

XX Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica
IX Simpósio Brasileiro de Mecânica das Rochas
IX Simpósio Brasileiro de Engenheiros Geotécnicos Jovens
VI Conferência Sul Americana de Engenheiros Geotécnicos Jovens
XI Congresso Luso Brasileiro de Geotecnia
23 a 26 de Agosto de 2022 – Campinas – SP



COBRAMSEG 2022
23 A 26 DE AGOSTO | CAMPINAS | SP | BRASIL
COBRAMSEG | SBMR | GEOJOVEM | CLBG

Estudo de parâmetros de transporte de contaminantes no solo

Thainá Faria Oliveira

Mestranda, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, Brasil, thaina.oliveira@engenharia.ufjf.br

Cátia de Paula Martins

Professora, Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, Brasil, catia.martins@ufjf.edu.br

Heraldo Nunes Pitanga

Professor, Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, Brasil, heraldopitanga@yahoo.com.br

Júlia Righi de Almeida

Professora, Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, Brasil, julia.righi@engenharia.ufjf.br

Raquel Rodrigues Bernardes

Engenheira civil, Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, raquel.rodrigues@engenharia.ufjf.br

RESUMO: As atividades econômicas associadas ao crescimento populacional são as principais responsáveis pela geração de resíduos, que são dispostos em áreas inapropriadas de forma planejada, acidental ou natural. A disposição desses produtos no meio ambiente desencadeia interações entre contaminante, água e solo. Tais interações são traduzidas em mecanismos de transporte, que podem ser quantificados através de parâmetros e utilizados em modelagens numéricas computacionais simplificando uma situação real e permitindo definir a extensão de áreas contaminadas. Dessa forma, o objetivo principal deste trabalho foi reunir os parâmetros de transporte da literatura relacionados à metais pesados e hidrocarbonetos. Para tanto, os autores realizaram uma revisão sistemática a fim de obter os dados de interesse. Constatou-se que as principais fontes de contaminação do solo e da água estão relacionadas a postos de combustível, correspondendo a 71% dos eventos. Conclui-se que, no caso de hidrocarbonetos, houve maior ocorrência de parâmetros relativos à sorção e biodegradação do que nos estudos relativos aos metais pesados, e que a escolha de quais parâmetros estimar, desconsiderar ou necessariamente aferir depende da natureza da substância estudada.

PALAVRAS-CHAVE: Transporte de Contaminantes, Solo, Parâmetros de Transporte.

ABSTRACT: The economic activities associated with population growth are mainly responsible for the generation of waste disposed of in inappropriate areas in a planned, accidental, or natural way. The disposal of these products in the environment triggers interactions between the contaminant, water, and soil. Such interactions are translated into transport mechanisms, which can be quantified through parameters and used in computational numerical modeling, simplifying a real situation and allowing the definition of the extent of contaminated areas. Thus, the main objective of this work was to gather the transport parameters from the literature related to heavy metals and hydrocarbons. Therefore, the authors performed a systematic review in order to obtain the data of interest. It was found that the main sources of soil and water contamination are related to gas stations, corresponding to 71% of the events. It is concluded that, in the case of hydrocarbons, there was a greater occurrence of parameters related to sorption and biodegradation than in studies related to heavy metals, and that the choice of which parameters to estimate, disregard or necessarily measure depends on the nature of the substance studied.

KEYWORDS: Contaminant Transport, Soil, Transport Parameters.



1. Introdução

O crescimento populacional no mundo inteiro é acompanhado do aumento de indústrias e demais atividades econômicas responsáveis pela geração de diversas substâncias e resíduos. Esses, muitas vezes prejudiciais ao ser humano e meio ambiente, são depositados, acumulados, armazenados, enterrados ou infiltrados de forma planejada, acidental ou até mesmo natural em diversas áreas inapropriadas (CETESB, 2014).

A disposição desses produtos no meio ambiente geralmente desencadeia um processo de transporte, que é definido por Bergmann (2016) como uma série de interações entre contaminante, água e solo, que podem ser de caráter físico, químico e/ou biológico. Tais interações são traduzidas em mecanismos de transporte, que por sua vez podem ser quantificados através de parâmetros e utilizados em modelagens numéricas computacionais a fim de entender o comportamento de um certo contaminante num dado local e espaço de tempo (BOSCOV, 2008; ZUQUETTE, 2015). Dessa forma, o objetivo principal deste estudo foi reunir os parâmetros de transporte da literatura relacionados à metais pesados e hidrocarbonetos, e analisar quais os mais recorrentes nos trabalhos selecionados.

2. Metodologia

Para coleta de parâmetros de transporte foi realizada uma revisão sistemática da literatura. Os dados coletados foram referentes a parâmetros de transporte de contaminantes encontrados em trabalhos acadêmicos nacionais e internacionais publicados entre 2010 e 2020. Foram pesquisadas as palavras-chave: “parâmetro”, “transporte de contaminantes”, “metais pesados” ou “hidrocarbonetos” e “Modflow”, em Português e em Inglês. A pesquisa foi realizada nas seguintes bases de dados: *Google Scholar*, *Web of Science*, *Science Direct* e *Scielo*.

Os resultados das buscas foram tratados com o *software Start*, desenvolvido pela Universidade Federal de São Carlos (UFSCar). O protocolo de pesquisa foi definido, de 196 trabalhos foram removidos 28 duplicados e 146 com título ou resumo fora do tema. A seguir, incluíram-se 22 trabalhos dentro do tema, dos quais 8 forneceram dados de parâmetros de transporte relacionados à contaminação por metais pesados e hidrocarbonetos.

3. Fontes de contaminação e transporte de contaminantes

3.1 Fontes de contaminação do solo e água

As fontes mais comuns de contaminação do solo e da água são: vazamento de combustíveis, falhas em processos industriais, problemas no tratamento de efluentes, atividade de mineração, disposição inadequada de resíduos, uso indiscriminado de defensivos agrícolas e acidentes de transporte de substâncias químicas (ZUQUETTE, 2015). Essa informação é embasada pelo Relatório de Áreas Contaminadas e Reabilitadas do Estado de São Paulo publicado pela CETESB (2019). São Paulo é atualmente o estado com maior Produto Interno Bruto nacional (31,6%) (CNI, 2020), evidenciando, com um número amostral considerável, as áreas contaminadas relacionadas aos tipos de atividades citadas anteriormente. A Tabela 1 apresenta o tipo de atividade e o correspondente número de ocorrências de contaminação no estado de São Paulo (CETESB, 2019).

Tabela 1. Tipo de atividade e número de ocorrências de contaminação no estado de São Paulo.

Atividade	Número de ocorrências	Porcentagem
Postos de combustível	4475	71%
Indústrias	1220	20%
Comercial	328	5%
Resíduos	207	3%
Acidentes/ Agricultura/ Fontes desconhecidas	54	1%



3.2 Mecanismos de transporte de contaminantes

O transporte de contaminantes é regido pela Equação (1) geral. O primeiro termo do lado direito da Equação (1) representa a dispersão hidrodinâmica do soluto, o segundo termo representa a advecção do soluto, o terceiro representa a transferência do soluto da fase líquida para as partículas sólidas por sorção e o último indica uma mudança na concentração do soluto com o tempo devido a reações biológicas ou químicas ou ao decaimento radioativo (FETTER, 2018).

$$\frac{\partial C}{\partial t} = D_L \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} - v_x \frac{\partial C}{\partial x} - \frac{\rho_b}{\theta} \frac{\partial C^*}{\partial t} - \left(\frac{\partial C}{\partial t} \right)_{rxn} \quad (1)$$

Em que C é a concentração do soluto na fase líquida; t é o tempo; D_L é o coeficiente de dispersão longitudinal; v_x é a velocidade média linear da água no solo; ρ_b é a densidade aparente do aquífero; θ é o teor de umidade volumétrica ou porosidade para meios saturados; C^* é a quantidade de soluto absorvido por unidade de peso de sólido e rxn é um subscrito indicando uma reação biológica ou química do soluto (diferente da sorção).

3.3 Parâmetros de transporte de contaminantes

3.3.1 Metais

Os metais pesados geralmente estão presentes de forma natural no meio ambiente, e suas concentrações no solo dependem da formação geológica do local e dos respectivos materiais de origem. Frequentemente, quando tais metais são encontrados em altas concentrações no solo, a causa é antrópica. Um exemplo disso é a disposição de resíduos sólidos em aterros sanitários, onde a partir de numerosos processos é formado o lixiviado, uma solução composta por materiais orgânicos dissolvidos, macro componentes inorgânicos, compostos orgânicos xenobiológicos e metais pesados como Fe, Mn, Zn, Cu, Pb, Ni e Cd. Esses estão presentes em elevadas concentrações, principalmente em aterros jovens, devido ao ambiente ácido que permite a solubilização dos íons metálicos (SOARES, 2019; FANDIÑO, 2020). Na Tabela 2 são apresentadas as concentrações de metais pesados típicas do lixiviado gerado nos principais aterros sanitários brasileiros.

Tabela 2. Concentrações de metais pesados típicas de lixiviados de aterros sanitários brasileiros.

Metal Pesado	Unidade	Faixa Máxima	Faixa mais provável	Frequência de ocorrência dos valores mais prováveis (%)
Ferro	mg/L	0,01 – 260	0,01 – 65	67
Manganês	mg/L	0,04 - 2,6	0,04 - 2,0	79
Cobre	mg/L	0,005 - 0,6	0,05 - 0,15	61
Níquel	mg/L	0,03 - 1,1	0,03 - 0,5	71
Cromo	mg/L	0,003 - 0,8	0,003 - 0,5	89

Fonte: Adaptado de Gomes (2009)

Em relação à revisão bibliográfica de parâmetros de transporte de metais pesados, os estudos de Fandiño (2020) e Regginato (2018) forneceram dados referentes a simulações em escala de campo. Já Golzar (2018) e Pereira *et al.* (2011) forneceram dados referentes a simulações em escala de laboratório. Por se tratar de simulações em escalas diferentes e com objetivos diferentes, notou-se diferença nos parâmetros apresentados em cada trabalho, de forma que alguns autores estimaram certos parâmetros, obtiveram outros experimentalmente e os demais dados que os autores julgaram não interferir de forma significativa em seus trabalhos foram desconsiderados.

Observou-se que os parâmetros mais recorrentes nos estudos de metais foram: tipo de solo ou material, espessuras das camadas, recarga, velocidade de infiltração da água subterrânea, porosidade efetiva, condutividade hidráulica, concentração inicial da fonte, coeficiente de distribuição, coeficiente de retardo, densidade aparente do solo, dispersividade longitudinal e coeficiente dispersivo-difusivo. Os parâmetros desses diversos estudos encontram-se reunidos na Figura 1.



Nota-se que os estudos de campo relativos à metais pesados não estimaram a atenuação do fluxo da contaminação no meio poroso decorrente de processos de sorção, trocas iônicas, reações químicas e biológicas, devido à dificuldade de estimar tais parâmetros. Porém, no trabalho de Pereira *et al.* (2011), foram reunidos dados de sorção de ensaios laboratoriais em coluna dos metais Cobre, Cádmiio, Manganês e Zinco. Quanto ao fenômeno advectivo, não se observou considerações nem metodologias usuais para consideração do mesmo nos trabalhos analisados.

3.3.2 Hidrocarbonetos de petróleo

Hidrocarbonetos estão presentes em produtos derivados do petróleo, como por exemplo a gasolina, que possui cerca de 10 a 59% de compostos aromáticos (EZQUERRO *et al.*, 2004; OLIVEIRA, 2017). Os compostos aromáticos, mais precisamente os hidrocarbonetos monoaromáticos, benzeno, tolueno, etilbenzeno e xilenos, são denominados BTEX (MARTINS, 2015). No caso da gasolina brasileira, há a combinação BTEX-Etanol, uma vez que a mesma possui aproximadamente 24% de Etanol em sua constituição, fator dificultador dos processos de biodegradação (CORSEUIL *et al.*, 2015).

Nos estudos envolvendo hidrocarbonetos houve um maior consenso sobre os parâmetros adotados. Os mais recorrentes foram: tipo de solo ou material, espessuras das camadas, recarga, velocidade de infiltração da água subterrânea, porosidade efetiva, condutividade hidráulica, gradiente hidráulico, concentração inicial da fonte, constante de decaimento de primeira ordem, coeficiente de distribuição, fração de carbono orgânico, densidade aparente do solo, dispersividade longitudinal, transversal e vertical, coeficiente dispersivo-difusivo. Os parâmetros adotados nos estudos encontram-se reunidos na Figura 2.

Houve maior ocorrência de parâmetros relativos à sorção e biodegradação do que nos estudos relativos à metais pesados. Isso se deve ao fato de que hidrocarbonetos são compostos orgânicos, dessa forma o transporte é impactado de forma intensa pela sorção e biodegradação. Portanto, parâmetros relativos a tais fenômenos são fundamentais e devem ser levados em consideração nos estudos do transporte desse tipo de substância. Geralmente, os parâmetros de sorção são obtidos experimentalmente num ambiente controlado de laboratório, uma vez que sua determinação é complexa. Por isso, é importante que se possua um modelo experimental eficiente para tal obtenção. Quanto à advecção, não foram obtidos dados em nenhum dos estudos envolvendo hidrocarbonetos.

4. Conclusão

Conclui-se que, atualmente, as principais fontes de contaminação do solo e da água estão relacionadas a postos de combustível, correspondendo a 71% do total de ocorrências de contaminação no estado de São Paulo, de acordo com a CETESB (2019). Nota-se que há grande carência de mapeamento e fiscalização de áreas contaminadas ou com risco de contaminação na grande maioria dos estados brasileiros, o que dificulta uma análise das principais fontes em um âmbito nacional, um reflexo do baixo incentivo a pesquisas relacionadas à identificação e monitoramento de impactos ambientais.

Distinguir o papel de cada parâmetro no modelo matemático e computacional de transporte de uma dada substância é essencial para a pesquisa e entendimento do processo de impacto ambiental como um todo. Observou-se, por exemplo, que, no caso de hidrocarbonetos, houve maior ocorrência de parâmetros relativos à sorção e biodegradação do que nos estudos relativos à metais pesados. Tal exemplo é uma demonstração da necessidade de se atentar ao considerar os parâmetros de transporte mais influentes da substância a ser estudada.

Contudo, nem sempre os parâmetros desejados estão disponíveis e há certa dificuldade de obtê-los, seja em campo ou em laboratório, o que demanda um modelo experimental eficaz. Notou-se diferenças na obtenção das informações apresentadas em cada trabalho, de forma que alguns autores estimaram certos parâmetros, obtiveram outros experimentalmente e os demais dados que os autores julgaram não interferir de forma significativa em seus experimentos foram desconsiderados. A escolha de qual parâmetro estimar, desconsiderar ou necessariamente aferir depende do tipo de contaminante estudado.

XX Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica
 IX Simpósio Brasileiro de Mecânica das Rochas
 IX Simpósio Brasileiro de Engenheiros Geotécnicos Jovens
 VI Conferência Sul Americana de Engenheiros Geotécnicos Jovens
 XI Congresso Luso Brasileiro de Geotecnia
 23 a 26 de Agosto de 2022 – Campinas – SP



COBRAMSEG 2022
 23 A 26 DE AGOSTO | CAMPINAS | SP | BRASIL
 COBRAMSEG | SBMR | GEOJOVEM | CLBG

Parâmetros Hidrogeológicos								Parâmetros da Fonte		Parâmetros de Sorção			Parâmetros de Dispersão			
Ref.	Material	Espessuras de Camadas (m)	Recarga (mm/ano)	Evapotranspiração (mm/ano)	Conduct. hidráulica Kx (cm/s)	Velocidade da água subterrânea (m/dia)	Porosidade efetiva %	Tipo de Contaminante	Concentração inicial da fonte (mg/l) ou (g/m³)	Coficiente de distribuição - Kd (m³/g)	Densidade aparente do solo (meio saturado) g/cm³	Fator de retardamento (Rd)	Disper. longitudinal (m)	Disper. transv./ Disper. longitudinal	Disper. vertical/ Disper. longitudinal	Coefficiente dispersivo-difusivo (cm²/s)
Fandiño (2020)	Argila arenosa ou muito mole	10	1447	960	5,5E-4	0,24	0,25	Chumbo*	0,40	-	-	-	10	-	-	-
		120			5E-6 a 5E-5			Cobre*	0,65							
		240			5E-8 a 5E-7			Cromo*	0,64							
								Zinco*	2,80							
Golzar (2018)	Vidro com diâmetro médio de 1,5 mm.	ensaio em coluna	-	-	4,5E-6	-	0,37	Nano-partícula de óxido de ferro	300	-	-	-	0,0025	0,1	0,01	5,0E-9
Regginato (2018)	Arenito	15	-	-	3,3E-3	0,49 a 0,54	0,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Leite (2000)	Mix2 64,2% areia, 8,2% silte e 27,6% argila	ensaio em coluna	-	-	-	-	0,39	Cobre	100	2,0E-6	1,83	10,5	-	-	-	6,8E-6
	200								1,43E-6	7,7		6,9E-7				
	500								1,04E-6	5,8		1,20E-6				
	100								3,4E-6	1,73	16,1	5,7E-8				
	200								2,62E-6		12,8	2,9E-8				
	500								1.34E-06		7	1,9E-7				
Basso (2003)	66,7% areia; 6,6% silte e 26,7% argila.	ensaio em coluna	-	-	-	-	0,31	Cobre	116	2,78E-6	1,88	19,52	-	-	-	6,0E-5
									228	1,61E-6		11,4				5,0E-4
									575	1,27E-6		8,79				4,0E-4
Azevedo et al. (2005)	Latossolo 0,9% pedregulho; 47,1% areia; 10% silte e 42% argila.	ensaio em coluna	-	-	-	-	-	Cádmio	1,6	-	-	36; 38,5 e 37,5	-	-	-	1,68E-2
								Manganês	36	-	-	19,5; 18 e 18,5	-	-	-	8,64E-3
								Zinco	72	-	-	26,5; 27,5 e 26	-	-	-	6,42E-3

Figura 1. Parâmetros de transporte de metais pesados.
 (*) Dados de lixiviado sem tratamento ; (-) Dado não informado.
 Fonte: Autora (2021)

XX Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica
 IX Simpósio Brasileiro de Mecânica das Rochas
 IX Simpósio Brasileiro de Engenheiros Geotécnicos Jovens
 VI Conferência Sul Americana de Engenheiros Geotécnicos Jovens
 XI Congresso Luso Brasileiro de Geotecnia
 23 a 26 de Agosto de 2022 – Campinas – SP



COBRAMSEG 2022
 23 A 26 DE AGOSTO | CAMPINAS | SP | BRASIL
 COBRAMSEG | SBMR | GEOJOVEM | CLBG

Parâmetros Hidrogeológicos								Parâmetros da fonte		Parâmetros de reação	Parâmetros de Sorção			Parâmetros de dispersão			
Ref.	Material	Espessuras de Camadas (m)	Recarga (mm/ano)	Conduct. hidráulica Kx (cm/s)	Velocidade da água subterrânea (m/dia)	Porosidade efetiva %	Gradiente hidráulico (i)	Tipo de Contaminante	Concentração inicial da fonte (mg/l)	Const. decaimento de 1ª ordem da fase sorvida e dissolvida λ	Coefficiente de distribuição - Kd (m³/g)	Densidade aparente do solo (meio saturado) g/cm³	Fração de Carbono orgânico - foc	Disper. longitudinal (m)	Disper. transv./ Disper. longitudinal	Disper. vertical/ Disper. longitudinal	Coefficiente dispersivo-difusivo (cm²/s)
Távora (2010)	Solo de cobertura	8	438	1,7E-3	-	-	-	Benzeno	32,1 (para gasolina com 24% de etanol)	0,69/dia	3,0E-6	-	-	10	0,1	0,01	-
	Quartzito muito alterado	4		5,0E-3													
	Quartzito mediam. alterado	38		1,3E-4													
	Quartzito com alto fraturamento	20		1,2E-5													
	Quartzito com baixo fraturamento	40		3,0E-6													
Atteia (2012)	Areia de quartzo	8	-	1,27E-5 a 3,47E-4	-	0,1	0,004	Etilbenzeno	3	30/ano	-	-	-	-	-	-	-
								Tolueno	5	15/ano							
								m.p-Xileno	4	6/ano							
								o-Xileno	4	0,75/ano							
								Benzeno	6	0,6/ano							
Corseuil (2015)	Areias marinhas com menos de 5% de silte e argila	-	1600	1,10E-4	0,008 a 0,013	0,2	0,018	Etanol	24% do total de	0,35/dia	3,5E-10	-	0,06%	-	-	-	-
								Benzeno	3,55	0,68/dia	4,24E-8						
Mobile (2016)	Camadas de areias, siltes e argilas 55,5% areia, 16,6% silte e 27,9% argila	3	-	1,16E-2	-	0,3	0,005	Benzeno	1780	0,34/dia (média)	-	1,5	-	0,1	0,1	-	1,16E-6
								Tolueno	515	0,30/dia (média)							
								Etilbenzeno	152	0,27/dia (média)							
								Xilenos totais	162	0,34/dia (média)							

Figura 2. Parâmetros de transporte de hidrocarbonetos de petróleo.

(*) Dados de lixiviado sem tratamento ; (-) Dado não informado.

Fonte: Autora (2021)



REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Atteia, O.; Höhener, P. (2012) Fast semi-analytical approach to approximate plumes of dissolved redox-reactive pollutants in heterogeneous aquifers. BTEX. *Advances in Water Resources*, v.46, p.63-73. ISSN 0309-1708.
- Azevedo, I.C.D.; Nascentes, C.R.; Matos, A.T. (2005) Determinação de parâmetros de transporte de metais pesados em Latossolo compactado. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v. 9, n. 4, p. 623-630.
- Basso, J.B. (2003) Transporte e retenção de K^+ , Cu^{2+} e Cl^- em uma mistura compactada de solos lateríticos para uso em barreiras selantes: procedimentos de homogeneização da mistura e adaptações em equipamento de percolação em colunas. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 168 p.
- Bergmann, C.R. (2016) Estudo experimental e analítico do transporte de contaminantes em solo com finos. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - COPPE / Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, [102f.], 86p.
- Boscov, M.E.G. (2008) *Geotecnia Ambiental*. 1. ed. São Paulo: Oficina do Texto. 248p.
- Cathcart, D. (2019) SCBR: Um estudo comparativo da simulação do fluxo subterrâneo e do transporte de contaminantes com soluções analíticas e modelos numéricos. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 101p.
- CETESB. (2014) O que são áreas contaminadas. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. Disponível em: < <https://cetesb.sp.gov.br/areas-contaminadas/o-que-sao-areas-contaminadas/#>>. Acesso em: 16 nov 2020.
- CETESB. (2019) Relatório de áreas contaminadas e reabilitadas no estado de São Paulo. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. São Paulo, p. 12.
- Confederação Nacional da Indústria. CNI. (2020) Perfil das indústrias nos estados. Disponível em: << <https://perfildaindustria.portaldaindustria.com.br/>>. Acesso em: outubro 2020.
- Corseuil, H. X.; Schneider, M. R.; Rosário, M.; Maliska, C. (2006) Solução corretiva baseada no risco (SCBR): modelo matemático de tomada de decisão para o gerenciamento ambiental de águas subterrâneas contaminadas. In: XIV Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas. Curitiba. Anais do 14º Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas. São Paulo: ABAS. p. 1-14.
- Corseuil, H. X.; Gomez, D. E.; Schambeck, C. M.; Ramos, D. T.; Alvarez, P. J.J. (2015) Nitrate addition to groundwater impacted by ethanol-blended fuel accelerates ethanol removal and mitigates the associated metabolic flux dilution and inhibition of BTEX biodegradation. *Journal of Contaminant Hydrology*, v.174, p.1-9. ISSN 0169-7722.
- Domenico, P.A.; Schwartz, F. W. (1998) *Physical and Chemical Hydrogeology*. 2.ed. New York: Ed. John Wiley & Sons. 506p.
- Espinosa, M. de B. (2016) Estudo comparativo da aplicação dos modelos matemáticos SCBR e MODFLOW na simulação de fluxo subterrâneo, transporte e remediação de contaminantes em água subterrânea. Trabalho de Conclusão de Curso. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 129p.
- Fandiño, J. S. M. (2020) Modelagem da dispersão de poluentes em meios porosos: Caso do aterro de resíduos sólidos urbanos de Jacarezinho (PR). Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia Ambiental) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 105p.
- Fetter, C. W.; Boving, T. Kremer, D. (2018) *Contaminant hydrogeology*. 3. ed. Long Grove: Ed. Waveland Press, 2018. 663p.



- GEOSLOPE. (2019) Learning: Tutorial Videos - Introduction to CTRAN/W. GEOSLOPE. Disponível em: <www.geoslope.com/support/support-resources/tutorial-videos/geostudio-2018>. Acesso em: Janeiro 2021.
- Gomes, L. P. (2009) Estudos de caracterização e tratabilidade de lixiviados de aterros sanitários para as condições brasileiras. 1.ed. Rio de Janeiro: ABES. 360p.
- Golzar, M.; Azhdary Moghaddam, M.; Saghravani, S.F.; Dahrazma, B. (2018) An image processing approach for investigation on transport of iron oxide nanoparticles (Fe_3O_4) stabilized with poly acrylic acid in two-dimensional porous media. *Journal of Contaminant Hydrology*, v. 211, p.77-84, ISSN 0169-7722.
- Leite, J.C. (2000) Estudos laboratoriais de percolação em colunas de misturas de solos lateríticos compactados: Equipamentos e Ensaio. Tese (Doutorado) - Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos, 207p.
- Mobile, M.; Widdowson, M.; Stewart, L.; Nyman, J.; Deeb, R.; Kavanaugh, M.; Mercer, J.; Gallagher, D. (2016) In-situ determination of field-scale NAPL mass transfer coefficients: Performance, simulation and analysis. *Journal of Contaminant Hydrology*, v. 187, p. 31-46. ISSN 0169-7722.
- Newell, C.; Mcleod, R.; Gonzales, J. (1996) BIOSCREEN: Natural Attenuation Decision Support System. User's Manual Version 1.3. 70. National Risk Management Research Laboratory, EPA/600/R-96/087.
- Oliveira, L. (2017) Avaliação da capacidade de biodegradação de benzeno, tolueno, etilbenzeno e isômeros de xileno por bactérias isoladas de área contaminada. Tese (Doutorado em Ciências). São Paulo: Universidade de São Paulo, [88f.], 72p.
- Pereira, E.M.; Chang, H.K.; Alfaro Soto, M.A. (2011) Estimativa de Alguns Parâmetros de Transporte de Contaminantes para Solos Brasileiros. *Geociências*, v. 30, p. 383-398.
- Regginato, R. (2018) Modelamento matemático da trajetória e tempo de chegada dos contaminantes na área do aterro de resíduos sólidos urbanos de Candiota – RS. Trabalho de Conclusão de Curso. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 100p.
- Soares, R. V. B. (2019) Investigação da ocorrência de contaminante nas águas superficiais e subterrâneas no lixão do Novo Gama (GO) por meio de métodos geofísicos, qualidade da água e modelagem hidrológica. Trabalho de Conclusão de Curso. Brasília: Universidade de Brasília, 80p.
- Távora, B. E. (2010) Estudo da contaminação do lençol freático por hidrocarbonetos utilizando modelagem computacional. Dissertação – Universidade de Brasília, Brasília, 71p.
- Zuquette, L. V. (2015) Geotecnia ambiental. 1. ed. Rio de Janeiro: Elsevier. Edição do Kindle.12288p.