

# Simulação da dispersão de poluentes na camada limite atmosférica incluindo o efeito da deposição seca no solo

Daniel A. Schuch<sup>1</sup>, Guilherme J. Weymar<sup>2</sup>, Igor C. Furtado<sup>2</sup>,  
Régis S. Quadros<sup>3</sup>, Daniela Buske<sup>1,2,3</sup>

<sup>1</sup>UFPel, Programa de Pós-Graduação em Meteorologia

<sup>2</sup>UFRGS, Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica

<sup>3</sup>UFPel, Departamento de Matemática e Estatística

e-mail: quadros99@gmail.com

## 1. Introdução

Este trabalho apresenta uma solução analítica para a equação de advecção-difusão bidimensional considerando a deposição seca no solo. A resolução analítica do problema será com o uso das técnicas da Transformada de Laplace e GILTT (*Generalized Integral Laplace Transform Technique*) [1]. Esta solução é aplicada na simulação da dispersão de poluentes na camada limite atmosférica (CLA). Para a obtenção dos campos de concentração, são utilizados os dados do experimento difusivo realizado em Hanford (1983). Resultados numéricos e comparações estatísticas são apresentados.

## 2. Metodologia

Consideremos a equação de advecção-difusão bidimensional transiente com deposição seca no solo, válida para qualquer coeficiente de difusão turbulenta e perfil de vento variável com a altura, escrita na seguinte forma:

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

onde  $x$  é a direção do vento médio,  $c$  é a concentração integrada em  $y$  ( $\text{g}/\text{m}^2$ ),  $\bar{u}$  é o vento médio,  $K_z$  é o coeficiente de difusão turbulento dependente da altura  $z$ . A Eq. (1) está sujeita a condição inicial nula e às seguintes condições de contorno:

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

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

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

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,  $\delta$  é a função delta de Dirac,  $z_0$  é a rugosidade e  $h$  é a altura da CLA.

Aplicando a transformada de Laplace a Eq. (1) é reescrita como

$$u \frac{\partial c(x, z, r)}{\partial x} = \frac{\partial}{\partial z} \left( K_z \frac{\partial c(x, z, r)}{\partial z} \right) - rc(x, z, r) \quad (2)$$

O problema (2) é resolvido com o uso da técnica GILTT seguindo o procedimento adotado em [1]. Expandindo a concentração do poluente na série:

$$c(x, z, r) = \sum_{n=0}^{\infty} c_n(x, r) \psi_n(z) \quad (3)$$

onde  $\psi_n(z) = \cos(\lambda_n(z - h))$  são as autofunções do problema de Sturm-Liouville associado ao problema original e os autovalores  $\lambda_n$  são solução

da equação transcendental  $\frac{V_d}{K_z} = \lambda_n \tan(\lambda_n(h - z_0))$ . Substituindo a Eq. (3)

na Eq. (2) e tomando momentos obtemos um sistema de equações diferenciais ordinárias que é resolvido analiticamente pela técnica da transformada de Laplace sem qualquer aproximação ao longo de sua derivação. Finalmente, a concentração dependente do tempo é obtida invertendo numericamente a concentração transformada  $c(x, z, r)$  pelo método da quadratura de Gauss-Legendre:

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

sendo  $A_k$  e  $P_k$  os pesos e as raízes da quadratura.

### 3. Resultados e conclusões

De modo a apresentar um exemplo de aplicação da solução obtida o conjunto de dados do experimento difusivo de Hanford [2], os perfis de vento descritos pela lei da potência e por relações de similaridade e o coeficiente de difusão descrito em [3] foram utilizados. 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*). Na Tabela 1 são apresentados os resultados estatísticos. Podemos observar uma boa concordância entre os resultados obtidos pela GILTT e os dados experimentais.

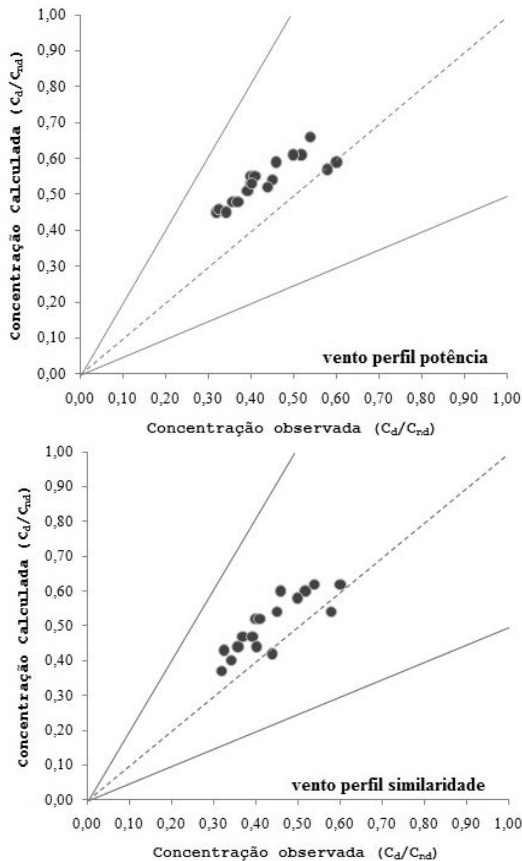


Figura 1. Diagrama de espalhamento dos dados preditos pela GILTT em comparação com os dados observados experimentalmente. Dados entre as linhas cheias estão no critério do fator de dois

**Tabela 1.** Dados estatísticos obtidos pelo modelo GILTT.

	NMSE	COR	FA2	FB	FS
GILTT potência	.05	.86	1.00	-.21	-.34
GILTT similaridade	.03	.83	1.00	-.15	.06

## Referências

- [1] 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.
- [2] Doran, J.C., Abbey, O.B., Buck, J.W., Glover, D.W., Horst, T.W., 1984. *Field validation of Exposure Assessment Models*. Data Environmental Science Research Lab, Res. Triangle Park: NC.
- [3] 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*, 57-64.