

Simulação numérica da CLP em Candiota através de um modelo de mesoescala

Hugo A. Karam¹, Amauri P. Oliveira¹, Jacyra Soares¹, Jonas C. Carvalho¹, Osvaldo L.L. Moraes², Gervásio A. Degrazia², Robert D. Bornstein³

¹ Grupo de Micrometeorologia, Departamento de Ciências Atmosféricas, Instituto Astronômico e Geofísico, Universidade de São Paulo, SP, Brasil

² Departamento de Física, Universidade Federal de Santa Maria, RGS, Brasil

³ Department of Meteorology, San Jose State University, California, USA

Abstract

The URBMET-TVM model (Bornstein et al., 1987) was successfully applied to simulate a local circulation induced by topography and distribution of thermal properties of the surface (vegetation, soil, etc) at the Candiota region. During daytime, the thermal effect associated to surface thermal properties have been found to be more important than the mechanical effect produced by topography. This thermal effect is able to induce a horizontal temperature gradient of 0.1 K/km, affecting the height of the planetary boundary layer (PBL). There is no significant thermal effect associated to topography during daytime. At nighttime, the thermal effect associated to both topography and surface properties have an important role. The mechanic effects of topography on the PBL circulation are due to the intensification of the wind over elevated areas and horizontal convergence of flow at the surface.

Resumo

Neste trabalho utilizou-se o modelo numérico de mesoescala (URBMET-TVM) para simular a evolução espacial e temporal da camada limite planetária (CLP) na região de Candiota. Os resultados obtidos indicam que as variações locais da superfície, tais como tipo de vegetação e propriedades térmicas do solo, induzem um contraste térmico horizontal de aproximadamente 0,1 °C/km. Estes gradientes horizontais, provocam uma circulação de mesoescala capaz de induzir áreas de convergência no campo do vento, e modificar a evolução vertical da CLP. A rugosidade da superfície e a topografia causam um efeito menor na CLP, restringindo-se a intensificação do vento superficial nas áreas mais elevadas. Este efeito mecânico é mais intenso no período noturno quando

a mistura turbulenta não é suficientemente intensa e ocorre um desacoplamento vertical da CLP.

1 Introdução

De acordo com Segal e Arritt (1992) circulações de mesoescala, semelhantes à circulação de brisa, podem ser geradas por contrastes superficiais de umidade, capacidade térmica do solo, cobertura vegetal, irrigação, albedo, emissividade, nebulosidade, presença de neve, gelo, etc. Tais circulações estão associadas aos gradientes horizontais de calor sensível. Estas circulações podem influir no desenvolvimento da CLP e conseqüentemente na dispersão de poluentes.

Utiliza-se uma versão 3D do modelo URBMET-TVM (Bornstein et al., 1987). Este modelo tem sido utilizado para estudos da CLP de regiões urbanas, em dispersão de poluentes em terrenos complexos e efeitos de brisas terra-mar. Karam (1995) utilizando este modelo simulou a circulação induzida pela topografia do Planalto Paulista associada à evolução da CLP.

A topografia e os tipos de superfície para a região de Candiota foram obtidas por redução manual das Cartas do IBGE para uma resolução de 2 km². O tipo de superfície é caracterizado pelas variáveis: capacidade térmica do solo, albedo, emissividade da superfície, coeficiente de rugosidade superficial, temperatura do solo em 2 níveis, fração de umidade no solo em 2 níveis e resistência estomatal.

A Tabela 1 descreve as variáveis dos 10 tipos de superfície utilizados na simulação: α_s é o albedo da superfície; ϵ_s é a emissividade da superfície; r_s é a resistência estomatal; $\rho_s c_s d_1$ é capacidade térmica do solo vezes a profundidade da onda térmica diária; w_g é o valor inicial da fração volumétrica de água no solo na camada de solo de profundidade d_1 e w_2 é o valor inicial da fração volumétrica de água no solo de profundidade d_2 .

T_g é o valor inicial da temperatura média da camada superficial do solo com profundidade d_1 usada aqui como 21°C. T_2 é o valor inicial da temperatura média da camada de solo com profundidade d_2 tomado como 26°C.

A distribuição espacial dos tipos de superfície listados na Tabela 1 são mostrados na Figura 1a e a topografia na Figura 1b.

tipo	superfície	α_s	ϵ_s	r_s	κ_s ($m^2 s^{-1}$)	d_1 (m)	C_s ($Jm^{-3}K^{-1}$)	w_g	w_2
1	lagoa	0.08	0.98	100	0.14×10^{-6}	0.11	4.19×10^6	1.	1.
2	arroio ou rio	0.09	0.97	100	0.14×10^{-6}	0.11	4.19×10^6	1.	1.
3	área sujeita a inundação	0.10	0.96	100	0.15×10^{-6}	0.36	4.19×10^6	0.88	0.88
4	curso d'água intermitente	0.12	0.95	100	0.15×10^{-6}	0.36	3.44×10^6	0.75	0.75
5	arrozal	0.14	0.92	100	0.10×10^{-6}	0.09	2.51×10^6	0.62	0.62
6	bosque	0.15	0.93	100	0.10×10^{-6}	0.09	2.22×10^6	0.50	0.50
7	vinhedo	0.20	0.94	115	0.10×10^{-6}	0.09	1.67×10^6	0.35	0.50
8	pomar	0.19	0.95	120	0.10×10^{-6}	0.09	1.61×10^6	0.25	0.50
9	pampa	0.18	0.90	125	1.20×10^{-6}	0.32	1.42×10^6	0.20	0.40
10	rocha	0.25	0.85	200	4.40×10^{-6}	0.62	1.26×10^6	0.10	0.05

Tabela 1 Tipos de superfície e parâmetros do solo e vegetação associados. Valores estimados a partir das relações de Sellers (1965).

2 Descrição do modelo

O modelo consiste de um sistema de equações para convecção rasa, onde o balanço de momento está escrito em termos de vorticidade. O modelo inclui umidade e uma equação prognóstica da energia cinética turbulenta (ECT) para diagnosticar a altura da CLP e a difusão turbulenta. O resfriamento radiativo é incluído nesta versão do modelo. Uma descrição detalhada do modelo é encontrada em Karam (1995).

3 Resultados

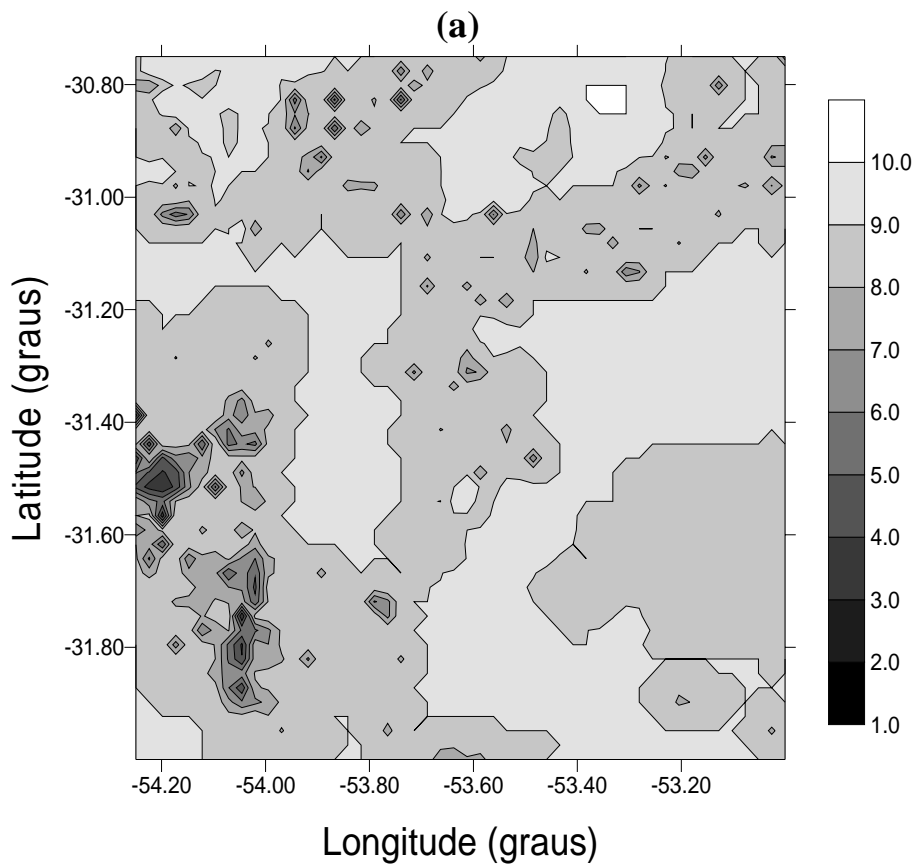
Resultados da simulação condições de verão, com céu claro e ventos geostróficos moderados de 5 m/s de NE, indicam a presença de um contraste térmico, com um máximo na superfície entre 9 °C/100km e 12°C/100km, respectivamente para o dia e para a noite, (Fig. 2a e 2b). Estas variações térmicas estão associadas às diferentes propriedades térmicas da superfície e do solo na região de Candiota (Fig. 1a). Quando a topografia realística é incluída

na simulação observa-se um gradiente adicional da ordem de $1\text{ }^{\circ}\text{C}/100\text{km}$ (Figs. 2c e 2d).

O fluxo de calor sensível na região de Candiota mostra-se mais dependente do tipo de superfície e de solo do que da topografia local (Figs. 3a e 3b). Valores simulados ordem de 200 W/m^2 são comparáveis com os valores máximos observados em Candiota para o dia 11 de fevereiro de 1995 (Tab. 2). Apesar disso, as variações horizontais da altura da CLP no período diurno (Fig. 3c) não estão associadas as variações espaciais do fluxo de calor sensível na superfície (Fig. 3a).

Fluxo Superficial (W/m^2)	Noite	Dia
H	-10	+200
LE	+10	+100
Rn	~ 0	-750
G	~ 0	-50

Tabela 2 Valores máximos do balanço de energia da superfície do solo observados no dia 11 de fevereiro de 1995 em Candiota.



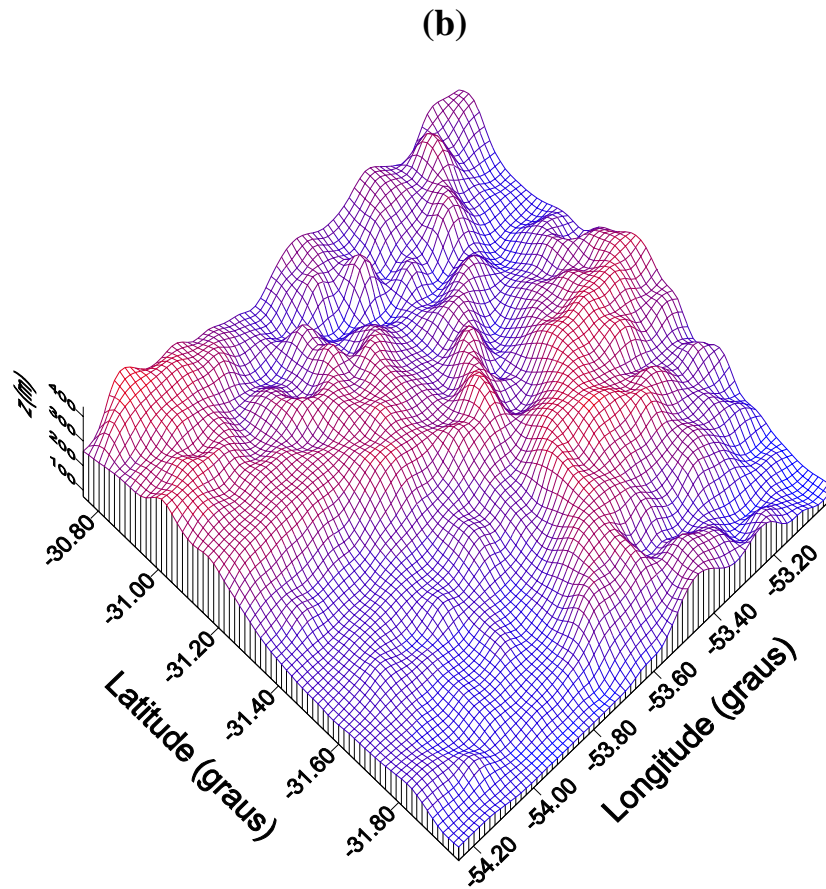
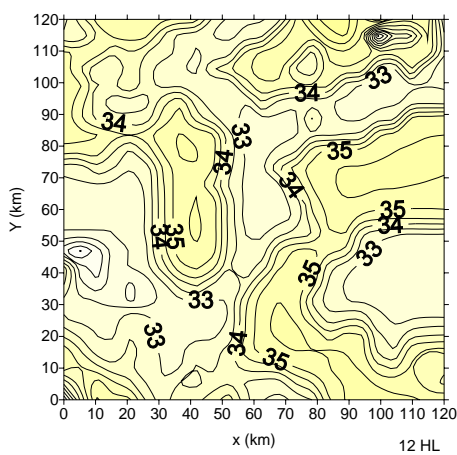
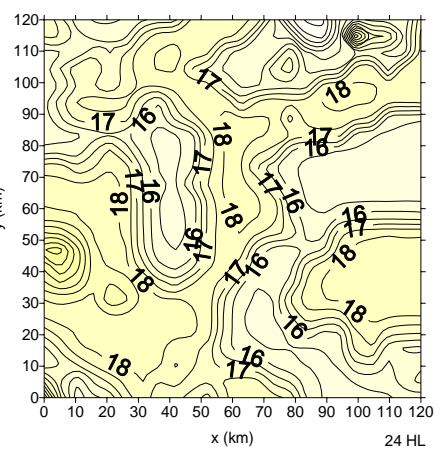


Figura 1 (a) Superfície na região de Candiota utilizada no modelo; (b) topografia da região de Candiota.



(a)



(b)

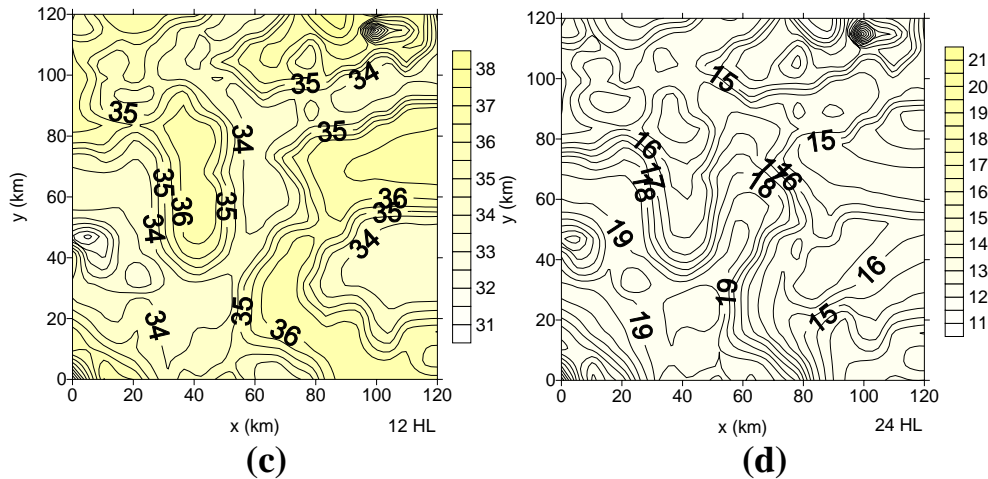
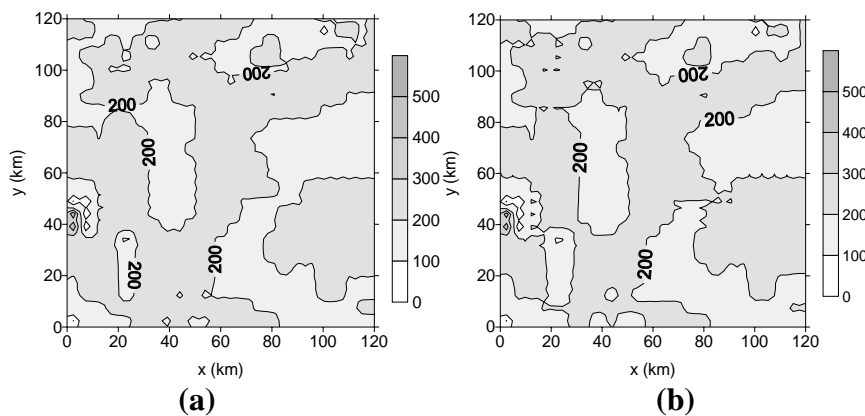


Figura 2 Temperatura da superfície para topografia plana as (a) 12:00 HL; (b) as 24:00 HL; e para topografia realística as (c) 12:00 HL; (d) 24:00 HL. Simulação corresponde ao dia 11 de fevereiro 95

Na simulação com topografia plana a intensidade do vento, durante o período diurno, sobre as áreas menos rugosas é cerca de 2 m/s maior que a velocidade do vento nas áreas mais rugosas (Figs. 4a e 4b). Durante a noite, esta tendência se mantém, mas a diferença de intensidade se reduz para aproximadamente 1 m/s (Figs. 4c e 4d). Resultados com inclusão de topografia realística (Figuras 4c e 4d) mostram uma modificação na direção do vento associada principalmente à canalização nos vales (Fig. 1b).

Tanto o efeito topográfico associado a rugosidade quanto o de canalização se manifestam no campo do vento próximo a superfície através de áreas de convergência e divergência do escoamento.

A estrutura vertical do campo do vento apresentam maiores variações durante o período noturno (Fig. 5).



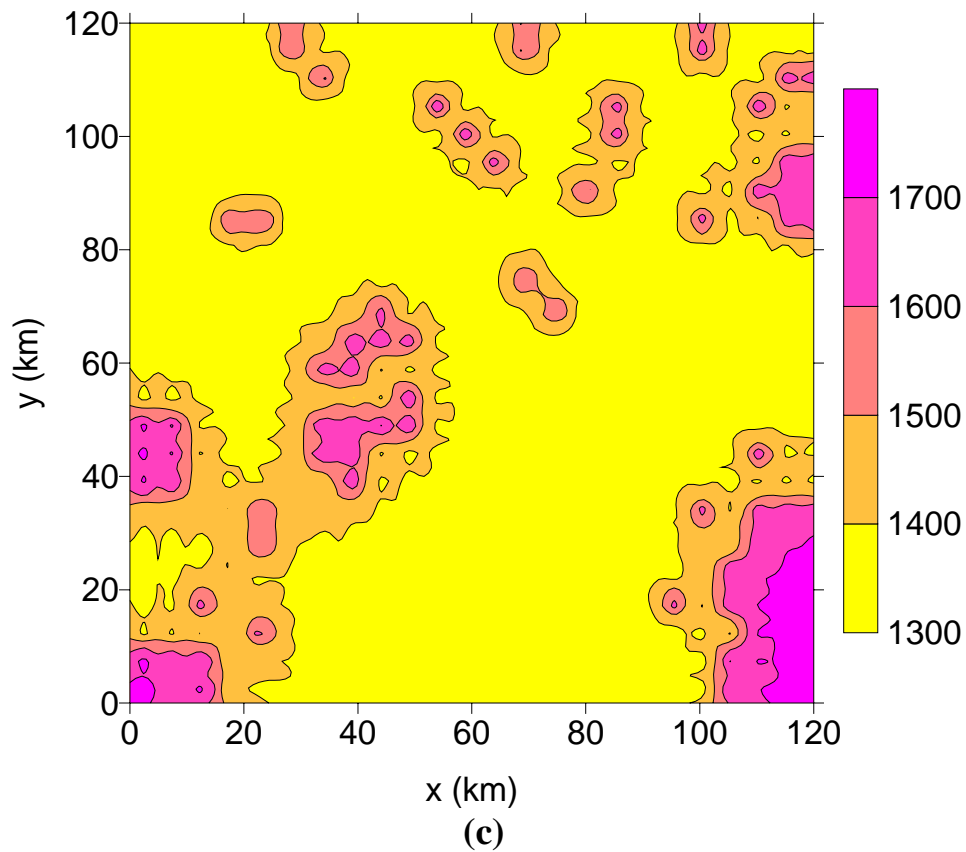
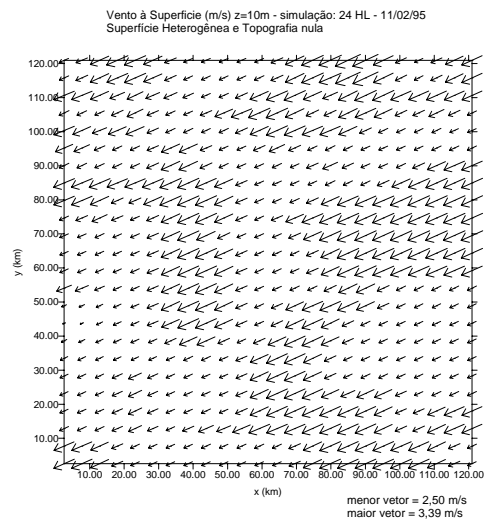
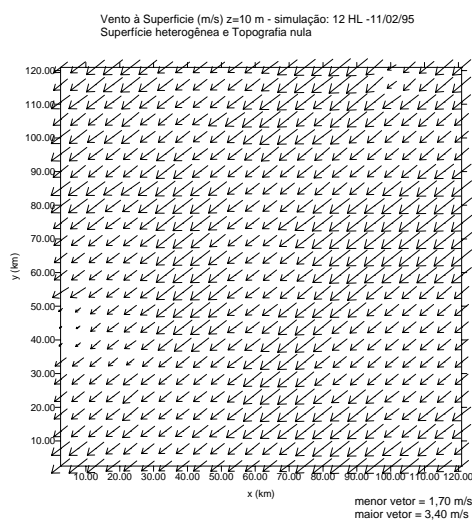
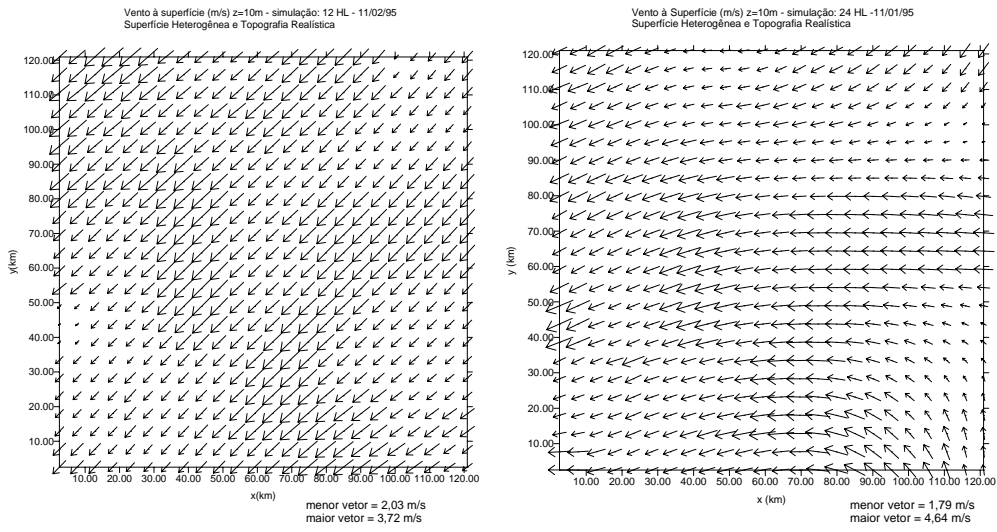


Figura 3: Fluxo de calor sensível para topografia: (a) plana ; (b) realística e (c) altura da CLP corresponde as 12:00 HL do dia 11/02/95.

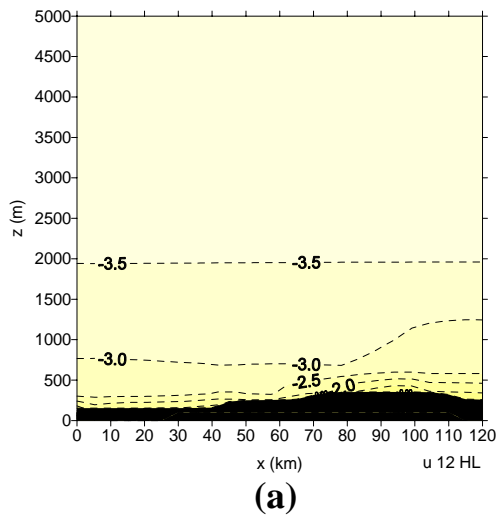




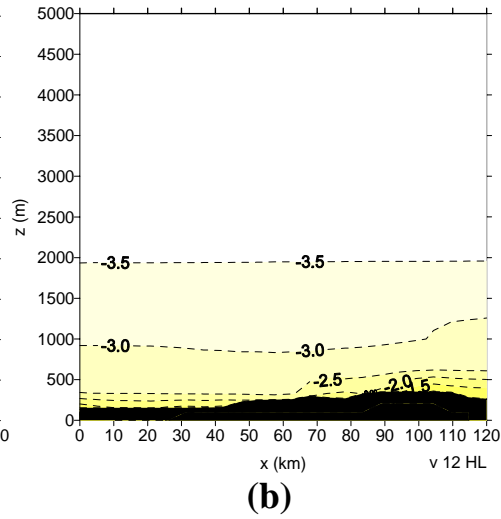
(c)

(d)

Figura 4 Vetor velocidade do vento em 10 m para topografia plana as: (a) 12:00 HL; (b) 24:00 HL; e para topografia realística para (c) 12:00 HL e (d) 24:00 HL. As escalas de velocidade (mínimo e máximo) correspondem: (a) 1,70 e 3,40 m/s; (b) 2,50 e 3,39 m/s; (c) 2,03 e 3,72 m/s; e (d) 1,79 e 4,67 m/s.



(a)



(b)

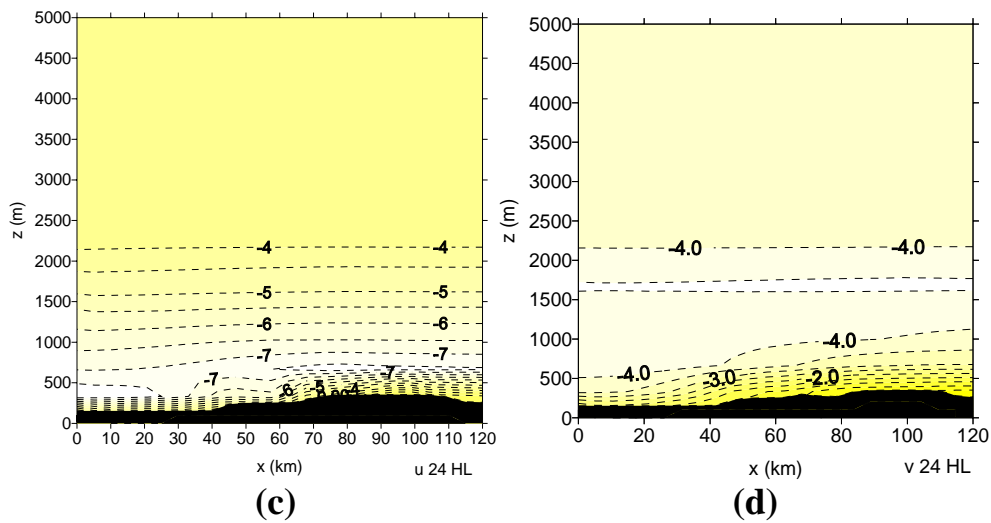


Figura 5: Componentes (a) zonal e (b) meridional do vento as 12:00 HL; e componentes (c) zonal e (d) meridional do vento as 24:00 HL. Topografia realística.

A máxima intensidade da ECT simulada foi $1 \text{ m}^2/\text{s}^2$ durante o período diurno convectivo e $0,04 \text{ m}^2/\text{s}^2$ durante o período noturno estável (Fig. 6).

4 Conclusões

O modelo numérico URBMET-TVM mostrou-se capaz simular alguns efeitos da topografia da região de Candiota sobre a CLP.

Gradientes horizontais do fluxo de calor sensível e latente, assim como de temperatura do ar na CLP estão diretamente relacionados à distribuição espacial dos tipos de superfície. O efeito térmico induzido pelas diferentes propriedades da superfície geram um gradiente térmico horizontal da ordem de $0,1^\circ\text{C}/\text{km}$. No período diurno, este efeito estende-se na vertical até uma altura comparável a altura da CLP. Por outro lado, no período noturno, este efeito está confinada as camada adjacentes a superfície.

As variações topográficas e de rugosidade da superfície modulam o escoamento na CLP, gerando áreas de convergência e divergência. Estas regiões estão correlacionadas com a distribuição de morros e vales, afetando a altura da CLP.

As simulações indicam o vento próximo a superfície na Usina de Candiota é de NE durante o período diurno (às 12:00 HL) e de E durante o período noturno (às 24:00 HL). Dado que o vento geostrófico é de NE com intensidade de 5 m/s durante toda a simulação, conclui-se que durante o dia o campo do vento reflete o campo sinótico devido a mistura vertical ao longo da CLP. Durante a

noite, o escoamento superficial tende a desacoplar do campo sinótico, e neste caso, a refletir uma canalização induzida pela topografia.

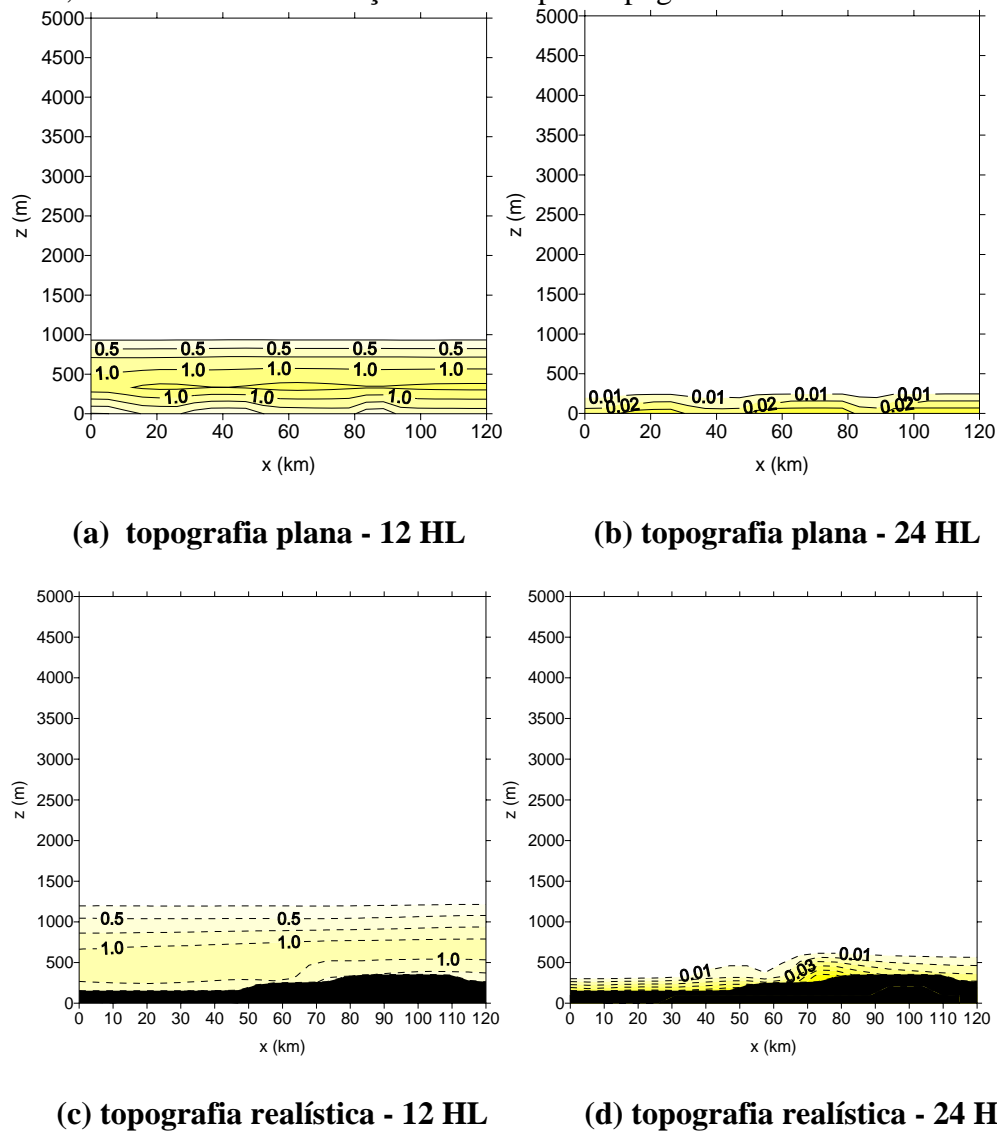


Figura 6 Energia cinética turbulenta mostrada no plano de corte xz passando por Candiota. Simulação do dia 11 de fevereiro de 1995, para superfície plana as (a) 12 HL; e (b) as 24 HL e sobre topografia realística as (c) 12 HL, e (d) as 24 HL.

5 Referências bibliográficas

- Bornstein, R. D.; Pechinger, U. ; Miller, R. Klotz, S. and Street, R., 1987: (a) Modeling the Polluted Coastal Urban Environment. Volume I: The PBL Model. *Electric Power Research Institute EPRI; Report EA-5091*, Vol. **1** Research Project 1630-13; and (b) Modeling the Polluted Coastal Urban Environment; *Electric Power Research Institute EPRI; Report EA-5091*, Vol. **3**, Research Project 1630-13;
- Karam, H. A., 1995: Simulação Numérica Tridimensional da Camada Limite Planetária em Iperó - São Paulo. Dissertação de Mestrado. Departamento de Ciências Atmosféricas. Instituto Astronômico e Geofísico. Universidade de São Paulo. Estado de São Paulo. Brasil. 120 p.
- Segal M. and Arritt R. W.,1992: Nonclassical Mesoscale Circulations Caused by Surface Sensible Heat-Flux Gradients. *Bulletin of the American Meteorological Society*, Vol. **73**, No. 10, October, 1593-1604.
- Sellers, William D.,1965: Physical Climatology. The University of Chicago Press/ Chicago & London, 272 p.