

MODELAGEM DE FLUXO E TRANSPORTE EM MEIO POROSO DE CONTAMINANTES ORGÂNICOS EM ÁREA DE INDÚSTRIA

Carvalho Ubirajara Hutter

Instituto SENAI de Tecnologia Ambiental. Rua Moraes e Silva, 53. Rio de Janeiro (RJ).
ucarvalho@firjan.com.br

Palavras-Chave: Contaminação; Impacto Ambiental; Água Subterrânea

INTRODUÇÃO

A maioria dos processos industriais gera durante ou ao final do seu ciclo de produção resíduos sólidos, gasosos ou líquidos, os quais se não tiverem uma correta destinação e tratamento podem gerar riscos ao meio ambiente e a saúde humana. A área de estudo do presente trabalho consiste em uma indústria do ramo farmacêutico, o qual gera durante seu processo efluente contendo compostos orgânicos, que são destinados por tubulações subterrâneas até uma estação de tratamento de efluentes industriais existente na própria indústria. Devido a infiltrações deste efluente em algumas caixas de passagens subterrâneas danificadas, as quais após este ocorrido foram todas consertadas, houve uma contaminação em solo e água subterrânea dos compostos Benzeno, Tolueno e Cloreto de Metileno.

Desta forma o estudo buscou verificar o potencial de alcance destas substâncias em meio subterrâneo, afim de identificar se podem ou não atingir áreas vulneráveis de sua vizinhança, como um rio que existe a uma distância de 220 metros. Para isto foi utilizada ferramenta de modelagem matemática, a partir do software MODFLOW. Essa modelagem de fluxo e transporte dos contaminantes considerou o cenário atual e a migração futura desses compostos no aquífero, num prognóstico de 10 anos, a partir das concentrações de 63,90 $\mu\text{g/L}$ para Benzeno, de 274000,00 $\mu\text{g/L}$ para Tolueno e 5770,00 $\mu\text{g/L}$ para Cloreto de Metileno encontradas no local (**Figura 01**), sendo o valor de referência conforme a norma federal de gerenciamento ambiental de áreas contaminadas a CONAMA 420, de 5,0 $\mu\text{g/L}$ para Benzeno, de 700,0 $\mu\text{g/L}$ para Tolueno e 20,0 $\mu\text{g/L}$ para Cloreto de Metileno.

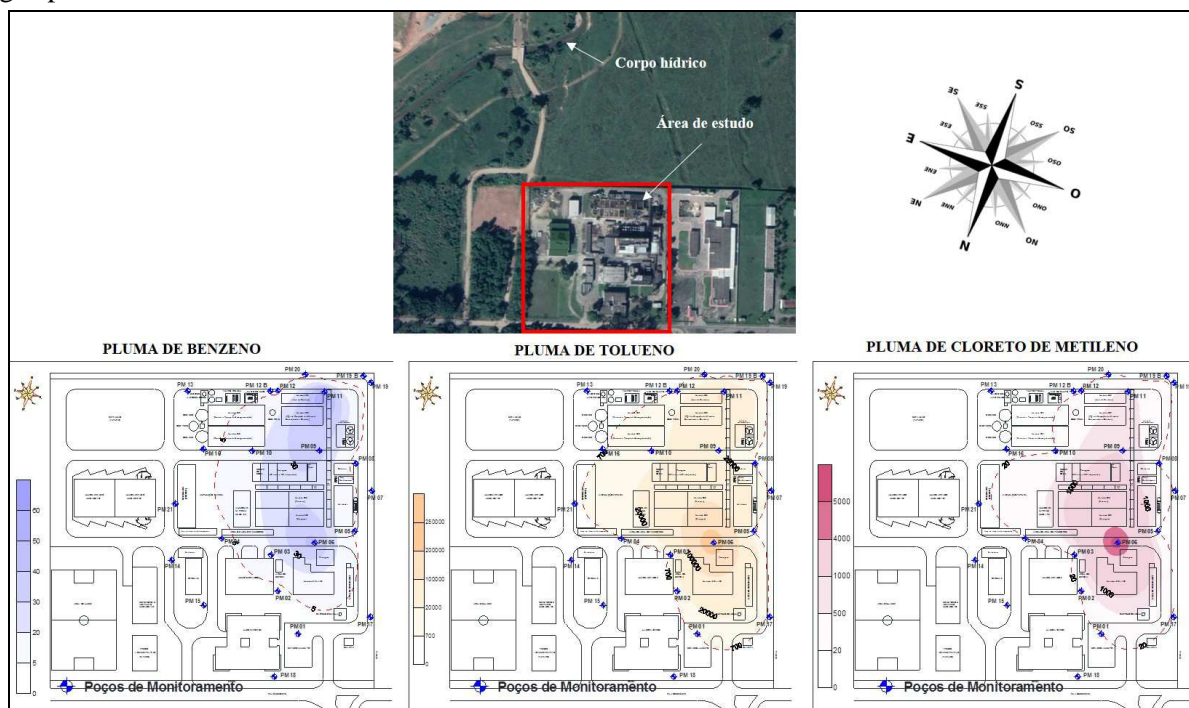


Figura 1. Plumões de contaminação de Benzeno, Tolueno e Cloreto de Metileno (IST AMBIENTAL, 2017.)

MÉTODO

Um modelo de águas subterrâneas é uma simplificação matemática dos processos naturais de fluxo e transporte de contaminantes no subsolo, segundo Wang e Anderson (1982), um modelo é uma ferramenta projetada para representar uma versão simplificada da realidade.

A construção de um modelo numérico de fluxo de água subterrânea se desenvolve através do conjunto das condições iniciais de contorno e equações diferenciais (IRITANI, 1998). Os dois métodos numéricos mais utilizados para o desenvolvimento destes modelos, são os de elementos finitos e os de diferenças finitas.

Diversos são os fenômenos que controlam o transporte de contaminantes em meios porosos, em que o contaminante consiste em uma massa de alguma substância dissolvida, se movendo no meio aquoso e nos vazios do solo (NOBRE, 1987). Os principais fenômenos de transporte de contaminantes são a advecção, difusão, dispersão e reação química. Para o desenvolvimento do modelo construído no presente estudo, foi escolhido o software MODFLOW (MCDONALD; HARBAUGH, 1988), o qual utiliza uma grade de diferenças finitas. A **Tabela 01** abaixo indica os parâmetros utilizados para gerar o modelo de fluxo e transporte do presente trabalho.

Tabela 1. Parâmetros utilizados para gerar o modelo de fluxo e de transporte.

Parâmetro	Justificativa/Finalidade	Fonte
Condutividade	Calculada a partir de teste de permeabilidade (Slug Test)	Ensaio de Campo
Coefficiente de armazenamento específico (Ss), de armazenamento (Sy)	Característica do aquífero local (granular/sedimentar)	Fetter, 2001
Porosidade efetiva (Eff. Por.)/Porosidade total (Tot. Por.)	Característica do aquífero local (granular/sedimentar)	Ensaio de Laboratório
Topografia Superfície	Relevo da área de contorno do modelo	Imagem aérea digital - Google Earth
Base da camada de silte, de areia argilosa e de argila siltosa	Característica do solo local	Perfis de sondagem realizadas na área de estudo
Cotas da lamina de água e profundidade média do corpo hídrico	Condição de contorno do tipo I do modelo (Carga Hidráulica conhecida)	Medição em Campo
Evapotranspiração	Saída de água do modelo	Instituto Nacional de Meteorologia – INMET
Precipitação	Entrada de água no modelo	Instituto Nacional de Meteorologia – INMET
Carga Hidráulica	Característica do aquífero local	Medição de Campo
Pluma de Contaminantes (Benzeno, Tolueno, Cloreto de Metileno)	Concentrações do contaminante detectados na área de estudo	Campanhas de amostragem e análise laboratorial em março de 2016
Dispersividade longitudinal (α_l), transversal / longitudinal (α_t / α_l), Dispersividade vertical / longitudinal (α_v / α_l)	Calculado a partir do comprimento da pluma de contaminação	Fetter, 1999
Coefficiente de Distribuição (Kd)	Relação entre as concentrações adsorvidas e em solução	Marcio, M.R, 2004 / CETESB
Densidade aparente específica (ρ_b)	Densidade do solo, a qual reflete a relação entre a massa e o volume real	Sondagem de campo/Ensaio de Laboratório
Taxa de decaimento de primeira ordem (λ_{aq})	Taxe de degradação anaeróbica do composto orgânico	SRC Inc, 2016

Fonte: IST Ambiental, 2017.

RESULTADOS

Após a inserção dos dados indicados nas tabelas apresentadas acima no software MODFLOW, processamento dos dados, verificação dos resultados de saída e calibração do modelo de fluxo e modelos de transporte, foi gerado planta indicando a direção do fluxo subterrâneo (**Figura 02**) e em visualização 3D, o resultado do avanço das plumas de Benzeno (**Figura 03**), Tolueno (**Figura 04**) e Cloreto de Metileno (**Figura 05**) ao longo de um período de 10 anos.

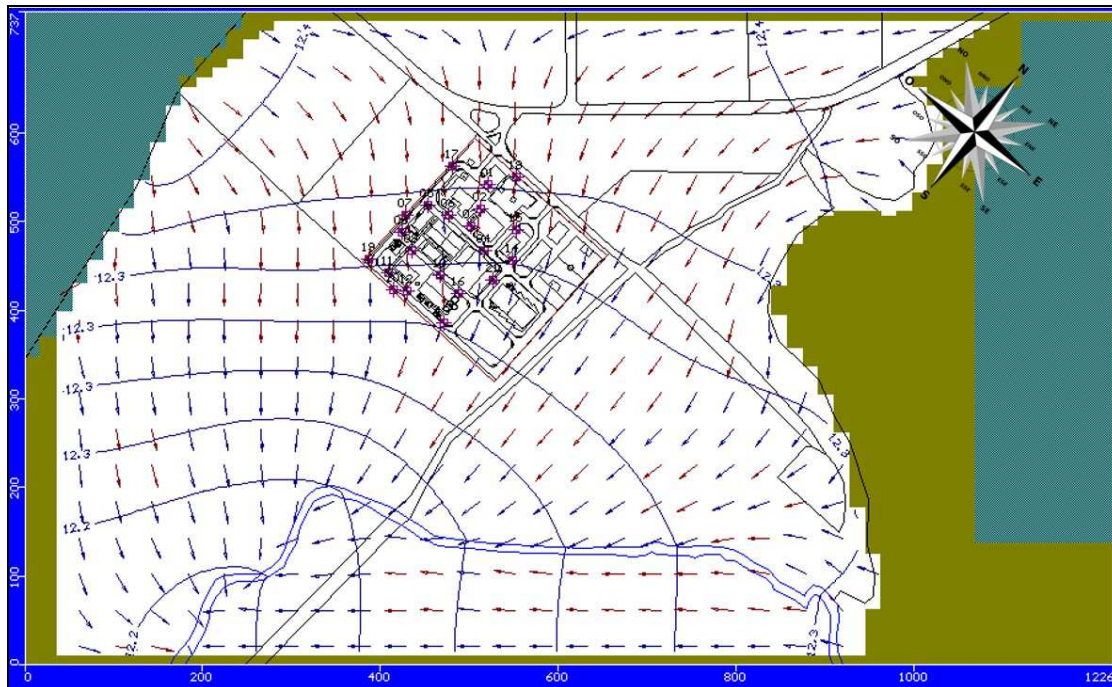


Figura 2. Direção de fluxo calculado, através do Modelo de Fluxo da água subterrânea determinado com o uso do software MODFLOW. As setas indicam a direção de fluxo da água subterrânea.



Figura 3. Evolução da pluma de Benzeno até um período de 10 anos em relação a data inicial de março/2017, escala em mg/l.

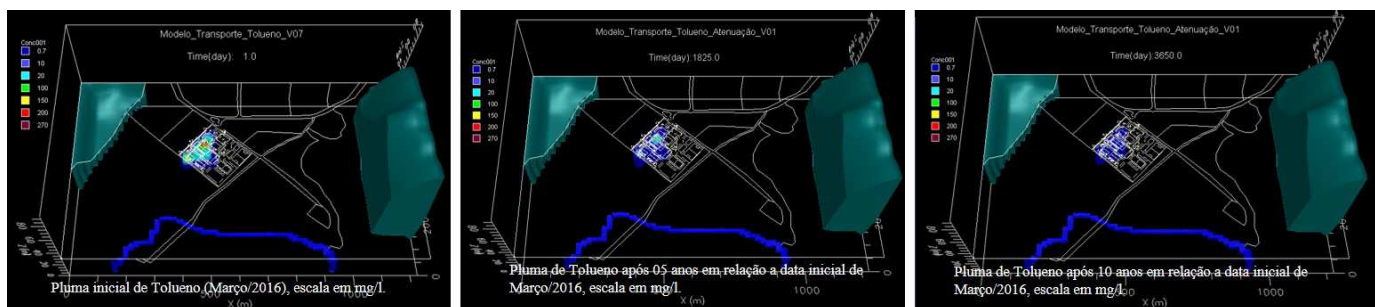


Figura 4. Evolução da pluma de Tolueno até um período de 10 anos em relação a data inicial de março/2017, escala em mg/l.

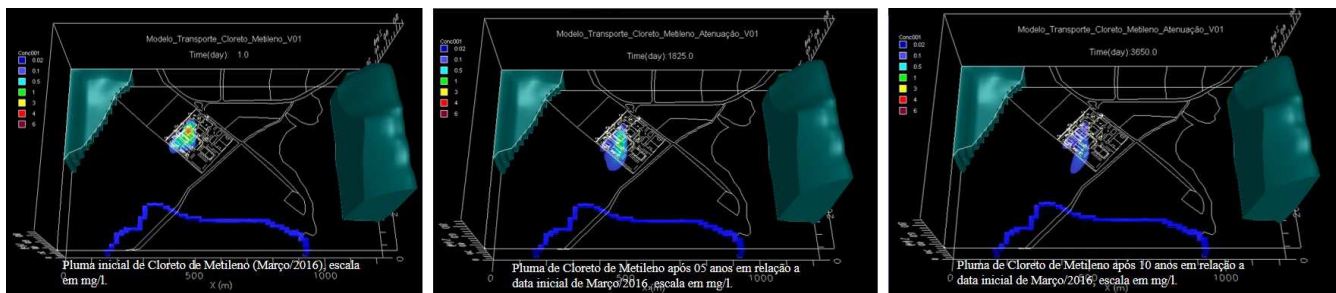


Figura 3. Evolução da pluma de Cloroformo de Metileno até um período de 10 anos em relação a data inicial de março/2017, escala em mg/l.

CONCLUSÃO

Conforme pode ser observado a partir da construção e execução dos modelos de fluxo e transporte dos contaminantes Benzeno, Tolueno e Cloroformo de Metileno para um período de até 10 anos considerando as concentrações de análise da água subterrânea realizada em março de 2017, foi possível gerar previsões do avanço das plumas de contaminação, as quais indicaram que com as concentrações existentes, considerando que não há mais aporte de novos contaminantes, nenhuma das plumas chegaria ao corpo hídrico mais próximo. Desta forma é possível concluir que os processos de sorção, ou seja, que representam a redução de concentração de contaminantes ao longo do tempo, devido a reações de decomposição química ou degradação biológica, neste caso foram mais significativas que os processos de transporte de contaminantes como advecção, difusão e dispersão.

Apesar da modelagem de fluxo e transporte executada ter indicado que em um período de 10 anos, as plumas dos contaminantes existentes possuem uma tendência de degradação e diminuição das concentrações, é importante que a área continue sendo monitorada para garantir que efetivamente os compostos estão diminuindo suas concentrações.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- INSTITUTO SENAI DE TECNOLOGIA AMBIENTAL – IST AMBIENTAL. Carvalho, U. H. et al. Relatório de Investigação Detalhada e avaliação de Risco Toxicológico, Rio de Janeiro/RJ. Relatório Final, 174 p. 2017.
- IRITANI, M. A. Modelação matemática tridimensional para a proteção das captações de água subterrânea. São Paulo, 1998. 200 f. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1998.
- MCDONALD, M. G.; HARBAUGH, A. W. MODFLOW – A modular-dimensional finite-difference groundwater flow model. [S.l.]: USGS, 1988. 528 p. (Geological Survey Open File Report 83-875). Book 6, Chapter A1.
- NOBRE, M. M. M. Estudo experimental do transporte de poluentes em solos argilosos compactados. Rio de Janeiro, 1987. 214 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Civil, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 1987.
- WANG, H. F.; ANDERSON, M. P. Introduction to groundwater modeling: finite difference and finite element methods. San Francisco: Freeman and Co, 1982. 237 p.