

XIX SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS

OBTENÇÃO DE COEFICIENTES DE DISPERSIVIDADE DE SOLOS NA CIDADE DE FORTALEZA A PARTIR DA RETROANÁLISE DOS RESULTADOS OBTIDOS EM ENSAIOS LABORATORIAIS

Erica Acioli Canamary¹ & Carlos David²; Silvrano Adonias Dantas Neto³; Alfran Sampaio Moura⁴; Francisco Chagas da Silva Filho⁵;

Resumo – Dentre os diversos problemas relacionados à contaminação do meio ambiente se destaca a contaminação dos solos e água subterrânea por agentes derivados de petróleo. A análise do processo de contaminação é normalmente feita a partir da simulação numérica do avanço da pluma de contaminação no solo. Dentre as principais dificuldades para a realização dessa análise pode-se citar a obtenção dos coeficientes de dispersão longitudinal e transversal. Assim, este trabalho tem por objetivo a definição de uma metodologia para obtenção desses coeficientes em solos da cidade de Fortaleza a partir da retroanálise de resultados de ensaios laboratoriais. Para o estabelecimento da metodologia de definição dos coeficientes de dispersão foi desenvolvido um equipamento que permitisse simular em laboratório o transporte unidimensional dos contaminantes em uma amostra indeformada de solo. As amostras de solo contaminadas foram então coletadas e submetidas a análises químicas para a determinação da concentração de BTX (Benzeno, Tolueno e Xileno). Em seguida, a contaminação da amostra em laboratório foi retroanalizada via simulação numérica para a obtenção dos coeficientes de dispersividade longitudinal e transversal. De acordo com a metodologia utilizada os valores finais para os coeficientes dispersividade longitudinal foram de 0,055m e 0,032m para o tolueno e o xileno, respectivamente.

Abstract – Among the various problems related to contamination of the environment highlights the contamination of soils and groundwater by agents derived from petroleum. The analysis of the contamination process is usually made by the numerical simulation of the advance of the contamination plume in the soil. Among the main difficulties for this analysis can be cited the obtainment of the coefficients of longitudinal and transverse dispersion. This work aims at defining a methodology for obtaining the soil dispersivity coefficients of Fortaleza from metanalysis of laboratory test results. To establish the methodology for defining the dispersion coefficients was developed a device that simulated in the laboratory one-dimensional transport of contaminants in an undisturbed soil sample. The contaminated soil samples were then collected and subjected to chemical analysis to determine the concentration of BTX (benzene, toluene and xylene). Then, the contamination of the sample in the laboratory was metanalysis by numerical simulation to obtain the coefficients of longitudinal and transverse dispersivity. According to the methodology used for the final values of longitudinal dispersivity coefficients were 0.055 and 0.032 m for toluene and xylene, respectively.

Palavras-Chave – Contaminação, Coeficiente de Dispersividade, Solo.

¹ Universidade Federal do Ceará, Campus do Pici, Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental, bloco: 713, 1º andar, erica_accioli@hotmail.com

² Universidade Federal do Ceará, Campus do Pici, Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental, bloco: 713, 1º andar, cdavid_civil@hotmail.com

³ Universidade Federal do Ceará, Campus do Pici, Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental, bloco: 713, 1º andar, silvrano@ufc.br

⁴ Universidade Federal do Ceará, Campus do Pici, Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental, bloco: 713, 1º andar, alfransampaio@ufc.br

⁵ Universidade Federal do Ceará, Campus do Pici, Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental, bloco: 713, 1º andar, fchagas@ufc.br

1. INTRODUCAO

No Brasil, até a década de 70, os resíduos industriais e urbanos eram dispostos diretamente no solo, pois se acreditava que o solo era um receptor ilimitado de substâncias nocivas descartáveis, como o lixo doméstico e os resíduos industriais, com base no suposto poder tampão e potencial de autodepuração dos solos (CETESB, 2001, apud BORGES *et al*, 2006). Com o intenso desenvolvimento econômico ocorrido nos anos posteriores observou-se um impacto imediato em termos do aumento do processo de contaminação dos solos, e conseqüentemente, das águas subterrâneas dos aquíferos, refletindo, portanto, de forma direta na qualidade de vida e saúde das populações urbanas e rurais.

Nesse contexto, houve um crescimento das políticas ambientais e conseqüentemente um maior controle da disposição dos resíduos produzidos. Associado a isso, têm-se também um avanço dos estudos sobre o processo de contaminação e remediação do solo.

A análise desse processo normalmente é feita a partir de uma simulação numérica do avanço da pluma de contaminação. Dentre as principais dificuldades para a realização da análise desse processo têm-se a obtenção de determinados coeficientes necessários para a avaliação de determinados processos envolvidos nesse avanço, como os coeficientes de dispersão longitudinal e transversal. Estes parâmetros são, muitas vezes, obtidos na literatura técnica, ou a partir de recomendações empíricas não representando assim as características próprias do solo de interesse.

Este trabalho tem por objetivo a definição de uma metodologia para obtenção dos coeficientes de dispersividade de solos da cidade de Fortaleza a partir da retroanálise de resultados de ensaios laboratoriais. Para tanto, foi desenvolvido em laboratório um equipamento que permitisse a simulação da contaminação de amostras indeformadas de solo por um fluxo unidimensional de contaminantes derivados de petróleo, especificamente, a gasolina.

Após a contaminação em laboratório, as amostras de solo ensaiadas foram submetidas a análises químicas para a definição das concentrações dos contaminantes. Com os valores obtidos, o processo de contaminação do solo foi simulado numericamente, utilizando o Método dos Elementos Finitos, de forma a se definir os coeficientes de dispersão longitudinal e transversal a partir de retroanálise dos resultados obtidos nas análises químicas das amostras ensaiadas.

2. REVISAO BIBLIOGRAFICA

Os mecanismos responsáveis pelo transporte de poluentes em um meio contínuo são: a advecção; a dispersão mecânica; a difusão; e os processos bio-físico-químicos. Na Figura 1 é apresentado um organograma contendo os principais mecanismos responsáveis pelo transporte de contaminantes em solos.

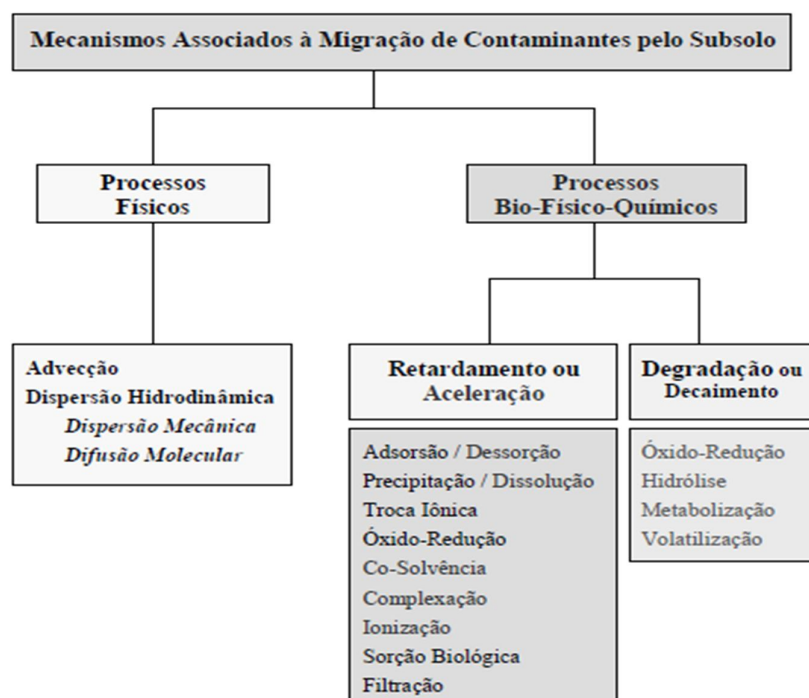


Figura 1 – Mecanismos envolvidos na migração da pluma de contaminação (THOMÉ, KNOP, s.a.)

Na advecção as partículas de água em movimento irão carrear o poluente através dos vazios do solo, fazendo que os compostos fluam a uma velocidade que corresponde à velocidade média da água. Esse processo pode ser descrito pela seguinte equação:

$$J = Cv \quad (1)$$

Onde:

J é o fluxo de massa do contaminante;

C é a concentração de soluto em relação ao volume da solução;

v é a velocidade de percolação, de Darcy;

A difusão ocorre a partir de uma movimentação de partículas desencadeada por um gradiente de concentração, podendo ocorrer mesmo quando o poluente encontra-se imerso em um fluido estático. Tal fenômeno está relacionado ao movimento Browniano que se caracteriza por uma movimentação das partículas do fluido de uma região mais concentrada para uma menos concentrada. A Primeira Lei de Fick, apresentada na Equação 2, expressa o fluxo de contaminantes num meio como função da variação da concentração do poluente numa certa direção, e do coeficiente de difusão do poluente.

$$J = -D_d \frac{\partial C}{\partial x} \quad (2)$$

Onde:

D_d é o coeficiente de difusão em solução livre;

A dispersão hidráulica está relacionada às diferentes velocidades com que as partículas penetram no solo, sendo caracterizado como um movimento turbulento de partículas, em função da magnitude e tamanho dos vazios do solo. A caracterização do transporte de poluentes em um meio via dispersão hidráulica é feita a partir dos coeficientes de dispersão longitudinal (D_x) e transversal (D_y). Os coeficientes de dispersão longitudinal e transversal são definidos respectivamente como o produto dos coeficientes de dispersividade longitudinal (α_x) e transversal (α_y), pela componente de velocidade do fluxo na direção longitudinal em um meio.

$$D_x = \alpha_x \cdot u \quad (3)$$

$$D_y = \alpha_y \cdot u \quad (4)$$

As principais dificuldades encontradas na realização das simulações numéricas dos processos de transporte de contaminantes em solos estão relacionadas à definição dos valores dos coeficientes de dispersividade longitudinal e transversal apresentados nas Equações 3 e 4. De uma forma geral, recorre-se a valores estabelecidos na literatura técnica, ou a recomendações empíricas para a definição destes coeficientes, em virtude da inexistência de uma metodologia para a definição dos mesmos. Como exemplo, pode-se citar o trabalho de Gelhar (1986) apud Almeida et al. (2007), que apresenta a seguinte proposta para a definição dos coeficientes de dispersividade longitudinal e transversal a serem utilizados nas análises do processo de contaminação de poluentes em solo:

$$\alpha_x = 0,10L_p \quad (5)$$

$$\alpha_y = 0,10\alpha_x \quad (6)$$

Onde:

α_x é a dispersividade longitudinal;

α_y é a dispersividade transversal;

L_p é o comprimento da pluma de contaminação;

A representação matemática do processo de transporte de poluentes via dispersão hidrodinâmica, que representa o caso em que o transporte do poluente ocorre por dispersão hidráulica e por difusão é definida como:

$$J = -n \left(D_{dhL} \frac{\partial C}{\partial x} + D_{dhT} \frac{\partial C}{\partial y} \right) \quad (7)$$

Sendo:

$$D_{dhL} = \alpha_L u_x + D_e \quad (8)$$

$$D_{dhT} = \alpha_T u_y + D_e \quad (9)$$

Onde:

D_{dhL} é o coeficiente de dispersão hidrodinâmica longitudinal;

D_{dhT} é o coeficiente de dispersão hidrodinâmica transversal;

Durante a percolação do contaminante, mudanças de concentração podem ocorrer unicamente na fase líquida, ou em virtude da transferência do soluto para outras fases (Bosco, 2008), havendo uma aceleração ou retardo do processo, o qual se denomina de adsorção. A expressão matemática que descreve a quantidade de soluto adsorvido por unidade de massa de adsorvente sólido (S) em função da concentração de soluto remanescente na solução (C) em equilíbrio, a uma dada temperatura, é denominada de isoterma de adsorção (Bosco, 2008). Dentre as isotermas existentes a utilizada no presente estudo foi a isoterma linear, a qual é apresentada na Figura 2, que considera a sorção variando linearmente com a concentração.

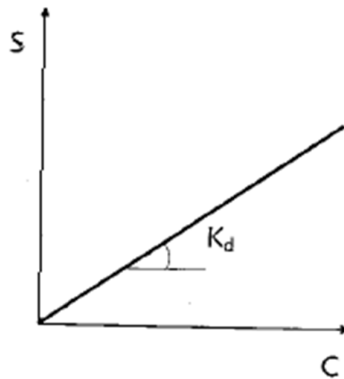


Figura 2 – Isoterma Linear

$$S = K_d \times C \quad (10)$$

Onde:

S é o grau de adsorção;

K_d é o coeficiente de adsorção ou de distribuição;

C é a concentração de equilíbrio (massa de soluto por volume de solução);

Para a obtenção da função citada anteriormente, para solos saturados, pode-se adotar a equação 3.18, pode-se assim perceber que para compor o gráfico da isoterma linear deve-se apenas determinar o valor do coeficiente de sorção, K_d .

$$K_{oc} = \frac{K_d}{f_{oc}} \quad (11)$$

Onde:

K_{oc} é o coeficiente de partição do carbono orgânico;

f_{oc} é a fração de carbono orgânico;

O somatório de cada uma dessas equações resulta na equação que representa a movimentação da pluma de contaminação num solo, conforme apresentado na Equação 10 seguinte.

$$\begin{aligned} J &= J_{advecção} + J_{difusão} + J_{dispersão\ mecânica} \\ &= J_{advecção} + J_{dispersão} \end{aligned} \quad (12)$$

Substituindo as parcelas referentes a cada processo, no caso da análise do transporte do contaminante em duas dimensões, tem-se a seguinte Equação 11 que permite a definição do transporte de poluentes em um solo. A solução desta equação pode ser obtida empregando-se, por exemplo, o Método dos Elementos Finitos que permite a obtenção de uma solução aproximada para o fenômeno.

$$\left(1 + \frac{\rho K_d}{n}\right) \frac{\partial C}{\partial t} = \left(D_{aHL} \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} + D_{aHT} \frac{\partial^2 C}{\partial y^2}\right) - \left(u_x \frac{\partial C}{\partial x} + u_y \frac{\partial C}{\partial y}\right) \quad (13)$$

Onde:

C : concentração do poluente;

K_d : coeficiente de adsorção ou de distribuição;

ρ : massa específica do meio (solo);

n : porosidade do meio (solo);

u_x : componente da velocidade na direção x ;

u_y : componente da velocidade na direção y .

3. MATERIAIS E METODOS

3.1. Coletas das amostras de solo

Para a realização deste trabalho foram coletadas amostras deformadas e indeformadas de solo do Campus do Pici, da Universidade Federal do Ceará na cidade de Fortaleza. A Figura 3 ilustra o local de extração das amostras, e a Tabela 1 as coordenadas UTM e geográficas do mesmo.

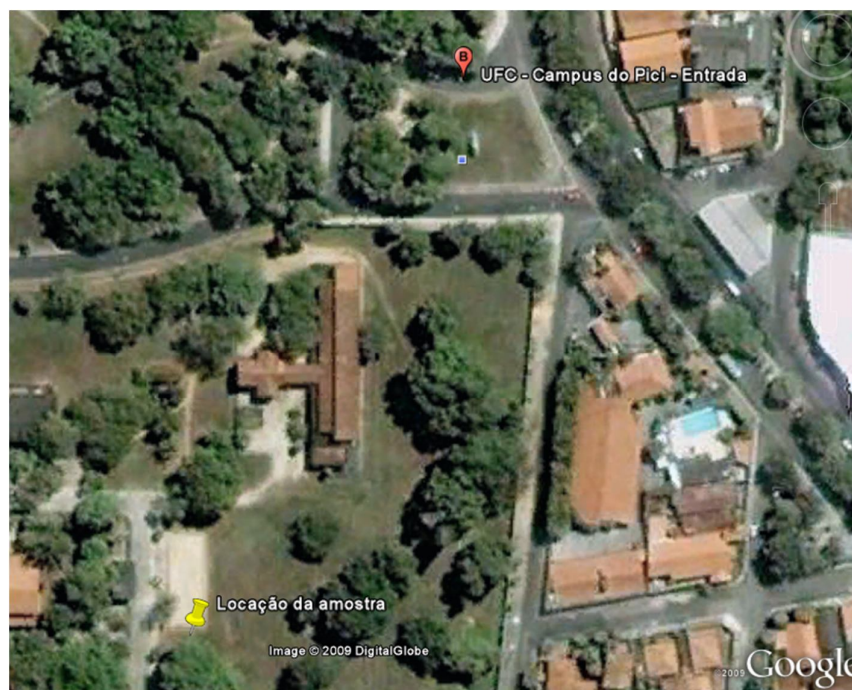


Figura 3 – Local de coleta das amostras

Tabela 1 – Coordenadas do local de coleta das amostras

Coordenadas do local de coleta das amostras			
UTM (Zona: 24M)		Geográficas	
East	547732	Latitude	3°44'24,39" W
North	9586588	Longitude	34°34'12,50" S

3.2. Caracterização das amostras de solo

A caracterização das amostras de solo foi realizada no Laboratório de Mecânica dos Solos da Universidade Federal do Ceará. Foram realizados os seguintes ensaios de caracterização:

- Análise granulométrica: ABNT/NBR 7181/82;
- Umidade Natural (w): ABNT NBR 6457/86;
- Densidade Real dos Grãos (γ_g): ABNT NBR 6508/84;
- Coeficiente de Permeabilidade (k): ABNT NBR 13292;

Na Tabela 2 e Figura 4 são apresentados os valores dos parâmetros geotécnicos obtidos nos ensaios realizados e a curva granulométrica do solo analisado, respectivamente. De acordo com a distribuição granulométrica, pode-se concluir que o solo é constituído por aproximadamente 75%, de areia. Observa-se que o valor da permeabilidade encontrado está condizente com o tipo de solo analisado, pois de acordo com Ortigão (2007), esse parâmetro normalmente apresenta um valor de 10^{-3} a 10^{-5} m/s em solo arenosos, o que caracteriza uma elevada permeabilidade.

Tabela 2 – Caracterização do Solo

Propriedade/Índice	Unidade	Valor
Massa específica real dos grãos	g/cm ³	2,74
Umidade Natural	%	3,35
Massa específica natural do solo	g/cm ³	1,37
Coeficiente de Permeabilidade	m/s	3×10^{-3}
Índice de Vazios	%	1,06

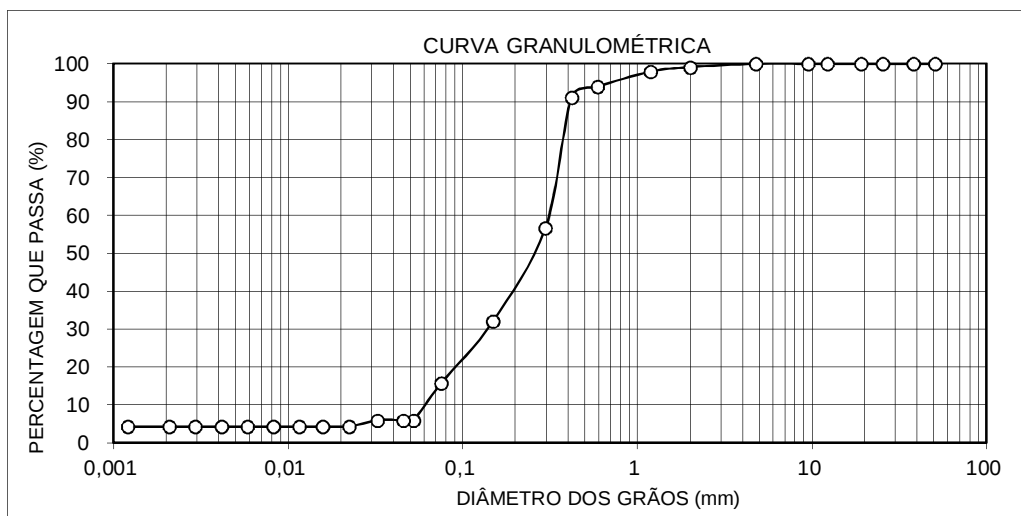


Figura 4 – Curva granulométrica do solo

3.3. Contaminação do solo em escala laboratorial

Para a simulação do processo de contaminação do solo em escala laboratorial foi desenvolvido no Laboratório de Mecânica dos Solos e Pavimentação da Universidade Federal do Ceará um equipamento semelhante ao utilizado por Farias (2003). O material adotado para a confecção do equipamento foi aço inoxidável e conexões de latão revestidas com cromo a fim de evitar a reação entre o mesmo e o poluente (agente derivado de petróleo).

O equipamento utilizado é constituído por um cilindro de 12,5 cm de altura por 5 cm de diâmetro externo, tendo as paredes 2,5 mm de espessura. O mesmo apresenta fios de rosca no topo e na base que permitem conectá-lo a duas tampas circulares de 10 cm de diâmetro por 2 cm de espessura, conforme pode ser visualizado na Figura 5.a e Figura 5.b.



(a) Vista geral do equipamento



(b) Detalhe do cilindro

Figura 5 - Equipamento utilizado para simulação do fluxo unidimensional de contaminantes em laboratório

A tampa superior possui dois orifícios, um para a entrada do contaminante e outro para a saída de ar. Na entrada inferior foi feito um orifício de 2 mm, que permite a saída do fluido que percola através da amostra, além de um registro que controla esse fluxo. Esses detalhes são mostrados nas Figuras 6, e Figura 7.



Figura 6 – Vista interna das tampas superior e inferior

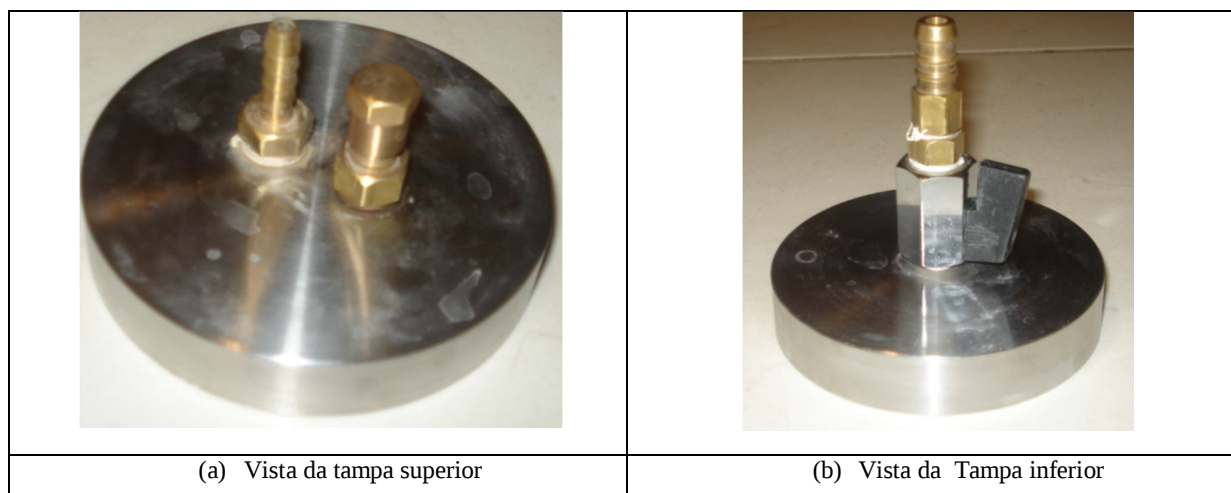


Figura 7 – Vista externa das tampas superior e inferior

O processo de contaminação das amostras de solo em laboratório foi realizado em quatro etapas: moldagem do corpo de prova; saturação do corpo de prova; contaminação do corpo de prova; coleta das amostras de solo contaminadas para ensaios químicos para a determinação das concentrações de poluentes.

Para realizar esse processo conectou-se o equipamento a uma bureta de 25ml por meio de uma mangueira de silicone, como pode-se observar na Figura 8. Com o intuito de saturar o corpo de prova, o mesmo foi exposto a um fluxo constante de água durante 30 minutos.



Figura 8 – Realização do ensaio de coluna

Posteriormente, iniciou-se a contaminação da amostra mediante a introdução de um fluxo constante de gasolina. Assim, permitiu-se que o nível da água descesse até o valor de 25ml da bureta e completou-se o volume da mesma com gasolina. Não se esvaziou completamente a bureta para impossibilitar a entrada de ar na mangueira. Constata-se, portanto que o fluxo se caracterizou por uma mistura de água e contaminante.

A amostra de solo foi submetida a um processo de contaminação por um período de 10 minutos. Finalizada esta etapa, extraíu-se cinco amostras do corpo de prova para análises químicas que permitissem a definição das concentrações de poluente em diferentes alturas do mesmo. Vale ressaltar que as posições das amostras extraídas estão indicadas na Figura 9.

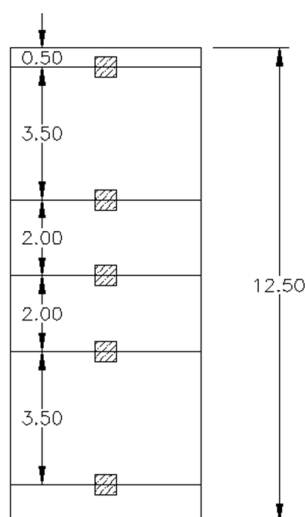


Figura 9 – Alturas do corpo de prova em que foram coletadas as amostras

3.3. Análises químicas

A determinação da concentração de BTX em cada amostra foi feita através de uma análise de cromatografia gasosa no Laboratório de Tecnologia Química do IFCE - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará.

Os valores das concentrações de BTX na amostra de gasolina e adsorvidos ao solo podem ser visualizados nas Tabelas 3 e 4. O valor da concentração de BTX em cada amostra foi obtido por meio do cálculo da área do pico característico de cada composto, sendo o resultado apresentado em unidade de área e posteriormente transformado em unidade de concentração por meio da relação com a concentração da solução padrão, o que resultou nos seguintes valores.

Tabela 3 – Concentração de BTX na gasolina

Substância	Tempo (min)	Concentração (u.a.)	Concentração (g/m ³)
Tolueno	5,47	1814850608	53650
Xileno	6,84	2788665875	82436

Tabela 4 – Resultados da cromatografia gasosa nas amostras do solo

Amostra	Composto	Concentração (g/m ³)
Amostra a 5mm	Benzeno	-
	Tolueno	0,12
	Xileno	0,31
Amostra a 4cm	Benzeno	-
	Tolueno	224,29
	Xileno	20,56
Amostra a 6cm	Benzeno	-
	Tolueno	479,09
	Xileno	274,08
Amostra a 8cm	Benzeno	-
	Tolueno	457,74
	Xileno	235,90
Amostra a 11,5cm	Benzeno	-
	Tolueno	382,90
	Xileno	252,60

Ao se avaliar os dados de concentração de tolueno e xileno no solo, observa-se que o primeiro teve uma maior capacidade de adsorção as partículas de solo. Isso pode estar relacionado à maior mobilidade do xileno nesse meio.

3.4. Simulação Numérica

Após os ensaios laboratoriais, foram utilizados programas computacionais para simulação do avanço da pluma de contaminação. É importante mencionar que essa simulação foi realizada em

condições semelhantes ao ensaio em laboratório. Ao logo das análises foram feitas comparações com os resultados obtidos em laboratório na tentativa de se obter os parâmetros utilizados nas formulações matemáticas que representam mecanismos envolvidos no transporte de poluentes no solo.

Os programas adotados foram o CTRAN/W o qual avalia o transporte de poluentes no solo e o SEEP/W o qual analisa a percolação de água no solo. Para se dispor qualquer situação no CTRAN/W, se faz necessário que os dados sejam anteriormente lançados no SEEP/W, com o intuito de obter as velocidades do fluxo, as quais serão inseridas no CTRAN/W para modelar o transporte do contaminante.

No CTRAN/W, o tipo de análise escolhida foi a advecção-adsorção, sendo o tempo da análise de 10 minutos.

Os valores iniciais do coeficiente de dispersividade longitudinal e transversal adotados foram de 0,0125 m e 0,00125 m, respectivamente, os quais foram obtidos a partir das formulações fornecidas por Gelhar (1986) apud Almeida, Aguiar, Lins (2007), apresentadas anteriormente.

O comprimento da pluma adotado foi o comprimento do cilindro onde foi realizada a simulação do processo de contaminação.

Charbeneau (2000) apud Silva (2005) fixa os valores do coeficiente de difusão em solos saturados em valores em torno de 10^{-4} m²/d (10^{-5} cm²/s), sendo, portanto adotado a valor de 1×10^{-9} m²/s para o tolueno e o xileno.

As concentrações iniciais da fonte utilizadas nas simulações foram às concentrações do tolueno e do xileno existentes na gasolina, as quais foram de 53650g/m³ e 82436g/m³, respectivamente.

Os resultados das análises para cada uma das substâncias estudadas são mostrados nas Tabelas 5 e 6. Ressalta-se que nesse trabalho só foram considerados na análise os valores das concentração obtidas na altura de 6 cm, por ser o local onde se encontra uma maior semelhança com um fluxo unidimensional.

Tabela 4 – Comparação dos valores do ensaio com os obtidos no CTRAN/W

Comparação dos valores da concentração do tolueno		
Altura de coletada da amostra (m)	Concentração do programa (g/m ³)	Concentração do ensaio (g/m ³)
$6,00 \times 10^{-2}$	8,810	479,09

Tabela 5 – Comparação dos valores do ensaio com os obtidos no CTRAN/W

Comparação dos valores da concentração do xileno		
Altura da coleta da amostra (m)	Concentração do programa (g/m ³)	Concentração dos ensaios (g/m ³)
$6,00 \times 10^{-2}$	8,391	274,08

Observa-se uma significativa diferença entre os valores obtidos nos ensaios e a partir da análise do programa. Esse erro, porém pode ser minimizado por meio da calibração do modelo. Realizou-se, assim uma variação dos valores dos coeficientes de dispersividade na tentativa de se obter valores de concentrações semelhantes aos do laboratório, mantendo-se sempre a relação de $\alpha_y = 0,1\alpha_x$ apresentada anteriormente. Os resultados obtidos na calibração são apresentados nas Tabelas 6 e 7.

Os coeficientes de dispersividade longitudinal que mais se aproximavam dos obtidos em laboratório foram de 0,055m e 0,032m para o tolueno e o xileno, respectivamente.

Tabela 6 – Variação da concentração do tolueno ao longo do corpo de prova na calibração do sistema

Comparação dos valores da concentração do tolueno					
Altura de coleta da amostra	Valor obtido em laboratório	$\alpha_x = 0,05$	$\alpha_x = 0,04$	$\alpha_x = 0,045$	$\alpha_x = 0,055$
6,00 cm	479,09	560,19	372,81	470,2	479,22

Tabela 7 – Variação da concentração ao longo do corpo de prova na calibração do sistema

Comparação dos valores da concentração do xileno						
Altura de coleta da amostra	Valor obtido em laboratório	$\alpha_x = 0,0455$	$\alpha_x = 0,0355$	$\alpha_x = 0,0255$	$\alpha_x = 0,03$	$\alpha_x = 0,032$
6,00 cm	274,08	585,39	354,94	158,4	240,36	280,5

Ao se analisar os valores finais dos coeficientes de dispersividade verifica-se que os mesmos são muito reduzidos, pois segundo Krahn (2004) apud Floss (2008), a dispersividade varia tipicamente entre 0,1 a 100 m, dessa forma, os valores obtidos foram praticamente nulo.

Ressalta-se que em função da gasolina possuir uma constituição bastante complexa, foram encontradas muitas dificuldades para a determinação da concentração de BTX na amostra líquida do contaminante, o que pode ter prejudicado a análise no CTRAN/W.

4. CONCLUSÕES

Ao longo do desenvolvimento deste trabalho pode-se observar a grande importância de se determinar os parâmetros envolvidos no processo de transporte de massa de contaminantes, pois, como relatado anteriormente, eles permitem que se faça uma avaliação inicial do avanço da pluma de contaminação, disponibilizando ferramentas necessárias para a tomada de decisões, como a determinação do tipo de remediação a ser aplicada.

Durante as pesquisas, verificou-se que existem poucos trabalhos desenvolvidos quando o contaminante estudado é a gasolina, principalmente no que se refere ao solo da Região Metropolitana de Fortaleza. Esse fato pode ter desencadeado erros ao longo do trabalho em função

dos coeficientes utilizados terem sido determinados em outros tipos de solos, com outras características.

Uma dificuldade encontrada ao longo do desenvolvimento das análises foi à complexa constituição do contaminante analisado. Apesar de se utilizar a técnica de headspace para extrair o contaminante do solo, não foi possível identificar o benzeno nas análises. Destaca-se assim a necessidade de se realizar ensaios mais detalhados para identificar a presença de BTX em amostras de solo.

Ressalta-se que os valores dos coeficientes de dispersividade longitudinal de 0,055m e 0,032m para o tolueno e o xileno, respectivamente são muito baixos se comparados com os apresentados por Krahn (2004) apud Floss (2008).

Outro problema pode estar relacionado à equação utilizada para a determinação de coeficientes relacionados com os processos de transporte de massa. Em virtude de não existir nenhum estudo que determine esses parâmetros para a região de Fortaleza, foram adotados coeficientes encontrados na literatura, os quais caracterizam solos diferentes dos encontrados em Fortaleza.

Observa-se, portanto a necessidade de se realizar novos estudos mais detalhados com o intuito de determinar com uma maior precisão os parâmetros dos processos de transporte de massa em solo característicos do Ceará. Além de desenvolver simulações que caracterizam outros casos de contaminação, como vazamentos em tanques de armazenamento de combustíveis.

BIBLIOGRAFIA

- BEDIENT, P. B., et all. (1994) "*Ground Water Contamination: Transport and Remediation*". New Jersey. Prentice Hall PTR.
- BOSCOV, M. E. G.(2008) "*Transporte de Poluentes no Solo*". In: **Geotécnica Ambiental**. Ed. Oficina de Textos. São Paulo. 30p.
- CETESB (Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental). "*O Gerenciamento de Áreas Contaminadas no Estado de São Paulo*". Disponível em:<http://www.cetesb.sp.gov.br/Solo/áreas_contaminadas/texto_áreas_cont_nov_08.pdf>. Acesso em: 25 julho 2009.
- FARIAS, W. M. (2003). "*Condutividade Hidráulica de Solos Tropicais Compactados a Hidrocarbonetos da Gasolina*", 2003. Dissertação (Mestrado em Geotécnica) Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília. 31p.

Floss, M. F. (2008) “*Capacidade de retenção de Cádmio do solo de fundo da estação de tratamento de esgoto de Passo Fundo – RS*”. 2008. Dissertação (Mestrado em Engenharia), Universidade de Passo Fundo. 72p.

NUNES, G. (2008). “*Contaminação do solo e água subterrânea por hidrocarbonetos de petróleo e o caso da gasolina brasileira*”. 2008. Monografia (Graduação em Engenharia Civil), Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria. 57p.

ORTIGÃO, J. A. R. (2007) “*Introdução a Mecânica dos Solos dos Estados Críticos*”. 3.ed. São Paulo: Editora Terratec.

SILVA, B. C. de P. (2005). “*Elementos Finitos para Modelagem da Sorção de Contaminantes Orgânicos na Fração Orgânica dos Solos*”. 2005. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Infra-Estrutura Aeronáutica) Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos, 2005. 33p.