

Simulação Analítica da Dispersão de Poluentes Considerando a Ascensão da Pluma

Renata Cezimbra^{1,*} Daniela Buske² Regis Quadros² Fabrício Harter³

¹Graduanda em Engenharia Sanitária e Ambiental, UFPel

²Depto de Matemática e Estatística, IFM, UFPel

³Depto de Meteorologia, FMET, UFPel

96010-610, Pelotas, RS

E-mail: renatacezimbra@hotmail.com, daniela.buske@ufpel.edu.br,
regis.quadros@ufpel.edu.br, fabricao.harter@ufpel.edu.br

RESUMO

Para muitas aplicações, como em emissões industriais, é necessário levar em conta o efeito do empuxo sobre a pluma de poluente. Quando a pluma de poluentes é mais quente que o ambiente (menos densa) ela tende a se elevar até uma camada onde se encontra em equilíbrio termodinâmico, a altura efetiva da fonte (H_e) será a soma da altura real da fonte (H_s) e o efeito de ascensão da pluma (ΔH). Dessa forma assumimos que, a certa distância da fonte, a pluma de material liberado em H_s se comporta como uma pluma de mesma densidade que o ambiente, abandonada sem empuxo a uma altura H_e [2]. Em casos de convecção forte ($h/|L| > 10$), a pluma terá uma ascensão final dada por

$$\Delta H = 4.3 \left(\frac{F}{\bar{u}w_*} \right)^{3/5} h^{2/5} \quad (1)$$

sendo F um parâmetro de fluatuabilidade definido como $F = gV_i r_i^2 \frac{(T_i - T_a)}{T_i}$ onde g é a aceleração da gravidade, T_i , V_i , r_i e T_a são a temperatura da fonte, a velocidade vertical de saída, raio da fonte e temperatura ambiente [3]. Para condições moderadamente convectivas a ascensão da pluma é dada como

$$\Delta H = \left(\frac{F}{\bar{u}w_a^2} \right)^{3/5} \left(1 + \frac{2H_s}{\Delta H} \right)^2 \quad (2)$$

que pode ser resolvida iterativamente, onde $w_a = 0.4w_*$ é a velocidade média dos *downdrafts* (correntes de ar descendentes). Para condições de estabilidade neutra a seguinte expressão para ΔH :

$$\Delta H = 1.3 \frac{F}{\bar{u}u_*^2} \left(1 + \frac{H_s}{\Delta H} \right)^{2/3} \quad (3)$$

Weil [7] sugere que uma pluma tem a seguinte restrição para sua ascensão:

$$\Delta H = 0.62(h - H_s) \quad (4)$$

Considerado o que foi exposto acima, Briggs [3] sugere que o valor final de ΔH deve ser o valor mínimo obtido com as equações (1)-(4). Esta sugestão é a mais prudente, pois na medida em que o efeito de ascensão é maior, menores serão os valores de concentração obtidos para níveis próximos do solo, diminuindo o risco de subestimar o valor destas concentrações.

Para analisar o efeito da ascensão da pluma em um modelo matemático, consideramos a equação de advecção-difusão bidimensional transiente,

$$\frac{\partial C}{\partial t} + u \frac{\partial C}{\partial x} = \frac{\partial}{\partial z} \left(K_z \frac{\partial C}{\partial z} \right) \quad (5)$$

onde z é altura da camada limite atmosférica (CLA), x é a direção do vento médio u , K_z é o coeficiente de difusão turbulento dependente da altura z . A Eq. (5) esta sujeita a condição inicial nula; a condição de fonte $\bar{u}C(0, z, t) = Q\delta(z - H_e)$ em $x = 0$, onde Q é a taxa de emissão do poluente, H_e é a altura efetiva da fonte (onde é levado em conta o efeito do empuxo inicial);

* Bolsista de Iniciação Científica PROBIC/FAPERGS

e as condições de contorno de fluxo nulo no solo e no topo da camada limite. A solução da equação de advecção-difusão (5) é conhecida na literatura e é obtida utilizando as técnicas da transformada de Laplace e GILTT (*Generalized Integral Laplace Transform Technique*) [6].

Como um exemplo de aplicação, apresentamos resultados preliminares de uma simulação de dispersão do SO₂ emitido pela Usina Termelétrica Presidente Médici de Candiota/RS. Esta usina é uma importante fonte de liberação de SO₂ na região. Foi um experimento de fonte alta, onde o SO₂ foi liberado com empuxo de forma contínua de uma chaminé com 150 m de altura a uma taxa de 0,7 kg⁻¹. A velocidade de saída e a temperatura de exaustão são de aproximadamente 20 m.s⁻¹ e 420 K, respectivamente.

Para podermos comparar os resultados obtidos pela GILTT com os dados da literatura assumimos que a concentração de poluentes possui uma distribuição gaussiana na direção y (solução 3D aproximada, conhecida como GILTTG). Nas simulações foram utilizados um perfil de vento potencia e coeficiente de difusão definido em Degrazia et. al. [4].

A tabela 1 mostra os resultados estatísticos [5] da comparação da solução com alguns valores do experimento de Candiota apresentados em Arbage et al. [1]. Observamos uma melhora significativa nos resultados em que o efeito da ascensão da pluma foi considerado (aumento da correlação (COR) e a diminuição do erro quadrático médio normalizado (NMSE)). As concentrações previstas apresentam valores maiores que as observadas. O modelo também apresentou fator de dois (FA2) de 60%. Nosso próximo objetivo será o de ampliar esta aplicação, utilizando mais dados do sitio de Candiota.

Tabela 1: Dados estatísticos obtidos pelo modelo GILTTG.

	NMSE	COR	FA2	FB	FS
GILTTG sem ascensão da pluma	5,36	0,57	0,4	1,3	1,6
GILTTG com ascensão da pluma	1,07	0,83	0,6	0,4	1,2

Palavras-chave: *Solução Analítica, Transformada de Laplace, Equação de Advecção-Difusão*

Referências

- [1] M.C. Arbage, G.A. Degrazia, O.L. Moraes, Simulação euleriana da dispersão local da pluma de poluente atmosférico de Candiota-RS. Rev. Bras. Meteorologia, vol. 21 (2), pp. 153-160, (2006).
- [2] S. Pal. Arya, Air Pollution Meteorology and Dispersion. New York, USA: Oxford University Press, 310p., (1999).
- [3] G.A. Briggs, Plume Rise Predictions, Lectures on Air Pollution and Environmental Impact Analyses, D.A. Haugen ed., Amer. Meteor. Soc., Boston, MA, pp. 59-111, (1975).
- [4] G.A. Degrazia, H.F. Campos Velho, J.C. Carvalho, Nonlocal Exchange coefficients for the convective boundary-layer derived from spectral properties. C. Atmos. Physics, pp. 57-64, (1997).
- [5] S.R. Hanna, Confidence limit for air quality models as estimated by bootstrap and jackknife resampling methods. Atmos. Environ., vol. 28, pp. 1385-1395, (1989).
- [6] D.M. Moreira, M.T. Vilhena, D. Buske, T. Tirabassi, The state-of art of the GILTT method to simulate pollutant dispersion in the atmosphere. Atmos. Research, vol. 92, pp. 1-17, (2009).
- [7] J.C. Weil, Assessmet of plume rise and dispersion models using LIDAR data, PPSP-MP-24. Prepared by Environmental Center, Martin Marietta Corporation, for Maryland Department of Natural Resources. (1979).