Universidade de São Paulo
Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Amosféricas
Departamento de Ciências Atmosféricas

RELATORIO DE ATIVIDADES

Abril 2009 – Setembro 2009

Projeto Pesquisa de Mestrado

Investigação da Camada Limite Planetária sobre uma Região Urbana por meio do Modelo de Mesoescala TVM

Marcos Vinícius Bueno de Morais
Orientador: Prof. Dr. Amauri Pereira de Oliveira

São Paulo, 2009

INDICE

1. RESUMO DO PLANO INICIAL 1

2. ATIVIDADES DESENVOLVIDAS 1

2.1 MODELO DE DOSSEL URBANO DE MARTILLI 2

2.1.1. Fator de Visão 2

2.1.2 Radiação Solar 4

2.1.3. Radiação de Onda Longa 8

2.2. REPRESENTAÇÃO DA RADIAÇÃO NO MODELO TVM 8

2.3. RESULTADOS PRELIMINARES 9

3. ATIVIDADES EM DESENVOVIMENTO 16

4. PERSPECTIVAS 16

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 16

1. RESUMO DO PLANO INICIAL

Este projeto tem como objetivo investigar o impacto da ocupação de solo urbana na evolução temporal e espacial da camada limite planetária. Para tal, será utilizado a versão não-hidrostática do modelo de mesoescala TVM (Topographic Vorticity-Mode Mesoscale Model) (SCHAYES, THUNIS & BORNSTEIN, 1996), formulada por THUNIS & CLAPPIER (2000), conhecida como TVM-NH. Também neste trabalho será incorporado a parametrização do dossel urbano proposto por MARTILLI (2001) e MARTILLI *et al.* (2002).

A região de estudos corresponde à área compreendida pela mancha urbana da Região Metropolitana de São Paulo (RMSP). PEREIRA DE SOUSA (2006) utilizou a versão original do TVM-NH para investigar o papel da ocupação de solo e da topografia na camada limite planetária sobre a RMSP. Nesse trabalho, as simulações indicaram que a topografia e a heterogeneidade do solo intensificam a turbulência, aumentando a extensão vertical da camada limite convectiva, além de indicar a presença de uma circulação do tipo vale-montanha na RMSP, que induz convergência horizontal dos ventos em baixos níveis.

2. ATIVIDADES DESENVOLVIDAS

Durante o 1º semestre de 2009, foram concluídos os créditos necessários para o curso de Meteorologia ao nível de pós-graduação, com a disciplina listada na tabela 1.

Tabela 1: Sigla, nome, conceito e créditos referentes à disciplina realizada no primeiro semestre de 2009

Sigla	Nome	Conceito	Créditos
AGM5729-6	Tópicos Avançados em Meteorologia da Camada Limite Planetária	A	10

Também durante este período foi feito uma atualização das referências bibliográficas. Além disso, conseguiu-se o código da parametrização com o Dr. Alberto Martilli e com o Dr. Rafiq Hamdi, iniciando a implementação no TVM.

No *VI Workshop Brasileiro de Micrometeorologia*, que será realizado entre os dias 18 e 20 de novembro, será apresentado o trabalho entitulado *Estudo numérico do balanço de radiação na superfície: Variação diurna e anual do albedo na Cidade de São Paulo*. Este trabalho foi aceito para ser publicado na edição especial da revista *Ciência & Natura*.

2.1. MODELO DE DOSSEL URBANO DE MARTILLI

O modelos de dossel urbano (MDU) proposto por MARTILLI *et al* (2002), a cidade é representada como uma combinação de classes urbanas. Cada classe é caracterizada por um arranjo de construções de mesma largura *B*, localizada a uma mesma distância entre eles (cânions de largura *W*), com diferentes alturas *h* (com uma probabilidade $\gamma(h)$ de ter uma construção com altura *h*, veja Fig. 2.1.1)

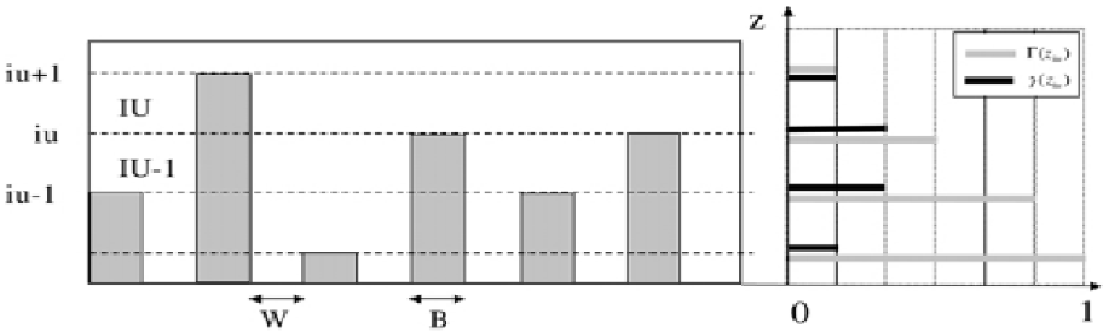


Figura 2.1.1 – Representação da grade numérica do módulo urbano. *W* é a largura das ruas, *B* é a largura das construções, *iu* são os níveis do modelo urbano. $\gamma(z_{iu})$ é a densidade das construções de altura z_{iu} e $\Gamma(z_{iu})$ é a probabilidade de existir construções maiores ou igual a z_{iu} (retirado de MARTILLI *et al*, 2002).

2.1.1. Fator de Visão

O fator de visão é definido como sendo a razão entre o ângulo sólido pelo qual um dado ponto da rua ou da parede "vê" a superfície irradiadora (céu) e o ângulo sólido subentendido pelo céu. Na representação de Martilli, os fatores de visão são tratados com uma geometria tridimensional (cânions finitos). Para isso, duas funções são definidas: f*prl*, que são os fatores de visão para duas superfícies iguais e paralelas (Fig. 2.1.2a), e f*nrm*, para dois planos iguais e ortogonais (Fig. 2.1.2b) (SPARROW e CESS, 1970).

$$fprl(a,b,c) = \left(\frac{2}{\pi XY}\right)\left\{\ln\left[\frac{(1+X^2)(1+Y^2)}{1+X^2+Y^2}\right]^{\frac{1}{2}} + Y\sqrt{1+X^2}\tan^{-1}\left(\frac{Y}{\sqrt{1+X^2}}\right) + X\sqrt{1+Y^2}\tan^{-1}\left(\frac{X}{\sqrt{1+Y^2}}\right) - Y\tan^{-1}Y - X\tan^{-1}X\right\} \quad (1)$$

onde $X = a/c$, $Y = b/c$, e a e b são as largura e comprimento das superfícies e c é a distância entre as superfícies (Fig. 2.1.2a).

$$fnrm(a,b,c) = \left(\frac{1}{\pi}\right)\left\{\frac{1}{4}\left[\ln\left(\frac{(1+X^2)(1+Y^2)}{1+Z}\right) + Y^2\ln\left(\frac{Y^2(1+Z)}{Z(1+Y^2)}\right) + X^2\ln\left(\frac{X^2(1+Z)}{Z(1+X^2)}\right)\right] + Y\tan^{-1}\left(\frac{1}{Y}\right) + X\tan^{-1}\left(\frac{1}{X}\right) - \sqrt{Z}\tan^{-1}\left(\frac{1}{\sqrt{Z}}\right)\right\} \quad (2)$$

onde $X = a/b$, $Y = c/b$, $Z = X^2 + Y^2$, com b sendo o comprimento do lado comum das superfícies, enquanto a e c são a altura e largura das superfícies, respectivamente (Fig. 2.1.2b).

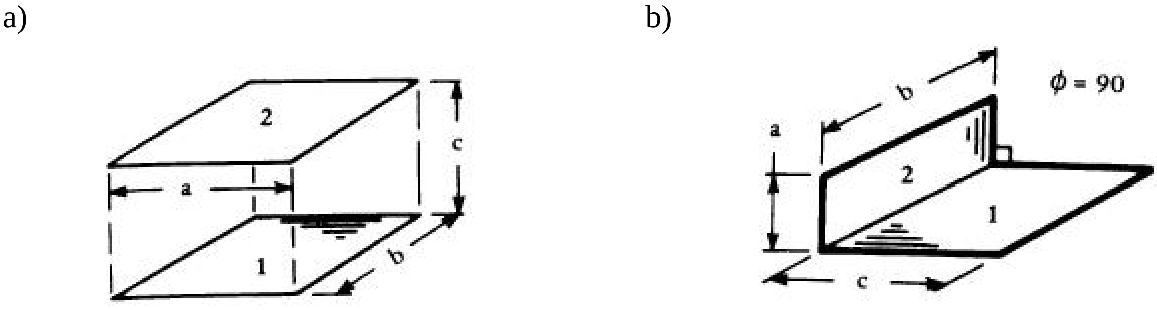


Figura 2.1.2 – Esquemas ilustrativos dos fatores de visão para a) superfícies paralelas e b) superfícies ortogonais.

Usando esta álgebra dos fatores de visão, é possível calcular a interação entre todas as superfícies (rua e paredes) do cânion. Para a interação parede-parede, no qual a radiação emitida pela parede j e é recebida pela parede i, é

$$\psi_{ji} = \frac{1}{2}\left[\left(\left|z_{i+1} - z_j\right|\right)fprl\left(D, \left|z_{i+1} - z_j\right|, W\right) - \left|z_{i+1} - z_{j+1}\right|fprl\left(D, \left|z_{i+1} - z_{j+1}\right|, W\right) - \left|z_i - z_j\right|fprl\left(D, \left|z_i - z_j\right|, W\right) + \left|z_i - z_{j+1}\right|fprl(D, \left|z_i - z_{j+1}\right|, W)\right]\frac{1}{|z_{i+1} - z_i|} \quad (3)$$

com D sendo o comprimento e z_i a altura da construção acima do nível do solo. Para o termo rua-parede,

$$\psi_{gi} = [fnrm(z_{i+1}, D, W) - fnrm(z_i, D, W)]\frac{W}{z_{i+1} - z_i} \quad (4)$$

onde g é o índice que representa a rua. Da mesma forma, para o termo parede-rua,

$$\psi_{ig} = [fnrm(W, D, z_{i+1})z_{i+1} - fnrm(W, D, z_i)z_i]\frac{1}{W} \quad (5)$$

Para o termo céu-parede,

$$\psi_{si} = [fnrm(H - z_i, D, W) - fnrm(H - z_{i+1}, D, W)]\frac{W}{z_{i+1} - z_i} \quad (6)$$

onde o índice s representa o céu, e H é a altura da construção mais alta. Finalmente, para o termo céu-rua,

$$\psi_{sg} = fprl(D, W, H) \quad (7)$$

2.1.2. Radiação Solar

Para calcular a radiação direta, leva-se em consideração a obstrução dos elementos do cânion. Considerando o cânion com direção norte-sul, a energia chegando no i-ésimo nível da parede será igual a Rs (o valor da radiação solar direta numa superfície horizontal), multiplicada pela projeção no plano horizontal da porção naquele nível, dividido pela área do elemento. Seja o caso da figura 2.1.3. Neste caso, toda a camada IU (entre os níveis z_{iu+1} e z_{iu}) recebe luz. A quantidade de energia será igual àquela que passa pela secção horizontal $x1$-$x2$. Para este caso:

$$x1 = (z_{ju+1} - z_{iu})\tan(Zr) \quad (8)$$

$$x2 = (z_{ju+1} - z_{iu+1})\tan(Zr) \quad (9)$$

onde Zr é o ângulo zênital. E a quantidade de radiação por unidade de área que atinge a parede entre z_{iu} e z_{iu+1} é

$$Rs_{s,iu} = \frac{Rs}{z_{iu+1} - z_{iu}}(x1 - x2) \quad (10)$$

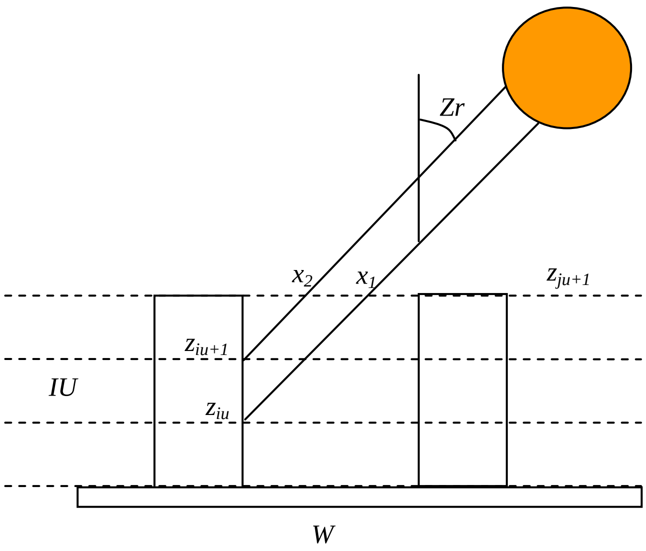


Figura 2.1.3 – Esquema da radiação direta na parede para um dado ângulo zenital. z_{ju+1} é a altura das construções.

Para o caso em que somente uma parte da parede entre z_{iu} e z_{iu+1} recebe luz (Fig. 2.1.4), secção horizontal *x1*-*x2* é

$$x1 = W \tag{11}$$

$$x2 = \left(z_{ju+1} - z_{iu+1}\right)\tan(Zr) \tag{12}$$

Portanto, o valor máximo que *x1* pode ter é *W*. Agrupando os dois casos:

$$x1 = \mathrm{MIN}\left[\left(z_{ju+1} - z_{iu}\right)\tan(Zr), \mathrm{W}\right] \tag{13}$$

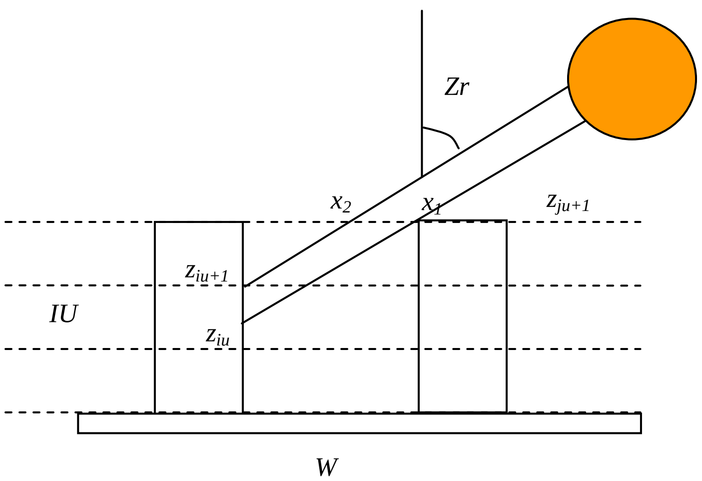


Figura 2.1.4 – Mesmo que a figura 2.1.3.

No caso em que a camada *IU* está totalmente sombreada, $Rs_{s,iu} = 0$. Pela figura 2.1.5, o valor de $x2$ é maior que a largura do cânion, tornando $x1\text{-}x2 < 0$, o que é fisicamente impossível. Portanto,

$$Rs_{s,iu} = \frac{Rs}{z_{iu+1} - z_{iu}} \mathrm{MAX}[0, (x1 - x2)] \tag{14}$$

com

$$x2 = \mathrm{MAX}[0., (z_{ju+1} - z_{iu+1}) \tan(Zr)] \tag{15}$$

com *x1* dada pela equação (13).

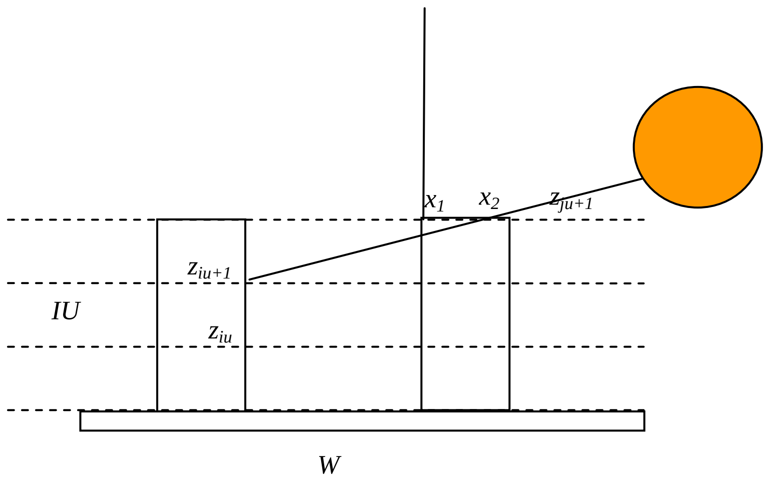


Figura 2.1.5 – Mesmo que a figura 2.1.2.

Considerando construções de diferentes alturas e suas distribuições, tem-se

$$Rs_{s,iu} = \frac{Rs}{z_{iu+1} - z_{iu}} \sum_{ju=1}^{nu} \left[\mathrm{MAX}(0., x1 - x2) \gamma(z_{ju+1}) \right] \tag{16}$$

Analogamente, a radiação direta incidente na rua (Fig. 2.1.6) é

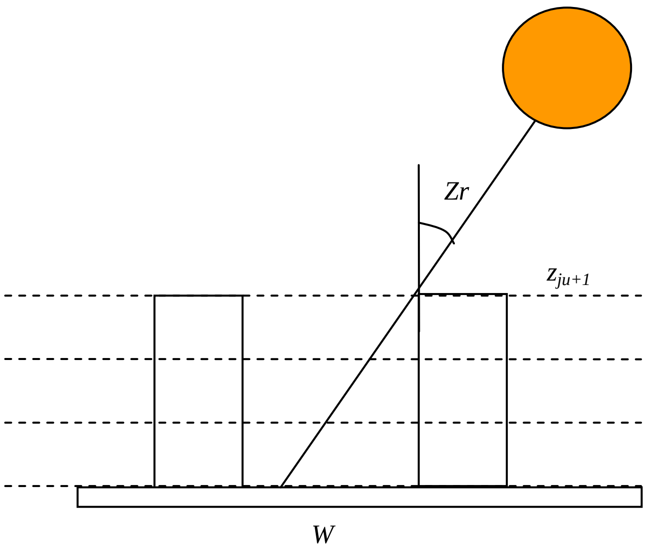


Figura 2.1.6 – Esquema de radiação direta na rua do cânion.

$$Rs_{s,g} = \frac{Rs}{W}\sum_{ju=1}^{nu}[\mathrm{MAX}(0., W - z_{ju+1}\tan(Zr)\gamma(z_{ju+1})] \tag{17}$$

Para um cânion com orientação Norte-Sul, a radiação solar que atinge uma parede é a soma da radiação direta vindo do céu e a radiação refletida pelas outras superfícies do cânion. Considerando que estas superfícies são lambertianas, tem-se para a parede a oeste,

$$Rs_{iu}^{W} = \underbrace{Rs_{s,iu}^{W}}_{Céu} + \underbrace{\alpha_g \psi_{giu} Rs_g}_{Rua} + \underbrace{\sum_{ju=1}^{nu}\left[\alpha_w \psi_{juiu} Rs_{iu}^{E}\Gamma(z_{ju+1})\right]}_{Parede\ Leste} \tag{18}$$

Para a parede leste,

$$Rs_{iu}^{E} = \underbrace{Rs_{s,iu}^{E}}_{Céu} + \underbrace{\alpha_g \psi_{giu} Rs_g}_{Rua} + \underbrace{\sum_{ju=1}^{nu}\left[\alpha_w \psi_{juiu} Rs_{iu}^{W}\Gamma(z_{ju+1})\right]}_{Parede\ Oeste} \tag{19}$$

Para a rua,

$$Rs_{g} = \underbrace{Rs_{s,g}}_{Céu} + \underbrace{\sum_{ju=1}^{nu}\left[\alpha_w \psi_{jug} (Rs_{iu}^{E} + Rs_{iu}^{W})\Gamma(z_{ju+1})\right]}_{Parede\ Leste} \tag{20}$$

onde α_w é o albedo das paredes, α_g é o albedo da rua, e os índices g, W e E se referem à rua, parede oeste e parede leste, respectivamente.

Para levar em consideração outras orientações do cânion, deve-se trocar W nas equações (16) e (17) por $W/sen\,\chi$, e multiplicar os fluxos nas paredes por $sen\,\chi$ nas equações (18) à (20).

A relação usada para calcular o ângulo χ entre a direção do sol e a face da parede é dada por Pielke (1984):

$$\chi = \sin^{-1}\left(\frac{\cos\delta_s \sin h_r}{\sin Zr}\right) - D_{street} \tag{21}$$

com δ_s sendo a declinação solar, h_r, o ângulo horário e D_{street}, a direção da rua.

2.1.3. Radiação de Onda Longa

A radiação de onda longa que chega na parede à oeste corresponde à soma da radiação de onda longa vinda do céu, uma fração de onda longa emitida e refletida pela parede oposta e uma fração da radiação de onda longa emitida e refletida pela rua. Então, para a parede oeste,

$$Rl_{iu}^{W} = \underbrace{\psi_{siu}Rl_s + \sum_{ju=1}^{nu}\psi_{juiu}Rl_s\left[1-\Gamma\left(z_{ju+1}\right)\right]}_{Céu} + \underbrace{\varepsilon_g\psi_{giu}\sigma T_g^4 + \left(1-\varepsilon_g\right)\psi_{giu}Rl_g}_{Rua} + \underbrace{\sum_{ju=1}^{nu}\varepsilon_w\psi_{juiu}\sigma T_{E\,iu}^{4}\Gamma\left(z_{ju+1}\right) + \sum_{ju=1}^{nu}(1-\varepsilon_w)\psi_{juiu}Rl_{ju}^{E}\Gamma(z_{ju+1})}_{Parede\ Leste} \quad (22)$$

Para a parede leste,

$$Rl_{iu}^{E} = \underbrace{\psi_{siu}Rl_s + \sum_{ju=1}^{nu}\psi_{juiu}Rl_s\left[1-\Gamma\left(z_{ju+1}\right)\right]}_{Céu} + \underbrace{\varepsilon_g\psi_{giu}\sigma T_g^4 + \left(1-\varepsilon_g\right)\psi_{giu}Rl_g}_{Rua} + \underbrace{\sum_{ju=1}^{nu}\varepsilon_w\psi_{juiu}\sigma T_{W\,iu}^{4}\Gamma\left(z_{ju+1}\right) + \sum_{ju=1}^{nu}(1-\varepsilon_w)\psi_{juiu}Rl_{ju}^{W}\Gamma(z_{ju+1})}_{Parede\ Oeste} \quad (23)$$

Finalmente, para a rua,

$$Rl_g = \underbrace{\psi_{sg}Rl_s + 2\sum_{ju=1}^{nu}\psi_{jug}Rl_s[1-\Gamma\left(z_{ju+1}\right)]}_{Céu} + \underbrace{\sum_{ju=1}^{nu}\varepsilon_w\psi_{jug}\sigma(T_{W\,ju}^{4} + T_{E\,ju}^{4})\Gamma\left(z_{ju+1}\right) + \sum_{ju=1}^{nu}(1-\varepsilon_w)\psi_{jug}(Rl_{ju}^{W} + Rl_{ju}^{E})\Gamma\left(z_{ju+1}\right)}_{Paredes} \quad (24)$$

onde ε_i é a emissividade da rua (índice *g*) e das paredes (índice *w*), T_g é a temperatura da rua, T_W e T_E são as temperaturas da parede com face à leste e oeste, respectivamente, e Rl_s é a radiação de onda longa emitida pela atmosfera.

2.2. REPRESENTAÇÃO DA RADIAÇÃO NO MODELO TVM

No TVM, o fluxo de radiação solar incidente na superfície horizontal (R_s) das equações (16) e (17) é calculado pela formulação de SCHAYES (1982), que leva em consideração a transmissividade global da atmosfera e a absorvidade dos aerossóis.

$$Rs = S_0\cos(Zr)(\tau - A_w)\exp\left(-\frac{k}{\cos(Zr)}\right) \quad (25)$$

onde S_0 é a constante solar igual à 1327 W/m² (considerando a atenuação do O_3 estratosférico); τ é a transmissividade para o ar seco e considera o espalhamento e absorção; A_w é a absorção devido ao vapor d'água e k é o fator de absorção do aerossol (constante igual à 0,1).

A transmissividade para o ar seco é calculada por

$$\tau = 1{,}021 - 0{,}0824 \left[\frac{949.10^{-6}.P + 0{,}051}{\cos(Zr)}\right]^{1/2} \tag{26}$$

onde P é a pressão na superfície (assumida como constante e igual a 930 hPa).

A absorção devido ao vapor d'água é dado por:

$$A_w = 0{,}77 \left(\frac{w}{\cos(Zr)}\right)^{0{,}3} \tag{27}$$

onde w é a espessura do vapor d'água em cm e é expressa por $w=0{,}17e$, onde e é a pressão de vapor na superfície calculado pela temperatura do ponto de orvalho.

O fluxo de radiação de onda longa emitida pela atmosfera (Rl_s nas equações (22) à (24)) é calculada pela formulação de SASAMORI (1968), que leva em consideração a absorção do vapor de água, CO_2, ozônio e a estrutura térmica da atmosfera.

A função de absorção média vapor d'água $\overline{A_0}$ é dada por:

$$\overline{A_0} = 0{,}846(u_{H_2O} + 3{,}59.10^{-5})^{0{,}243} - 6{,}90.10^{-2} \tag{28}$$

$$\overline{A_0} = 0{,}240 \log(u_{H_2O} + 0{,}010) + 0{,}622 \tag{29}$$

onde u_{H2O} é a quantidade de vapor d'água na coluna atmosférica e tem os valores $u_{H2O} < 0{,}01\ g\ cm^{-2}$ em (28) e $0{,}01 \leq u_{H2O} < 5g\ cm^{-2}$ em (29).

Para absorção de CO_2, as curvas são ajustadas pelas seguintes equações:

$$\overline{A_0} = 0{,}0676(u_{CO_2} + 0{,}01022)^{0{,}421} - 0{,}0098157 \tag{30}$$

$$\overline{A_0} = 0{,}0546 \log u_{CO_2} + 0{,}0581 \tag{31}$$

onde u_{CO2} é a quantidade de dióxido de carbono na coluna atmosférica e em (30) $u_{CO2} < 1\ cm$ em (31) $u_{CO2} > 1\ cm$.

A absorção de O_3, é dada por:

$$\overline{A_0} = 0{,}209(u_{O_3} + 7.10^{-5})^{0{,}436} - 0{,}00321 \tag{32}$$

$$\overline{A_0} = 0{,}0212 \log u_{O_3} + 0{,}0748 \tag{33}$$

sendo u_{O2} a quantidade de ozônio na coluna atmosférica e em (32) $u_{O3} \leq 0{,}01\ cm$ em (33) $u_{O3} > 0{,}01\ cm$.

2.3. RESULTADOS PRELIMINARES

Um modelo de dossel urbano (MDU) vem sendo desenvolvido utilizando a parametrização proposta por MARTILLI *et al.* (2002), para simular as componentes do balanço de radiação em uma superfície urbana. Neste MDU, a radiação solar incidente numa superfície horizontal é a mesma do TVM, formulada por SCHAYES (1982), adaptada para a RMSP (OLIVEIRA *et al.*, 2002). O desenvolvimento deste tipo de modelo unidimensional é importante para testes de sensitividade.

O albedo efetivo sobre o dossel urbano é obtido de

$$\alpha_{ef} = \frac{\alpha_c W + \alpha_r B}{W+B} \tag{34}$$

onde α_c é o albedo do cânion e α_r é o albedo do telhado (Fig. 2.3.1).

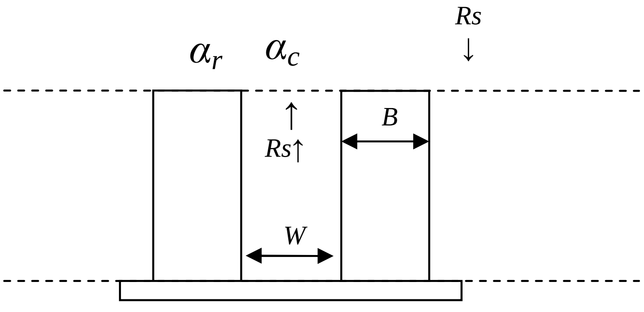


Figura 2.3.1 – Ilustração do albedo do telhado e do cânion e da interação das radiações. $Rs\uparrow$ representa a radiação solar refletida dentro do cânion.

O albedo do cânion (α_c) é calculado como a razão da radiação refletida no cânion e a radiação incidente,

$$\alpha_c = \frac{Rs\uparrow}{Rs} \tag{35}$$

com

$$Rs\uparrow = \underbrace{\alpha_g \psi_{gs} Rs_g}_{Rua} + \underbrace{\sum_{ju=1}^{nu}\left[\alpha_w \psi_{jus}(Rs_{iu}^{E} + Rs_{iu}^{W})\Gamma(z_{ju+1})\right]}_{Paredes} \tag{36}$$

onde ψ_{jus} e ψ_{gs} são os fatores de visão para as interações parede-céu e rua-céu. O primeiro termo se refere à radiação solar refletida pela rua, e o segundo termo, às radiações refletidas pelas paredes.

Duas simulações foram realizadas. Na primeira, o albedo do telhado (α_r) é constante e igual a 0,18. Na segunda o albedo do telhado é ajustado, conforme sugerido por MASSON (2000) e FORTUNIAK (2008), que usaram dados experimentais de Aida (1982) para uma superfície plana (Fig. 2.3.2),

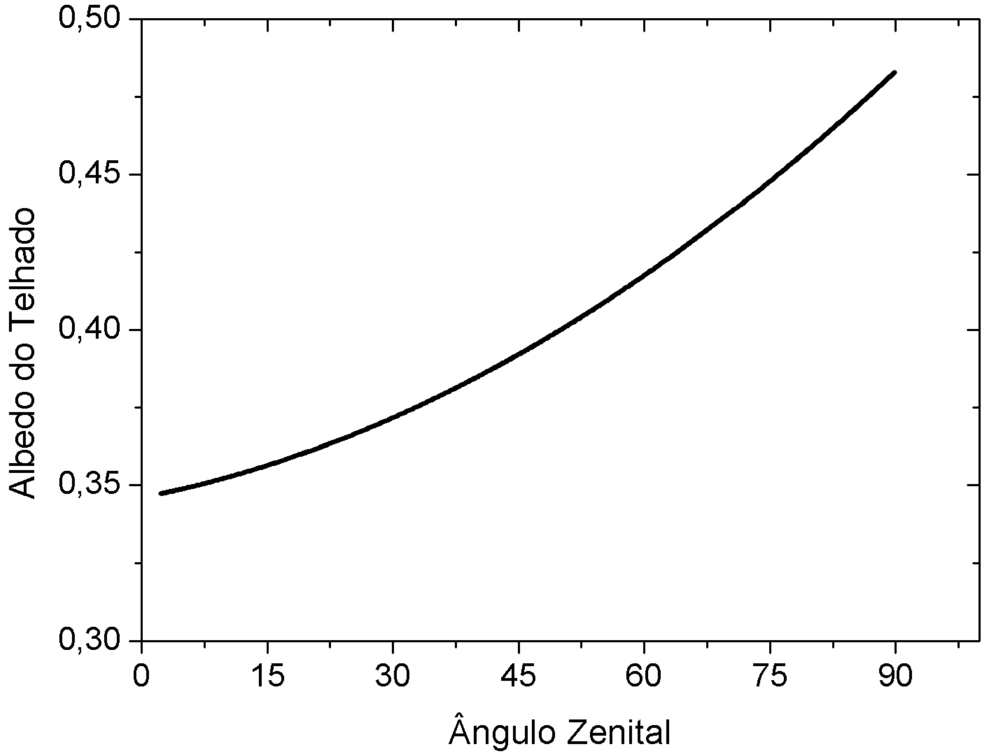


Figura 2.3.2 – Albedo do telhado em função do ângulo zenital (Aida, 1982).

As simulações foram realizadas com o MDU para o dia 15 de janeiro, num ponto localizado na Plataforma Micrometeorológica (PM) do IAG-USP (23º33'35'' S, 46º43'55'' O). Dados de albedo neste mesmo ponto foram utilizados para comparação. Apenas uma classe urbana foi considerada, com construções de mesma altura (10 metros) e razão geométrica igual a 1. O comprimento do cânion é 50 metros. O azimute é de 100º (Fig. 2.3.3). Os valores dos albedos utilizados na simulação são apresentados na tabela 2 e comparados com outros trabalhos.

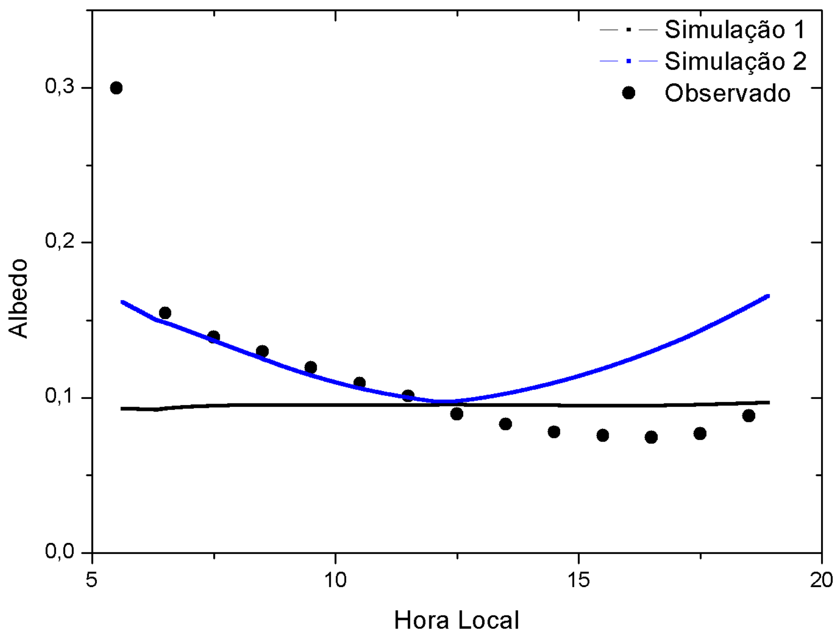
Figura 2.3.3 – Imagem de satélite do prédio do IAG-USP. O cânion está orientado a 100º com relação ao eixo Norte-Sul.

Tabela 2: Valor do albedo *(α)* para elemento do cânion.

Elemento	**MARCIOTTO (2008)**	**MARTILLI *et al* (2002)**	**HAMDI *et al (2008)***	**Neste Trabalho**
Rua	0,08	0,2	0,08	0,08
Parede	0,15	0,2	0,14	0,14
Telhado	0,25	0,2	0,14	0,18

A figura 2.3.4 mostra a evolução diurna do albedo efetivo simulado e observado em São Paulo e a variação com o ângulo zenital. Os resultados obtidos com a simulação 1 conseguem representar o efeito do dossel no albedo efetivo. O albedo é mínimo no zênite devido ao fato de que a contribuição do albedo da rua, que é um albedo menor, torna-se mais importante. No horizonte, o albedo é maior porque a radiação atinge primeiramente a parede, que possui um albedo mais elevado que a rua, refletindo maior radiação para o céu. Devido ao ajuste no albedo no telhado, os valores da simulação superestimam a observação após o meio-dia. Na simulação 2, devido ao efeito de sombreamento causado pela orientação do cânion, o albedo efetivo não apresenta um comportamento bem definido na evolução diurna. Apesar disso, os valores simulados se encontram próximos do albedo observado.

a)



b)

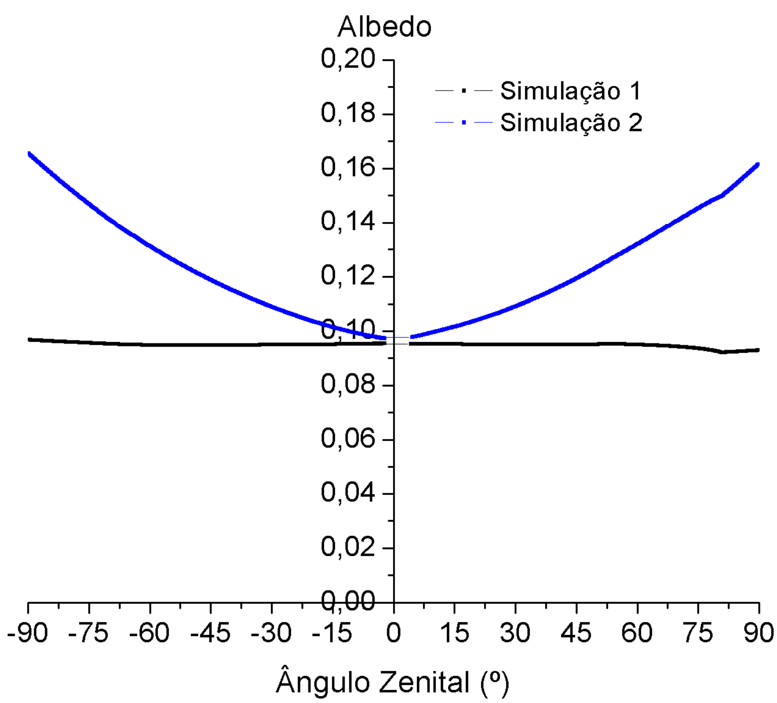


Figura 2.3.4 – a) Evolução diurna do albedo efetivo no cânion e b) dependência do albedo efetivo com relação ao ângulo zenital. A linha preta representa a simulação 1, a linha azul representa a simulação 2 e os pontos representam dados observados na PM.

A figura 2.3.5 mostra uma comparação da evolução sazonal do albedo efetivo simulado e observado. As simulações são utilizando albedo constante e igual a 0,18. A simulação consegue representar bem a variação sazonal, com um mínimo durante o período de inverno (solstício de inverno no hemisfério Sul).

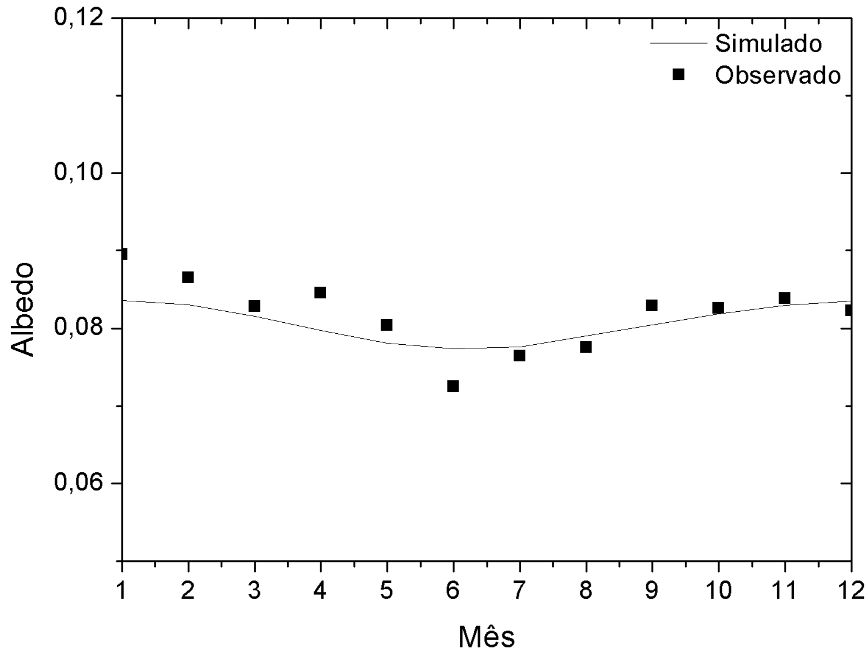
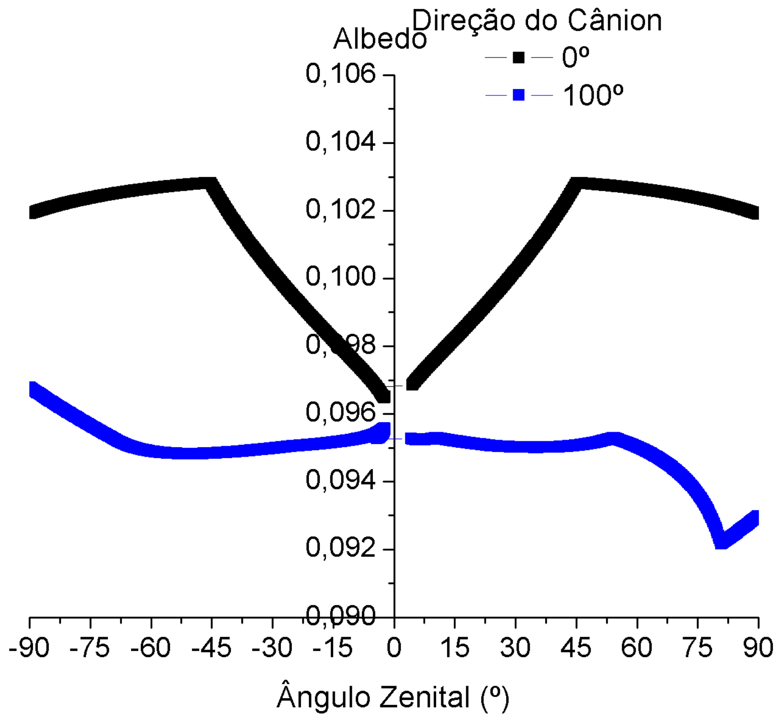


Figura 2.3.5 – Evolução sazonal do albedo efetivo. A linha contínua representa a simulação, enquanto os pontos representam os dados observados na PM.

A figura 2.3.6 mostra o efeito da orientação do cânion no albedo efetivo. Para o caso da simulação 1 (Fig. 2.3.6a), o cânion orientado Norte-Sul possui um comportamento bem definido. No caso da simulação 2 (Fig. 2.3.6b), ambos os comportamentos são semelhantes, isto devido à influencia do albedo do telhado. Nas duas simulações, o albedo efetivo do cânion com azimute de 100º são menores que àqueles com orientação Norte-Sul, porque o módulo da projeção da largura do cânion na direção Leste-Oeste é maior que esta largura. Com isto, maior radiação é absorvida pela rua.

a)



b)

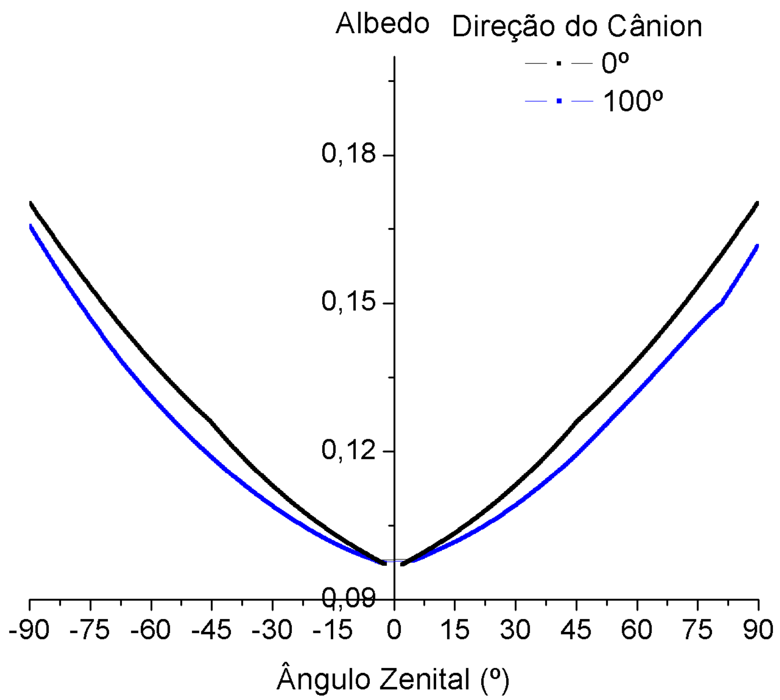


Figura 2.3.6 – Cânion com orientação Norte-Sul (linha preta) e cânion com azimute de 100º (linha azul) para a) simulação 1 e b) simulação 2.

3. ATIVIDADES EM DESENVOLVIMENTO

Encontra-se em desenvolvimento o processo de implementação do código da parametrização fornecido pelo Dr. Alberto Martilli na versão do modelo TVM utilizada pelo Grupo de Micrometeorologia do IAG-USP.

Apesar de já possuir o código implementado em uma versão mais atual do TVM, o procedimento de implementação é importante para compreender os processos na Camada Limite Urbana. Além disso, a versão do TVM enviada pelo Dr. Rafiq Hamdi contém alguns problemas no código.

4. PERSPECTIVAS

Tendo em vista as atividades desenvolvidas, tem-se como expectativa:

- Solucionar o problema no albedo efetivo quanto a fim de que valide os dados da PM;
- Finalizar a implementação do código fornecido pelo Dr. Alberto Martilli no TVM;
- Simular a evolução temporal e espacial da Camada Limite Urbana na RMSP utilizando como dados de entrada os mesmos de PEREIRA DE SOUSA (2006).

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AIDA, M. Urban albedo as a function of the urban structure – A model experiment. **Boundary Layer Meteorology**. v. 23, p. 405-413, 1982.

FORTUNIAK, K. Numerical Estimation of the Effective Albedo of na Urban Canyon. **Theoretical and Applied Climatology**, v.91, p. 245-258, 2008.

HAMDI, R.; SCHAYES, G. Sensitivity Study for the urban heat island intensity to urban characteristics. **International Journal of Climatology**. v. 28, p. 973-982, 2008.

MARCIOTTO, E.R. Estudo da influência de um dossel urbano sobre o balanço de energia na superfície e implicações na estrutura vertical da camada limite atmosférica. São Paulo, SP, Brasil: Dissertação de Mestrado. Departamento de Ciências Atmosféricas. Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas. Universidade de São Paulo, p.124, 2008.

MARTILLI, A. Development of na urban turbulence parameterisation for mesoscale atmospheric model. *Thèse présentée au département de Génie Rural*. Lausanne, Suíça: École Polytechique Fédérale de Lausanne, p. 186, 2001.

MARTILLI, A.; CLAPPIER, A.; ROTACH, M.W. An urban surface Exchange parametrization for mesoscale models. **Boundary-Layer Meteorology** v. 104, p. 261-304, 2002.

MASSON, V. A Physically-Based Scheme for the Urban Energy Budget in Atmosphere Models. **Boundary-Layer Meteorology**, v. 94, p. 357-397, 2000.

OLIVEIRA, A.P.; MACHADO, A.J.; ESCOBEDO, J.F.; SOARES, J. Diurnal evolution of solar radiation at the surface in the city of São Paulo: seasonal variation and modeling. **Theoretical and Applied Meteorology**, v.71, n. 3-4, p. 231-249, 2002.

PEREIRA DE SOUSA, O.N. Investigação do papel da topografia e da ocupação de solo na camada limite planetária sobre a cidade de São Paulo. São Paulo, SP, Brasil: Dissertação de Mestrado. Departamento de Ciências Atmosféricas. Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas. Universidade de São Paulo, p.116, 2006.

PIELKE, R. *Mesoscale Meteorological Modelling*. Academic Press, San Diego, p. 612, 1984.

SASAMORI, T. The Radiative Cooling Calculation for Application to General Circulation Experiments. **Journal of Applied Meteorology**, v. **7**, p. 721-729, 1968.

SCHAYES, G. Direct Determination of Diffusivity Profiles from Synoptic Reports. **Atmospheric Environment**, v. 16, p. 1407-1413, 1982.

SCHAYES, G.; THUNIS, P.; BORNSTEIN, R. Topographic Vorticity-Mode Mesoscale-β Model (TVM). Part I: Formulation. **Journal of Applied Meteorology**, v. 35, p. 1815-1823, 1996.

SPARROW, E. M.; CESS, R.D. *Radiation Heat Transfer*, Thermal Science Series. Brooks/Cole, p. 366, 1970.

THUNIS, P.; CLAPPIER, A. Formulation and Evaluation of a Nonhydrostatic Mesoscale Vorticity Model (TVM). **Monthly Weather Review**, v. 128, p. 3236-3251, 2000.