

ESTUDO DO COMPRIMENTO ADIMENSIONAL ATRAVÉS DO CAMPO DE CONCENTRAÇÃO DE CONTAMINANTES

JOSIANE KONRADT¹; IGOR DA CUNHA
FURTADO²; DANIELA BUSKE³; RÉGIS SPEROTTO DE QUADROS⁴;
GUILHERME JAHNECKE WEYMAR⁵

¹Universidade Federal de Pelotas – josianekonradt@gmail.com

²Instituto Federal Sul-rio-grandense – igorjara@gmail.com

³Universidade Federal de Pelotas – danielabuske@gmail.com

⁴Universidade Federal de Pelotas – quadros99@gmail.com

⁵Universidade Federal de Pelotas – guilhermejahnecke@gmail.com

1. INTRODUÇÃO

O aterro sanitário é o local correto para o recebimento de resíduo sólido urbano (RSU) por ser um ambiente planejado, operado e monitorado de acordo com normas e regulamentações ambientais rigorosas, a fim de avaliar a qualidade do ar, da água e do solo ao redor do local.

No Brasil, a maior parte dos RSU coletados (61%) continua sendo encaminhada para aterros sanitários, com 46,4 milhões de toneladas enviadas para destinação ambientalmente adequada em 2022 (ABRELPE, 2022).

O presente trabalho possui como propósito apresentar a solução de um modelo bidimensional do transporte de contaminantes num aterro sanitário e através de simulações observar a importância e a influência do parâmetro físico comprimento adimensional no estudo considerado. Para isso será utilizada a forma adimensional do modelo de dispersão de efluentes no meio poroso, considerando o vazamento contínuo e uniforme de poluente de uma célula de armazenamento de RSU.

Para a resolução do modelo será utilizada a técnica *Generalized Integral Laplace Transform Technique* (GILTT) que combina a expansão do contaminante em uma série em termos das autofunções determinadas com o apoio de um problema auxiliar de Sturm-Liouville e a obtenção de uma equação diferencial ordinária (EDO) na forma matricial, que é resolvida pela transformada de Laplace (BUSKE, 2008), obtendo assim a solução da forma analítica do modelo transiente de transporte de massa num meio poroso saturado.

2. METODOLOGIA

A Eq. (1), escrita na forma adimensional, encontrada no trabalho de ALBUQUERQUE (2018), descreve o transporte de poluentes no meio poroso saturado, sendo que este processo ocorre sob um aterro sanitário, onde são descartados RSU:

$$R \frac{\partial C}{\partial \tau} = L^* \frac{\partial^2 C}{\partial X^2} + \frac{\partial^2 C}{\partial Y^2} - Pe \frac{\partial C}{\partial Y}, \quad (1)$$

onde R representa o fator de retardamento do solo, C é a concentração do contaminante na fase líquida, τ representa ao tempo e Pe é o número de Péclet. Neste trabalho, destaca-se a importância do parâmetro L^* , sendo a relação entre as dimensões em X e Y do problema, ou seja:

$$L^* = \left(\frac{L_1}{L_2} \right)^2, \quad (2)$$

que pode ser melhor compreendido através da Figura 1:

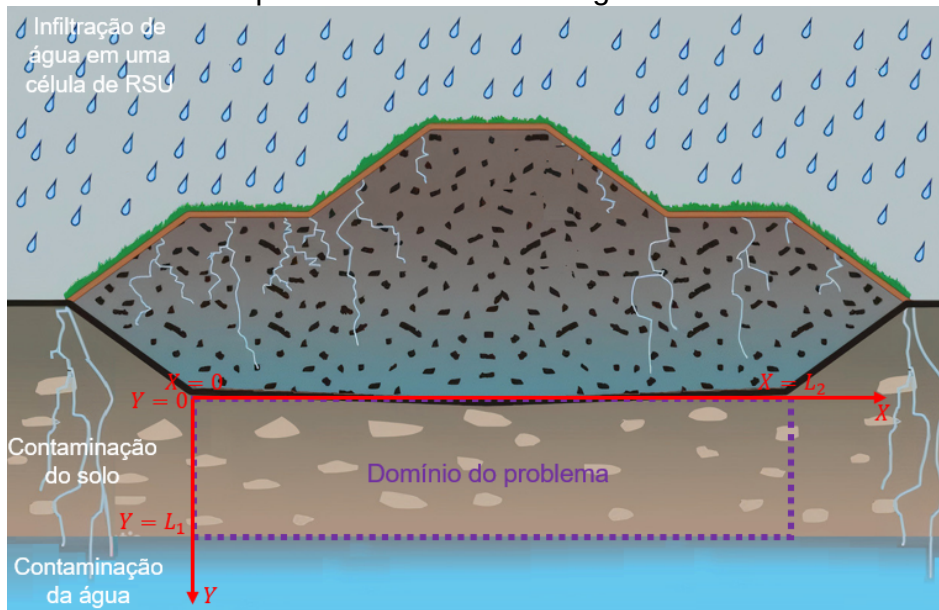


Figura 1. Corte da seção de um aterro sanitário.

Fonte: adaptado de CONDER (2017).

A condição inicial do problema é dada por:

$$C(X, Y, 0) = C_0, \quad (3)$$

onde C_0 é a concentração inicial do contaminante na célula de armazenamento de RSU.

As condições de contorno na forma adimensional e na direção X são dadas por:

$$\frac{\partial C}{\partial X}(0, Y, \tau) = 0, \quad \frac{\partial C}{\partial X}(1, Y, \tau) = 0, \quad (4)$$

onde são utilizadas condições de fluxo nulo nas fronteiras do domínio em X .

As condições de contorno na direção Y são dadas por:

$$C(X, 0, \tau) = 1, \quad (5)$$

sendo esta condição de interface que corresponde ao vazamento contínuo e uniforme de chorume em uma célula de RSU, além de:

$$\frac{\partial C}{\partial Y}(X, 1, \tau) + BiC(X, 1, \tau) = 0, \quad (6)$$

onde Bi é o número de Biot e esta condição representa o fluxo convectivo situada na parte de contato entre o solo e o lençol freático.

Utilizando a técnica GILTT para obter a solução da forma analítica do modelo bidimensional de transporte de massa num meio poroso saturado, obtém-se:

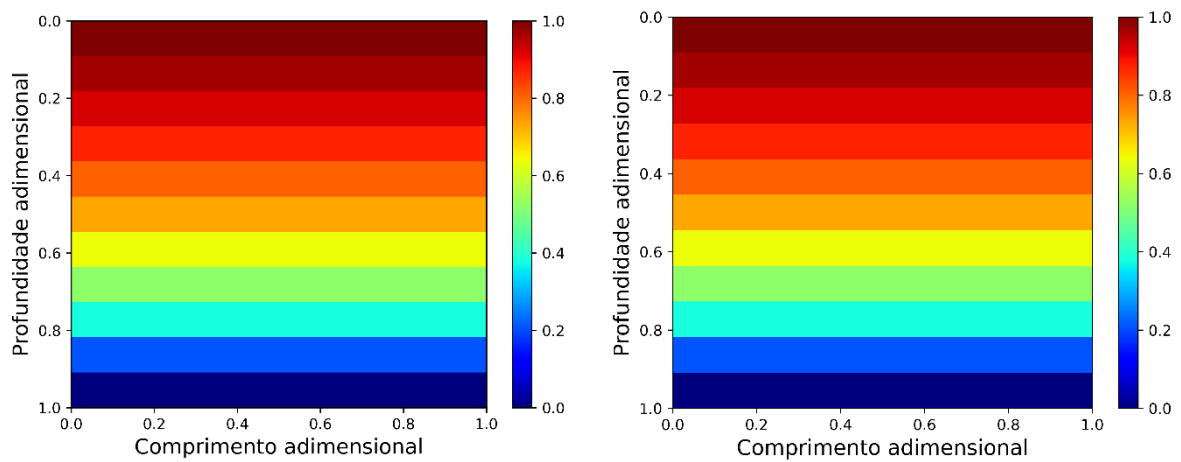
$$C(X, Y, \tau) = \sum_{n=0}^N \varphi_n(X) \left[\sum_{k=0}^K \psi_k(Y) \tilde{C}_k(\tau) \right] + C_E(Y), \quad (7)$$

onde $\varphi_n(X) = \cos\left(\frac{\lambda_n}{\sqrt{L^*}} X\right)$, $\psi_k(Y) = \sin(\beta_k Y)$, $\tilde{C}_k(\tau)$ é definida por $Z(\tau) = X \cdot G(\tau) \cdot X^{-1} \cdot Z(0)$, a qual faz parte de uma série em termo das autofunções e $C_E(Y)$ é a solução para o problema no estado estacionário, dada por $C_E(Y) = \frac{e^{Pe(Pe+Bi)} - Bi e^{PeY}}{e^{Pe(Pe+Bi)} - Bi}$.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir da solução encontrada, foram realizadas simulações para verificar a influência do comprimento adimensional no campo de concentração de

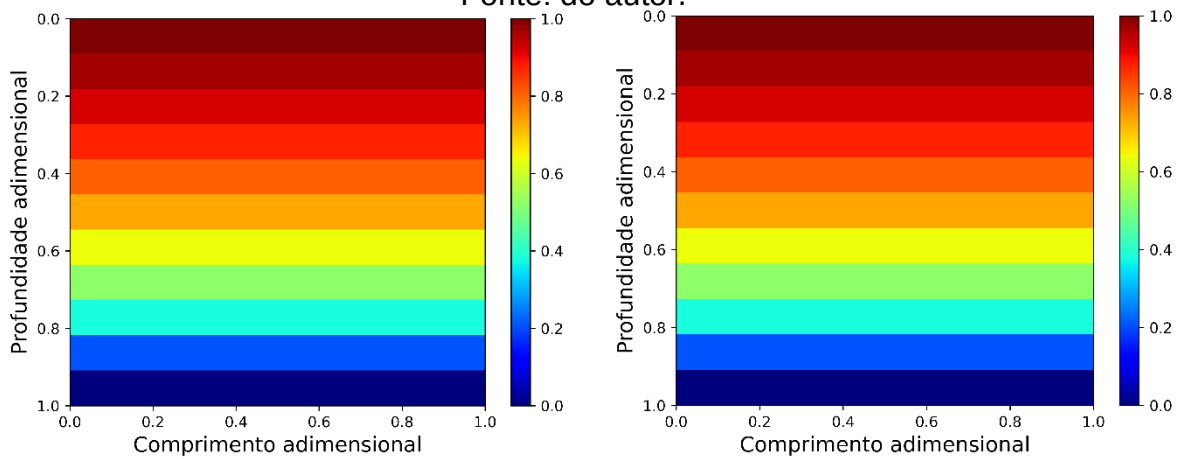
contaminantes em um meio poroso saturado. Os resultados foram obtidos através do software *Google Colaboratory* em linguagem Python, sendo utilizado $Bi = 2000$.



a) $L^* = 0,25$, $Pe = 2$, $R = 1$ e $\tau = 0,25$ b) $L^* = 1$, $Pe = 2$, $R = 1$ e $\tau = 0,25$

Figura 2. Distribuição da concentração adimensional do poluente.

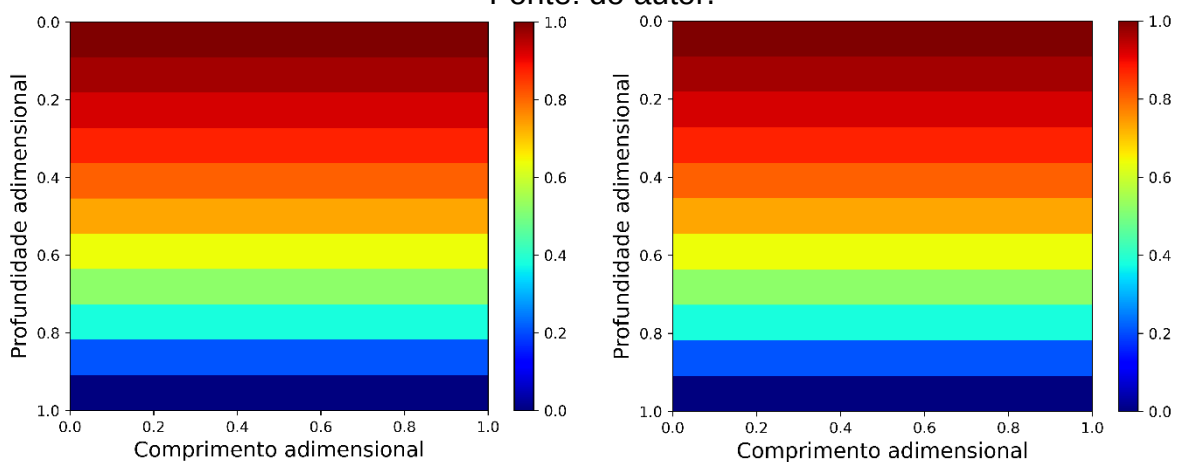
Fonte: do autor.



a) $L^* = 10$, $Pe = 2$, $R = 1$ e $\tau = 0,25$ b) $L^* = 100$, $Pe = 2$, $R = 1$ e $\tau = 0,25$

Figura 3. Distribuição da concentração adimensional do poluente.

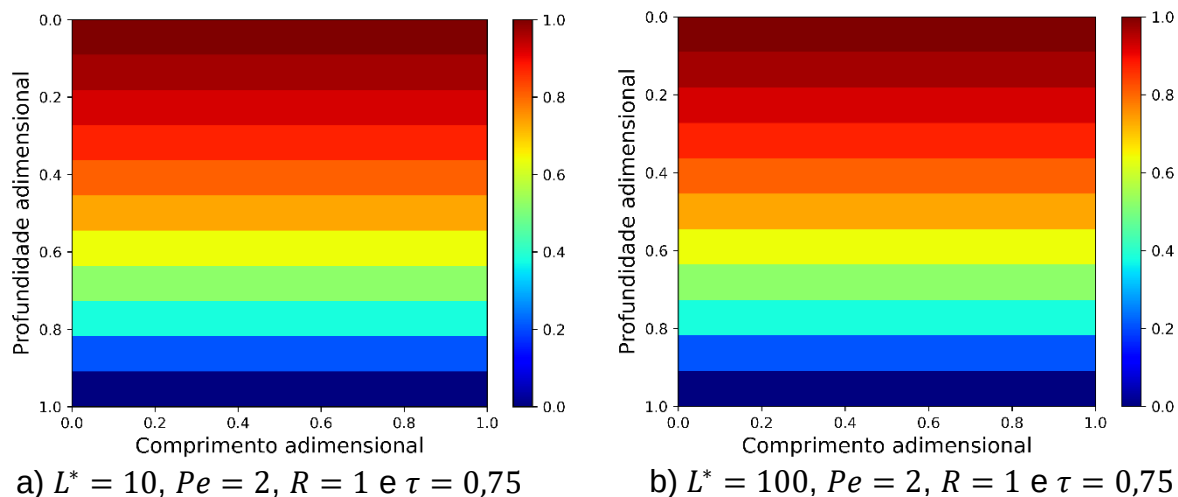
Fonte: do autor.



a) $L^* = 0,25$, $Pe = 2$, $R = 1$ e $\tau = 0,75$ b) $L^* = 1$, $Pe = 2$, $R = 1$ e $\tau = 0,75$

Figura 4. Distribuição da concentração adimensional do poluente.

Fonte: do autor.



a) $L^* = 10$, $Pe = 2$, $R = 1$ e $\tau = 0,75$

b) $L^* = 100$, $Pe = 2$, $R = 1$ e $\tau = 0,75$

Figura 5. Distribuição da concentração adimensional do poluente.

Fonte: do autor.

Através das simulações realizadas, pode-se perceber que considerando comprimentos e tempos adimensionais distintos é possível observar que as Figuras não se modificam, o que demonstra que para os comprimentos adimensionais analisados, o campo de concentração não apresenta influência. Além disso, pode-se destacar que independente dos comprimentos adimensionais considerado os resultados dos campos de concentração também não se alteraram, o que realmente apresentam-se consistentes com a dinâmica do problema, pois em todos os casos foram utilizadas as mesmas condições, seja inicial ou de contorno, logo o perfil deve se manter, inclusive pelo fato de ter sido considerado o problema na forma adimensionalizada.

4. CONCLUSÕES

O estudo apresentado concluiu que para diferentes comprimentos adimensionais, estes não possuem influência nos campos de concentração dos contaminantes. Como próximas etapas da pesquisa pretende-se estudar a influência de outros parâmetros na propagação de contaminantes e se apresenta influência no campo de concentração.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALBUQUERQUE, F. A. **Estudo da propagação de contaminantes em aterros sanitários via GITT**. 2018. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal da Paraíba.
- Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais – ABRELPE. **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil 2022**. 2023. São Paulo. Acessado em 03 set. 2023. Disponível em: <https://encurtador.com.br/cvwJN>
- Companhia de Desenvolvimento Urbano do Estado da Bahia – CONDER. **Manual de Operação de Aterros Sanitários**. 2017. Bahia. Acessado em 07 set. 2023. Disponível em: <https://encurtador.com.br/iotIU>
- BUSKE, D. **Solução GILTT bidimensional em geometria cartesiana: Simulação da dispersão de poluentes na atmosfera**. 2008. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.