

## SIMULAÇÃO DA DISPERSÃO DE POLUENTES EM UMA CAMADA LIMITE ESTÁVEL USANDO OS DADOS DO EXPERIMENTO DE MINESSOTA

JARDEL MOREIRA DYLEWSKI<sup>1</sup>; RENATA KLEIN MORAES<sup>2</sup>; RÉGIS SPEROTTO DE QUADROS<sup>2</sup>; DANIELA BUSKE<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal de Pelotas – jardeldylewski@hotmail.com

<sup>2</sup>Universidade Federal de Pelotas – srtklein@gmail.com

<sup>2</sup>Universidade Federal de Pelotas – quadros99@gmail.com

<sup>3</sup>Universidade Federal de Pelotas – danielabuske@gmail.com

### 1. INTRODUÇÃO

A qualidade do ar das cidades é fator fundamental para a qualidade de vida da população e do meio ambiente. Partindo da necessidade de desenvolver ferramentas numéricas que calculem o nível de concentração de substâncias nocivas a saúde e ao bem-estar das pessoas, bem como da natureza, vários grupos de pesquisa vem trabalhando na modelagem do fenômeno atmosférico e na sua simulação computacional. A partir do nível de concentração de um certo poluente, próximo à fonte, podemos avaliar o impacto ambiental causado e tentar encontrar maneiras de solucionar o problema de forma mais conveniente possível.

Segundo Buske et al. (2005), a equação de advecção-difusão tem sido muito utilizada para descrever o transporte e a dispersão de poluentes na atmosfera. Esta equação pode ser resolvida numericamente, porém os métodos analíticos são sempre preferidos, pois os parâmetros do problema aparecem explicitamente na solução, de forma que sua influência pode ser facilmente investigada.

Portanto, a proposta deste trabalho é obter a solução da equação de advecção-difusão unidimensional transitória através do método analítico GILTT (*Generalized Integral Laplace Transform Technique*). Assim, é possível reproduzir o campo de concentração superficial de poluentes liberados por uma fonte área na Camada Limite Estável (CLE) utilizando os dados experimentais de Minessota (<http://www.jsirwin.com>).

### 2. METODOLOGIA

A integração lateral da equação de advecção-difusão é dada por:

$$\frac{\partial \bar{c}(z,t)}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left( K_z(z) \frac{\partial \bar{c}(z,t)}{\partial z} \right) \quad (1)$$

onde  $\bar{c}(z,t)$  é a concentração integrada lateralmente em  $y$ . A equação (1) está sujeita às condições de contorno de fluxo nulo no solo ( $z=0$ ) e no topo da CLE ( $z=h$ ), e uma condição de fonte com taxa de emissão  $Q$  na altura  $H_s$ :

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

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

onde  $K_z$  é o coeficiente de difusão vertical.

A solução do problema difusivo-advectivo dado em (1), é obtida via GILTT que é um método totalmente analítico. Esta técnica compreende os seguintes passos: solução de um problema associado de Sturm-Liouville, expansão da concentração de poluentes em uma série em termos das autofunções, substituição desta expansão na equação de advecção-difusão e finalmente usar

as propriedades de ortogonalidade das autofunções e integrar em todo o domínio. Esse procedimento nos leva a um conjunto de equações diferenciais ordinárias chamadas de problema transformado. Esse problema é resolvido pela técnica da Transformada de Laplace e diagonalização (WORTMANN et al., 2005; MOREIRA et al., 2009).

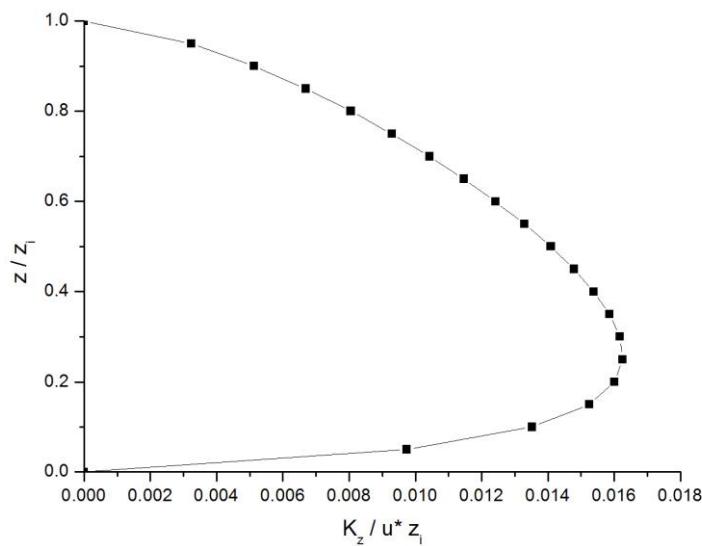
### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para avaliar a performance do modelo utilizou-se dados observados do experimento de Minessota. As medidas realizadas logo após o pôr-do-sol em Minessota, quando processos evolutivos não estacionários na transição ainda estavam presentes, sugerem os valores de  $\alpha_1 = 2$  e  $\alpha_2 = 3$ , onde  $\alpha_1$  e  $\alpha_2$  são constantes que dependem do estado de desenvolvimento temporal, da inclinação do terreno, da baroclinidade e de outros fatores que influenciam a estrutura da CLE.

O coeficiente de difusão turbulenta vertical utilizado, derivado da teoria de similaridade local e da teoria da difusão estatística, pode ser escrito como (DEGRAZIA e MORAES, 1992):

$$\frac{K_z}{u_* h} = \frac{0.33 \left(1 - \frac{z}{z_i}\right)^{\frac{\alpha_1}{\alpha_2}} \left(\frac{z}{z_i}\right)}{1 + 3.7 \left(\frac{z}{z_i}\right) \left(\frac{z_i}{\Lambda}\right)} \quad (3)$$

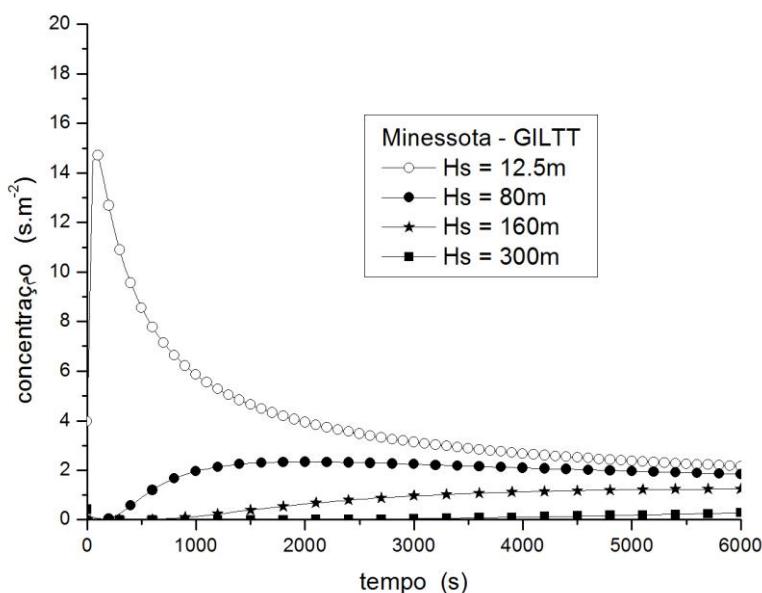
onde  $\Lambda$  é o comprimento de Monin-Obukhov local e  $u_*$  é a velocidade de fricção. Na Figura 1 podemos ver o perfil do coeficiente de difusão utilizado. Para as simulações foram utilizados os seguintes parâmetros experimentais:  $\Lambda = 116\text{m}$ ,  $Q = 400\text{g/m}^2$ ,  $h = 400\text{m}$  e  $u_* = 0.31\text{m/s}$ .



**Figura 1:** Perfil do coeficiente de difusão turbulenta considerando o experimento de Minessota.

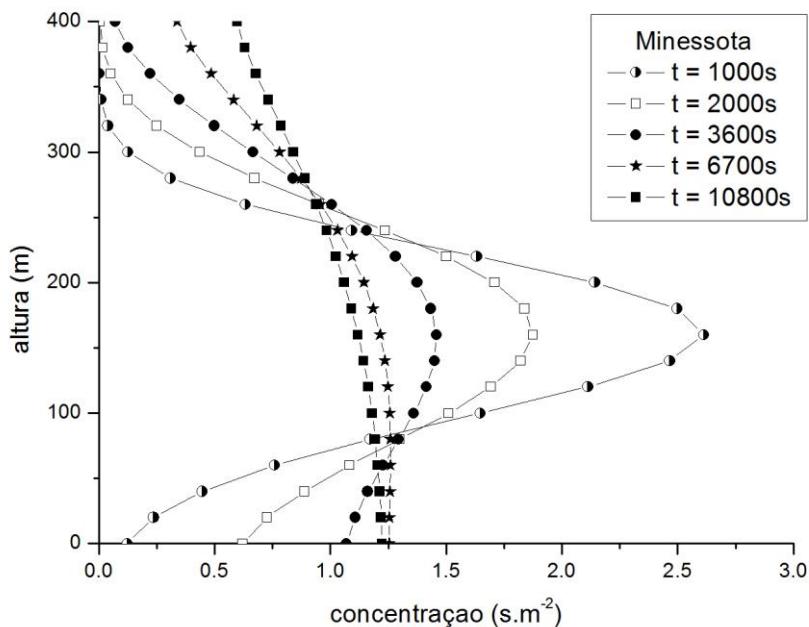
Os gráficos de concentração em  $z = 0$ , em função do tempo para os experimentos de Minessota são apresentados na Figura 2. Foram utilizadas quatro alturas de fonte ( $H_s = 12.5, 80, 160$  e  $300\text{ m}$ ). Para a altura  $H_s = 12.5\text{m}$  verifica-se que o gráfico possui um pico acentuado na área próxima à fonte. Com

o crescimento da altura da fonte observa-se um decréscimo do pico de forma praticamente idêntica em todas as alturas.



**Figura 2:** Concentração superficial ( $z = 0$ ) em função do tempo para o experimento de Minessota para várias alturas de fonte.

Os gráficos da altura da fonte versus a concentração de poluentes no solo (em  $z = 0$ ), para diversos tempos, são apresentados na Figura 3. Foram utilizadas cinco tempos ( $t = 1000, 2000, 3600, 6700$  e  $10800s$ ). Observa-se que com o aumento do tempo a concentração de poluentes se torna homogênea.



**Figura 3:** Altura da camada limite em função da concentração superficial ( $z = 0$ ) para vários tempos considerando o experimento de Minessota.

## 4. CONCLUSÕES

Neste trabalho obtivemos a solução da equação de advecção-difusão unidimensional transitória. Solução esta, obtida de forma analítica pelo método GILTT. Esta solução foi aplicada a problemas de dispersão de poluentes atmosféricos e foram utilizados os dados experimentais obtidos em Minnesota para a Camada Limite Estável, sendo verificados resultados da concentração em função do tempo.

Para entender melhor a importância da pesquisa em métodos de soluções analíticas da equação de advecção-difusão unidimensional dependente do tempo, com o propósito de simular a dispersão de poluentes na CLE, deve-se ter em mente as possíveis fontes de erro na simulação numérica da concentração. A equação de advecção-difusão aqui resolvida é uma descrição matemática dos fenômenos físicos da dispersão dos poluentes na atmosfera, supondo fechamento de primeira ordem, velocidade do vento e coeficiente de difusão vertical. Além das incertezas e também da compreensão incompleta dos fenômenos da turbulência, deve ser avaliado o erro inherente do método matemático adotado na solução da equação. Tendo em vista a exatidão da solução analítica proposta pelo método GILTT neste trabalho, a qual está livre de erro (exceto pelo erro de truncamento), pode ser dito que o mesmo fica restrito às incertezas impostas ao modelo.

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

## 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BUSKE, D.; COSTA, C. P. ; MOREIRA, D. M. ; VILHENA, M. T. . Simulação da dispersão de poluentes na camada limite estável usando os métodos GILTT e ADMM. In: **IX CONGRESSO DE METEOROLOGIA**, 2005, Buenos Aires (Argentina). **IX CONGREMET**, 2005.
- DEGRAZIA, G.A. AND MORAES, O.L.L., 1992. **A model for eddy diffusivity in a stable boundary layer**. Bound. Layer Meteor. 58, 205-214.
- 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. Atmospheric Research 92, 1-17.
- WORTMANN, S.; VILHENA, M.T.; MOREIRA, D.M.; BUSKE, D., 2005. **A new analytical approach to simulate the pollutant dispersion in the PBL**. Atmos. Environ. 39, 2187-2194.