

Fatores envolvidos no fluxo de contaminantes em meios porosos através da modelagem ambiental: Um estudo de caso com vazamento de gasolina

Ritielli Berticelli (Universidade de Cruz Alta) ritiberticelli@yahoo.com.br
Pâmela Bia Pasquali (Universidade de Passo Fundo) pbp.pasquali@hotmail.com
Luiza Elodi Greiner Brum (Universidade de Passo Fundo) lubrum01@hotmail.com
Julia Khawany Zamarchi (Universidade de Passo Fundo) julia@zamarchi.com.br
Cleomar Reginatto (Universidade de Passo Fundo) cleomar@upf.br

Resumo:

Com a atual necessidade de se lidar com fontes poluidoras no solo e na água subterrânea, faz-se necessário o estudo dos problemas de contaminação por produtos químicos. A dificuldade destes estudos envolve o grande número de processos e interações que podem ocorrer entre os compostos, assim como, a determinação de seus parâmetros físicos e a forma pela qual estes compostos se movem. Desta forma, este trabalho teve como objetivo modelar o transporte e acumulação de gasolina em meio poroso saturado, para avaliar o comportamento e a influência de diferentes fatores envolvidos no fluxo do contaminante no solo. Para isso utilizou-se os programas SEEP/W e CTRAN/W (GeoStudio, 2016). Foram simuladas quatro condições diferentes, variando e alternando os parâmetros de difusão, adsorção, dispersividade longitudinal e dispersividade transversal. Nas condições em que manteve-se os valores de difusão e adsorção e variou-se os valores de dispersividade longitudinal e transversal, notou-se que quanto maior os valores de dispersividade longitudinal e transversal, maior as concentrações do contaminante com o passar do tempo. Observou-se também que aumentando os valores de difusão e adsorção, as concentrações do contaminante diminuíram de forma significativa em relação aos primeiros testes. Estes estudos demonstraram que nas quatro condições, haveria contaminação das águas subterrâneas da região em estudo, e observou-se que a adsorção supera o efeito da difusão no transporte do contaminante em estudo.

Palavras chave: Contaminação, Gasolina, Meio poroso saturado, Modelar, Adsorção

Factors involved in the flow of contaminants in porous media through environmental modeling: A case study with gasoline leakage

Abstract

With the current need to deal with polluting sources in soil and groundwater, it is necessary to study the problems of contamination by chemicals. The difficulty of these studies involves the large number of processes and interactions that can occur between the compounds, as well as the determination of their physical parameters and the way in which these compounds move. This work aimed to model the transport and accumulation of gasoline in saturated porous medium to evaluate the behavior and influence of different factors involved in the contaminant flow in the soil. For this, the programs SEEP / W and CTRAN / W (GeoStudio, 2016) were used. Four different conditions were simulated, varying and alternating the parameters of diffusion, adsorption, longitudinal dispersivity and transverse

dispersivity. Under the conditions in which diffusion and adsorption values were maintained and the values of longitudinal and transverse dispersivity were varied, it was observed that the higher the longitudinal and transverse dispersivity values, the higher the concentrations of the contaminant over time. It was also observed that increasing the diffusion and adsorption values, contaminant concentrations decreased significantly in relation to the first tests. These studies demonstrated that in the four conditions, there would be contamination of the groundwater of the study region, and it was observed that the adsorption overcomes the diffusion effect in the transport of the contaminant under study.

Key-words: Contamination, Gasoline, Saturated porous medium, Modeling, Adsorption

1. Introdução

Com o crescimento das atividades humanas de exploração dos recursos naturais nasce uma grande preocupação dessas atividades afetarem a qualidade dos recursos hídricos subterrâneos e em prever a curto e longo prazo quais os impactos que poderão surgir nas áreas contaminadas.

Com a atual necessidade de se lidar com fontes poluidoras no solo e na água subterrânea, faz-se necessário o estudo dos problemas de contaminação por produtos químicos. A dificuldade destes estudos envolve o grande número de processos e interações que podem ocorrer entre os compostos, assim como, a determinação de seus parâmetros físicos e a forma pela qual estes compostos se movem.

Existem alguns mecanismos físicos, químicos e bioquímicos envolvidos no transporte de poluentes no solo (VASCONCELOS, 2008). De acordo com Gilham (1987) esses mecanismos possuem processos que são difíceis de se quantificar e complexos de se modelar em função dos materiais geológicos, características dos substratos, condições geotécnicas de cada local e as características de cada poluente.

Portanto, cabe aos órgãos ambientais executar a política de proteção, conservação e melhoria da qualidade ambiental no que concerne à prevenção, à correção da poluição ou da degradação ambiental provocada pelas atividades industriais, minerárias e de infraestrutura, bem como promover e realizar estudos e pesquisas sobre a poluição e qualidade do ar, da água e do solo (FEAM, 2007).

O presente artigo tem por objetivo destacar a importância relativa dos diferentes fatores envolvidos no fluxo de contaminantes em meios porosos através da modelagem ambiental, utilizando um estudo de caso de contaminação do solo com gasolina.

2. Metodologia

Utilizamos como fonte de dados uma dissertação de mestrado de autoria de Vasconcelos (2008), na área de engenharia geotécnica, intitulado como: Transporte de Contaminantes em Meios Porosos Saturados e não Saturados. Estudo de Caso: Vazamento de Gasolina. Com base em condições hipotéticas, realizou estudos paramétricos procurando destacar a importância relativa dos diferentes fatores envolvidos no fluxo de contaminantes em meios porosos. Através destas análises, foi possível desenvolver um estudo qualitativo do comportamento da migração de contaminantes no solo e verificar o comportamento numérico feito pelo software.

No trabalho em questão utilizou-se os programas SEEP/W e CTRAN/W (GeoStudio, 2016 versão estudantil) para modelar o transporte e acumulação de contaminantes no solo em meio poroso saturado. O CTRAN/W é integrado ao SEEP/W (GeoStudio, 2016), programa que modela o fluxo de água em meios porosos. O SEEP/W fornece a velocidade de escoamento do fluido, utilizada na equação geral do transporte de poluentes.

De acordo com Gilham (1987), uma lista imensa de processos envolvidos no transporte de solutos poderia ser citada. No entanto, esses processos são difíceis de se quantificar e complexos de se modelar, tendo em vista a quantidade de materiais geológicos, as características do substrato, as condições geotécnicas do local e as características dos poluentes que podem estar envolvidos no problema.

Os principais processos envolvidos que controlam o transporte e a acumulação de poluentes em meios porosos estão listados na Tabela 1:

FÍSICO	QUÍMICO	BIOQUÍMICO
Advecção	Dcaimento radioativo	Biodegradação
Dispersão	Adsorção	Biotransformação
Difusão Molecular	Precipitação	
Retenção Fluida	Co-precipitação	
Transporte coloidal	Oxi-redução	
	Complexação	

Fonte: Adaptado de Gilham, 1987.

Tabela 1 - Processos envolvidos no transporte de contaminantes

O fluxo de contaminantes em meios porosos é atenuado por reações químicas que acontecem durante o transporte. Dentre as reações que podem ocorrer com a presença de um contaminante, acredita-se que a adsorção seja a mais importante no processo de atenuação do fluxo do poluente.

Para realizar a análise no software GeoStudio, foram utilizados parâmetros para solos saturados com a finalidade de adotar a pior condição possível, visto que um solo totalmente preenchido de água no momento em que entra em contato com outras moléculas acaba ocasionado o arraste das partículas do mesmo. Os parâmetros utilizados no presente estudo foram mencionados por Vasconcelos (2008) e estão expostos na Tabela 2.

PARÂMETROS	VALORES
Condutividade hidráulica constante (<i>k</i>) (m/dia)	4,078
Gradiente hidráulico (<i>i</i>)	0,05
Velocidade média horizontal ou velocidade de Darcy (<i>vh</i>) (m/dia)	0,2039
Porosidade efetiva (<i>n</i>)	0,384
Velocidade intersticial (<i>V</i>) (m/dia)	0,53
Concentração na fonte externa (<i>C0</i>) (g/m³)	1
Dispersividade longitudinal (<i>al</i>) (m)	7
Difusão molecular (<i>D0</i>) (m²/dia)	9,6 x 10 ⁻⁵
Fator tortuosidade (<i>t</i>)	0,7

Densidade seca do solo (ρ_d) (g/cm³)	1,64
Difusão molecular efetiva (D^*) (m²/dia)	6,72 x 10 ⁻⁵
Dispersão hidrodinâmica longitudinal (DHL) (m²/dia)	3,71

Fonte: Adaptado de Vasconcelos, 2008.

Tabela 2 - Parâmetros de transporte fornecidos para análise numérica

2.1 SEEP/W E CTRAN/W

O SEEP/W é um programa computacional que utiliza o método dos elementos finitos para modelar o movimento de água subterrânea e a distribuição de poropressões em materiais porosos, como solos e rochas. O programa se aplica às avaliações para meios saturados e não saturados, considerando-se ainda as condições transientes e anisotropias do meio.

O CTRAN/W é um programa que utiliza o método dos elementos finitos para modelar o movimento de contaminantes através de meios porosos. O programa CTRAN/W é integrado ao SEEP/W, que fornece a velocidade de fluxo para o problema a ser analisado. O CTRAN/W utiliza as velocidades calculadas no SEEP/W para computar o movimento de componentes dissolvidos na água presente nos poros.

A formulação utilizada no programa CTRAN/W permite analisar problemas complexos de transporte de contaminantes que envolvam processos como difusão, dispersão, adsorção, decaimento radioativo e problemas envolvendo solutos com densidades diferentes da densidade da água (flúidos não miscíveis).

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

O trabalho em questão realizou a análise numérica utilizando os métodos dos elementos finitos para avaliar o transporte do contaminante e o grau de contaminação da gasolina em uma área entorno de um posto de combustíveis, simulando um derramamento que ocorreu na superfície do solo. Vale ressaltar que essa é uma situação hipotética utilizada para fins didáticos, que dificilmente aconteceria na realidade, mas que pode ser utilizada para entender o comportamento do contaminante no solo.

Iniciando a modelagem, definiu-se que o solo é arenoso de coloração marrom escura, em meio poroso saturado devido ao aumento do nível do lençol freático. Para sua área de estudo, considerou-se uma seção vertical hipotética de solo de 15 metros de profundidade e uma extensão de 40 metros. Para a entrada do contaminante foi considerado uma extensão de 5 metros, simulando um derramamento acidental que ocorreu em pequena proporção.

As funções de condutividade hidráulica e de teor de umidade volumétrico utilizadas foram de acordo com os valores disponibilizados por Vasconcelos (2008), sendo ($K_h = 4,72 \times 10^{-5}$ m/s) e teor de umidade 0,384 m³/m³. A concentração inicial adotada foi de 1g/m³, podendo-se assim avaliar quanto tempo essa contaminação demora para atingir o ponto de monitoramento.

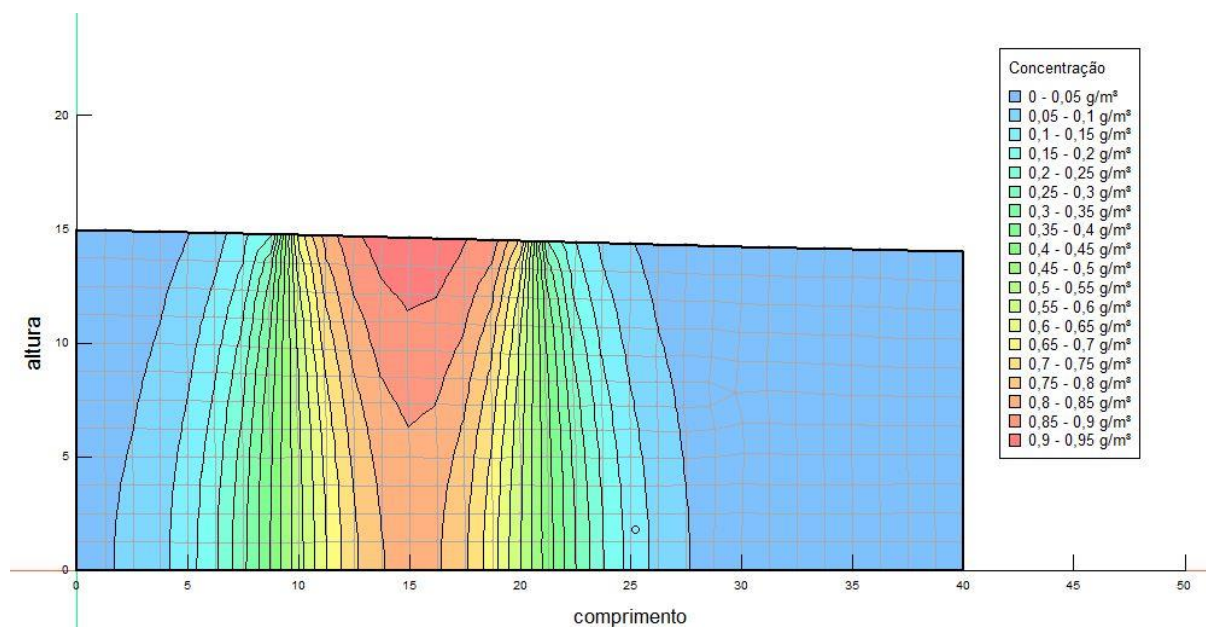
Após aplicado os dados no programa SEEP/W, foi utilizado o programa CTRAN/W no qual foram inseridos valores para os parâmetros de dispersividade longitudinal, dispersividade transversal, levando em consideração os parâmetros físico-químicos do solo e do contaminante analisado.

O ponto escolhido para monitoramento ao longo dos anos foi a 12 metros de altura da área onde ocorreu a contaminação e a 8 metros de distância. Este ponto foi definido por estar próximo ao lençol freático, e com isso será possível analisar se o contaminante chegará na água subterrânea.

Através disso foram feitas análises ao longo de 1, 5 e 10 anos e alterados valores de adsorção, difusão e dispersividade longitudinal e transversal obtendo os seguintes resultados:

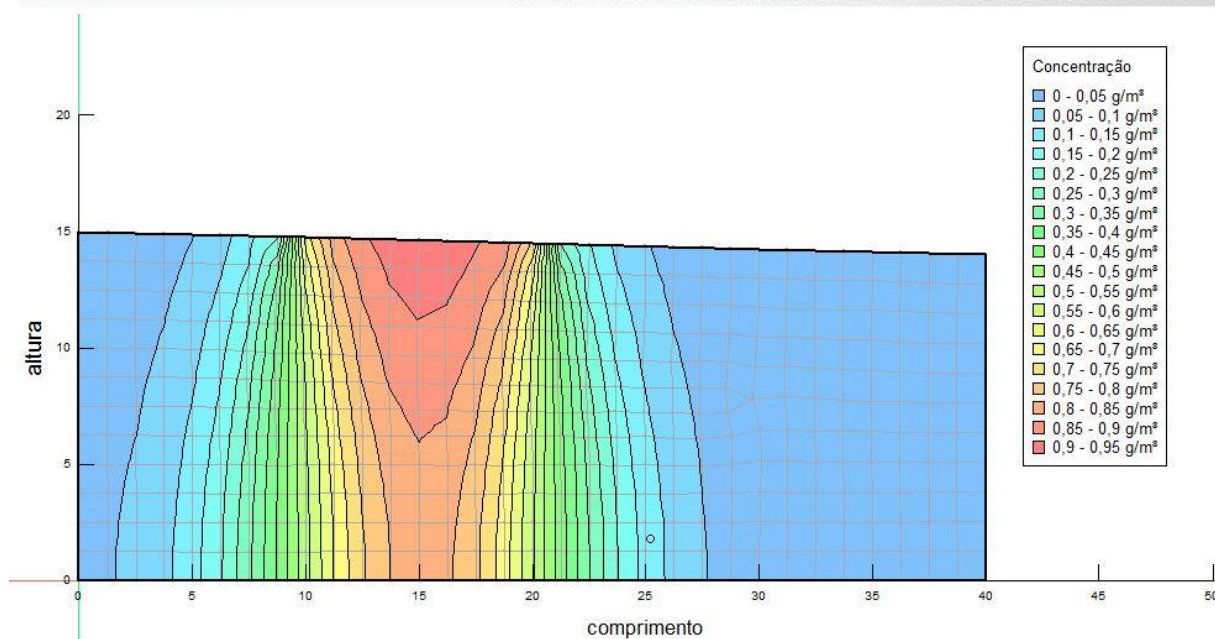
Na primeira condição foi utilizado um valor de difusão de $7,78 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ e uma adsorção de $4,32 \times 10^{-8} \text{ g/g}$. A dispersividade longitudinal de 7 m e dispersividade transversal de 0,7 m. Esses valores foram retirados de Vasconcelos (2008).

Conforme apresentado nas figuras abaixo, no período de um ano a concentração no ponto de monitoramento foi de $0,1123 \text{ g/m}^3$ (Figura 1). Em cinco anos a concentração no ponto de monitoramento foi de $0,1124 \text{ g/m}^3$ (Figura 2) e a concentração da contaminação depois de dez anos foi igual a de cinco anos, ou seja, a concentração se manteve a mesma durante esse período.



Fonte: Autores, 2018.

Figura 1 - Pluma de contaminação depois de um ano do vazamento

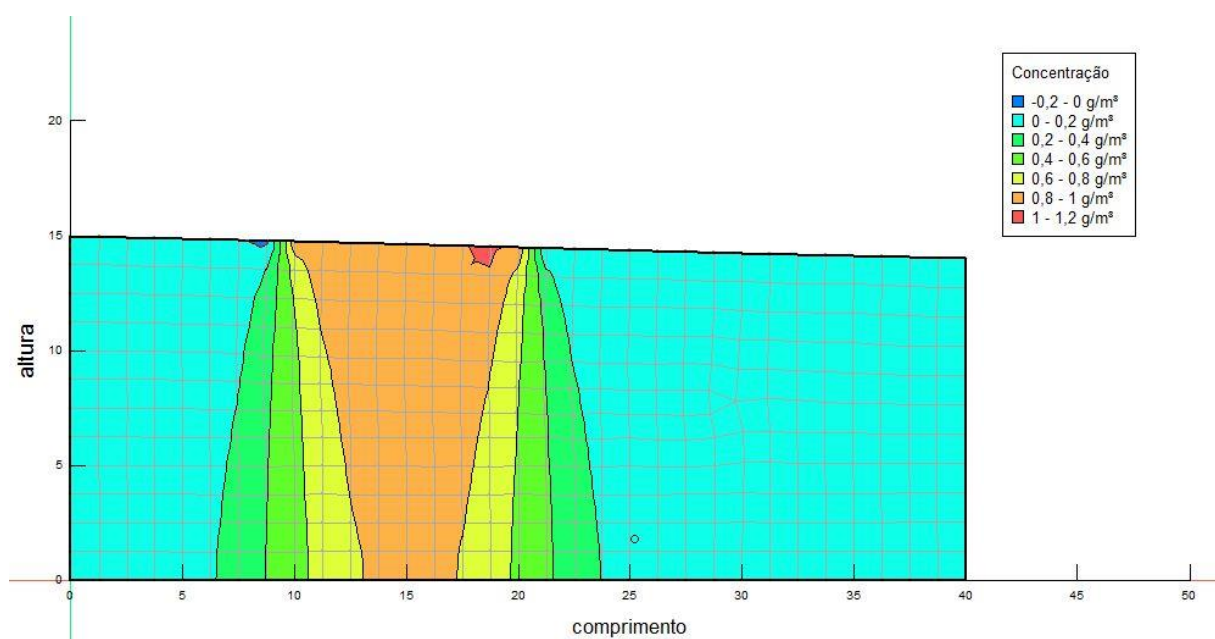


Fonte: Autores, 2018.

Figura 2 - Pluma de contaminação depois de cinco anos do vazamento

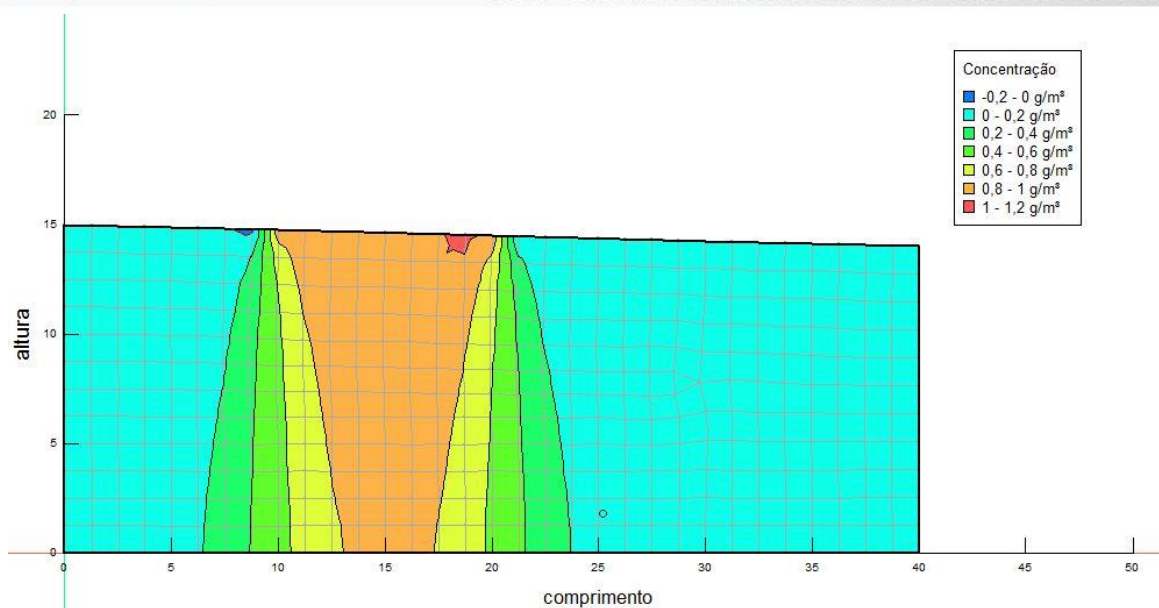
Na segunda condição foi conservado a difusão de $7,78 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ e a adsorção de $4,32 \times 10^{-8} \text{ g/g}$. Foi variado a dispersividade longitudinal, para 0,7m e a dispersividade transversal para 0,5m, a fim de analisar o efeito que este parâmetro causa no transporte do contaminante.

Conforme apresentado nas figuras abaixo, no período de um ano a concentração no ponto de monitoramento foi de 0,09454 g/m³ (Figura 3), já em cinco anos a concentração no ponto de monitoramento foi de 0,09455 g/m³ (Figura 4) e depois de dez anos a concentração no ponto de monitoramento se manteve em 0,09455 g/m³.



Fonte: Autores, 2018.

Figura 3 - Pluma de contaminação depois de um ano do vazamento



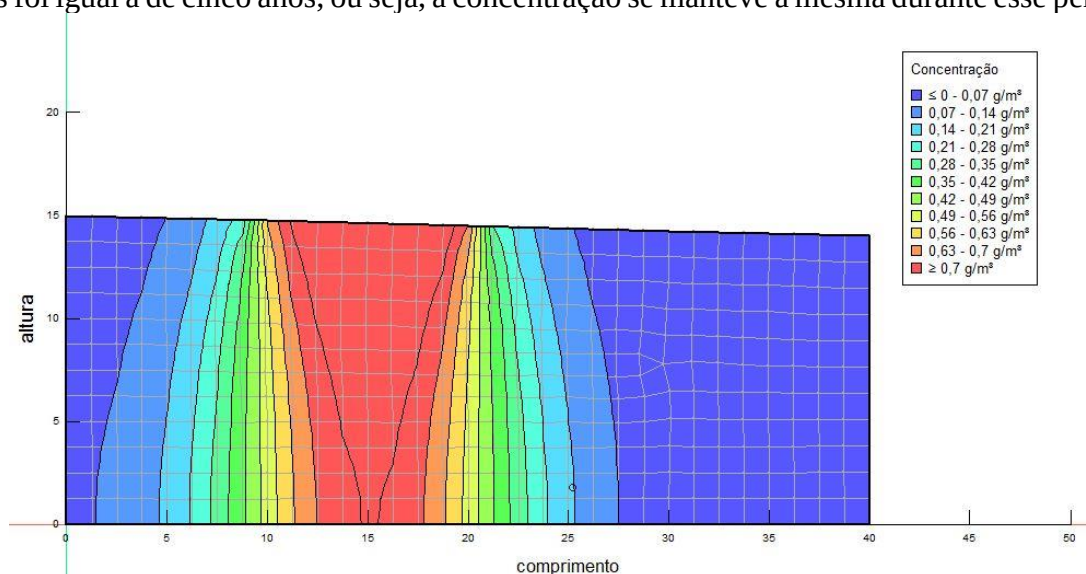
Fonte: Autores, 2018.

Figura 4 - Pluma de contaminação depois de cinco anos do vazamento

Observa-se que diminuindo os valores de dispersividade longitudinal e transversal, as concentrações do contaminante em 1 ano, em 5 anos e em 10 anos, diminuiram se comparado a primeira condição, sendo que não se observa diferença de concentração de 5 para 10 anos.

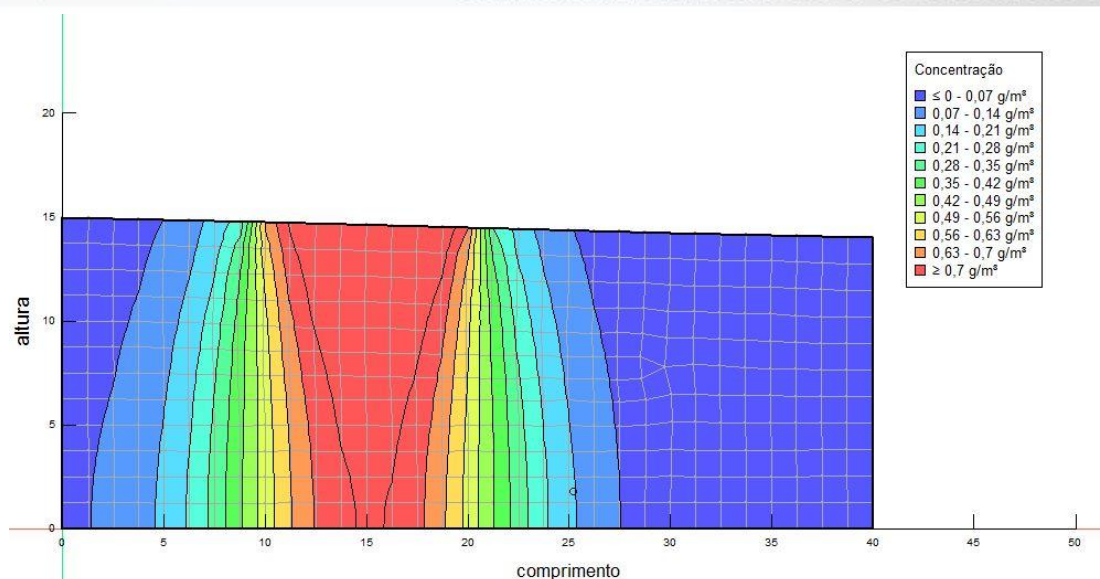
Na terceira condição foi conservado a difusão de $7,78 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ e a adsorção de $4,32 \times 10^{-8} \text{ g/g}$. Foi variado a dispersividade longitudinal, para 9 m e a dispersividade transversal para 0,9 m, a fim de analisar o efeito que este parâmetro causa no transporte do contaminante.

Pode-se observar nas figuras abaixo, que no período de um ano a concentração no ponto de monitoramento foi de $0,1272 \text{ g/m}^3$ (Figura 5), já em cinco anos a concentração no ponto de monitoramento foi de $0,1273 \text{ g/m}^3$ (Figura 6) e a concentração da contaminação depois de dez anos foi igual a de cinco anos, ou seja, a concentração se manteve a mesma durante esse período.



Fonte: Autores, 2018.

Figura 5 - Pluma de contaminação depois de um ano do vazamento



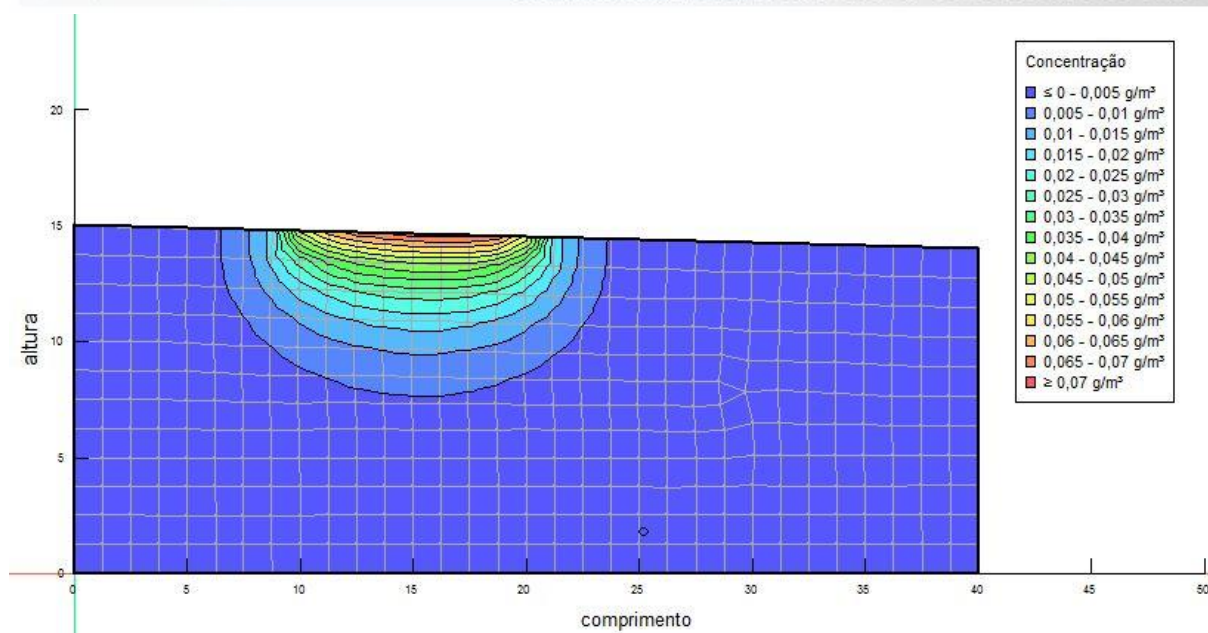
Fonte: Autores, 2018.

Figura 6 - Pluma de contaminação depois de cinco anos do vazamento

Observa-se que aumentando os valores de dispersividade longitudinal e transversal, as concentrações do contaminante em 1 ano, em 5 anos e em 10 anos, aumentam quando comparado a primeira condição, sendo que não se observa diferença de concentração de 5 para 10 anos.

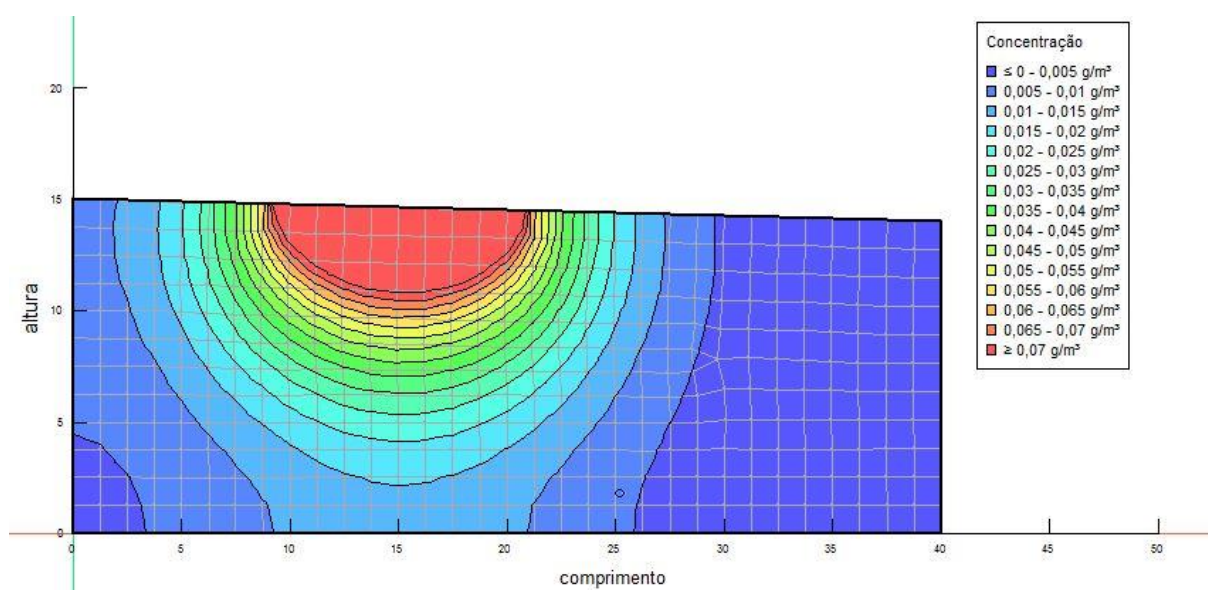
Na quarta condição foi aumentado tanto o valor da difusão de $7,78 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ para $7,78 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ quanto da adsorção de $4,32 \times 10^{-8}$ para $4,32 \times 10^{-3} \text{ g/g}$ a fim de analisar o efeito que a difusão juntamente com a adsorção podem causar no transporte do contaminante. Se manteve a dispersividade longitudinal de 9 m e dispersividade transversal de 0,9 m.

Para tal condição, pode-se verificar nas figuras abaixo, que no período de um ano a concentração no ponto de monitoramento foi de $0,00043 \text{ g/m}^3$ (Figura 7), já em cinco anos a concentração no ponto de monitoramento foi de $0,0080 \text{ g/m}^3$ (Figura 8) e depois de dez anos a concentração no ponto de monitoramento foi de $0,0187 \text{ g/m}^3$ (Figura 9).



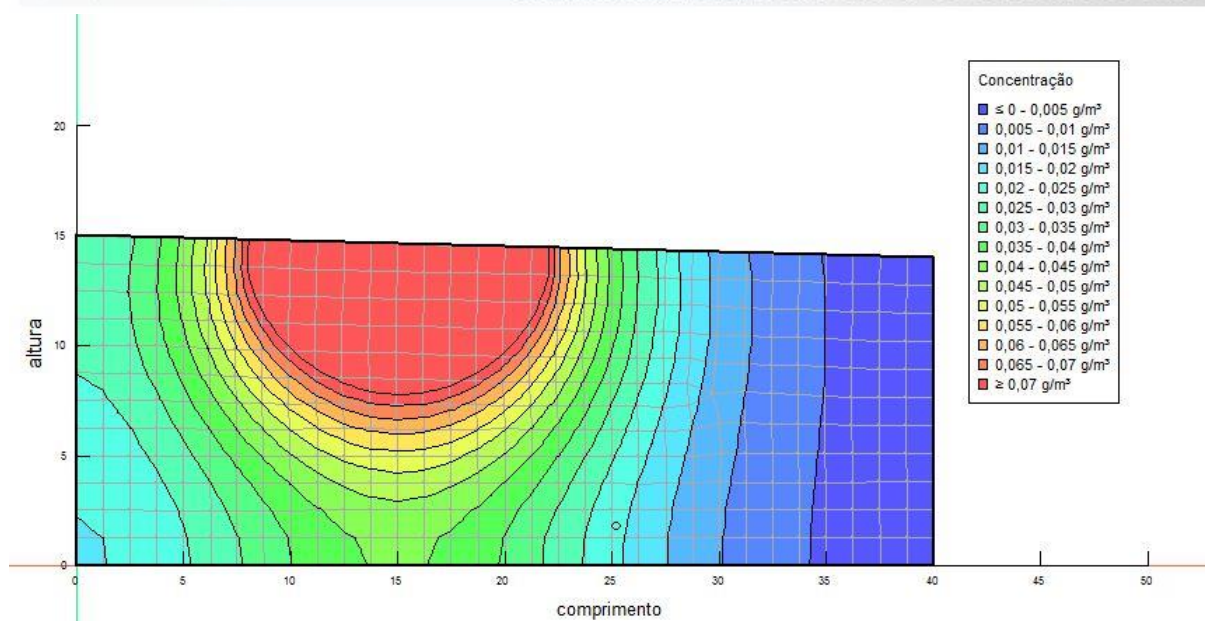
Fonte: Autores, 2018.

Figura 7 - Pluma de contaminação depois de um ano do vazamento



Fonte: Autores, 2018.

Figura 8 - Pluma de contaminação depois de cinco anos do vazamento



Fonte: Autores, 2018.

Figura 9 - Pluma de contaminação depois de dez anos do vazamento

Pode-se observar que com o aumento do efeito da difusão e da adsorção, as concentrações do contaminante em 1 ano, em 5 anos e em 10 anos, diminuíram bastante no ponto de monitoramento em relação a primeira condição. Com o aumento da adsorção, a tendência é que ocorra o retardamento da movimentação do contaminante. Já com o aumento da difusão a tendência é que aumente a movimentação do contaminante, visto que a velocidade do fluxo é maior. Sendo assim, como houve um maior retardamento do soluto do que espalhamento, pode-se afirmar que a adsorção supera o efeito de difusão no transporte do contaminante neste estudo de caso. Vale ressaltar que a adsorção supera o efeito da difusão, para a carga hidráulica de 15 m, acima do lençol freático. Pode-se observar que a adsorção supera o efeito da difusão, visto que o solo arenoso não possui a capacidade de reter o contaminante, tanto quanto um solo argiloso, por exemplo. A difusão não influenciará de maneira tão significativa, pois o contaminante não ficará retido no solo por um longo período, sendo facilmente liberado para o meio.

4 CONCLUSÕES

Existem diferentes mecanismos de transportes de contaminantes que apresentam grande importância nas análises. No presente trabalho foram simuladas quatro condições diferentes variando-se os parâmetros difusão, adsorção, dispersividade longitudinal e dispersividade transversal, simulando um vazamento de gasolina em solo do tipo arenoso.

Nas três primeiras condições foi mantido os valores de difusão e adsorção variando-se apenas a dispersividade longitudinal e transversal. Observou-se que aumentando os valores das dispersividades longitudinais e transversais as concentrações do contaminante aumentam com o passar do tempo, e o oposto ocorre quando esses dois parâmetros são diminuídos.

Na quarta condição foi aumentado tanto o valor da difusão, quanto da adsorção a fim de analisar o efeito que a difusão juntamente com a adsorção podem causar no transporte do contaminante. Observou-se que com o aumento desses dois parâmetros as concentrações do contaminante diminuíram significativamente no ponto de monitoramento em relação a primeira condição.

As quatro condições analisadas apresentaram ocorrência de contaminação das águas subterrâneas na região do estudo. Também se identificou, que a adsorção supera o efeito de difusão no transporte do contaminante neste estudo de caso, devido à grande afinidade do soluto com o solo.

No transporte de contaminantes através do solo ocorrem interações entre os poluentes e os constituintes do solo. Definitivamente, é necessário a implementação de um sistema de controle e de análise de solo, através da junção da prática com a modelagem para que se obtenha um estudo completo dos processos e das interações que acontecem na relação contaminante/solo, evitando assim, a omissão de dados de grande influência.

Referências

GEO-SLOPE, products. Disponível em: <<https://www.geo-slope.com/products/ctran-w>> Acesso em 19 de junho 2018.

GILHAM, R. W. *Processes of Contaminant Migration in Groundwater*. CSCE-Centennial Symposium on Management of Waste Contamination of Groundwater, v. 28, n 7, p.239-269. 1987.

TAVARES, E. M. de F.; VAGLIANO, C. E. P. L.; ASSIS, E. M.; ZADOROSNY, L. R. O.; DUARTE, M. A.; FERREIRA, P. C. A.; VIEIRA, R. C.; TAVARES, B. E. da N. *Manual de Cidadania Ambiental*. 2013. Disponível em: <http://www.terrabrasilis.org.br/ecotecadigital/pdf/manual-de-cidadania-ambiental.pdf>. Acesso em: 10 de jun. de 2018.

VASCONCELOS, Anelisa. *Transporte de contaminantes em meios porosos saturados e não saturados. Estudo de caso: vazamento de gasolina*. Minas Gerais: UFOP/MG, 2008. 189p. Dissertação (Mestrado Profissional em Engenharia Geotécnica) – Universidade Federal de Ouro Preto, 2008.