

MODELO ANALÍTICO DE DISPERSÃO DE POLUENTES CONSIDERANDO O EFEITO DE ASCENSÃO DA PLUMA

RENATA CEZIMBRA¹; JULIANA CONTREIRA²; RÉGIS QUADROS³; DANIELA BUSKE⁴

¹Universidade Federal de Pelotas – UFPel – renatacezimbra@hotmail.com

²Universidade Federal de Pelotas – UFPel – julianacontreira@hotmail.com

³Universidade Federal de Pelotas – UFPel – quadros99@gmail.com

⁴Universidade Federal de Pelotas – UFPel – danielabuske@gmail.com

1. INTRODUÇÃO

Neste trabalho será apresentada uma solução analítica para a equação de advecção-difusão transiente bidimensional para modelar a dispersão de poluentes lançados na atmosfera. A solução apresentada é analítica e é obtida combinando as técnicas da Transformada de Laplace e GILTT (*Generalized Integral Laplace Transform Technique*) (MOREIRA ET AL., 2009). O efeito do empuxo sobre a pluma de poluente (BRIGGS, 1975) é considerado e são apresentadas comparações estatísticas com resultados da literatura utilizando dados do experimento de Candiota/RS. Esta usina é uma importante fonte de dióxido de enxofre (SO₂) na região.

2. METODOLOGIA

Consideramos a equação de advecção-difusão bidimensional transiente,

$$\frac{\partial C}{\partial t} + u \frac{\partial C}{\partial x} = \frac{\partial}{\partial z} \left(K_z \frac{\partial C}{\partial z} \right) \quad (1)$$

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 , e Sc é o termo fonte. A Eq. (1) esta sujeita a condição $C(x, z, t) = 0$ quanto $t = 0$; 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) e δ é a função delta de Dirac; e as condições de contorno de fluxo nulo no solo e no topo da camada limite: $K_z \frac{\partial C(x, z, t)}{\partial z} = 0$ em $z = 0, h$.

A solução da equação de advecção-difusão (1) é obtida utilizando as técnicas da transformada de Laplace e GILTT (MOREIRA ET AL., 2009). Primeiramente a técnica da transformada de Laplace é aplicada na variável temporal transformando o problema transiente em estacionário que é resolvido pela GILTT. Esta combina uma expansão em série com uma integração. Na expansão, é usada uma base trigonométrica determinada com o auxílio de um problema associado de Sturm-Liouville, cujas condições de contorno são as mesmas do problema original. A integração é feita em todo o intervalo da variável transformada, fazendo proveito da propriedade de ortogonalidade da base usada na expansão. A solução do sistema EDO resultante da aplicação da GILTT é feita

analiticamente via transformada de Laplace e diagonalização. A derivação da solução do problema estacionário é analítica exceto pelo erro de truncamento. Finalmente, a solução do problema é obtida pela transformada inversa de Laplace utilizando o método da Quadratura Gaussiana.

3. ASCENSÃO DA PLUMA

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 (ARYA, 1999).

Em casos de convecção forte ($h/|L| > 10$), a pluma terá uma ascensão final dada por

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

sendo F um parâmetro de flutuabilidade 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 (BRIGGS, 1975).

Para condições moderadamente convectivas a ascensão da pluma é dada como

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

que pode ser resolvida iterativamente, onde $w_d = 0.4w_*$ é a velocidade média dos *downdrafts* (correntes de ar descendentes).

Para condições de estabilidade neutra a seguinte expressão para ΔH :

$$\Delta H = 1.3 \frac{F}{\bar{u}u_*^2} \left(1 + \frac{H_s}{\Delta H} \right)^{2/3} \quad (4)$$

Weil (1979) sugere que uma pluma tem a seguinte restrição para sua ascensão:

$$\Delta H = 0.62(h - H_s) \quad (5)$$

Considerado o que foi exposto acima, Briggs (1975) sugere que o valor final de ΔH deve ser o valor mínimo obtido com as equações (2)-(5). 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.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

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, cunhada como GILTTG). Nas simulações foi utilizado um perfil de vento potência e coeficiente de difusão definido em Degrazia et. al. (1997).

A tabela 1 mostra os resultados estatísticos (HANNA, 1989) da comparação da solução com alguns valores do experimento de Candiota apresentados em Arbage et al. (2006). 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 preditas apresentam valores maiores que as observadas. O modelo também apresentou fator de dois (FA2) de 60%.

Para a obtenção dos resultados numéricos utilizou-se a linguagem de programação Fortran 90.

Tabela 1: Dados estatísticos obtidos pelo modelo GILTTG.

	NMSE	COR	FA2	FB	FS
GILTTG sem ascensão da pluma	5.36	.57	0.4	1.3	1.6
GILTTG com ascensão da pluma	1.07	.83	0.6	0.4	1.2

5. CONCLUSÕES

Neste trabalho foi apresentado um modelo analítico que inclui o efeito de ascensão da pluma na modelagem da dispersão de poluentes atmosféricos. O modelo foi aplicado em uma simulação do campo de concentração de poluentes na região de Candiota/RS. Nosso próximo objetivo será o de ampliar esta aplicação, utilizando mais dados do sitio de Candiota, bem como incluir outros fenômenos físicos no modelo como, por exemplo, a deposição seca do poluente no solo.

Agradecimentos: Os autores agradecem ao apoio financeiro recebido pela FAPERGS.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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