

Aplicação de Redes Neurais Artificiais Para Simulação de Fluxo e Transporte de Contaminantes Sob Incerteza de Condutividade Hidráulica

Caetano P. Costanzo¹, Alexandre Campana Vidal², Michelle Chaves Kuroda², Simony Yumi Sakamoto¹

Resumo:

A incerteza relacionada à variabilidade espacial da condutividade hidráulica (K) é um importante aspecto a ser considerado nas simulações da migração de plumas de contaminantes e, conseqüentemente no gerenciamento ambiental de áreas contaminadas. A utilização de modelos estocásticos de K em conjunto com a simulação de fluxo e o transporte de contaminantes é frequente em pesquisas para a previsão do comportamento da pluma, bem como para projetos de remediação sob a incerteza deste parâmetro hidrogeológico. No entanto, as técnicas tradicionais de modelagem de fluxo e de contaminantes, como o *MODFLOW* e o *MT3D*, baseadas no método de diferenças finitas, normalmente são lentas e exigem bastante esforço computacional. Dessa maneira, esta pesquisa aplicou redes neurais artificiais (RNA) em 100 cenários de condutividade hidráulica, realizados por métodos estocásticos, a fim de avaliar a incerteza de K na migração de uma pluma. Além disso, foi possível validar a utilização de RNA como ferramenta de decisão para a estimativa da concentração média de contaminantes nas águas subterrâneas ao longo de três anos de simulação. Com base nos resultados obtidos, foi possível avaliar possíveis técnicas de remediação para a área de pesquisa em função da migração da pluma sob a incerteza da condutividade hidráulica.

Palavras-chave: modelagem matemática, águas subterrâneas, variabilidade espacial, gerenciamento de áreas contaminadas.

Abstract:

The uncertainty related to the spatial variability of hydraulic conductivity (K) is an important aspect to be considered in simulations of contaminant plume migration and, consequently in the environmental management of contaminated areas. The use of stochastic K models with flow simulation and the transport of contaminants is frequent in researches to predict the behavior of the plume as well as to remediation projects under the uncertainty of this hydrogeological parameter. However, traditional flow modeling and contaminant techniques, such as *MODFLOW* and *MT3D*, based on the finite difference method, are usually slow and require considerable computational effort. Thus, this research applied artificial neural networks (ANNs) in 100 scenarios of hydraulic conductivity, performed by stochastic methods, in order to evaluate the uncertainty of K in the migration of the plume. In addition, it was possible to validate the use of ANNs as a decision tool for estimating the average concentration of contaminants in groundwater over three years of simulation. Based on the results obtained, it was possible to evaluate remediation techniques for the research area due to the migration of the plume under the uncertainty of the hydraulic conductivity.

VI Congresso Internacional de Meio Ambiente Subterrâneo

¹Walm Engenharia e Tecnologia Ambiental Ltda – Rua Apinagés, Nº 1.100, Cj. 609, Perdizes, São Paulo/SP, Tel: (11) 38737006-ramal 130 e 129 / caetano@walmambiental.com.br; simony@walmambiental.com.br.

²Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP – Instituto de Geociências, Departamento de Geologia e Recursos Naturais; Rua Carlos Gomes, 250, Campinas/SP, Tel: (19) 35215198 / vidal@ige.unicamp.br; mckuroda@gmail.com.

Keywords: mathematical modeling, groundwater, spatial variability, environmental management of contaminated areas.

1 Introdução

A contaminação das águas subterrâneas por meio de vazamentos, derramamentos e/ou despejos de substâncias químicas é considerada como um dos maiores desafios ambientais atualmente, sendo que a incerteza relacionada à variabilidade espacial do parâmetro condutividade hidráulica (K) é primordial para o gerenciamento ambiental de áreas impactadas (AHLFELD *et al.* 1988).

O mapeamento dos valores de K, como o estabelecimento das direções de conectividade e continuidade em um aquífero contaminado, é importante para a simulação do fluxo e transporte de contaminantes (JOURNEL e ALABERT, 1988).

Dessa forma, nas últimas décadas, como forma de otimizar a aplicação das técnicas estocásticas, o método de redes neurais artificiais (RNA) vem sendo utilizado. A adoção desta técnica para a área de hidrogeologia permitirá ampliar a velocidade da análise de dados hidrogeológicos, os quais influenciam a tomada de decisão no gerenciamento de aquíferos contaminados.

Portanto, esta pesquisa possui como objetivo principal a aplicação de redes neurais artificiais para a previsão do deslocamento de uma pluma de contaminação frente à incerteza relacionada à condutividade hidráulica (K).

2 Área de Pesquisa

A área de estudo é uma fábrica de eletrônicos situada em Jundiaí, a qual está exposta na página 420 do cadastro Áreas em Processo de Remediação no Estado de São Paulo da CETESB (2018).

3 Métodos

Foram realizadas simulações estocásticas para a geração de cem cenários com diferentes distribuições de condutividade hidráulica. A partir destes cenários de K foram realizadas quatro etapas metodológicas principais:

- (i) Simulação de fluxo e transporte de contaminantes por meio do *MODFLOW* para 30 cenários de K (cenário 1 ao cenário 30);
- (ii) Com os resultados da simulação de fluxo, a rede neural foi treinada para prever os resultados do *MODFLOW*;

- (iii) Simulação de fluxo e transporte de contaminantes por meio de redes neurais artificiais para 70 cenários de K (cenário 31 ao cenário 100) para a fase de avaliação;
- (iv) Avaliação da variabilidade da concentração de ferro em 3 anos do deslocamento da pluma para os 100 cenários modelados.

4 Resultados e Discussões

A partir do treinamento das redes neurais artificiais, 70 pontos de controle de concentração média de Fe^{+2} foram estimados, baseados no mesmo conjunto estatístico de valores de K, para os quais os valores de Fe^{+2} eram desconhecidos.

A figura 1 apresenta a correlação entre os valores médios dos cenários de condutividade hidráulica e as concentrações médias de Fe^{+2} resultantes.

Na figura 2 é possível verificar a variabilidade das concentrações médias de Fe^{+2} resultantes para os 100 cenários de condutividade gerados na pesquisa.

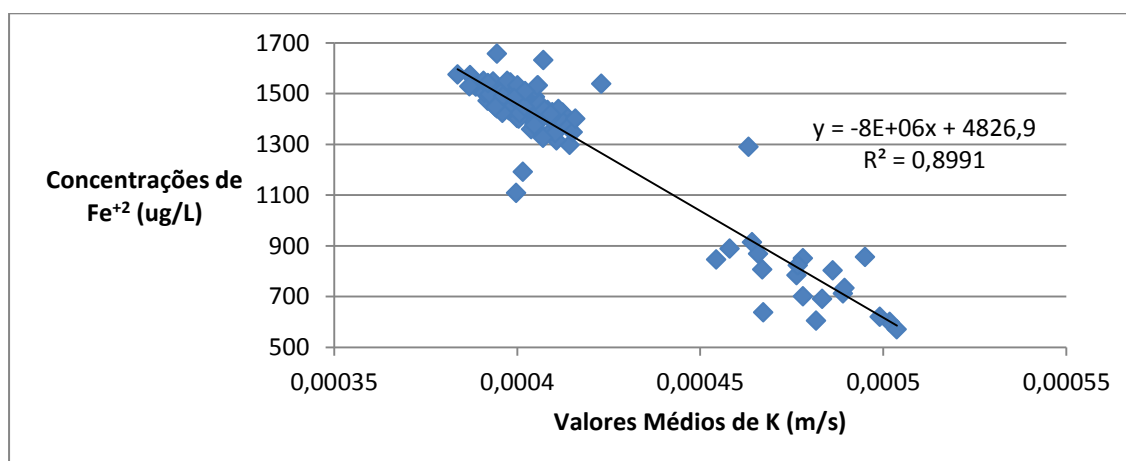


Figura 1. Correlação entre valores médios de K e concentrações de Fe^{+2} em 3 anos – 100 cenário de K.

Conforme pode ser observado na Figura 2, o grupo (i) indica a necessidade de implantação de uma contenção hidráulica à jusante da pluma para evitar o aporte de contaminação no rio Jundiaí, enquanto que o grupo (ii) indica a necessidade de uma medida de remediação com o objetivo apenas de abater a concentração do contaminante na área *in situ*, sem a obrigação de contenção da pluma, podendo ser um bombeamento e tratamento no centro de maior concentração da contaminação.

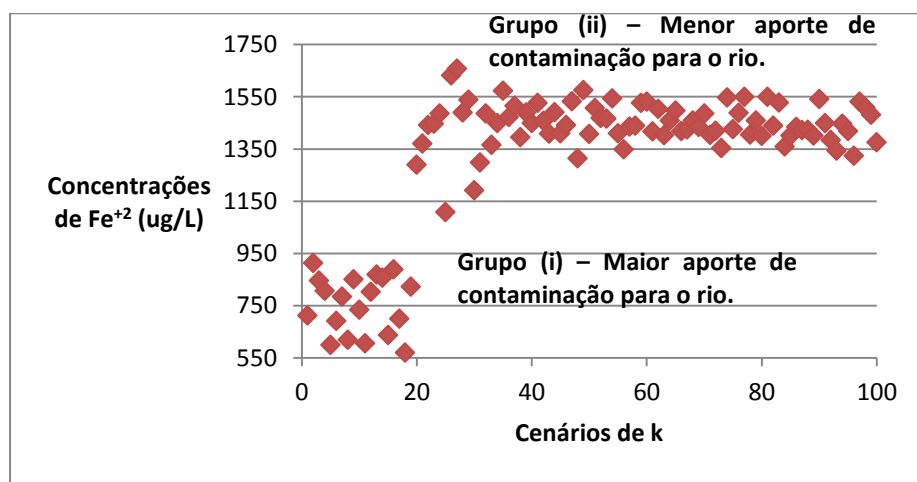


Figura 2. Variação das concentrações de Fe²⁺ estimadas em função dos 100 cenários de K.

A variabilidade na migração da pluma em função dos cenários de condutividade hidráulica é significativa podendo comprometer a tomada de decisão em relação à recuperação ambiental da área.

5 Conclusões

Os cenários simulados por RNA foram realizados em apenas 2 minutos e 20 segundos para a obtenção das concentrações médias de Fe²⁺ em 3 anos de simulação. Os resultados das concentrações do contaminante indicaram tomadas de decisões distintas para o gerenciamento ambiental do local, ratificando a importância da variabilidade de K no comportamento da migração de uma pluma de contaminação, bem como de que modo remediá-la.

A presente pesquisa abordou a utilização de RNA para a previsão da migração de pluma de contaminação, técnica esta, ainda, pouca utilizada no Brasil, tanto na academia como no mercado ambiental.

6 Referências

Ahlfeld, D.P., Mulvey, J.M., and Pinder G.F., *Contaminated Groundwater Remediation Design Using Simulation, Optimization, and Sensitivity Theory 2, Analysis of a Field Site, Water Resources Research*, Vol. 24, Nº 3, 443-452p. 1988.

Journel, A.G.; Alabert, F.G., *Focusing on spatial connectivity of extreme-valued attributes: Stochastic indicator models of reservoir heterogeneities. SPE Paper Nº 18324 presented at the 63rd Annual Technical Conference and Exhibition of the Society of Petroleum Engineers*. Houston, TX, 1988.