

Simulação da Dispersão de Poluentes na Atmosfera com Deposição Seca no Solo

Juliana Contreira^{1,*} Daniela Buske² Régis Quadros² Glênio Gonçalves²

¹Graduanda em Engenharia Civil, UFPel

² Depto de Matemática e Estatística, IFM, UFPel
96010-610, Pelotas, RS

E-mail: julianacontreira@hotmail.com, daniela.buske@ufpel.edu.br,
regis.quadros@ufpel.edu.br, gleniogoncalves@yahoo.com.br

RESUMO

Este trabalho apresenta uma solução analítica para a equação de advecção-difusão-deposição bidimensional, considerando a deposição seca no solo. Esta solução é utilizada para simular a dispersão de poluentes na baixa atmosfera e, não tem nenhuma limitação quanto ao coeficiente de difusão turbulenta e perfil de vento dependentes da altura. Para a obtenção dos campos de concentração, são utilizados os dados do experimento difusivo realizado em Hanford (1983).

Considera-se a equação de advecção-difusão-deposição bidimensional transiente com deposição seca no solo, escrita na seguinte forma [4][5]:

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

onde x é a direção do vento médio, c é a concentração integrada em y (g/m^2), u é o vento médio, K_z é o coeficiente de difusão turbulento dependente da altura z . A Eq. (1) está as seguintes condições de contorno, de fonte e inicial:

$$K_z \frac{\partial c(x, h, t)}{\partial z} = 0 \quad \text{em } z = h \quad (1a)$$

$$K_z \frac{\partial c(x, z_0, t)}{\partial z} = V_d c \quad \text{em } z = z_0 \quad (1b)$$

$$uc(0, z, t) = Q\delta(z - H_s) \quad \text{em } x = 0 \quad (1c)$$

$$c(x, z, 0) = 0 \quad \text{quando } t = 0 \quad (1d)$$

onde V_d é a velocidade de deposição no nível do solo, Q é a taxa de emissão do poluente, H_s é a altura da fonte, δ é a função delta de Dirac, z_0 é a rugosidade do terreno e h é a altura da camada limite atmosférica.

O problema proposto foi resolvido com o uso das técnicas da transformada de Laplace e GILTT (*Generalized Integral Laplace Transform Technique*) [4][5]. A concentração do poluente é expandida em função de uma base de autofunções, advinda de um problema de Sturm-Liouville, na seguinte forma:

$$c(x, z, r) = \sum_{n=0}^{\infty} c_n(x, r) \psi_n(z) \quad (2)$$

onde $\psi_n(z)$ é a autofunção $\psi_n(z) = \cos \lambda_n(z - h)$ e λ_n é o autovalor obtido ao se resolver a equação transcendental $V_d/K_z = \lambda_n \tan(\lambda_n(h - z_0))$. Uma vez encontrados os valores de $C_n(x, r)$ o problema estará solucionado.

Substituindo a Eq. (2) no problema original, aplicando o operador integral $\int_0^h (\cdot) \psi_m dz$ onde ψ_m é uma função ortogonal à ψ_n , a equação resultante reescrita em notação matricial é dada por:

$$Y'(x, r) + F.Y(x, r) = 0 \quad (3)$$

A matriz F é dada por $F = A^{-1}B$, onde os termos de A e B são definidos como:

$$a_{nm} = \left\{ \int u \psi_n \psi_m dz \right\} \text{ e } b_{nm} = \left\{ - \int K'_z \psi'_n \psi_m dz + \lambda_n^2 \int K_z \psi_n \psi_m dz + r \int \psi_n \psi_m dz \right\}$$

O problema transformado (3) é resolvido aplicando a transformada de Laplace na variável x e diagonalização da matriz F . Finalmente, aplicando a transformada inversa de Laplace no tempo teremos a solução do problema transiente totalmente determinada. Esta é obtida numericamente pelo método de inversão numérica da quadratura Gaussiana:

$$c(x, z, t) = \sum_{k=1}^M \frac{P_k}{t} A_k \sum_{n=0}^N c_n \left(x, \frac{P_k}{t} \right) \psi_n(z) \quad (4)$$

onde A_k e P_k são os pesos e raízes da quadratura.

Uma vez obtida a solução, é necessário selecionar o perfil de vento e o coeficiente de difusão vertical. A partir de um ponto de vista físico, uma parametrização da turbulência é uma aproximação da natureza no sentido que os modelos matemáticos recebem uma relação aproximada

* Bolsista de Iniciação Científica PIBIC/CNPq

que substitui um termo desconhecido. O coeficiente de difusão turbulenta usado é dado por Degrazia et. al. [2], sendo este um coeficiente que leva em conta a turbulência do fenômeno de uma forma mais completa do que o utilizado em [5][1]. O perfil de vento utilizado é descrito por uma lei de potencia. Como um exemplo de aplicação da solução obtida, utilizou-se o conjunto de dados do experimento difusivo de Hanford [3].

Na figura 1 é apresentado o gráfico de espalhamento entre os dados medidos experimentalmente e os preditos pela GILTT ao nível do solo para os diferentes perfis de vento. O modelo foi avaliado com a razão C_d/C_{nd} , onde C_d e C_{nd} são as concentrações do Z_nS e SF_6 medidas a 1,5m acima do solo (índice d significa *deposita* e índice nd significa *não-deposita*). Podemos observar uma boa concordância entre os resultados obtidos pela GILTT e os dados experimentais. Os resultados obtidos apresentam uma melhora estatística em relação aos obtidos em [5], mostrando que a escolha do coeficiente de difusão turbulenta foi mais adequada.

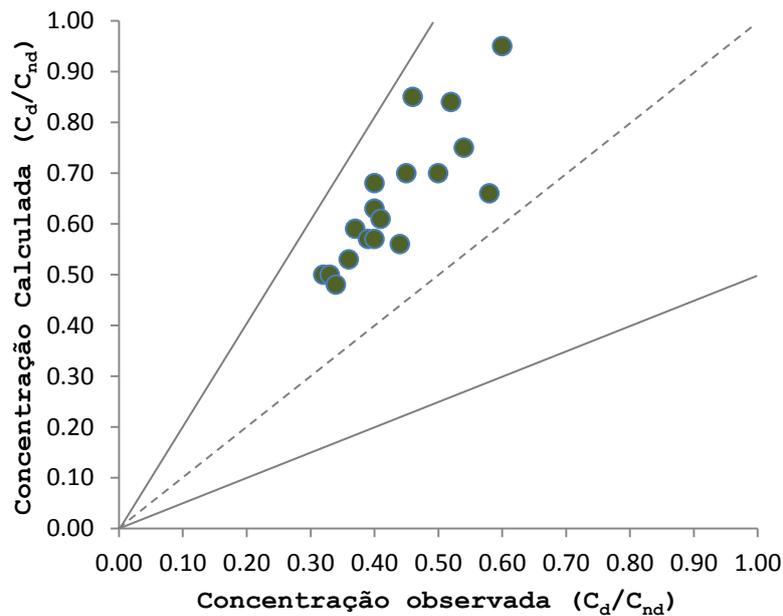


Figura 1: Diagrama de espalhamento dos dados preditos (C_p) pela GILTT em comparação com os dados observados (C_o) experimentalmente. Dados entre as linhas cheias estão dentro do fator de dois ($0,5 \leq \frac{C_p}{C_o} \leq 2$).

Palavras-chave: *solução analítica, equação de advecção-difusão-deposição, método espectral*

Referências

- [1]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).
- [2]G. A. Degrazia, D. Anfonssi, J.C. Carvalho, C.Mangia, T. Tirabassi, H.F.Campos Velho, Turbulence parametrisation for PBL dispersion models in all stability conditions, *Atmos. Environ.*, vol. 30, pp. 3575-3583. (2000).
- [3]J.C. Doran, O.B. Abbey, J.W. Buck, D.W. Glover, T.W. Horst, *Field validation of Exposure Assessment Models*. Data Environmental Science Research Lab, Res. Triangle Park: NC. (1984).
- [4]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).
- [5]D.A. Schuch, G.J. Weymar, I. Furtado, R.S. Quadros, D. Buske, Simulação da dispersão de poluentes na camada limite atmosférica incluindo o efeito de deposição seca no solo. *Ciencia e Natura* (2011).