

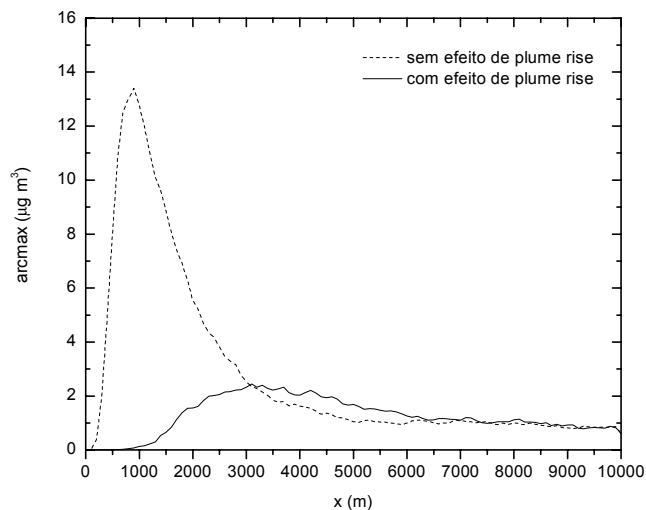


FIGURA 11 – Comparação entre perfil longitudinal de máxima concentração ao nível da superfície (*arcmax*) como previsto pelo modelo LAMBDA, com e sem o efeito de *plume rise*.

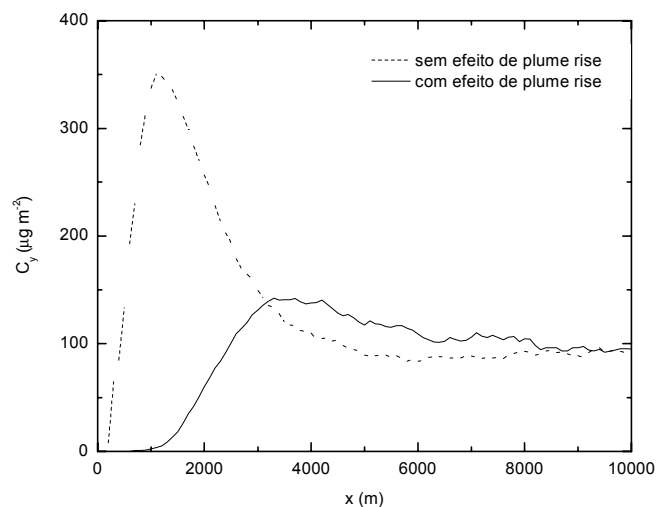


FIGURA 12 – Comparação entre perfil longitudinal de máxima concentração ao nível da superfície (*arcmax*) como previsto pelo modelo LAMBDA, com e sem o efeito de *plume rise*.

exp.	distância amostrador (m)	arcmax observado ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	arcmax previsto ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	exp.	distância amostrador (m)	arcmax observado ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	arcmax previsto ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	exp.	distância amostrador (m)	arcmax observado ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	arcmax previsto ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
1	3000	1.854	2.43	9	5000	1.346	1.677	15	3000	0.701	1.653
1	5000	2.046	1.97	9	7000	1.397	1.498	15	7000	1.117	1.412
1	7000	1.485	1.60	9	10000	1.395	1.300	15	10000	1.886	1.101
2	3000	1.777	2.50	10	2000	1.155	1.333	16	5000	0.784	1.200
2	5000	1.316	1.60	10	5000	1.741	1.728	16	7000	1.065	1.029
2	7000	0.999	1.35	10	7000	3.928	1.567	16	10000	1.156	0.799
3	3000	1.540	2.39	10	10000	2.064	1.460	17	3000	0.316	0.577
3	7000	0.768	1.07	11	2000	1.038	1.925	18	1000	1.331	1.411
3	10000	0.715	0.98	11	3000	1.514	1.761	18	3000	1.268	1.137
4	3000	1.300	1.75	11	5000	2.395	1.488	18	7000	0.85	0.910
4	5000	0.988	1.25	11	7000	2.653	1.199	18	15000	0.453	0.678
4	7000	1.131	0.83	11	10000	2.071	0.872	19	2000	0.937	1.561
4	10000	0.863	0.65	12	3000	1.38	1.921	19	3000	1.365	1.429
5	2000	0.776	1.42	12	5000	1.033	1.650	19	7000	1.533	1.372
5	5000	0.774	0.79	12	7000	3.287	1.552	19	15000	0.486	1.100
5	10000	0.600	0.38	12	10000	1.211	1.234	20	1000	1.205	1.219
6	5000	1.906	2.94	13	2000	0.702	1.100	20	3000	1.394	1.087
6	7000	1.430	2.00	13	3000	1.202	0.921	20	5000	1.000	0.699
6	10000	1.183	1.56	13	5000	1.485	0.839	20	7000	0.788	0.501
7	5000	1.620	1.56	13	7000	1.431	0.576	20	15000	0.844	0.393
7	7000	0.780	1.04	13	10000	1.453	0.423	21	1000	0.964	1.622
7	10000	0.879	0.75	14	2000	0.754	1.289	21	2000	1.217	1.420
8	3000	0.733	2.32	14	3000	0.952	1.056	21	3000	1.048	1.300
8	5000	0.580	1.08	14	5000	1.391	0.872	21	7000	1.048	1.144
8	7000	0.350	0.64	14	7000	1.233	0.612	21	15000	0.578	1.009
8	10000	0.458	0.49	14	10000	1.09	0.559				

TABELA 2 – Comparação entre valores de máxima concentração (arcmax) observados e previstos.

<i>NMSE</i>	<i>FB</i>	<i>FS</i>	<i>R</i>	<i>FA2</i>
0.25	-0.02	-0.14	0.40	0.86

TABELA 3 – Índices estatísticos calculados utilizando os valores de máxima concentração (*arcmax*) observados e previstos da Tabela 2.

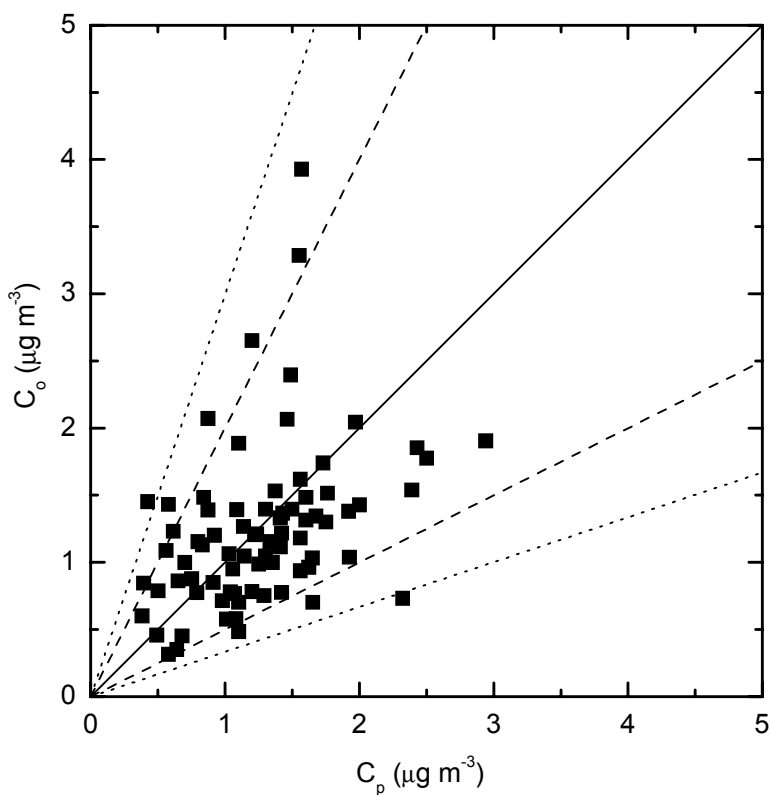


FIGURA 13 – Diagrama de espalhamento para a comparação entre valores de máxima concentração (*arcmax*) observados (C_o) e previstos (C_p). Linhas tracejadas indicam fator de 2, linhas pontilhadas indicam fator de 3 e linha sólida indica a previsão sem erro.

5. CONCLUSÕES

Neste trabalho, um método semi-empírico para determinar a ascensão da pluma (*plume rise*) foi implementado no modelo de partículas estocástico LAMBDA. No método, a velocidade vertical da pluma é obtida integrando-se numericamente, em cada passo de tempo, as equações de conservação do volume da pluma, do fluxo de empuxo e do fluxo de momentum (Método CSIRO). A avaliação do modelo LAMBDA, com a implementação do método de ascensão da pluma é realizada, através da comparação com dados de concentração medidos durante o experimento de dispersão de Kincaid.

Os resultados das simulações mostraram que a implementação do método de ascensão da pluma no modelo LAMBDA mostrou-se qualitativamente satisfatória. Além disso, os resultados mostram que o modelo LAMBDA simula de forma razoável os valores de concentração máxima ao nível da superfície (*arcmax*). Deve-se considerar que o experimento de Kincaid é relativamente difícil de descrevê-lo através de simulação numérica, uma vez que o mesmo foi realizado em local de terreno não-homogêneo e tal condição não está sendo considerada nas simulações.

Analizando-se o resultado de uma análise estatística obtida através da comparação entre concentrações observadas e previstas, notou-se que os valores para os índices estatísticos estão dentro dos intervalos aceitáveis. Os valores previstos subestimam os valores observados, como pode ser visto pelo valor de *FB* e confirmado pela comparação entre concentrações observadas e

previstas. Tal fato deve estar relacionado diretamente a dificuldade de simular o experimento de Kincaid. De qualquer forma, pode-se dizer que o Método CSIRO e o modelo LAMBDA são totalmente efetivos para simular o efeito de 'plume rise' e podem ser aplicados em situações onde este efeito deve ser considerado.

7. REFERÊNCIAS

ANFOSSI, D. **Plume rise measurements at Turbigo**. Atmos. Environm. v. 12, p. 1821-1826, 1982.

ANFOSSI, D., FERRERO, E., BRUSASCA, G., TINARELLI, G., TAMPIERI, F., TROMBETTI, F. E GIOSTRA, U. **Dispersion Simulation of a Wind Tunnel Experiment with Lagrangian Particle Models**, Il Nuovo Cimento, 15 C, p. 139-158, 1992.

ANFOSSI, D., FERRERO, E., BRUSASCA, G., MARZORATI, A., E TINARELLI, G. **A simple Way of Computing Buoyant Plume Rise in Lagrangian Stochastic Dispersion Models**, Atmos. Environ., v.27A, p. 1443-1451, 1993.

ANFOSSI, D., FERRERO, E., TINARELLI, G. E ALESSANDRINI, S. **A Simplified Version of the Correct Boundary Conditions for Skewed Turbulence in Lagrangian Particle Models**, Atmos. Environ., v.31, p. 301-308, 1997.

ANFOSSI, D., CANEPA E. E VAN DOP, H. **Plume Rise. Chapter 6 of Air Quality Modeling - Theories, Methodologies, Computational Techniques, and Available Databases and Software**. Vol. I – Fundamentals, P. Zannetti

Ed., Published by The EnviroComp Institute and the Air & Waste Management Association, 2003

BAERENTSEN, J.H., BERKOWICZ, R. **Monte Carlo Simulation of Plume Dispersion in the Convective Boundary Layer**, Atmos. Environ., v.18, p.701-712, 1984.

BATCHELOR, G. K. **Diffusion in a field of homogeneous turbulence, I: Eulerian analysis**. Aust. J. Sci. Res., v.2, p.437-450, 1949.

BRUSASCA, G., TINARELLI, G. E ANFOSSI, D. **Comparison Between the Results of a Monte Carlo Atmospheric Diffusion Model and Tracer Experiments**, Atmos. Environ., vol. 23, p.1263-1280, 1989.

BRUSASCA, G., TINARELLI, G. E ANFOSSI, D. **Particle Model Simulation of Diffusion in Low Windspeed Stable Conditions**, Atmos. Environ., v.26 A, p.707-723, 1992.

CARVALHO, J.C., DEGRAZIA, G.A., ANFOSSI, D., CAMPOS, C.R.J., ROBERTI, D., KERR, A. **Lagrangian stochastic dispersion modelling for the simulation of the release of contaminants from tall and low sources**. Meteorologische Zeitschrift, v. 11, p. 89-97, 2002.

CARVALHO, J.C., NICHIMURA, E.R., VILHENA, M.T.M.B., MOREIRA, D.M., DEGRAZIA, G. A. **An iterative langevin solution for contaminant dispersion simulation using the Gram-Charlier PDF**, Environmental Modelling and Software. (In Press), 2004.

CARVALHO, J.C., VILHENA, M.T.M.B., MOREIRA, D.M. **Comparison between Eulerian and Lagrangian semi-analytical models to simulate the pollutant dispersion in the PBL**. Submetido a Applied Mathematical Modelling, 2004.

CARVALHO, J.C., MOREIRA, D.M. **Avaliação de duas técnicas semi-analíticas para aplicações no controle da qualidade do ar.** Aceito para publicação na Revista Brasileira de Meteorologia, 2004.

COGAN, J. L. **Monte Carlo simulation of a buoyant dispersion.** Atmospheric Environment, v.19, p. 867-878. 1985.

DEGRAZIA, G. A., MORAES, O. L. L. **A Model for Eddy Diffusivity in a Stable Boundary Layer.** Boundary-Layer Meteorology, v.58, p. 205-214, 1992.

DEGRAZIA, G. A., ANFOSSI, D. **Estimation of the Kolmogorov Constant C_0 from classical statistical diffusion theory.** Atmos. Environ. V.32, p. 3611 – 3614, 1998.

DEGRAZIA, G. A., ANFOSSI, D., CARVALHO, J. C., MANGIA, C., TIRABASSI, T., CAMPOS VELHO, H. F. **Turbulence parameterisation end PBL dispersion models in all stability conditions.** Atmos. Environ., v.34, p. 3575-3583, 2000.

GARRATT, J. R. **The atmospheric boundary layer.** Cambridge: Cambridge University Press, 1992. p.316.

HINZE, J. R. **The atmospheric boundary layer.** Cambridge University Press, p. 316, 1992.

FERRERO, E., ANFOSSI, D. **Sensitivity Analysis of Lagrangian Stochastic Models for CBL with Different PDFs and Turbulence Parameterizations,** Air Pollution Modelling and its Applications XII, S.E. Gryning and N. Chaumerliac editors, Plenum Press, New York, v.22, p.673-680, 1998.

FLESCHE, T. K., WILSON, J. D., 1995: **Backward-Time Lagrangian Stochastic Dispersion Models and Their Application to Estimate Gaseous Emissions,** J. Appl. Meteorol., vol. 34, pp. 1320-1332.

FRISCH, U. **Turbulence**, Cambridge University Press, 1995.

HANNA, S.R. **Confidence limit for air quality models as estimated by bootstrap and jackknife resampling methods**. Atmos. Environm. 23, 1385-1395, 1989

HANNA S.R. E PAINE R.J. **Hibrid plume dispersion model (HPDM) development and evaluation**, J. Appl. Meteorol. 28, 206-224, 1989

HURLEY, P. J., PHYSICK, W. **Lagrangian particle modelling of buoyant point sources: plume rise and entrainment under convective conditions**, Atmos. Environ., v.27A, p.1579-1584, 1993.

HURLEY, P.J. **The Air Pollution Model (TAPM) Version 1: Technical Description and Examples**. CSIRO Atmospheric Research Technical Paper No. 43, 1999

HURLEY, P.J. **TAPM Technical Report**. 2000. TAPM web page <http://www.dar.csiro.au/res/aq/Tapm/default.htm>

HØJSTRUP, J. **Velocity spectra in the unstable boundary layer**. J. Atmos. Sci., v.39, p.2239-2248, 1982.

HAY, J. S., PASQUILL, F. **Diffusion from a continuous source in relation to the spectrum and scale of turbulence Atmospheric Diffusion and Air Pollution**. Advances in Geophysics, Academic Press, New York, v.6, p. 345 – 365, 1959.

KAIMAL, J. C. et al. **Turbulence structure in the convective boundary layer**. J. Atmos. Sci., v.33, p.2152-2159, 1976.

LUHAR, A.K., BRITTER, R.E. **Random walk modelling of buoyant-plume dispersion in the convective boundary layer**. Atmos. Environ., v.26A, p.1283-1298, 1992.

MANGIA, C., DEGRAZIA, G. A., RIZZA, U. **An integral formulation for the dispersion parameters in a shear/buoyancy driven planetary boundary layer for use in a Gaussian model for tall stacks.** J. Appl. Meteorol. v. 39, p. 67 – 76, 2000.

OLESEN, H. R., LARSEN, S. E., HØJSTRUP, J. **Modelling velocity spectra in the lower part of the planetary boundary layer.** Boundary-Layer Meteorol., v.29, p.285-312, 1984.

PANOFSKY, H. A., DUTTON, J. A. **Atmospheric Turbulence.** New York: John Wiley & Sons, 1984. 395p.

RIZZA, U., CARVALHO, J.C., MOREIRA, D.M. GOULART, A.G. **Uma análise global da modelagem da poluição atmosférica.** Aceito para publicação na Revista Brasileira de Meteorologia, 2004.

RODEAN H.C. **Stochastic Lagrangian Models of Turbulent Diffusion.** American Meteorological Society, Boston, 84 p., 1996.

SANDRONI S., BACCI P. E ANFOSSI, D. **Aircraft observations of plumes emitted from elevated sources.** Atmos. Environm. v.15, p. 95-100, 1981.

SHIMANUKI, A., NOMURA, Y. **Numerical simulation on instantaneous images of the smoke released from a chimney.** J. Met. Soc. Japan, v. 69, p.187-196. 1991.

STULL, R. B. **An Introduction to Boundary Layer Meteorology.** Boston: Kluwer Academic Publishers, 666 p., 1988.

TAYLOR, G. I. **Diffusion by continuous movements.** Proc. London math. Soc. 20, 196 p. 1921.

THOMSON D.J. **Criteria for the Selection of Stochastic Models of Particle Trajectories in Turbulent Flows,** J. Fluid Mech. 180, 529-556, 1987.

ZANNETTI, P. **Air pollution modeling: theories, computational methods and available software**. Computational Mechanics Publications. Van Nostrand Reinhold, New York, 1990.

ZANNETTI, P., AL-MADANI, N. **Simulation of transformation, buoyancy and removal processes by Lagrangian particle methods**. Proceeding of the 14th International Technical Meeting on Air Pollution Modelling and its Application (ed. Ch. De Wispelaere) Plenum Press, New York, p.733-744. 1984.

WANDEL, C. F., KOFOED-HANSEN, O. **On the Eulerian-Lagrangian transform in the statistical theory of turbulence**. J. Geophys. Res., v.76, p.3089-3093. 1962.

WEIL, J. C., BROWER, R. P. J. Air poll. **Cont.Assoc.**, v.34, p.818. 1984.

WEIL J.C. **A hybrid Lagrangian dispersion model for elevated sources in the convective boundary layer**. Atmos. Environ., v.28, p.3433-3448, 1994.