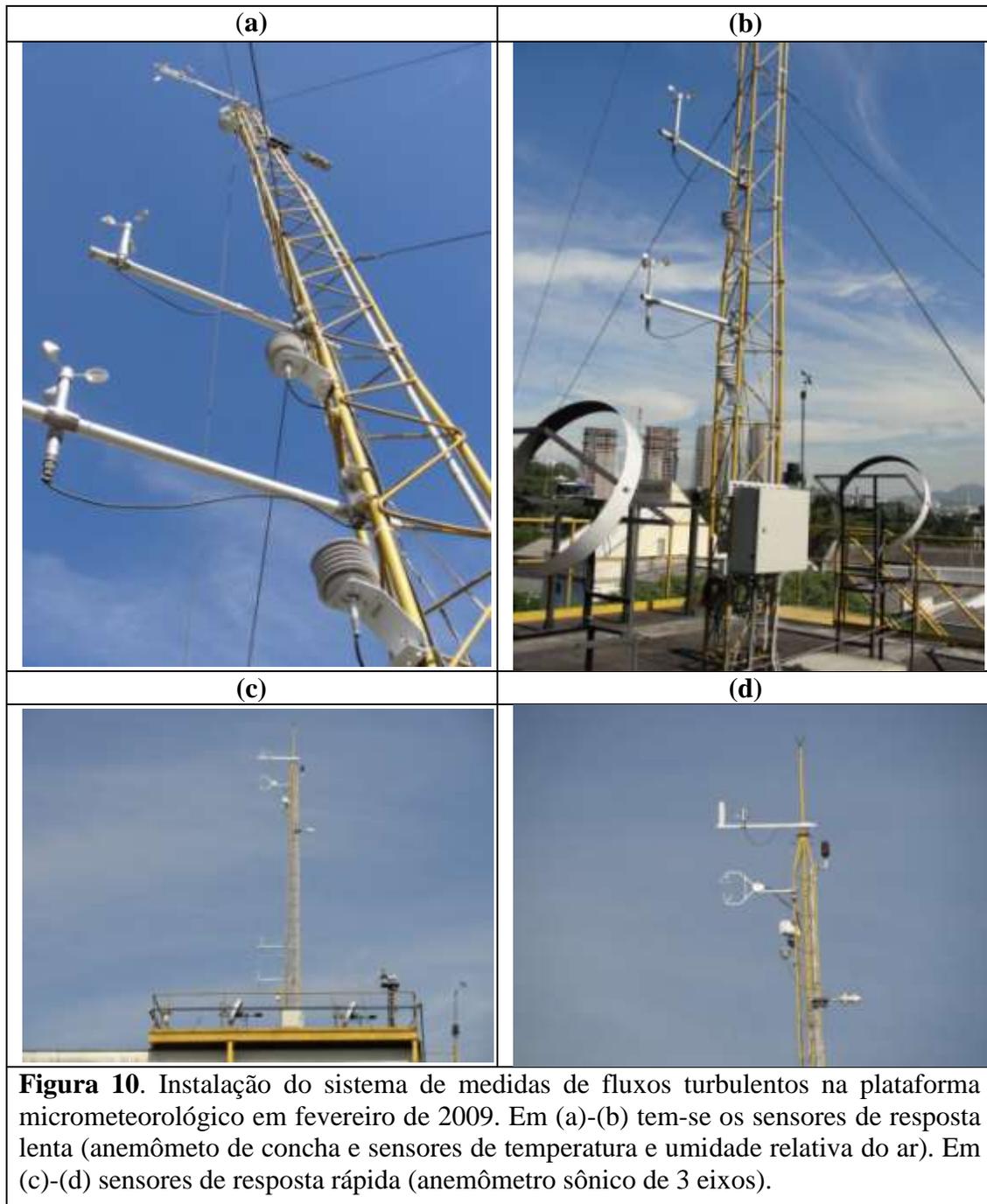




A alternativa encontrada foi instalar sensores de velocidade horizontal do vento, temperatura e umidade relativa do ar em três níveis na vertical (Fig. 10) e utilizar um método indireto de estimativa dos fluxos turbulentos.

O algoritmo de estimativa do fluxo turbulento com base em métodos indiretos está sendo desenvolvido e fará parte do projeto de pesquisa da aluna de mestrado Flávia Rabelo. Neste caso, as medidas de fluxo turbulento de calor sensível realizadas com anemômetro sônico durante o ano de 2009 serão utilizadas como referência para calibrar o método indireto.

No âmbito deste projeto foram realizadas estimativas diretas dos fluxos turbulentos de calor sensível utilizando as medidas de turbulência do anemômetro sônico de três eixos do Prof. Humberto Rocha. Estas estimativas foram empregadas nas simulações com o modelo LES da evolução da CLP em São Paulo na dissertação de mestrado de Eduardo Wilde Bárbaro (Bárbaro, 2010).



Conforme indicado na Figura 11, foram realizadas várias tentativas de estimar os fluxos turbulentos de calor sensível e latente sobre a região urbana da Cidade de São Paulo por meio de métodos indiretos.

No caso da dissertação de mestrado de Georgia Codato (Codato, 2008) o fluxo turbulento de calor sensível na superfície da região urbana da cidade de São Paulo foi estimado como 50% da radiação líquida (Fig. 11a). No caso das simulações da CLP realizadas por Codato (2008), o modelo LES foi “forçado” (condição de contorno inferior) através da especificação dos fluxos turbulentos de calor sensível e de monóxido de carbono. Neste

caso, as evoluções temporais da temperatura e da concentração de monóxido de carbono na superfície foram determinadas numericamente no modelo LES por meio das relações de similaridade da camada limite superficial (CLS).

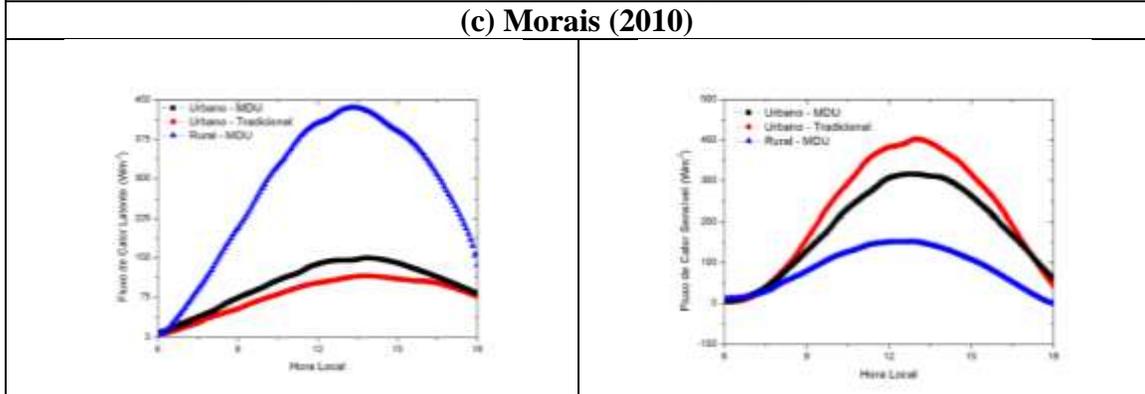
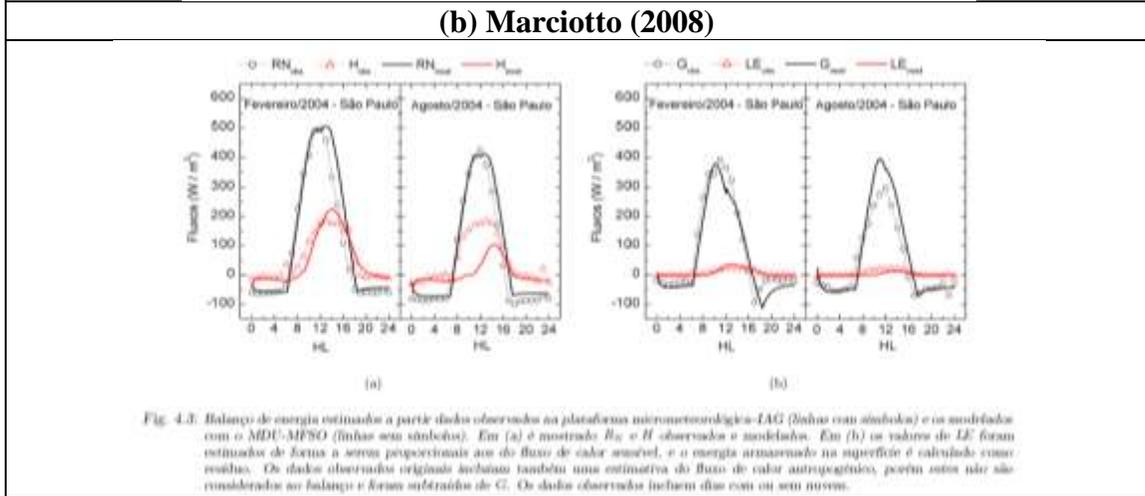
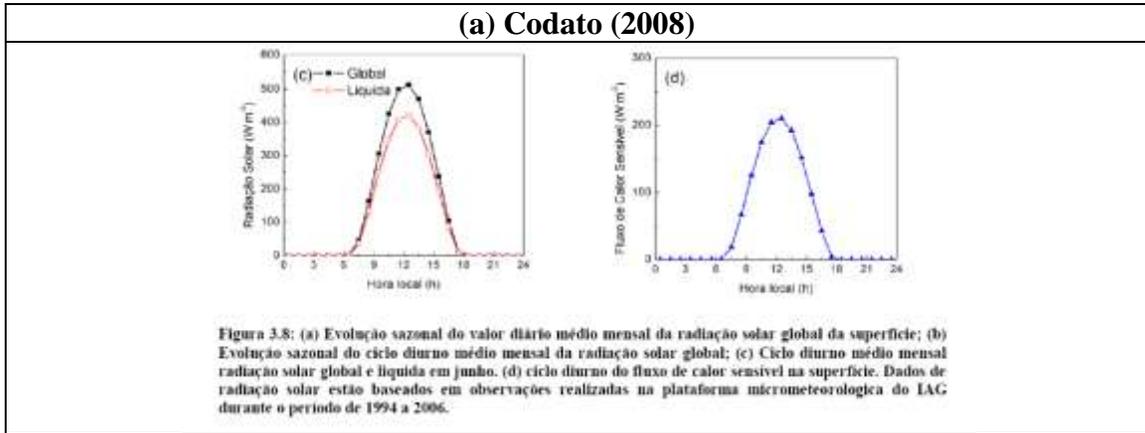


Figura 5.16 – Evolução diurna do a) fluxo de calor latente e do b) fluxo de calor sensível na superfície no ponto PT\_PM.

**Figura 11.** Estimativa dos fluxos turbulentos de calor sensível na Região Metropolitana de São Paulo realizada por (a) Codato (2008), (b) Marciotto (2008), (c) Morais, (d) Bárbaro (2010), (e)-(f) Ferreira (2010).

No caso da tese de doutorado de Edson Roberto Marciotto (Marciotto, 2008), os fluxos turbulentos de calor sensível, latente e de momento na superfície da região urbana da Cidade de São Paulo (Fig. 11b) foram estimados, numericamente, a partir do modelo de dossel urbano (MDU) proposto por Masson (2000), acoplado a atmosfera por meio de um Modelo Fechamento de Segunda Ordem (MFSO) desenvolvido por Oliveira (2003) (Fig. 11b). Nesse estudo verificou-se que os fluxos turbulentos de calor sensível variam em função da razão geométrica mais do que com a orientação dos cânions e que a fração da energia disponível (radiação líquida) armazenada no dossel urbano (calor armazenado) aumenta com a razão geométrica dos cânions (altura edificações/largura entre edificações) em detrimento dos fluxos turbulentos de calor sensível e latente, afetando a intensidade da turbulência e a altura da CLP.

Na dissertação de mestrado de Marcos Vinicius de Moraes, os fluxos turbulentos de calor sensível e latente na região urbana de São Paulo (Fig. 11c) foram estimados por meio do modelo de dossel urbano proposto por Martilli (2000). Este MDU, diferentemente do proposto por Mason, permite representar o dossel urbano como um conjunto infinito de cânions com distribuição espacial heterogênea determinada por uma distribuição variável de razão geométrica dos cânions (altura edificações/largura entre edificações) determinada por edificações com alturas variáveis e largura constante.

Na dissertação de Eduardo Wilde Bárbaro, os fluxos turbulentos de calor sensível e de monóxido de carbono foram estimados numericamente usando o modelo LES “forçado” especificando-se a evolução temporal da temperatura e concentração de monóxido de carbono na superfície. Neste caso os fluxos turbulentos foram estimados a partir das relações de similaridade da CLS (Fig. 11d).

Na tese de doutorado de Mauricio Jonas Ferreira (Ferreira 2010) os fluxos turbulentos de calor sensível e latente na superfície da região urbana da cidade de São Paulo (Fig. 11e) foram estimados a partir do método indireto proposto aerodinâmico “bulk”, utilizando valores horários médios mensais de temperatura, umidade específica e velocidade do vento representativos da região urbana. O método indireto permitiu estimar a evolução sazonal dos fluxos turbulentos de calor sensível (Fig. 11f).

De um modo geral, a evolução diurna os fluxos turbulentos de calor sensível e latente na superfície da região urbana da cidade de São Paulo, estimados numericamente (Codato, 2008; Marciotto, 2008; Moraes, 2010; Bárbaro, 2010), se distribuem próximos aos valores estimados pelo método indireto (Ferreira, 2010) e também por meio do método direto (Bárbaro, 2010).

Vale a pena destacar também que nos estudos sobre poluição atmosférica realizados com o modelo LES (Codato, 2008; Eduardo, 2010) verificou-se que: 1) o processo de entranhamento de ar da atmosfera livre no topo da CLP determina boa parte da evolução diurna do monóxido de carbono em São Paulo; 2) a fonte veicular de monóxido de carbono é tão intensa que os efeitos de limpeza do ar por advecção só é importante próximo das fronteiras urbanas; 3) a intensidade da emissão veicular de monóxido de carbono estimada a partir do inventário de fontes e considerando uma distribuição bimodal representam de forma bastante realística o que ocorre na região urbana de São Paulo; 4) Os jatos de baixos níveis associado à oscilação inercial pode ser um mecanismo de intensificação de mistura turbulenta sobre a região urbana de São Paulo; 5) altura da



Uma descrição mais completa do balanço de energia na região urbana da Cidade de São Paulo foi desenvolvida no projeto de doutorado de Maurício Jonas Ferreira, utilizando dados médios das principais variáveis meteorológicas coletadas na Plataforma Micrometeorológica do IAG e coletados na rede telemétrica da CETESB, nas estações de superfície da ECOVIAS e na estação climatológica do IAG da USP localizada no PEFI (Ferreira *et al.*, 2008; Ferreira *et al.*, 2010a-b; Ferreira 2010).

Neste estudo foi estimada, pela primeira vez, a evolução diurna e a variação sazonal e anual do fluxo antropogênico de calor na superfície para a Cidade de São Paulo (Ferreira *et al.*, 2010).

### 2.1.7. Estudo observacional em outras regiões urbanas

Conforme proposto, este projeto visou à participação de pesquisadores de outras três regiões urbanas: Dra. Sônia Maria Soares Stivari, da Universidade Estadual de Maringá, Dr. Edson Pereira Marques Filho da Universidade Federal do Rio de Janeiro, Dr. Maxsuel Marcos Rocha Pereira da Universidade Federal do Espírito Santo.

O objetivo principal dessa interação foi o de agregar pesquisadores dessas regiões urbanas para articular estudos visando transferir parte da experiência acumulada pelo Grupo de Micrometeorologia do IAG da USP. Nesse sentido, o Grupo de Micrometeorologia participa já a alguns anos do estudo do clima urbano da cidade de Maringá, coordenado pelo Dra. Sônia Maria Soares Stivari da Universidade Estadual de Maringá. Esta interação ocorreu desde a implantação da rede de observações em Maringá, tem ocorrido com o desenvolvimento de rotinas de tratamento e análise dos dados coletados.

No âmbito desse projeto, está sendo realizada uma análise detalhada dos efeitos urbanos nos padrões de precipitação, temperatura, umidade, radiação solar e radiação UV na cidade de Maringá. Na Tabela 3 é apresentado o banco de dados que está sendo analisado.

Na figura 12 são apresentadas as hodógrafas do vento observadas nas estações de superfície estimadas a partir do banco de dados descrito na tabela 3. Como pode ser visto a evolução diurna do vento em Maringá parece ser fortemente dependente da ocupação do solo e da topografia que atua de forma diferente nos meses de verão (Fig. 12a) e de inverno (Fig. 12b).

Atualmente estão em preparação dois artigos que serão submetidos oportunamente.

- *Stivari, S.M.S., Oliveira A.P., Martins, M.L.O.F., Moraes, M.V.B., Nery, J.T., Codato, G., Soares, J., Ferreira, M.J., Bárbaro, E.W., Escobedo, J.F., 2011: Investigation of urban effects on the climate of Maringá (a ser submetido).*
- *Oliveira A.P., Stivari, S.M.S., Martins, M.L.O.F., Codato, G., Soares, J., Ferreira, M.J., Escobedo, J.F., Nery, J.T., 2011: Seasonal pattern of global solar radiation and ultraviolet at the surface IN Maringá (a ser submetido).*

**Tabela 3.** Descrição do banco de dados da rede de estações de superfície de Maringá.

RADIÇÃO SOLAR GLOBAL - GL							
ESTACÃO		2005	2006	2007	2008	2009	2010
1	COPEL CP	X	X	X	X	X	
2	CESUMAR CS	X	X	X	X	X	
3	CTI CT	X	X				
4	ECEUEM EC						
5	PREFEITURA PR	X	X	X	X		
6	AU			X	X	X	

RADIÇÃO UV - UV							
ESTACÃO		2005	2006	2007	2008	2009	2010
1	COPEL CP						
2	CESUMAR CS	X	X	X	X	X	
3	CTI CT	X	X				
4	ECEUEM EC						
5	PREFEITURA PR	X	X	X	X		
6	AU						

COMPONENTE U DO VENTO - CU							
ESTACÃO		2005	2006	2007	2008	2009	2010
1	COPEL CP	X	X	X	X	X	
2	CESUMAR CS	X	X	X	X	X	
3	CTI CT	X	X				
4	ECEUEM EC	X	X	X	X	X	
5	PREFEITURA PR	X	X	X	X		
6	AU			X	X	X	

COMPONENTE V DO VENTO - CV							
ESTACÃO		2005	2006	2007	2008	2009	2010
1	COPEL CP	X	X	X	X	X	
2	CESUMAR CS	X	X	X	X	X	
3	CTI CT	X	X				
4	ECEUEM EC	X	X	X	X	X	
5	PREFEITURA PR	X	X	X	X		
6	AU			X	X	X	

PRECIPITAÇÃO - PL							
ESTACÃO		2005	2006	2007	2008	2009	2010
1	COPEL CP	X	X	X	X	X	
2	CESUMAR CS	X	X	X	X	X	
3	CTI CT	X	X				
4	ECEUEM EC						
5	PREFEITURA PR	X	X	X	X		
6	AU			X	X		

PRESSÃO - PR							
ESTACÃO		2005	2006	2007	2008	2009	2010
1	COPEL CP	X	X	X	X	X	
2	CESUMAR CS	X	X	X	X	X	
3	CTI CT	X	X				
4	ECEUEM EC	X	X	X	X	X	
5	PREFEITURA PR	X	X	X	X		
6	AU			X	X	X	

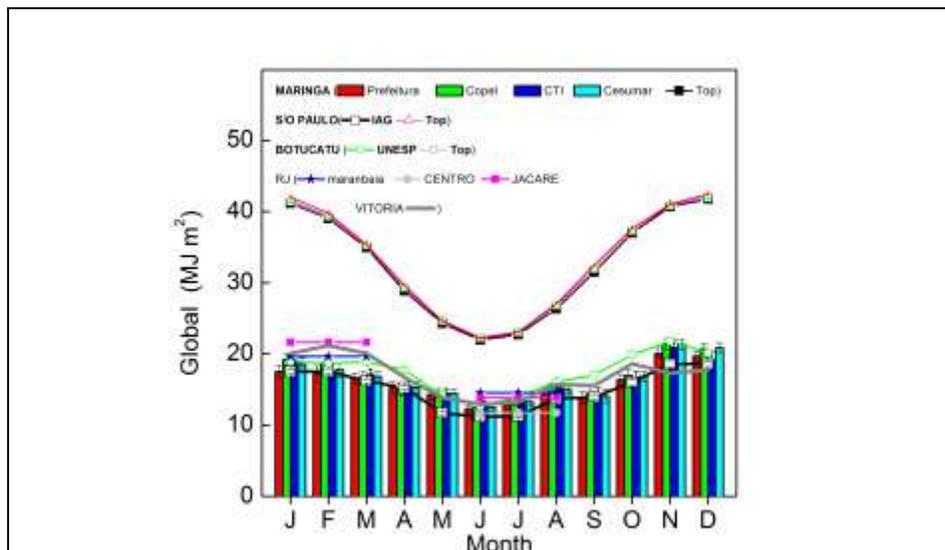
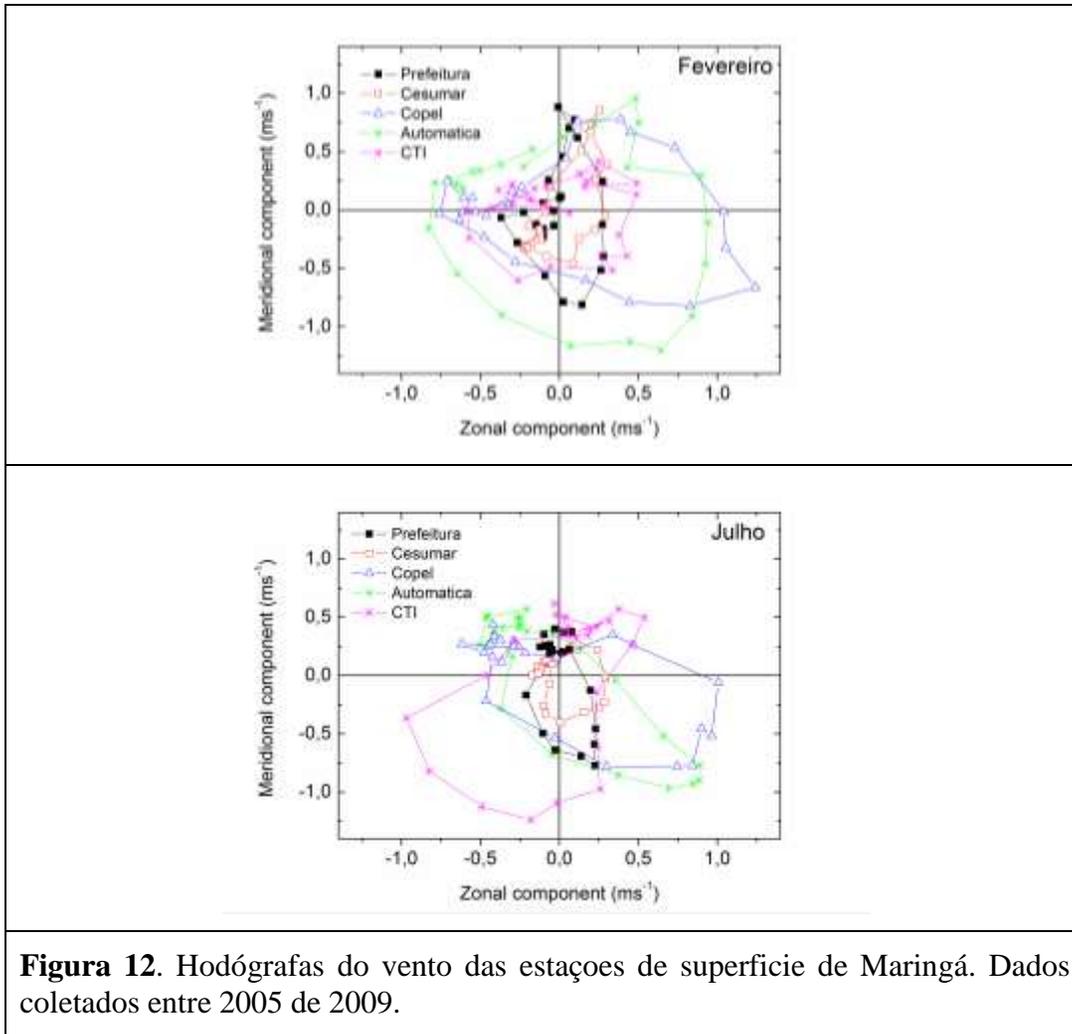
TEMPERATURA DO AR - TP							
ESTACÃO		2005	2006	2007	2008	2009	2010
1	COPEL CP	X	X	X	X	X	
2	CESUMAR CS	X	X	X	X	X	
3	CTI CT	X	X				
4	ECEUEM EC	X	X	X	X	X	
5	PREFEITURA PR	X	X	X	X		
6	AU			X	X	X	

UMIDADE RELATIVA - UR							
ESTACÃO		2005	2006	2007	2008	2009	2010
1	COPEL CP	X	X	X	X	X	
2	CESUMAR CS	X	X	X	X	X	
3	CTI CT	X	X				
4	ECEUEM EC	X	X	X	X	X	
5	PREFEITURA PR	X	X	X	X		
6	AU			X	X	X	

RAZO DE MISTURA - RM							
ESTACÃO		2005	2006	2007	2008	2009	2010
1	COPEL CP	X	X	X	X	X	
2	CESUMAR CS	X	X	X	X	X	
3	CTI CT	X	X				
4	ECEUEM EC	X	X	X	X	X	
5	PREFEITURA PR	X	X	X	X		
6	AU			X	X	X	

Aproveitando a oportunidade de ter acesso aos dados das regiões metropolitanas do Rio de Janeiro e de Vitória foi realizado um estudo comparativo da evolução anual da radiação solar nas cidades de São Paulo (Plataforma Micrometeorológica do IAG), Botucatu (Estação Radiométrica da UNESP de Botucatu), Maringá (Prefeitura, Copel, CTI, CESUMAR), Rio de Janeiro (Marambaia, Centro e Jacarepaguá) e Vitória.

A evolução sazonal dos valores diários médios mensais de radiação global na superfície não difere muito em todas essas cidades (Fig. 13), devido a fato que a radiação solar no topo da atmosfera dessas cidades serem muito próximas, mas também porque os padrões de nebulosidade também parecem ser similares. Está em andamento a elaboração de um artigo que pretende comparar os padrões climatológicos dessas cinco cidades.



**Figura 13.** Evolução sazonal da radiação global medida na superfície em São Paulo, Botucatu, Maringá, Rio de Janeiro e Vitória.

### 2.1.8. Estudo observacional e numérico da CLP em regiões rurais

Em relação a caracterização da região rural foram realizadas uma aplicação do modelo de Deardorff para estimar as componentes do balanço de energia sobre uma cultura de cana de açúcar (Rolim et al. 2008).

Este modelo foi originalmente aplicado para a região de Iperó (Targino e Soares, 2004).

Além disso, está em preparação os seguintes artigos sobre o experimento de Iperó:

- *Oliveira, A. P. and Soares, J, 2011: Observational investigation of the planetary boundary layer in a Brazilian subtropical region: Iperó Experiment (a ser submetido).*
- *Oliveira, A. P. and Soares, J, 2011: Numerical simulation of the planetary boundary layer in Iperó, Brazil, using a second order closure model coupled to a surface energy budget scheme (a ser submetido).*
- *Karam, H.A and Oliveira, A. P., 2011: On the low-level jet over complex terrain in the state of São Paulo, Brazil (a ser submetido).*
- *Pereira, M.M.R and Oliveira, A.P., 2011: The numerical investigation of the low level jet effects on radionuclide dispersion patterns in the Iperó, Brazil, using a Lagrangian particle dispersion model (a ser submetido).*

Estes artigos serão submetidos em 2011 e concluirão a descrição das principais propriedades da CLP na região de Iperó, São Paulo, onde funciona a instalação industrial do Centro Experimental ARAMAR da Marinha do Brasil.

**Tabela 2.1:** Distribuição da população das cidades em função da distância ao Centro Experimental ARAMAR. Fonte IBGE - Censo 2000. Cidades com mais de 300 mil habitantes estão realçadas.

Nº	Cidade	População	Distância (km)	Nº	Cidade	População	Distância (km)
1	Iperó	19.183	10,1	10	Angatuba		74,0
2	Sorocaba	497.649	18,5	11	Campinas	968.172	74,3
3	Tatuí	93.299	25,7	12	Jundiaí	322.798	74,3
4	Cerquilha	29.508	28,6	13	Piracicaba	328.312	75,6
5	Itu	135.304	31,4	14	Americana	182.084	77,1
6	São Roque	66.480	48,6	15	São Paulo*	10.405.867	100,0
7	São M. Arcanjo	30.769	48,6	16	Botucatu	108.112	101,4
8	Itapetininga	125.411	50,0	17	Capão Bonito		102,8
9	Indiatuba	146.829	51,4				

\* Área metropolitana com 18 milhões de habitantes.

**Figura 14.** Distribuição de população nas cidades em torno de Iperó (Oliveira, 2003).

Em virtude das ambientais associadas à opção do governo Brasileiro em investir na geração de energia elétrica a partir de usinas nucleares, no desenvolvimento de tecnologia nuclear para construção de navios militares movidos a energia nuclear e na produção de combustível nuclear, esses artigos serão extremamente relevantes, pois abordarão as principais etapas para se determinar os padrões de dispersão de poluentes na região de Iperó, caracterizada por uma topografia e ocupação do solo complexa e localizada próxima de regiões intensamente populosas como as cidades de Sorocaba e São Paulo (vide tabela abaixo).

Deve ser ressaltado que estes artigos envolvem a análise de um arquivo único de dados de turbulência dos 4 experimentos de campo realizados pelo Grupo de Micrometeorologia entre 1991 e 1993. O estudo de dispersão de poluentes neste estudo envolve diretamente as questões de uma instalação industrial com fontes pontuais e descontínuas resultantes de uma liberação acidental de radionuclídeos.

## **2.2. Modelagem numérica da CLP na região urbana de São Paulo**

A caracterização através de modelos numéricos da evolução CLP na região urbana de São Paulo neste projeto de pesquisa foi desenvolvida com a aplicação de três diferentes técnicas de modelagem: (a) modelo de mesoescala; (b) modelo de Fechamento de Segunda Ordem; (c) modelo LES.

### **2.2.1. Modelo TVM-NH**

O modelo de meso-escala utilizado nesta pesquisa é a versão não hidrostática do modelo TVM. Este modelo foi inicialmente utilizado para simular a circulação de Brisa Lacustre na região de Itaipu (Stivari, 1999, Stivari *et al.*, 2004).

Este modelo foi aplicado de forma mais intensiva para identificar o papel das circulações locais do Estado de São Paulo na formação dos Jatós de Baixos Níveis na região de Iperó (Karam, 2002) e para determinar a evolução espacial e temporal da estrutura da CLP para aplicação determinar os padrões de dispersão de poluentes na região de Iperó com modelo de dispersão de partículas (Lagrangiano) desenvolvido por Pereira (2004).

Os resultados destas simulações permitiram concluir que os JBN na região de Iperó, fazem parte de uma circulação de escala regional que se intensifica na parte alta da Serra do Mar. Esta circulação tem um ciclo diurno bem definido e resulta da combinação da Brisa Marítima (a oeste da Serra do Mar) e da circulação Vale-Montanha (a leste da Serra do Mar). Em condições sinóticas não perturbadas o transporte de poluentes na região de Iperó determinado pelas circulações locais e do JBN, podendo alcançar regiões densamente povoadas como Sorocaba e a região Metropolitana de São Paulo.

Tendo em vista a experiência acumulado pelo grupo de micrometeorologia na utilização do modelo TVM para investigar o papel da topografia e ocupação do solo nas propriedades dinâmicas e termodinâmicas da CLP, optou-se em utilizá-lo também para investigar a evolução temporal e espacial da CLP urbana na região metropolitana de São Paulo.

O primeiro estudo sobre a CLP urbana de São Paulo foi desenvolvido por Pereira Sousa (2006) e teve como objetivo caracterizar o papel da topografia e ocupação do solo sobre a evolução diurna da CLP em São Paulo.

O principal resultado obtido por Pereira de Sousa (2006) foi que a evolução diurna da CLP em São Paulo responde a topografia de forma indireta, tal que a extensão vertical da CLP é maior sobre as regiões urbanas com topografia mais elevada. As maiores extensões verticais da CLP neste caso é devido à maior produção mecânica de ECT nas áreas com topografia mais alta em função da intensificação do cisalhamento vertical do vento próximo a superfície. As simulações realizadas por Pereira de Sousa (2006) representaram as áreas urbanas de forma simplificada, utilizando um artifício de modelagem onde os fluxos turbulentos de calor sensível, latente e de momento são modulados através de aumento no comprimento de rugosidade da superfície e na resistência aerodinâmica a evaporação da superfície.

Como parte do projeto de pesquisa em questão, foi desenvolvido um estudo por meio de projeto de pesquisa de mestrado (Marcos Vinicius Bueno de Moraes) onde as simulações da CLP sobre a região urbana de São Paulo foram realizadas com modelo TVM modificado de forma que os efeitos urbanos passaram a ser simulados através do esquema de interação superfície atmosfera proposto por Martilli (2002).

Tendo em vista que não existe um conjunto de dados que permita identificar a ocupação do solo na região metropolitana de São Paulo, optou-se nestas simulações em reproduzir as condições de contorno e superfície utilizadas por Pereira de Sousa (2006).

O resultado principal desta dissertação é que a extensão vertical da CLP responde diretamente a intensificação da turbulência na região urbana, associada à remoção de momento (efeito de atrito) e um acréscimo na produção de ECT.

Outro aspecto importante revelado por este estudo é que a intensidade de ilha de calor urbana máxima atinge cerca de 3 a 4 graus, ocorre durante o período diurno. Neste período o efeito térmico associado à topografia induz divergência que compensa totalmente a convergência em baixos níveis induzida pela ilha de calor urbana em São Paulo (Moraes *et al.*, 2009; Moraes, 2010).

### **2.2.2. Modelo de Fechamento de Segunda Ordem**

Conforme proposto no projeto em questão, o modelo de fechamento de segunda ordem foi utilizado para simular as propriedades da turbulência considerando as características da ocupação do solo e da atmosfera local representativas da região urbana de São Paulo.

Os resultados desta pesquisa fizeram parte de um projeto de doutorado (Edson Roberto Marciotto), onde foi desenvolvido um algoritmo para estimar o balanço de energia sobre uma superfície urbana, composta de um conjunto de cânions com razão geométrica homogênea. O esquema de interação superfície atmosfera utiliza as parametrizações propostas por Mason (2002).

Uma descoberta interessante dessa pesquisa foi que o aumento da verticalização nas regiões urbanas pode alterar consideravelmente o balanço de energia na superfície de forma a reduzir a energia disponível para os processos turbulentos de troca de energia causando uma redução local no fluxo turbulento de calor sensível e na extensão vertical da CLP (Marciotto, 2008; Marciotto *et al.*, 2010). Esse resultado, indica que além dos processos turbulentos deve existir outro mecanismo (convergência em baixos níveis associado a circulação centrípeta ou ao efeito da rugosidade) responsável pela presença

sistemática de CLP mais extensas nas regiões centrais urbanas onde existe a maior verticalização.

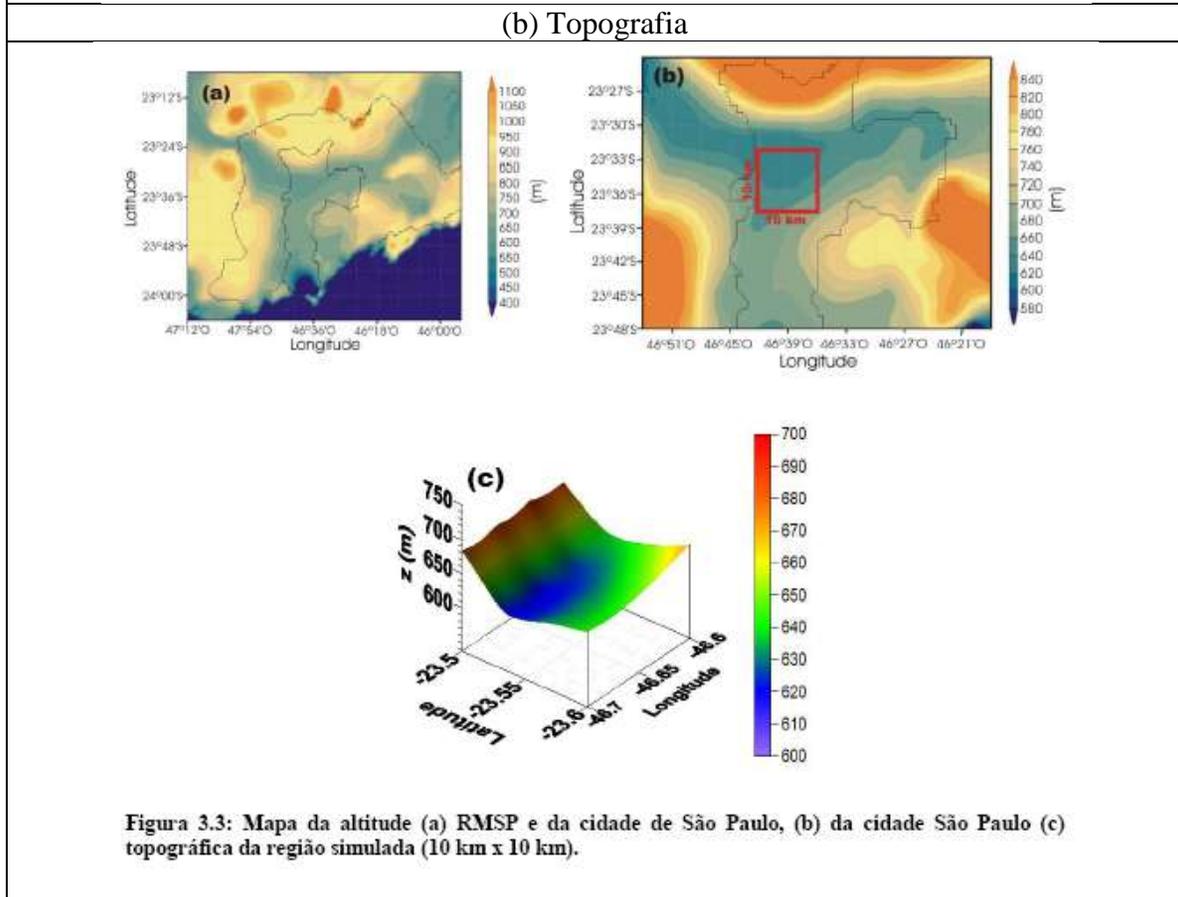
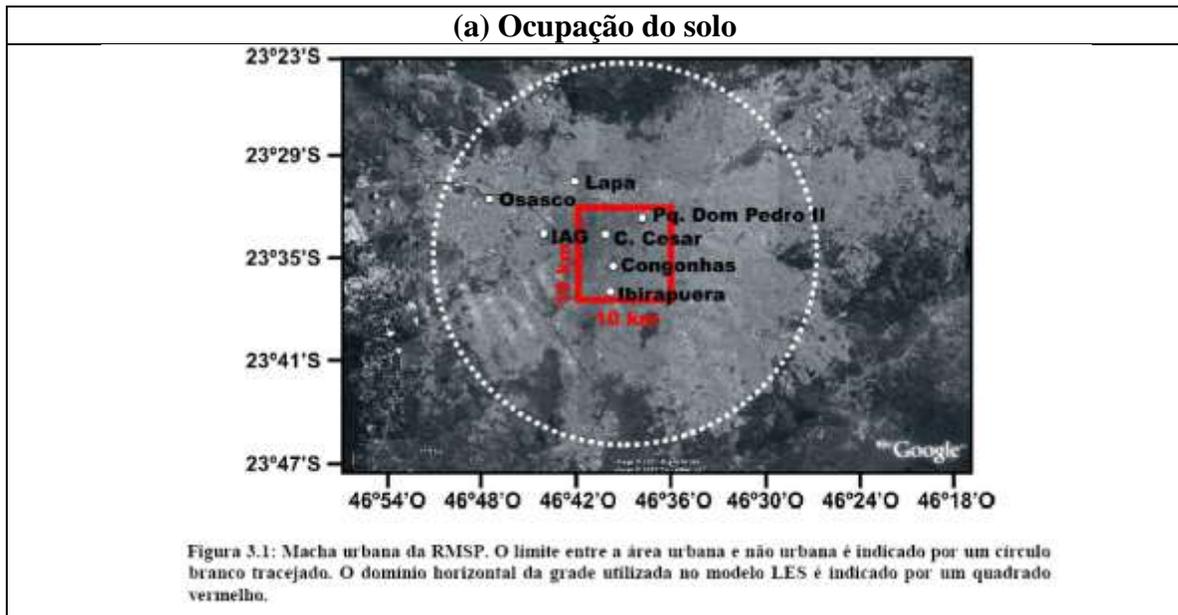
### 2.2.3. Modelo LES

O modelo LES proposto por Moeng (1989) para investigar as propriedades estatísticas da CLP tem sido utilizada pelo Grupo de Micrometeorologia do IAG desde o início da década de 2000 (Marques *et al.*, 2002; Marques 2004; Marques e Oliveira, 2005; Marques *et al.*, 2006). Nestes casos, uma versão serial do modelo LES foi utilizada para simular as propriedades da CLP altamente convectiva ( $z_i/L=-800$ ) e, devido a limitações computacionais, estas simulações ficaram restritas a períodos de 3 horas no máximo, usando passo de tempo de 1 segundo e grade de  $40^3$ .

Em 2006 o Grupo de Micrometeorologia do IAG instalou uma versão serial do modelo LES desenvolvido por Moeng no cluster de 16 nós do Centro de Computação Eletrônica da USP. Esta versão permitiu a simulação de 10 horas consecutivas de evolução da CLP convectiva na região urbana de São Paulo (Codato *et al.*, 2008a-b), executada com sucesso no projeto de mestrado da Georgia Codato (Codato, 2008).

Na Figura 15 são apresentadas as características do domínio utilizado nas simulações realizadas por Codato (2008). O domínio horizontal do modelo corresponde a uma área de 10 km por 10 km e uma extensão vertical igual a 2km. As simulações foram realizadas com  $128^3$ , correspondendo a uma resolução horizontal de 78,125 m e vertical de 15,625 m. As simulações foram realizadas com passo de tempo igual a 1 segundo e as condições de contorno foram atualizadas a cada uma hora de simulação utilizando a técnica de “restar”.

Na Figura 16 são apresentadas a evolução anual (Fig. 16a) e diurna do mês de junho (Fig. 16b) observada nas estações localizadas no domínio ou próximo do domínio de simulação do modelo LES (Fig. 15). As simulações realizadas por Codato (2008) corresponde a situação média do mês de junho, quando a concentração do monóxido em carbono em São Paulo atinge o máximo anual (Fig. 16a). Os dois máximos na metade da manhã e no início da noite (Fig. 16b) estão associados aos picos no trânsito da Cidade de São Paulo e serviram de referência para a escolha dos horários de máximo da emissão superficial de monóxido de carbono (Fig. 17).



**Figura 15.** Distribuição do domínio do modelo LES sobre a região urbana da Cidade de São Paulo (a) Ocupação do solo e localização da Plataforma Micrometeorológica do IAG da USP (IAG) das estações da rede telemétrica da CETESB onde são realizadas medidas de concentração de monóxido de carbono, (b) Detalhes da topografia (Codato, 2008).

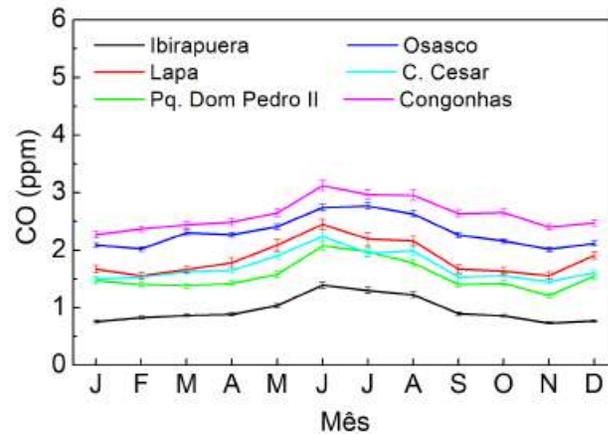


Figura 3.9: Evolução média mensal do valor diário do monóxido de carbono. Período: 1996-2005.

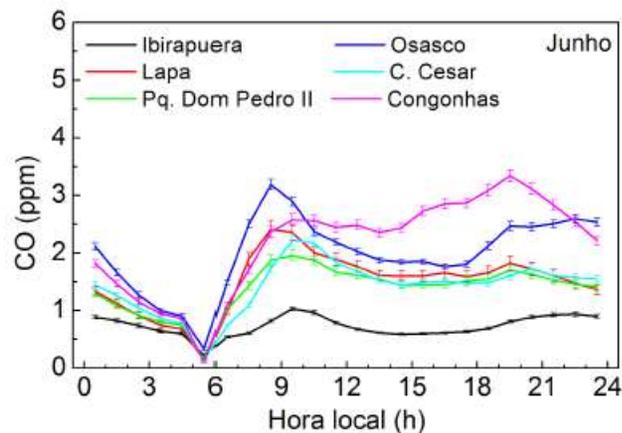
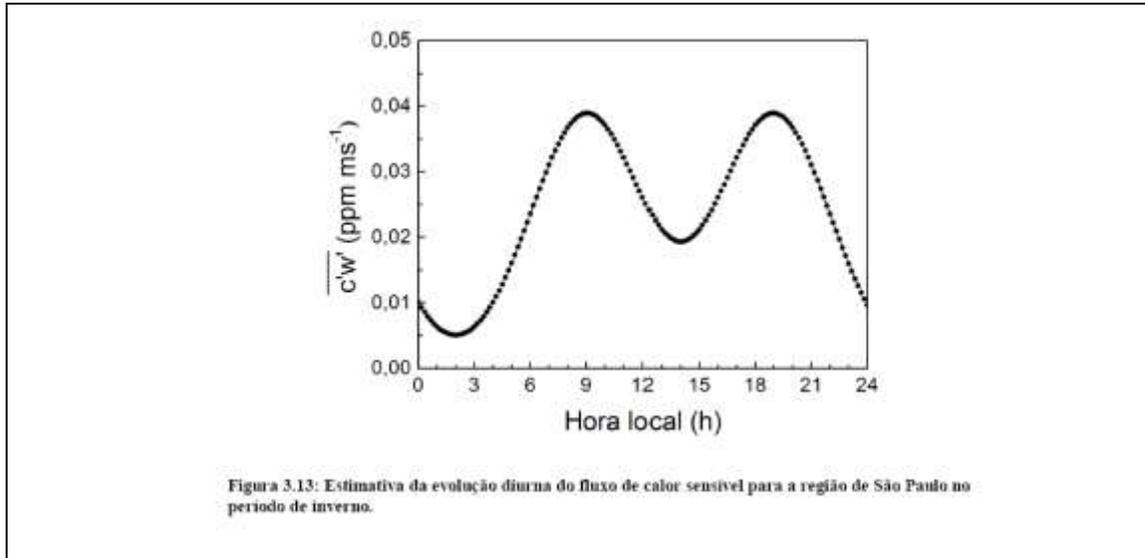


Figura 3.10: Evolução diurna do monóxido de carbono para no mês de junho. Período: 1996-2005.

**Figura 16.** Evolução (a) anual e (b) diurna (Junho) da concentração do monóxido de carbono na superfície de São Paulo. Valores médios mensais baseado em observações contínuas entre 1996 e 2005.

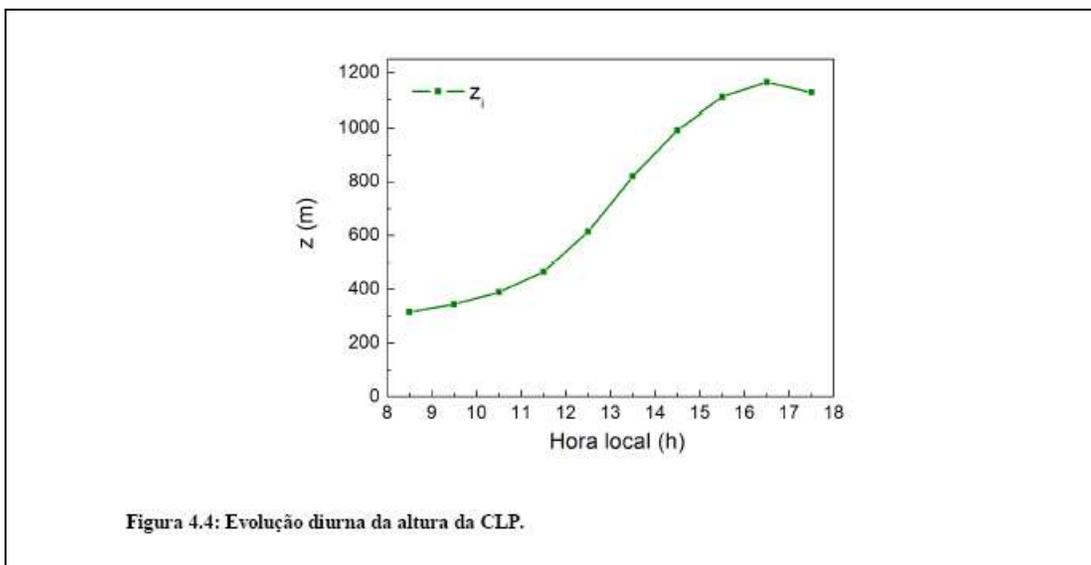
Deve ser ressaltado que nestas simulações, pela primeira vez utilizou-se como referência as características médias da CLP e das condições de contornos típicas da região urbana da Cidade de São Paulo, obtidos através dos dados coletados na Plataforma Micrometeorológica do IAG e dados da rede telemétrica da CETESB. Em especial o fluxo de monóxido de carbono na superfície foi estimado através do inventário de fontes realizado pela CETESB que projeta para a cidade de São Paulo uma emissão anual de 1.48 milhões de toneladas de monóxido de carbono, distribuindo essa emissão de forma homogênea em toda a área metropolitana da Cidade de São Paulo ( $1.741 \text{ km}^2$ ) e igualmente nos 365 dias do ano, e considerando a evolução diurna do tráfego de veículos

da Cidade de São Paulo com sendo bimodal, com os máximos as 09h00min e as 19h00min Hora Local. A amplitude, em unidades de concentração de monóxido de carbono de ppm (parte por milhão), para o fluxo de monóxido de carbono usada nesta simulação foi igual a  $0,024 \text{ ppm m s}^{-1}$ .



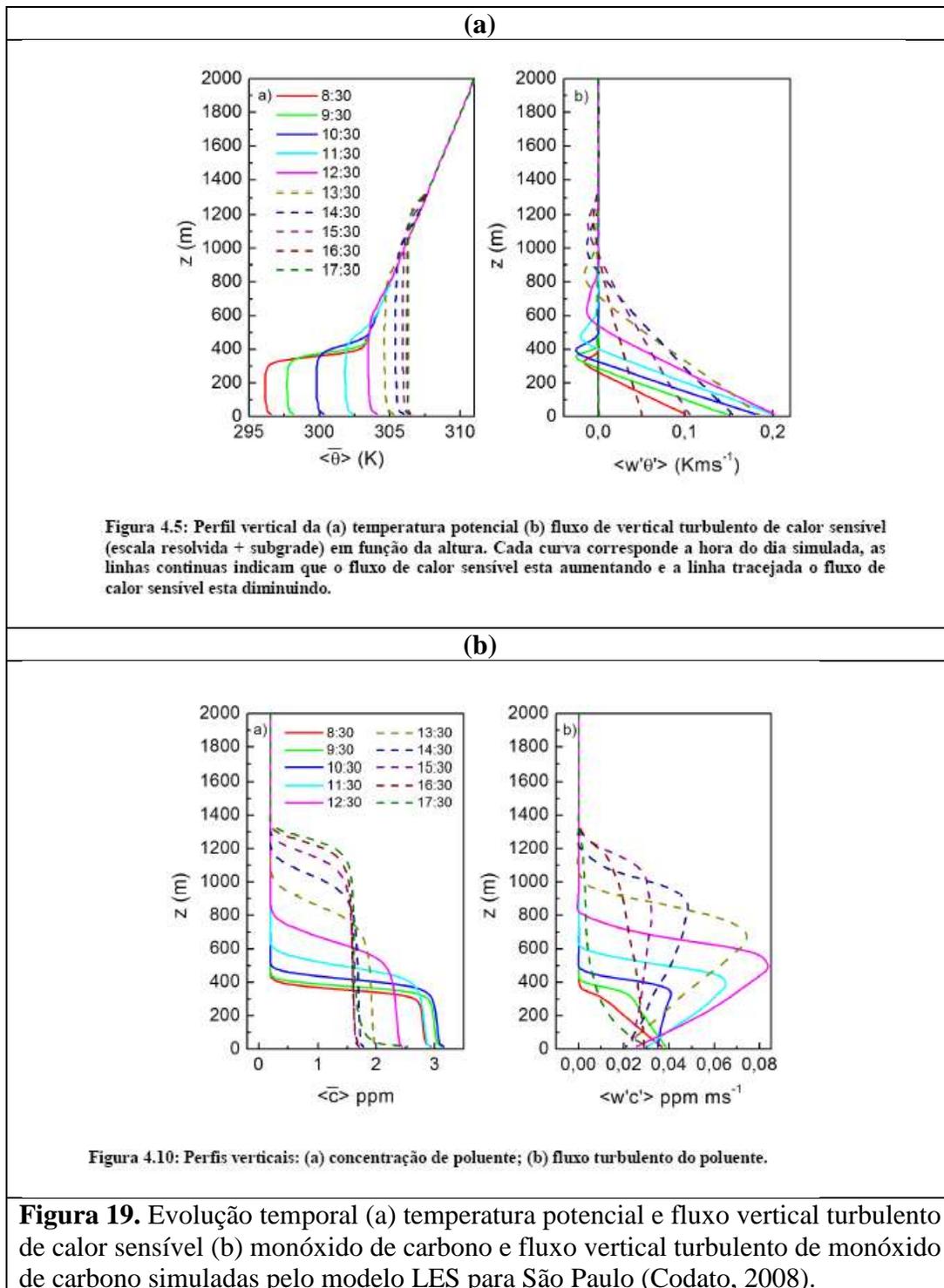
**Figura 17.** Evolução diurna do fluxo de monóxido de carbono na região urbana da Cidade de São Paulo. Amplitude igual a  $0,024 \text{ ppm m s}^{-1}$ .

Na figura 18 é apresentada a evolução temporal da altura de CLP, estimada a partir do nível da base de inversão térmica de altitude. Verifica-se que nestas simulações a altura durante o inverno em São Paulo atinge no máximo 1200 m.



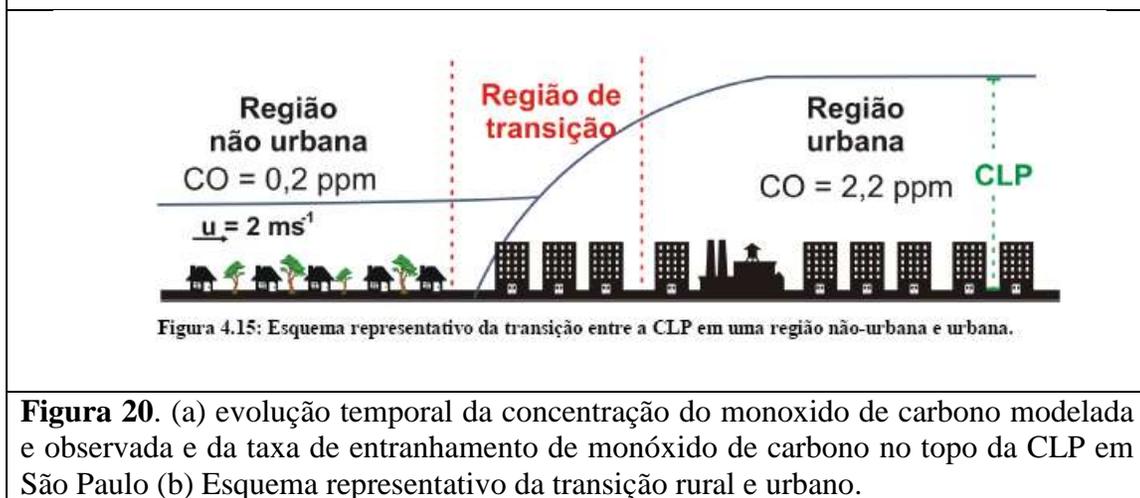
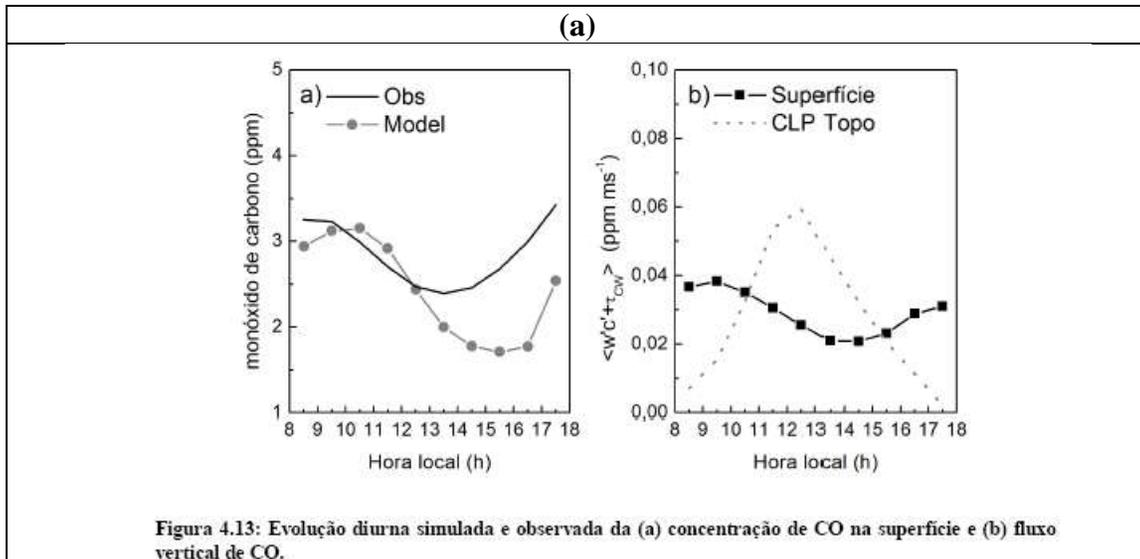
**Figura 18.** Evolução temporal da altura da CLP ( $Z_i$ ) na região urbana da Cidade de São Paulo simulada numericamente modelo LES para o mês de junho (Codato, 2008).

A evolução temporal dos perfis verticais de temperatura potencial, fluxo de calor sensível, concentração de monóxido de carbono e fluxo vertical turbulento de monóxido de carbono são apresentadas na Figura 19.



Na figura 20 é apresentada a evolução temporal do monóxido de carbono observado e modelado por Codato (2008) em São Paulo, durante o mês de junho. Apesar das

discrepâncias, principalmente na segunda metade do período da tarde o modelo é capaz de reproduzir bem o comportamento médio considerando que a emissão de monóxido de carbono na superfície foi estimada a partir do inventário de fontes da CETESB. O entranhamento de ar limpo no topo da CLP é um mecanismo importante na evolução do monóxido de carbono em São Paulo, com valores da mesma ordem de grande dos valores do fluxo turbulento de monóxido na superfície (Fig. 20a). A intensidade da emissão veicular de monóxido de carbono é tão intensa que a advecção horizontal só é importante próxima as regiões mais externas da mancha urbana de São Paulo (Fig. 20b).



No início de 2009 uma nova versão do modelo LES que permite forçar a evolução da CLP através da temperatura foi cedida pelo professor Umberto Rizza. Esta nova versão foi implementada na servidora R900 Intel 2-quad (8 nos) 12Gb de memória e 1.2 Tb de HD, adquirida através do projeto em questão. Este computador permite executar o modelo LES utilizando 8 nós em processamento paralelo. Além da velocidade no processamento, esse novo computador é utilizado exclusivamente para as execuções do

modelo LES, permitindo enfim efetuar-se modificações no código e ainda executar simulações para o período estavel (Barbaro *et al.*, 2009).

Deve ser ressaltado que a implementação da versão paralelizada do modelo LES em uma máquina implica na instalação de um modulo MPI (message passing interface). O MPI é um padrão de comunicação entre os processos para sistemas com mais de um processador e com memória distribuída. É constituído de um conjunto de bibliotecas que foi projetado para trabalhar com processamento paralelo massivo em clusters.

Considerando que as simulações exigem alteração dos parâmetros de superfície, foi utilizada a técnica de restart para a simulação de um ciclo diurno completo. Este procedimento evita instabilidade numérica no modelo, e.g. erro de arredondamento, além de permitir que as condições de contorno de temperatura, CO ou ainda os fluxos sejam alteradas. Depois da fase de instalação do modelo, um algoritmo de cálculo dos momentos estatísticos foi implementado, permitindo calcular em tempo real os perfis verticais médios no plano horizontal dos momentos estatísticos de primeira e segunda ordem para  $u$ ;  $v$ ;  $w$ ;  $T, CO$ , além dos termos de terceira ordem.

Esse algoritmo possibilitou também calcular as componentes do balanço de ECT para a escala resolvida e subgrade.

Deve ser ressaltado que a servidora R900 foi comprada em 2008, logo no início do projeto de pesquisa, contudo, como o laboratório de Micrometeorologia estava em reforma, só foi possível instalá-la no início de 2009.

A instalação implicou na construção de uma área dedicada a servidora no Laboratório de Micrometeorologia, utilizando divisórias e ar condicionado individual para isolar a servidora térmica e acusticamente do restante do laboratório. Os recursos para instalação das divisórias e do ar condicionado foram obtidos do projeto em questão. O nobreak para a servidora também foi adquirido com recursos do projeto em questão.

Deve ser ressaltado que a implantação dos algoritmos de estimativa das propriedades estatísticas e aplicação do modelo LES para simular a evolução da CLP na região urbana de São Paulo foram desenvolvidas durante o projeto de pesquisa de iniciação científica e de mestrado de Eduardo Wilde Bárbaro.

Na figura 21 é apresentada a tabela de todos os momentos estatísticos implementados na versão atual do modelo LES.

Na figure 22 é apresentada a evolução temporal da altura da CLP simulada pelo modelo LES durante o período de 24 horas considerando as condições de contorno (temperatura e fluxo de monóxido de carbono) médios para todos os dias e para os dias de céu claro em São Paulo, durante o mês de junho (Fig. 22a). Um exemplo do perfil vertical da CLP simulado durante o período convectivo, neutro e estável são apresentados na Fig. 22b. Exemplos do perfil vertical dos termos da equação do balanço de energia cinética são apresentados na Fig. 22c.

A estrutura da CLP noturna em São Paulo, simulada pelo modelo LES é apresentada na Figura 23. A distribuição vertical dos termos da equação ECT (Fig. 23a) indica uma menor intensidade de turbulência que está confinada a uma camada mais rasa do que na CLP diurna (Fig. 22c).

Tabela 2.1: Estatísticas implementadas no modelo LES.

Perfis verticais		
	escala resolvida	subgrade
Temperatura potencial média	$\langle \theta \rangle$	
Concentração média de CO	$\langle CO \rangle$	
Variância da velocidade	$\langle u'^2 \rangle, \langle v'^2 \rangle, \langle w'^2 \rangle$	$\overline{u''^2}, \overline{v''^2}, \overline{w''^2}$
Mom. estat. de 3º ordem de $w$	$\langle w'^3 \rangle$	$\overline{w''^3}$
Variância de $\theta$ e CO	$\langle \theta'^2 \rangle, \langle CO'^2 \rangle$	$\overline{\theta''^2}, \overline{CO''^2}$
Variância de $\theta$ com CO	$\langle \theta' CO' \rangle$	$\overline{\theta'' CO''}$
Fluxo vertical de calor sensível	$\langle w' \theta' \rangle$	$\overline{w'' \theta''}$
Fluxo vertical de CO	$\langle w' CO' \rangle$	$\overline{w'' CO''}$
Fluxo zonal de calor sensível	$\langle u' \theta' \rangle$	$\overline{u'' \theta''}$
Fluxo zonal de CO	$\langle u' CO' \rangle$	$\overline{u'' CO''}$
Fluxo meridional de calor sensível	$\langle v' \theta' \rangle$	$\overline{v'' \theta''}$
Fluxo meridional de CO	$\langle v' CO' \rangle$	$\overline{v'' CO''}$
Energia cinética turbulenta	$\langle ECT \rangle$	$\overline{\epsilon}$
Velocidade zonal média	$\langle u \rangle$	
Velocidade meridional média	$\langle v \rangle$	
Fluxo de momento	$\langle u' w' \rangle$	$\overline{u'' w''}$
Fluxo de momento	$\langle v' w' \rangle$	$\overline{v'' w''}$
Fluxo de momento	$\langle u' v' \rangle$	$\overline{u'' v''}$
Divergência	$\nabla \cdot \vec{V}$	
Produção Mecânica	$-\langle u' w' \rangle \frac{\partial \langle u \rangle}{\partial z} - \langle v' w' \rangle \frac{\partial \langle v \rangle}{\partial z}$	$-\overline{u'' w''} \frac{\partial \overline{u}}{\partial z} - \overline{v'' w''} \frac{\partial \overline{v}}{\partial z}$
Produção Térmica	$\frac{g}{\theta} \langle w' \theta' \rangle$	$\frac{g}{\theta} \overline{w'' \theta''}$
Transporte	$-\frac{\partial}{\partial z} \left( \langle e' w' \rangle + \frac{\langle w' p' \rangle}{\rho_0} \right)$	$-\frac{\partial}{\partial z} \left( \overline{e'' w''} + \frac{\overline{w'' p''}}{\rho_0} \right)$
Dissipação		$-c_k \frac{\overline{\epsilon^{1.5}}}{l}$

**Figura 21.** Tabela de todos os momentos estatístico implementados no modelo LES (Bárbaro, 2010).

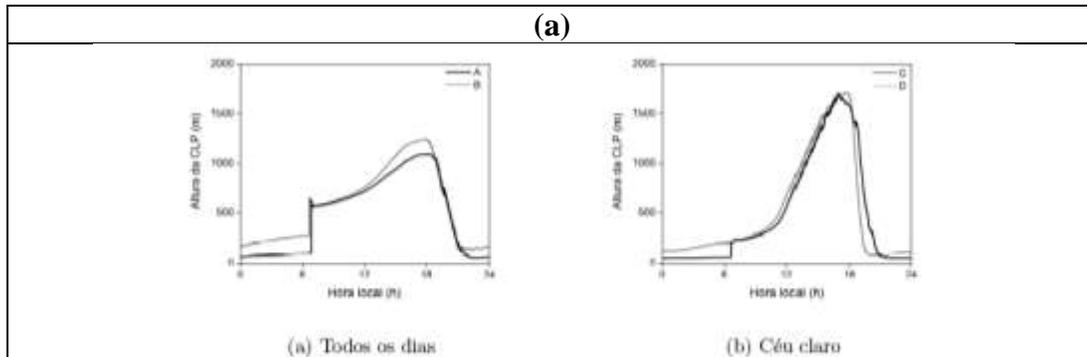


Figura 3.14: *Evolução diurna da altura da CLP.*

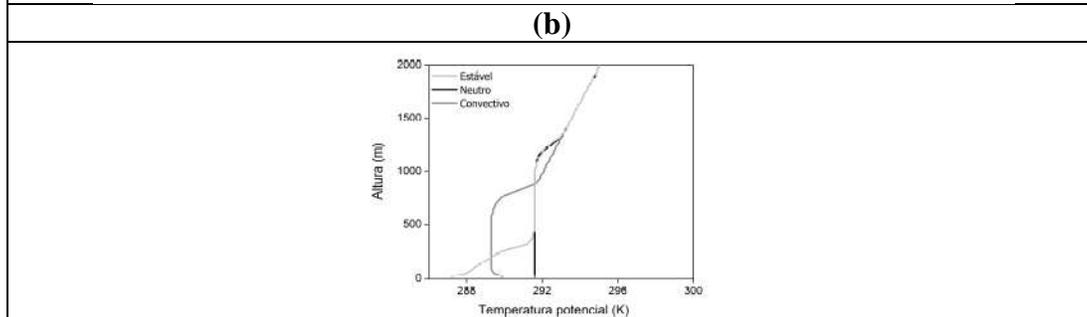


Figura 3.16: *Evolução diurna da temperatura potencial para o experimento B.*

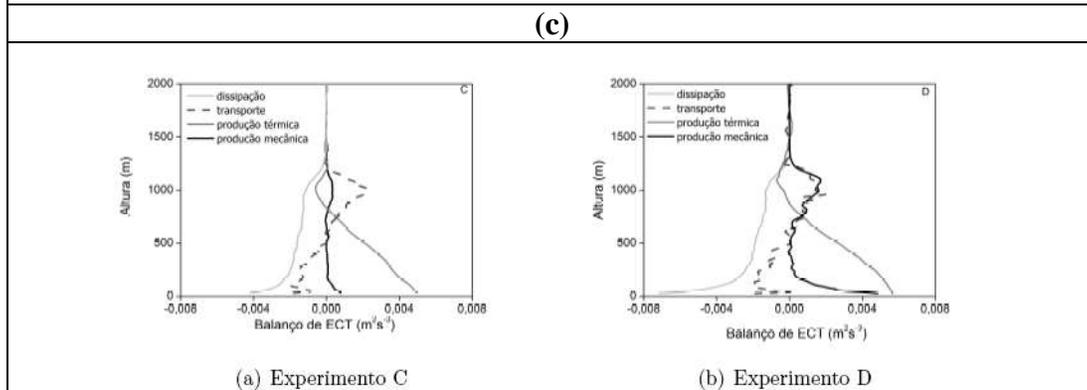
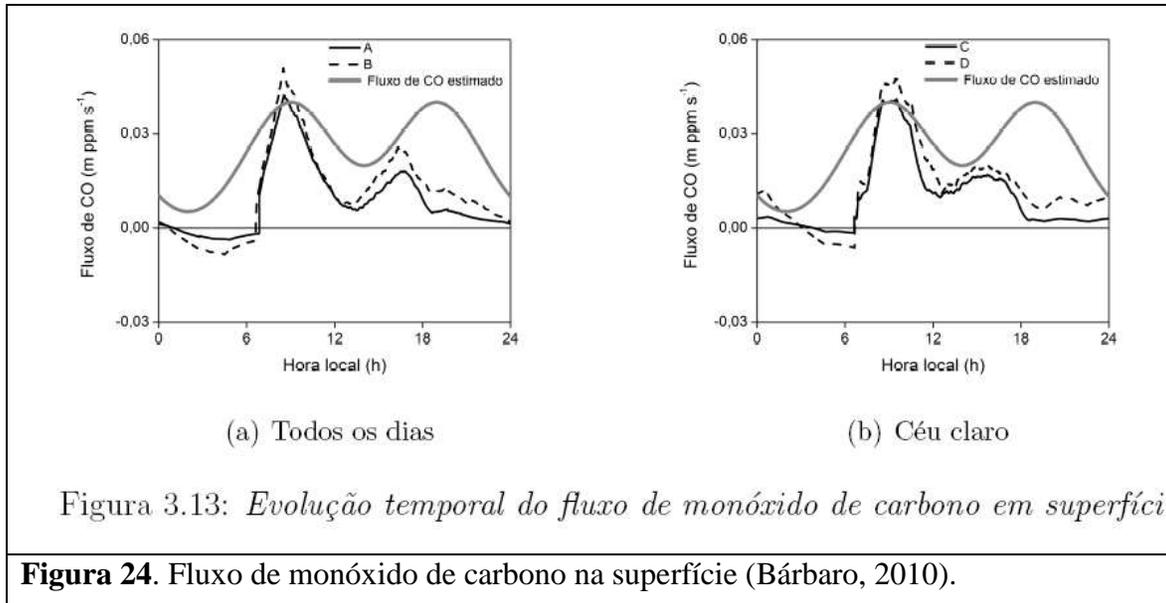


Figura 3.20: *Distribuição vertical das componentes do balanço de ECT para CLP convectiva (13:30HL)- céu claro*

**Figura 22.** Resultados das simulações realizadas com modelo LES. (a) Evolução da altura da CLP, (b) Perfil vertical de temperatura potencial e (c) perfil vertical das componentes da equação do balanço de energia cinética turbulenta (ECT). Resultados obtidos por Barbaro (2010).





### 2.3. Balanço de radiação na superfície de São Paulo

Do ponto de vista observacional a radiação solar tem sido investigada na região da cidade de São Paulo desde início da operação dos sensores de radiação na plataforma micrometeorológica em 1994.

Nesse sentido uma descrição completa do comportamento da radiação solar global e difusa na região da cidade de São Paulo pode ser encontrada em Oliveira *et al.* (2002a) bem como sobre a metodologia de estimativa da radiação difusa usando a técnica de anel de sombreamento foi apresentada em detalhes em Oliveira *et al.* (2002b).

Do ponto de vista de estimativa da radiação difusa a cidade de São Paulo foram desenvolvidos modelos estatísticos de estimativa de valores mensais, diários e horários (Oliveira *et al.*, 2002c).

Tendo em vista as limitações na aplicação do modelo de estimativa dos valores horários de radiação difusa, foi desenvolvido outro modelo, baseado na técnica de rede neural, com um bom desempenho por Soares *et al.* (2004).

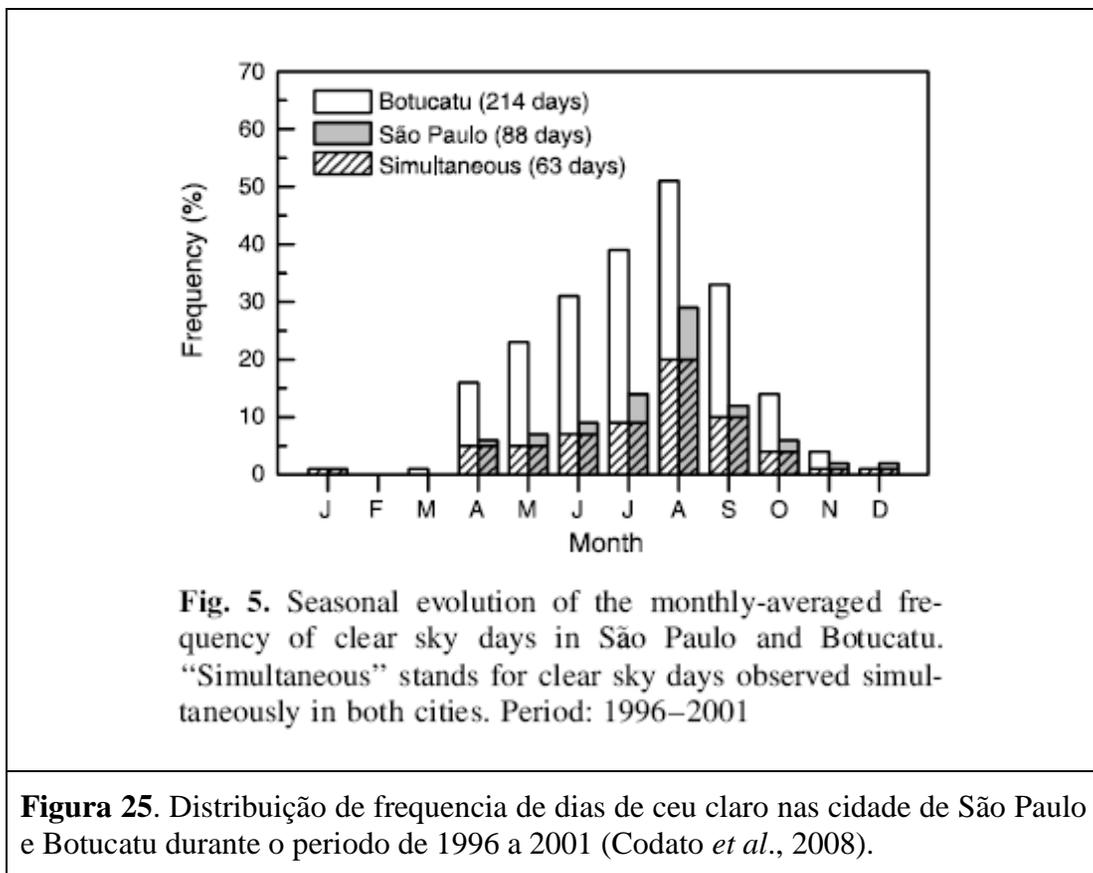
Além disso, a técnica de rede neural foi utilizada para efetuar correções do efeito de aquecimento solar da cúpula do pirgeômetro. Este método se mostrou bastante promissor, principalmente para corrigir este efeito nos dados anteriores ao funcionamento do sistema de medidas de temperatura da cúpula e do sensor (Oliveira *et al.*, 2006).

No âmbito do projeto de pesquisa em questão foi realizado um estudo comparando o comportamento da radiação solar global e difusa nas cidades de São Paulo e Botucatu como objetivo de identificar qual é o papel que a poluição atmosférica tem sobre os valores médios da radiação em São Paulo (Codato *et al.*, 2008).

De acordo com Codato *et al.* (2008), verificou-se que as maiores diferenças entre São Paulo e Botucatu estão relacionadas a distribuição de nebulosidade. Considerando o mesmo período de observação (1996-2001), verificou-se que em São Paulo ocorre

somente 86 dias de céu claro, enquanto que em Botucatu observou-se cerca de 210 dias de céu claro (Fig. 25).

Considerando valores diários médios mensais e removendo-se o efeito de nebulosidade, verifica-se que a Cidade de São Paulo recebe em geral menos radiação global na superfície do que Botucatu, variando entre 5,1 % (Junho) e 7,8% (Agosto), e mais radiação difusa, variando entre 3.6% (Agosto) e 15,6 % (Junho). Este padrão também é observado na evolução diurna dos valores horários médios, acentuando-se durante o período da tarde, em virtude da penetração da brisa marítima em São Paulo. Considerando o efeito da poluição do ar em São Paulo, verifica-se que a emissão de material particulado, associado à colheita de cana de açúcar, contribui para que as diferenças ente São Paulo e Botucatu não seja tão grandes em boa parte do período de safra (Maio a Setembro).



O comportamento da radiação de onda longa atmosférica emitida para baixo na superfície da cidade de São Paulo foi investigado utilizando 10 anos (1997 a 2006) de medidas na plataforma micrometeorológica em Bárbaro *et al.* (2008a-g, 2009, 2010) e Bárbaro e Oliveira (2008).

De um modo geral, utilizando com referencia estimativas de satélite (projeto SRB/NASA) verificou-se que os valores médios de radiação de onda longa observados na Plataforma Micrometeorológica do IAG podem ser utilizados como representativos de toda a região Metropolitana de São Paulo. Resultados similares já tinham sido obtidos por Oliveira *et al.* (2002a), mais recentemente, por Marciotto *et al.* (2008) para as

componentes da radiação solar global e difusa na superfície por meio de comparações com estimativa de satélites.

A radiação de onda longa apresenta um máximo no verão de  $389 \pm 14 \text{ Wm}^{-2}$  (Janeiro) e um mínimo de  $332 \pm 12 \text{ Wm}^{-2}$  no inverno (Julho). Estes estudos indicaram também que a emissividade efetiva da atmosfera apresenta ciclos anuais e diurnos que refletem a distribuição de umidade e temperatura da baixa atmosfera, em particular a evolução diurna da CLP.

Várias formulações empíricas para estimativa da radiação de onda longa da atmosfera foram testadas e verificou-se que este parâmetro é mais bem representado pela seguinte fórmula:

$$LW = 1827.23 + 31.35 T_0 - 35.06 e_0 - 967.82 \ln(T_0) - \frac{7725.26}{T_0} + 390.92 \sqrt{e_0} + \frac{2372.20}{e_0}$$

Onde  $T_0$  é a temperatura e  $e_0$  a pressão de vapor no nível de abrigo (1.5 m) em K e hPa.

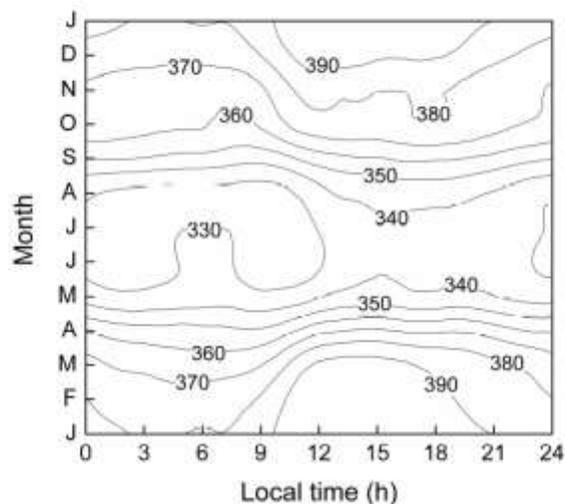


Fig. 6. Seasonal variation of the diurnal evolution of monthly-averaged hourly values of LW ( $\text{Wm}^{-2}$ ).

**Figura 26.** Variação sazonal da evolução diurna da radiação de onda longa em São Paulo.

Os estudos de observacionais de radiação solar e onda longa na cidade de São Paulo têm conduzido a conclusão que nuvens e poluição atmosférica são dois fatores locais que tem que ser levados em consideração no desenvolvimento de modelos empíricos.

Assim, foi iniciando um estudo para desenvolver um modelo de regressão para diagnosticar valores horários de radiação difusa em São Paulo que incluem explicitamente os efeitos de nuvens (cobertura e tipo) e poluição (material particulado).

Do ponto de vista de modelagem estatística foi desenvolvido, em parceria com o Grupo de Radiação Solar da UNESP de Botucatu diferentes tipos de modelo de estimativa das diferentes componentes da radiação solar na superfície (Direta, Difusa, UV, PAR, IV) na região de Botucatu (Escobedo et al 2011, Escobedo et al, 2009a-c; Gomes et al. 2009; Escobedo et al., 2008; Gomes et al., 2008)

#### **2.4. Investigação da CLP sobre regiões Oceânicas**

Durante período de vigência do projeto, o Grupo de Micrometeorologia, sob a coordenação da Dra. Jacyra Soares, responsável pelo Laboratório de Interação Ar-Mar do IAG da USP, tem se dedicado a instalação da base experimental no arquipélago de São Pedro e São Paulo do projeto FluTuA (Proc. CNPq 557159/2005-9 e Proc. FAPESP 2004/15355-0) (Soares *et al.*, 2009)

Além da instalação da Torre Micrometeorológica em 2009, o Grupo concluiu a análise dos dados do Experimento Meteorológico realizados em maio de 2002. Neste experimento foram realizadas medidas de radiação, temperatura, velocidade do vento, temperatura da água do mar a bordo do navio *Cmte. Manhães*, da Marinha do Brasil, durante um período de 10 dias (Bacellar *et al.*, 2009; Dutra e Soares, 2009-8; Peres e Soares, 2008-8; Silva *et al.*, 2008 ).

Além da análise de dados observacionais, durante a vigência do projeto o Grupo de Micrometeorologia dedicou-se a também a modelagem numérica dos processos turbulentos da camada limite oceânica por meio de um modelo de Fechamento de Segunda Ordem e o modelo TVM acoplado a uma modelo oceânico (água rasa). O modelo de turbulência foi utilizado para investigar as propriedades da camada de mistura no Atlântico equatorial resultando em quatro artigos e uma dissertação de mestrado (Skielka *et al.*, 2010; Skielka, 2009; Skielka *et al.*, 2008a-c).

O modelo TVM acoplado ao modelo de água rasa oceânico foi utilizado para investigar o papel da área de ressurgência de Cabo Frio nas circulações de brisa marítima e terrestre existente na região de forma acoplada. Este trabalho resultou na publicação em dois artigos (Ribeiro *et al.*, 2008a-b) e uma tese de doutorado (Ribeiro, 2010).

No âmbito desta parte do projeto de pesquisa foi realizada uma ampla investigação do acoplamento da atmosfera e oceano por meio de um Modelo de Fechamento de Segunda Ordem desenvolvido para simular o acoplamento das respectivas CLPs. Este trabalho tem sido realizado em parceria o Dr. Marcelo Dourado da UFPR, no âmbito do projeto financiado pelo CNPQ e resultou em um artigo (Dourado and Oliveira, 2008).

### **3. Conclusão**

Os objetivos propostos no projeto de pesquisa para o período de 2008 a 2011 foram plenamente atingidos. Durante o período foi possível concluir um conjunto significativa etapas da pesquisa contendo aspectos observacionais e de simulação numérica na CLP

em regiões urbana, rural e oceânica. Entre os principais resultados atingidos na pesquisa deve ser destacado:

1. A caracterização observacionalmente da evolução temporal e espacial das componentes do balanço de energia na superfície da região metropolitana de São Paulo.
2. A caracterização das circulações locais na região urbana da Cidade de São Paulo através da utilização intensiva do modelo de mesoescala TVM-NH acoplado ao modelo de dossel urbano de Moraes (2010).
3. As simulações numéricas das propriedades estatísticas da CLP com o modelo LES para simular os períodos convectivos e para estável sobre a região urbana de São Paulo (Codato, 2008; Barbaro, 2010).
4. A caracterização observacional da evolução sazonal e diurna da radiação de onda longa em São Paulo (Barbaro *et al.*, 2010) e do balanço de radiação na superfície (Ferreira, 2010).
5. O desenvolvimento de modelos estatísticos para determinar os valores horários e diários de radiação solar difusa (Furlan *et al.*, 2010) e as componentes UV, PAR e INR (Escobedo *et al.*, 2009, Escobedo *et al.*, 2011).
6. O estudo da CLP em regiões oceânicas através da instalação da torre de observações no Arquipélago São Pedro e São Paulo do projeto FluTuA e da conclusão de estudos observacionais (Bacellar *et al.*, 2008) e numéricos das propriedades radiativas e da CLP usando modelo de fechamento de segunda ordem (Skielka, 2009; Skielka *et al.*, 2010) Investigação numérica da interação oceano e atmosfera na região de Cabo Frio usando modelo de fechamento de segundo ordem o modelo TVM (Dourado and Oliveira, 2008; 2010; Dutra, 2010).

Vale a pena destacar que associado ao projeto de pesquisa em questão foram formados os seguintes mestres e doutores:

1. Geórgia Codato (*Mestrado*). Título: *Estudo numérico da camada limite urbana convectiva com LES*. Bolsa: CAPES. Início: 2006. Defesa: 12 de maio de 2008. Orientador: Amauri Pereira de Oliveira.
2. Edson Roberto Marciotto (*Doutorado*). Título: *Estudo da influência de um dossel urbano sobre o balanço de energia na superfície e implicações na estrutura vertical da camada limite atmosférica*. Bolsa: IPT (até julho 2006) e CAPES (até fevereiro de 2008). Início: Março de 2004. Defesa: 11 de novembro de 2008. Orientador: Amauri Pereira de Oliveira.
3. Udo Tersiano Skielka (*Mestrado*). Título: *Estudo numérico da evolução da camada de mistura oceânica no Oceano Atlântico equatorial utilizando o modelo GOTM*. Bolsa: CNPq. Início: 2007. Defesa: 29 de junho de 2009. Orientador: Jacyra Soares.
4. Marcos Vinícius Bueno de Moraes (*Mestrado*). Título: *Investigação da camada limite planetária sobre a região urbana de São Paulo por meio do modelo de mesoescala TVM acoplado ao modelo de dossel urbano de Martilli*. Bolsa: CNPq. Início: Março de 2008. Defesa: 21 de maio de 2010. Orientador: Amauri Pereira de Oliveira.

5. Flávia Noronha Dutra Ribeiro (*Doutorado*). Título: *Padrões das circulações atmosférica e oceânica na região de ressurgência costeira de Cabo Frio*. Bolsa CNPq. Início: Março de 2004. Defesa: 16 de abril de 2010. Orientador: Jacyra Soares.
6. Eduardo Wilde Bárbaro (*Mestrado*). Título: *Investigação da camada limite planetário noturna na região metropolitana de São Paulo utilizando o modelo LES*. Bolsa: Fapesp. Início: Março de 2009. Defesa: 23 de agosto de 2010. Orientador: Amauri Pereira de Oliveira.
7. Maurício Jonas Ferreira (*Doutorado*). Título: *Estudo do balanço de energia na superfície da cidade de São Paulo*. Bolsa: CAPES. Início: Julho de 2005. Defesa: 10 de setembro de 2010. Orientador: Amauri Pereira de Oliveira.

Alem disso, os seguintes projetos de pesquisa estavam relacionados ao projeto em questão:

- **Projeto:** *FluTuA - Fluxos Turbulentos sobre o Atlântico*. **Objetivo:** Estabelecer uma base experimental para a investigação da interação oceano-atmosfera, na região do Atlântico Tropical, utilizando sensores instalados em uma torre micrometeorológica no Arquipélago de São Pedro e São Paulo (ASPSP). **Coordenadores:** Jacyra Soares e Amauri P. de Oliveira. **Participantes:** Jacques Servain (IRD de Bretagne, França) alunos de graduação e pós-graduação. **Período:** 1999 a 2010. **Agências Financiadoras:** CNPq (557159/2005-9) e FAPESP (2004/15355-0).
- **Projeto:** *Desenvolvimento e aplicação de um modelo numérico de camada limite oceânica e atmosférica acoplado*. **Objetivo:** Desenvolver um modelo numérico de camada limite atmosférico e oceânico acoplado. **Coordenador:** Marcelo S. Dourado (UFPR). **Período de Vigência:** 2008 a 2010. **Participantes:** Amauri Pereira de Oliveira. **Agências Financiadoras:** CNPq (Proc. N<sup>o</sup> 475708/2007-5).
- **Projeto:** *Estudo numérico da camada limite planetária urbana com LES*. **Objetivo:** Investigar as propriedades da CLP sobre região urbana utilizando o modelo LES. **Coordenador:** Edson Pereira Marques Filho (UFRJ). **Período de Vigência:** 2006 a 2008. **Participantes:** Amauri Pereira de Oliveira (USP), Hugo Abi Karam (UFRJ), Umberto Rizza (ISIATA, Itália). **Agências Financiadoras:** CNPq (Proc. No. 473818/2006-0).
- **Projeto:** *Radiações Solares UV, PAR, IV e aplicações em Engenharia Térmica*. **Coordenador:** João Francisco Escobedo (UNESP). **Período de Vigência:** João Francisco Escobedo. **Participantes:** Amauri Pereira de Oliveira. **Agências Financiadoras:** CNPq FAPESP (Proc. N<sup>o</sup> 2010/02929-9).

Durante a vigência deste projeto foram estabelecidos e utilizados os seguintes contatos nacionais e internacionais

NOME	ESPECIALIDADE	INSTITUIÇÃO	PAÍS	TIPO DE COLABORAÇÃO
Marija Zlata Boznar	Rede Neural	Instituto Josef Stefan/Ames	Eslovênia	Cooperação Científica
Primoz Mlakar	Rede Neural	Instituto Josef Stefan/Ames	Eslovênia	Cooperação Científica
João Francisco Escobedo	Radiação Solar	UNESP - Botucatu	Brasil	Pesquisa

Jacques Servain	Oceanografia	IRD	França	Cooperação Científica
Umberto Rizza	Modelagem Numérica da CLP	CNR – Lecce	Itália	Cooperação Científica
Robert Bornstein	CLP Urbana	San Jose State University	EUA	Pesquisa
Claudia Furlan	Radiação solar	Universidad di Padova	Itália	Pesquisa
Sonia Maria Soares Stivari	Climatologia Urbana	Universidade Estadual de Maringa	Brasil	Pesquisa
Edson Pereira Marques Filho	Modelagem CLP com LES	Universidade Federal do Rio de Janeiro	Brasil	Pesquisa
Maxsuel Pereira Rocha	Climatologia Urbana	Universidade Federal do Espirito Santo	Brasil	Pesquisa
Marcelo Sandin Dourado	CLP regiões oceanicas	Universidade Federal do Parana	Brasil	Pesquisa

Vale à pena destacar que no âmbito do projeto de pesquisa forma publicados, aceitos e submetidos para publicação as seguintes teses, dissertações, capítulos de livros e artigos re revistas e anais de congressos científicos relacionados com o projeto em pauta.

#### Teses e Dissertações

- Ferreira, M.J., 2010: Estudo do balanço de energia na superfície da cidade de São Paulo. *Tese de Doutorado*. IAG. USP. São Paulo. SP. Brasil. 149 pp.
- Moraes, M.V.B., 2010: Investigação da camada limite planetária sobre a região urbana de São Paulo por meio do modelo de mesoescala TVM acoplado ao modelo do dossel urbano de Martilli. *Dissertação de Mestrado*. IAG. USP. São Paulo. SP. Brasil.
- Bárbaro, E.W., 2010: Investigação da camada limite planetária noturna na região metropolitana de São Paulo utilizando o modelo LES. *Dissertação de Mestrado*. IAG. USP. São Paulo. SP. Brasil.
- Codato, G., 2008: Simulação numérica da evolução diurna do monóxido de carbono na camada limite planetária sobre a RMSP com modelo LES. *Dissertação de Mestrado*. IAG. USP. São Paulo. SP. Brasil. 94 pp.
- Marciotto, E.R., 2008: Estudo da influência de um dossel urbano sobre o balanço de energia na superfície e implicações na estrutura vertical da camada limite atmosférica. *Tese de Doutorado*. IAG. USP. São Paulo. SP. Brasil.
- Skielka, U.T., 2009: Estudo numérico da evolução da camada de mistura oceânica do Atlântico equatorial utilizando o modelo GOTM. *Dissertação de Mestrado*. IAG. USP. São Paulo. SP. Brasil.
- Ribeiro, F.N.D., 2010: Padrões de circulações atmosférica e oceânica na região de ressurgência costeira de Cabo Frio. *Tese de Doutorado*. IAG. USP. São Paulo. SP. Brasil.

### Capítulo de Livro

- Soares, J., **Oliveira, A.P.**, Skielka, U, and Servain, J., 2009: O AR. In: *Dez anos do programa ASPSP*.

### Artigos Publicados em Revistas Especializadas com Arbitragem

- Dourado, M.S., and **Oliveira, A.P.**, 2008: A numerical investigation of the atmosphere-ocean thermal contrast over the coastal upwelling region of Cabo Frio, Brazil. *Atmosfera*, **21(1)**, 13-34.
- Codato, G., **Oliveira, A.P.**, Soares, J., Escobedo, J.F., Gomes, E.N., and Pai, A.D., 2008: Global and diffuse solar irradiances in urban and rural areas in southeast of Brazil. *Theoretical and Applied Climatology*, **93**, 57-73.
- Rolim, G.S., Escobedo, J.F., **Oliveira, A.P.**, 2008: Validation of the Deardorff model for estimating energy balance components for a sugarcane crop. *Scientia Agricola*, **65**, 325-334.
- Furlan, C., and **Oliveira A.P.**, 2008: Hourly diffuse solar radiation in the presence of clouds and other environmental parameters: the city of São Paulo. *Working Paper Series of the Department of Statistical Sciences at the University of Pádua*, Pádua, Italy, **17**, 1-18 (<http://wp.stat.unipd.it>).
- Escobedo, J.F., Gomes, E.N., **Oliveira, A.P.**, and Soares, J., 2009: Modeling hourly and daily fractions of UV, PAR and NIR to global solar radiation under various sky conditions at Botucatu, Brazil. *Applied Energy*, **86**, 299-309.
- Bacellar, S., Oliveira, A.P., Soares, J., and Servain, J., 2009: Assessing the diurnal evolution surface radiation balance over the Tropical Atlantic Ocean using in situ measurements carried out during the FluTuA Project. *Meteorological Application* **16**, 255-266.
- Skielka, U.T., Soares, J., Oliveira, A. P., 2010: Study of the equatorial Atlantic oceanic mixing layer using a one-dimensional turbulence model. *Brazilian Journal of Oceanography*, **58**, 57-69.
- Marciotto E.R., Oliveira A.P. and Hanna, S.R., 2010. Modeling study of the aspect ratio influence on urban canopy energy fluxes with a modified wall-canyon energy budget scheme. *Building and Environment*. DOI.10.1016/j.buildenv.2010.05.012.
- Bárbaro, E.W., Oliveira, A.P., Soares, J., Codato, G., Ferreira, M.J., Mlakar, P., Božnar, M.Z., and Escobedo, J.F., 2010: Downward atmospheric longwave radiation at the surface in the city of São Paulo: observational characterization and empirical expression. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, **49-12**, 2574-2590.
- Ferreira M.J., Oliveira A.P. and Soares J., 2010. Anthropogenic heat in the City of São Paulo, Brazil. *Theoretical and Applied Climatology* (DOI: 10.1007/s00704-010-0322-7).
- Escobedo, J.F., Gomes, E.N., Oliveira, A.P., and Soares, J., 2011: Ratios of UV, PAR and NIR components of global solar radiation at surface measured at Botucatu site in Brazil. *Renewable Energy*, **36**, 169-178.

### Comunicações em Congressos com Publicação em Anais

- Bárbaro, E.W, Oliveira A.P. and Soares J., 2010: Investigation of carbon monoxide time evolution over the city of Sao Paulo during the nighttime using LES model.

*Proceedings of Conference on the Applications of Air Pollution Meteorology, 90th Annual Meeting, January 2010, Atlanta, GA.*

- Bárbaro E.W., Oliveira A.P., Soares J. and Marques-Filho, E.P., 2009: Development of a statistic algorithm applied to LES model. *Anais do I Summer School de Micrometeorologia*, Rio de Janeiro, RJ.
- Morais M.V.B., Oliveira A.P. and Ferreira M.J., 2009: Estudo numérico do balanço de radiação na superfície: Variação diurna e anual do albedo na cidade de São Paulo. *VI Workshop Brasileiro de Micrometeorologia*. 18 a 20 de novembro, Santa Maria, RS.
- Bárbaro E.W., Oliveira A.P. and Soares J., 2009: Validation of a statistic algorithm applied to LES model - Part 1: First and second order statistics. *VI Workshop Brasileiro de Micrometeorologia*. Santa Maria, RS. 18 a 20 de novembro.
- Bárbaro E.W., Oliveira A.P. and Soares J., 2009: Validation of a statistic algorithm applied to LES model - Part II: TKE vertical profile and TKE budget. *Anais do VII Workshop de Micrometeorologia*, Santa Maria, RS.
- Escobedo J.F., Gomes E.N., Dal Pai A., Martins D., Oliveira A.P., Soares J. and Bárbaro E.W., 2009: Ciclo diurno-noturno da radiação de onda longa atmosférica (LW) horária em Botucatu/SP/Brasil. *In: Congresso Brasileiro de Agrometeorologia*, **16**. Belo Horizonte, MG.
- Escobedo J.F., Gomes E.N., Dal Pai A., Martins D., Oliveira A.P., Soares J. and Bárbaro E.W., 2009: Evolução diurno-noturna da radiação de onda longa atmosférica (LW) horária em Botucatu/SP/Brasil. *In: Congresso Argentino de Agrometeorologia*, **10**. Buenos Aires, Argentina.
- Gomes E.N., Escobedo J.F., Dal Pai A., Oliveira A.P., Soares J. and Codato G., 2009: Evolução anual da radiação de onda longa atmosférica (LW) media mensal, horária e diária, em Botucatu/SP/Brasil. *In: Congresso Argentino de Agrometeorologia*, **10**. Buenos Aires, Argentina.
- Bárbaro E.W., Oliveira A.P., Soares J., Ferreira M.J., Mlakar P., Božnar M.Z. and Escobedo J.F., 2009: Downward atmospheric longwave radiation in the city of São Paulo. *Proceedings of the International Radiation Symposium – IRS2008*, Foz do Iguaçu, Brazil, 3–8 August 2008, **1100**, 447-450.
- Ferreira M.J., Oliveira A.P., Soares J., Bárbaro E.W., Codato G., Marciotto E.R., Silva M. e Escobedo J.F., 2008: Variação sazonal do balanço de energia na superfície urbana da cidade de São Paulo, Brasil. *In: XV Congresso Brasileiro de Meteorologia*, São Paulo, Agosto 2008 (CDROM).
- Escobedo J.F., Gomes E. N., Oliveira A.P., Soares J., 2008: Variações mensais das frações solares UV, PAR e IV DA radiação global em Botucatu. *Anais do II Congresso Brasileiro de Energia Solar e III Conferência Latino-Americana DA ISES*, Florianópolis (CDROM).
- Gomes E.N., Escobedo J.F., Oliveira A.P., Soares J. 2008: Séries diurna e annual DA radiação direta na incidência normal em Botucatu, Período de 1996 a 2005. *Anais do*

*II Congresso Brasileiro de Energia Solar e III Conferência Latino-Americana DA ISES, Florianópolis (CDROM).*

- Marciotto E.R., Oliveira A.P. and Escobedo J.F., 2008: Comparação entre a radiação solar medida em superfície e a estimada por satélite na região metropolitana de São Paulo. *In: II Congresso Brasileiro de Energia Solar e III Conferência Regional Latino-Americana da ISES, Florianópolis, 2008 (CDROM).*
- Bárbaro E.W., Oliveira A.P., Soares J., Boznar P., Mlakar M.Z., Escobedo J.F., 2008: Patterns of longwave radiation at the surface in the megacity of São Paulo, Brazil – part 1: data validation and modeling. *In: XV Congresso Brasileiro de Meteorologia, São Paulo, SP.*
- Bárbaro E.W., Oliveira A.P., Soares J., Boznar P., Mlakar M.Z., Escobedo J.F., 2008: Patterns of longwave radiation at the surface in the megacity of São Paulo, Brazil – part 2: seasonal evolution and pollution impact In: XV Congresso Brasileiro de Meteorologia, São Paulo, SP.
- Codato G., Oliveira A.P., Soares J., Marques Filho E.P. e Rizza U., 2008: Investigação do monóxido de carbono na RMSP usando LES. *Anais do XV Congresso Brasileiro de Meteorologia, São Paulo, SP.*
- Peres J.R.R. e Soares J., 2008: Caracterização do balanço de radiação e das propriedades radiométricas na região do arquipélago de São Pedro e São Paulo. *Anais do XV Congresso Brasileiro de Meteorologia, São Paulo SP, Agosto de 2008.*
- Skielka U.T., Soares J., Oliveira A.P., Servain J., 2008: Study of the equatorial Atlantic oceanic mixing layer using a one-dimensional turbulence model. *Anais do XV Congresso Brasileiro de Meteorologia. São Paulo. (CDROM)*
- Silva M., Oliveira A.P., Soares J., Ferreira M.J. e Servain, J.; 2008: Estimativa do balanço de radiação na superfície do Oceano Atlântico - Comparação entre as observações do projeto FluTuA e as estimativas de satélite. *Anais do XV Congresso Brasileiro de Meteorologia, São Paulo SP. Agosto de 2008.*
- Ribeiro F.N.D., Soares J., Oliveira A.P., 2008: A numerical investigation of the air-sea interaction at the coastal upwelling area of Cabo Frio using coupled models. *Anais do XV Congresso Brasileiro de Meteorologia. Julho de 2008, São Paulo, SP (CDROM).*

#### **Artigos submetidos à revisão em revista científica com arbitragem**

- Furlan, C., **Oliveira A.P.**, Soares, J., Codato, G., and Escobedo, J.F., 2010: The role of clouds in improving the regression model for hourly values of diffuse solar radiation (Submetido ao “Applied Energy”).
- Ferreira, M. J., Oliveira, A.P., Soares, J., Codato, G., Bárbaro, E. W., and Escobedo, J. F., 2010: Radiation balance at the surface in the City of São Paulo, Brazil. Diurnal and seasonal variations (Submetido ao “Theoretical and applied climatology”).

**São Paulo, 15 de abril de 2011**

**Amauri P. de Oliveira**

#### 4. Referencias

- Bacellar, S., Oliveira, A.P., Soares, J., and Servain, J., 2009: Assessing the diurnal evolution surface radiation balance over the Tropical Atlantic Ocean using in situ measurements carried out during the FluTuA Project. *Meteorological Application* 16, 255-266.
- Bárbaro E.W., Oliveira A.P., Soares J. and Marques-Filho, E.P., 2009: Development of a statistic algorithm applied to LES model. *Anais do I Summer School de Micrometeorologia*, Rio de Janeiro, RJ.
- Bárbaro E.W. e Oliveira A.P., 2008: Padrões de emissão de radiação de onda longa em uma megacidade – São Paulo. In: *XV Simpósio de Iniciação Científica do IAG*, São Paulo, SP.
- Bárbaro E.W., Oliveira A.P. and Soares J., 2009: Validation of a statistic algorithm applied to LES model - Part 1: First and second order statistics. *VI Workshop Brasileiro de Micrometeorologia*. Santa Maria, RS. 18 a 20 de novembro.
- Bárbaro E.W., Oliveira A.P. and Soares J., 2009: Validation of a statistic algorithm applied to LES model - part II: TKE vertical profile and TKE budget. *Anais do VII Workshop de Micrometeorologia*, Santa Maria, RS.
- Bárbaro E.W., Oliveira A.P., Soares J., Boznar P., Mlakar M.Z., 2008f: Characterization of downward atmospheric long wave radiation in the city of São Paulo – Modeling and observational description. In: *2008 Student Chapter Poster Competition*, New Jersey NY.
- Bárbaro E.W., Oliveira A.P., Soares J., Boznar P., Mlakar M.Z., 2008g: Characterization of downward atmospheric long wave radiation in the city of São Paulo – Modeling and observational description. In: *The Fourth Annual University-wide Undergraduate Research Symposium*, New Jersey NY.
- Bárbaro E.W., Oliveira A.P., Soares J., Boznar P., Mlakar M.Z., Escobedo J.F., 2008a: Patterns of longwave radiation at the surface in the megacity of São Paulo, Brazil – Part 1: data validation and modeling. In: *XV Congresso Brasileiro de Meteorologia*, São Paulo, SP.
- Bárbaro E.W., Oliveira A.P., Soares J., Boznar P., Mlakar M.Z., Escobedo J.F., 2008b: Patterns of longwave radiation at the surface in the megacity of São Paulo, Brazil – Part 2: seasonal evolution and pollution impact In: *XV Congresso Brasileiro de Meteorologia*, São Paulo, SP.
- Bárbaro E.W., Oliveira A.P., Soares J., Ferreira M.J., Boznar P., Mlakar M.Z., Escobedo J.F., 2008c: Padrões de emissão de radiação de onda longa atmosférica numa megacidade: São Paulo, Brasil. In: *Revista de Iniciação Científica da USP*.
- Bárbaro E.W., Oliveira A.P., Soares J., Ferreira M.J., Boznar P., Mlakar M.Z., Escobedo J.F., 2008d: Downward Atmospheric Longwave Radiation in the City of São Paulo. In: *International Radiation Symposium*, Foz do Iguaçu, Pr.
- Bárbaro E.W., Oliveira A.P., Soares J., Ferreira M.J., Mlakar P., Božnar M.Z. and Escobedo J.F., 2009: Downward atmospheric longwave radiation in the city of São Paulo. *Proceedings of the International Radiation Symposium – IRS2008*, Foz do Iguaçu, Brazil, 3–8 August 2008, **1100**, 447-450.
- Bárbaro, E.W., 2010: Investigação da camada limite planetária noturna na região metropolitana de São Paulo utilizando o modelo LES. *Dissertação de Mestrado*. IAG. USP. São Paulo. SP. Brasil.
- Bárbaro, E.W., Oliveira A.P. and Soares J., 2010: Investigation of carbon monoxide time evolution over the city of Sao Paulo during the nighttime using LES model. *Proceedings of*

- Conference on the Applications of Air Pollution Meteorology*, 90th Annual Meeting, January 2010, Atlanta, GA.
- Bárbaro, E.W., Oliveira, A.P., Soares, J., Codato, G., Ferreira, M.J., Mlakar, P., Božnar, M.Z., and Escobedo, J.F., 2010: Downward atmospheric longwave radiation at the surface in the city of São Paulo: observational characterization and empirical expression. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 49-12, 2574-2590.
- Codato G., Oliveira A.P., Soares J., Marques Filho E.P. and Rizza, U., 2008a: Investigation of carbon monoxide in the city of São Paulo using large eddy simulation. *Proceedings of 15th Joint Conference on the Applications of Air Pollution Meteorology with the A&WMA*, 88th Annual Meeting, 20-24 January 2008, New Orleans, LA (CDROM).
- Codato G., Oliveira A.P., Soares J., Marques Filho E.P. e Rizza U., 2008b: Investigação do monóxido de carbono na RMSP usando LES. *Anais do XV Congresso Brasileiro de Meteorologia*, São Paulo, SP.
- Codato, G., 2008: Simulação numérica da evolução diurna do monóxido de carbono na camada limite planetária sobre a RMSP com modelo LES. *Dissertação de Mestrado*. IAG. USP. São Paulo. SP. Brasil. 94 pp.
- Codato, G., Oliveira, A.P., Soares, J., Escobedo, J.F., Gomes, E.N., and Pai, A.D., 2008: Global and diffuse solar irradiances in urban and rural areas in southeast of Brazil. *Theoretical and Applied Climatology*, **93**, 57-73.
- Dourado, M.S., and Oliveira, A.P., 2008: A numerical investigation of the atmosphere-ocean thermal contrast over the coastal upwelling region of Cabo Frio, Brazil. *Atmosfera*, **21(1)**, 13-34.
- Dutra L.M.M. e Soares J.; 2008c: Balanço de radiação sobre o oceano Atlântico tropical na região do arquipélago de São Pedro e São Paulo. *Anais do XIV Simpósio de Iniciação Científica do IAG/USP*.
- Dutra L.M.M. e Soares J.; 2009: Estudo das componentes radiométricas sobre o oceano Atlântico tropical. *Anais do 17º Simpósio Internacional de Iniciação Científica da USP*. Novembro de 2009, São Paulo, SP (CDROM).
- Dutra, L.M.M. e Soares J., 2008a: Estudo dos fluxos verticais turbulentos de calor na região do Arquipélago de São Pedro e São Paulo. *Anais do 16º Simpósio Internacional de Iniciação Científica da USP*. Novembro de 2008, São Paulo, SP (CDROM).
- Dutra, L.M.M. e Soares J., 2008b: Caracterização dos fluxos turbulentos verticais de calor na interface ar-mar na região do arquipélago de São Pedro e São Paulo. *Anais do XIII Simpósio de Iniciação Científica do IAG/USP*.
- Escobedo J.F., Gomes E. N., Oliveira A.P., Soares J., 2008: Variações mensais das frações solares UV, PAR e IV DA radiação global em Botucatu. *Anais do II Congresso Brasileiro de Energia Solar e III Conferência Latino-Americana DA ISES*, Florianópolis (CDROM).
- Escobedo J.F., Gomes E.N., Dal Pai A., Martins D., Oliveira A.P., Soares J. and Bárbaro E.W., 2009b: Ciclo diurno-noturno da radiação de onda longa atmosférica (LW) horária em Botucatu/SP/Brasil. *In: Congresso Brasileiro de Agrometeorologia*, **16**. Belo Horizonte, MG.
- Escobedo J.F., Gomes E.N., Dal Pai A., Martins D., Oliveira A.P., Soares J. and Bárbaro E.W., 2009c: Evolução diurno-noturna da radiação de onda longa atmosférica (LW) horária em Botucatu/SP/Brasil. *In: Congresso Argentino de Agrometeorologia*, **10**. Buenos Aires, Argentina.

- Escobedo, J.F., Gomes, E.N., Oliveira, A.P., and Soares, J., 2009a: Modeling hourly and daily fractions of UV, PAR and NIR to global solar radiation under various sky conditions at Botucatu, Brazil. *Applied Energy*, **86**, 299-309.
- Escobedo, J.F., Gomes, E.N., Oliveira, A.P., and Soares, J., 2011: Ratios of UV, PAR and NIR components of global solar radiation at surface measured at Botucatu site in Brazil. *Renewable Energy*, **36**, 169-178.
- Ferreira M.J., Oliveira A.P. and Soares J., 2010. Anthropogenic heat in the City of São Paulo, Brazil. *Theoretical and Applied Climatology* (DOI: 10.1007/s00704-010-0322-7).
- Ferreira M.J., Oliveira A.P., Soares J., Bárbaro E.W., Codato G., Marciotto E.R., Silva M. e Escobedo J.F., 2008: Variação sazonal do balanço de energia na superfície urbana da cidade de São Paulo, Brasil. *In: XV Congresso Brasileiro de Meteorologia*, São Paulo, Agosto 2008 (CDROM).
- Ferreira, M.J., 2010: Estudo do balanço de energia na superfície da cidade de São Paulo. *Tese de Doutorado*. IAG. USP. São Paulo. SP. Brasil. 149 pp.
- Ferreira, M.J., Oliveira, A.P., Soares, J., Codato, G., Bárbaro, E.W., and Escobedo, J. F., 2010: Radiation balance at the surface in the City of São Paulo, Brazil. Diurnal and seasonal variations (Submetido ao “Theoretical and applied climatology”).
- Furlan C., Oliveira A., Soares J., 2008: A model for diffuse solar radiation in presence of some environmental parameters. *Proceedings of the 44th Scientific meeting of the Italian Statistical Society*, Arcavacata di Rende (CS), 25-27 June 2008.
- Furlan, C., and Oliveira A.P., 2008: Hourly diffuse solar radiation in the presence of clouds and other environmental parameters: the city of São Paulo. *Working Paper Series of the Department of Statistical Sciences at the University of Pádua*, Pádua, Italy, **17**, 1-18 (<http://wp.stat.unipd.it>).
- Furlan, C., Oliveira A.P., Soares, J., Codato, G., and Escobedo, J.F., 2010: The role of clouds in improving the regression model for hourly values of diffuse solar radiation (Submetido ao “Applied Energy”).
- Gomes E.N., Escobedo J.F., Dal Pai A., Oliveira A.P., Soares J. and Codato G., 2009: Evolução anual da radiação de onda longa atmosférica (LW) média mensal, horária e diária, em Botucatu/SP/Brasil. *In: Congresso Argentino de Agrometeorologia*, **10**. Buenos Aires, Argentina.
- Gomes E.N., Escobedo J.F., Oliveira A.P., Soares J. 2008: Séries diurna e annual DA radiação direta na incidência normal em Botucatu, Período de 1996 a 2005. *Anais do II Congresso Brasileiro de Energia Solar e III Conferência Latino-Americana DA ISES*, Florianópolis (CDROM).
- Karam, H.A., 2002: Estudo Numérico dos Jatos de Baixos Níveis e suas Implicações na Dispersão de Poluentes no Estado de São Paulo. Tese de Doutorado. Departamento de Ciências Atmosféricas. Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas. Universidade de São Paulo. São Paulo. SP. Brasil. 196 pp.
- Marciotto E.R., Oliveira A.P. and Escobedo J.F., 2008: Comparação entre a radiação solar medida em superfície e a estimada por satélite na região metropolitana de São Paulo. *In: II Congresso Brasileiro de Energia Solar e III Conferência Regional Latino Americana da ISES*, Florianópolis, SC, 2008 (CDROM).

- Marciotto E.R., Oliveira A.P. and Hanna, S.R., 2010. Modeling study of the aspect ratio influence on urban canopy energy fluxes with a modified wall-canyon energy budget scheme. *Building and Environment*. DOI.10.1016/j.buildenv.2010.05.012.
- Marciotto, E.R., 2008: Estudo da influência de um dossel urbano sobre o balanço de energia na superfície e implicações na estrutura vertical da camada limite atmosférica. *Tese de Doutorado*. IAG. USP. São Paulo. SP. Brasil.
- Marques E.P., Oliveira A.P., Karam H.A. and Rizza U., 2006: Pollutant transport in a convective boundary layer with LES. *Revista Brasileira de Geofísica*, **24(4)**: 547-557.
- Marques Filho E.P., Oliveira A.P., Karam H.A. e Rizza, U., 2002: Simulação Numérica do Transporte de um Poluente Inerte e Passivo na CLP Convectiva através de um modelo LES. *Revista Ciência e Natureza*, **1**, 83-96.
- Marques Filho, E.P., 2004: Investigação da CLP convectiva com modelo LES aplicado a dispersão de poluentes. *Tese de Doutorado*. Departamento de Ciências Atmosféricas. Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas. Universidade de São Paulo. São Paulo. SP. Brasil. 128 pp.
- Marques Filho, E.P., e **Oliveira, A.P.**, 2005: Simulação numérica do transporte de poluentes na camada limite atmosférica. *Observar e pensar, antes de modelar*. Sociedade Brasileira de Matemática Aplicada, São Carlos, São Paulo, **19**, 15-44.
- Martilli, A., Clappier, A., Rotach, M.W., 2002: An urban surface Exchange parametrization for mesoscale models. *Boundary Layer Meteorology*, 104, 261304.
- Masson V., 2000: A physically based-scheme for the urban energy budget in atmospheric models, *Boundary-Layer Meteorology*, 94, 357-397.
- Moeng, C.-H., 1984: A large eddy simulation model for the study of planetary boundary layer turbulence. *Journal of the Atmospheric Sciences*, 41(13), 2052-2062.
- Morais M.V.B., Oliveira A.P. e Ferreira M.J., 2009: Estudo numérico do balanço de radiação na superfície: Variação diurna e anual do albedo na cidade de São Paulo. *VI Workshop Brasileiro de Micrometeorologia*. 18 a 20 de novembro, Santa Maria, RS.
- Morais, M.V.B., 2010: Investigação da camada limite planetária sobre a região urbana de São Paulo por meio do modelo de mesoescala TVM acoplado ao modelo do dossel urbano de Martilli. *Dissertação de Mestrado*. IAG. USP. São Paulo. SP. Brasil.
- Oliveira A.P., 2003: Investigação da Camada Limite Planetária na Região de Iperó. Tese de Livre docência. Departamento de Ciências Atmosféricas. Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas. Universidade de São Paulo. São Paulo. SP. Brasil. 220 pp.
- Oliveira A.P., Escobedo J.F. and Machado A.J., 2002b: A New Shadow-Ring Device for Measuring Diffuse Solar Radiation at Surface. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, **19(5)**, 698-708.
- Oliveira A.P., Escobedo J.F., Machado A.J. and Soares J., 2002c: Correlation models of diffuse solar radiation applied to the City of São Paulo (Brazil). *Applied Energy*, **71(1)**, 59-73.
- Oliveira A.P., Machado A.J., Escobedo J.F. and Soares J., 2002a: Diurnal evolution of solar radiation at the surface in the City of São Paulo: seasonal variation and modeling. *Theoretical and Applied Climatology*, **71(34)**, 231249.
- Oliveira A.P., Soares J., Boznar M.Z., Mlakar P. and Escobedo J.F., 2006: An application of neural network technique to correct the dome temperature effects on pyrgeometer measurements. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, **23**, 80-89.

- Pereira de Sousa, O.N., 2006: Investigação do papel da topografia e ocupação do solo na camada limite planetária sobre a cidade de São Paulo. *Dissertação de Mestrado*. Departamento de Ciências Atmosféricas. Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas. Universidade de São Paulo. São Paulo. SP. Brasil. 116 pp.
- Pereira, M.M.R., 2004: Estudo do Transporte Local de Poluentes em Iperó por meio de um Modelo Lagrangiano de Partículas. *Tese de Doutorado*. Departamento de Ciências Atmosféricas. Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas. Universidade de São Paulo. São Paulo. SP. Brasil. 118 pp.
- Peres J.R.R. e Soares J., 2008a: Caracterização do balanço de radiação e das propriedades radiométricas na região do arquipélago de São Pedro e São Paulo. *Anais do XV Congresso Brasileiro de Meteorologia*, São Paulo SP, Agosto de 2008.
- Peres, J.R.R. e Soares J., 2008b: Estudo da radiação líquida e das componentes do balanço de radiação sobre o oceano Atlântico tropical na região do arquipélago de São Pedro e São Paulo. *Anais do XIII Simpósio de Iniciação Científica do IAG/USP*.
- Ribeiro F.N.D., Soares J., Oliveira A.P., 2008a: A numerical investigation of the air-sea interaction at the coastal upwelling area of Cabo Frio using coupled models. *Anais do XV Congresso Brasileiro de Meteorologia*. Julho de 2008, São Paulo, SP (CDROM).
- Ribeiro F.N.D., Soares J., Oliveira A.P., 2008b: The coinfluence of the sea breeze and the coastal upwelling at Cabo Frio: a numerical investigation using coupled models. *Anais do IV Simpósio Brasileiro de Oceanografia*. Dezembro de 2008, São Paulo, SP (CDROM).
- Ribeiro, F.N.D., 2010: Padrões de circulações atmosférica e oceânica na região de ressurgência costeira de Cabo Frio. *Tese de Doutorado*. IAG. USP. São Paulo. SP. Brasil.
- Rolim, G.S., Escobedo, J.F., **Oliveira, A.P.**, 2008: Validation of the Deardorff model for estimating energy balance components for a sugarcane crop. *Scientia Agricola*, **65**, 325-334.
- Silva M. e Oliveira A.P., 2008: Estimativa do balanço de radiação na superfície do Oceano Atlântico - Comparação entre os dados do projeto FluTuA e do projeto SRB do ASDC- Nasa. *Anais do XIII Simpósio de Iniciação Científica do IAG/USP*, São Paulo, SP (CDROM).
- Silva, M., Oliveira A.P., Soares J., Ferreira M.J. e Servain, J.; 2008: Estimativa do balanço de radiação na superfície do Oceano Atlântico - Comparação entre as observações do projeto FluTuA e as estimativas de satélite. *Anais do XV Congresso Brasileiro de Meteorologia*, São Paulo SP. Agosto de 2008.
- Skielka U.T., Soares J., Oliveira A.P., 2008b: Description of a modified version of the GOTM to study the oceanic mixing layer over the equatorial Atlantic Ocean. *Anais do IV Simpósio Brasileiro de Oceanografia*, São Paulo. (CDROM)
- Skielka U.T., Soares J., Oliveira A.P., 2008c: Study of the equatorial Atlantic oceanic mixing layer using a one-dimensional turbulence model. *Anais do IV Simpósio Brasileiro de Oceanografia*. São Paulo. (CDROM)
- Skielka U.T., Soares J., Oliveira A.P., Servain J., 2008a: Study of the equatorial Atlantic oceanic mixing layer using a one-dimensional turbulence model. *Anais do XV Congresso Brasileiro de Meteorologia*. São Paulo. (CDROM)
- Skielka, U.T., 2009: Estudo numérico da evolução da camada de mistura oceânica do Atlântico equatorial utilizando o modelo GOTM. *Dissertação de Mestrado*. IAG. USP. São Paulo. SP. Brasil.

- Skielka, U.T., Soares, J., Oliveira, A. P., 2010: Study of the equatorial Atlantic oceanic mixing layer using a one-dimensional turbulence model. *Brazilian Journal of Oceanography*, 58, 57-69.
- Soares J., Oliveira A.P., Boznar M.Z., Mlakar P., Escobedo J.F. and Machado, A.J., 2004: Modeling Hourly Diffuse Solar-Radiation in the City of São Paulo using a Neural-Network Technique. *Applied Energy*, 79, 201-214.
- Soares, J., Oliveira, A.P., Skielka, U, and Servain, J., 2009: O AR. In: *Dez anos do programa ASPSP*.
- Stivari S.M.S, Oliveira A.P., Karam, H.A. and Soares, J., 2003: Patterns of Local Circulation in the Itaipu Lake Area: Numerical Simulations of Lake Breeze. *Journal of Applied Meteorology*. 42(1), 37-50.
- Stivari, S.M.S., 1999: Um Estudo da brisa Lacustre do Lago de Itaipu. Tese de Doutorado. Departamento de Ciências Atmosféricas. Instituto Astronômico e Geofísico. Universidade de São Paulo. São Paulo. SP. Brasil. 126 pp.