AVALIAÇÃO DE METODOLOGIAS DA DETERMINAÇÃO DA DISPERSIVIDADE MECÂNICA (α) PELA VARIAÇÃO DO GRADIENTE HIDRÁULICO

Guilherme de Oliveira Schmidt
Acadêmico do curso de Engenharia Ambiental da Universidade de Passo Fundo
guilherme.de.oliveira.schmidt@gmail.com
Vinícius Honse Didó
Engenheiro Ambiental
vini_dido@hotmail.com
Rafael de Souza Tímbola
Mestrando em engenharia pela Universidade de Passo Fundo
rafaeltimbola@hotmail.com
Antônio Thomé
Professor Doutor em engenharia da Universidade de Passo Fundo
thome@upf.br
Eduardo Pavan Korf
Professor Mestre em engenharia da Universidade de Passo Fundo
eduardokorf@gmail.com

Resumo. *A Dispersividade Mecânica (α) é o principal parâmetro que rege o transporte físico dispersivo de plumas de contaminantes em solos de estrutura natural atingidos por contaminantes. Os objetivos do trabalho foram (1) avaliar a influência do emprego de diferentes metodologias de variação do gradiente hidráulico (i) sobre a determinação de α e (2), avaliar a influência do comprimento da trajetória de fluxo (z) sobre o valor de α. Com ensaios de coluna, soluções contaminantes ácidas contendo Cádmio foram percoladas em amostras indeformadas de um Latossolo residual. Os parâmetros R_d (fator de retardamento) e D_h (dispersão hidrodinâmica) foram obtidos através dos ensaios. O parâmetro α foi determinado de acordo com a metodologia de Frezze e Cherry (1979), considerando os diferentes valores de D_h e velocidade linear de percolação (v_s) obtidos através da variação de i. A análise dos resultados demonstra que há diferença nos resultados obtidos entre as duas metodologias para a variação de i. No entanto, ainda não é possível determinar a influência de z em α, pois os valores utilizados para i resultaram em valores para v_s aproximados entre os grupos de ensaio.*
Palavras-chave: *Ensaios de Coluna. Parâmetros de Transporte. Dispersividade.*

1. INTRODUÇÃO

Para fins de projetos na área da geotecnia ambiental, é necessário o conhecimento sobre o comportamento físico-químico do solo envolvido. Em geral, o comportamento é definido por parâmetros que representam o retardamento no transporte do contaminante, a dispersão hidrodinâmica e a dispersividade mecânica.

Esses parâmetros podem ser determinados a partir de ensaios de coluna. Os parâmetros R_d e D_h são determinados a partir dos resultados dos ensaios. O parâmetro α é determinado a partir da relação entre D_h e v_s, através de ensaios realizados com diferentes valores para *i*, como realizado por Inoue (2000).

De acordo com a Lei de Darcy, a variação de *i* pode ser feita por duas

metodologias: (1) variação do comprimento da trajetória de fluxo e (2) variação da carga hidráulica (*H*) aplicada para a percolação do contaminante no ensaio. Em tese, a metodologia de variação de *z* representa um problema, pois o volume de solo também é alterado, implicando em quantidade diferente de material para a adsorção do contaminante.

Com o objetivo de avaliar a veracidade desta hipótese, este estudo busca (1) avaliar a existência de uma diferença entre as duas metodologias e (2) verificar a influência de *z* em α através de ensaios feitos com solução contaminante ácida contendo o metal Cd, aplicada em corpos de prova (CPs) de Latossolo residual com estrutura indeformada.

2. METODOLOGIA

2.1 Materiais

Solo de estudo.

O solo de estudo é um material residual de basalto. Segundo Streck et. Al., (2008) A classificação pedológica é de um Latossolo Vermelho Distrófico húmico (unidade Passo Fundo).

A coleta do solo utilizado para este estudo foi feita no campo experimental de Geotecnia da Universidade de Passo Fundo (UPF), localizado na cidade de Passo Fundo / RS, sul do Brasil. As coordenadas geográficas do local de coleta de solo são: S 28º 13’ 35,7”; W 52° 23’ 14,46”, em altitude de 698 m.

Solução contaminante.

As soluções foram preparadas a partir da diluição de solução padrão de *Cd* de 1000 mg . L^{-1}. A solução final possuia concentração 0,50 mg . L^{-1}, equivalente a um incremento de 100 vezes do valor de intervenção estabelecido pela CETESB (2005) para o metal *Cd*. As orientações propostas pela CETESB (2005) estabelecem os valores máximos permitidos para água subterrânea, acima dos quais existem riscos potenciais à saúde humana.

2.2 Métodos

Ensaios de coluna.

O ensaio é realizado em equipamento produzido de acordo com ASTM (1995). Ele consiste em duas etapas. A primeira etapa consiste na saturação do solo com água destilada e determinação da condutividade hidráulica. A segunda etapa consiste na percolação da solução contaminante.

De forma paralela à percolação da solução contaminante pelo solo, foram coletadas amostras do efluente percolado, em diferentes faixas de volume percolado e tempo ensaiados. As amostras foram analisadas em espectrofotometria de absorção atômica, no laboratório de solos da UPF, para determinação direta da concentração do metal.

Com a determinação da concentração do metal no efluente percolado pelos CPs ensaiados, pôde-se obter a curva *breaktrough* do contaminante para as condições de ensaio. As abscissas representam o número de poros percolados (volume percolado / volume de vazios – V_{perc} / V_v) ou tempo de percolação (*t*), e as ordenadas representam a concentração da amostra relativa à concentração inicial (C / C_0).

Programa experimental.

Para atingir os objetivos propostos foram programados seis grupos de ensaios com 3 diferentes valores para *i*. Os ensaios foram realizados em triplicata. A variação de *i* entre os grupos de ensaios foi feita através de dois métodos. São eles (1) a variação de comprimento dos CPs, sendo a carga hidráulica constante, e (2) a variação da carga hidráulica, sendo o comprimento dos CPs constante. O emprego de três valores para *i* foi feito com o objetivo de variar a velocidade de percolação da solução contaminante, para assim se obter diferentes

valores do parâmetro D_h, possibilitando a determinação de α. O Quadro 1 apresenta o programa experimental proposto para os ensaios.

Quadro 1: Programa experimental

Metodologia	Grupo de ensaios	i	H (kPa)	z (cm)
1 (Variação de z; H constante – 15kPa)	1	15	15	10
	2	22,5	15	6,67
	3	30	15	5
2 (Variação de H; z constante – 10,00 cm)	4	15	15	10
	5	22,5	22,5	10
	6	30	30	10

Observa-se que os grupos de número 1 e 4 possuem as mesmas características e fazem parte das duas metodologias de imposição de i. Portanto, ambos os grupos são representados por um único ensaio, totalizando assim 15 CPs ensaiados.

Moldagem dos corpos de prova.

Em laboratório, foram moldados CPs cilíndricos de estrutura indeformada, com diâmetros de 5,00 cm e comprimentos de 5,00 cm, 6,67 cm e 10,00 cm, de acordo com o programa experimental.

Determinação dos parâmetros de transporte.

Os parâmetros R_d e D_h foram determinados a partir de um ajuste teórico do modelo de transporte de contaminantes inorgânicos em meios porosos obtido pela solução de Ogata e Banks (1964) (Eq. 1) aos valores de C / C_0 provenientes do ensaio de coluna. O ajuste é feito com a curva *breakthrough*.

$$\frac{C}{C_0} = \frac{1}{2}\left[erfc\left(\frac{R_d z - \bar{v}_s t}{2\sqrt{D_h R_d t}}\right) + exp\left(\frac{\bar{v}_s z}{D_h}\right) * erfc\left(\frac{R_d z + \bar{v}_s t}{2\sqrt{D_h R_d t}}\right)\right] \quad (1)$$

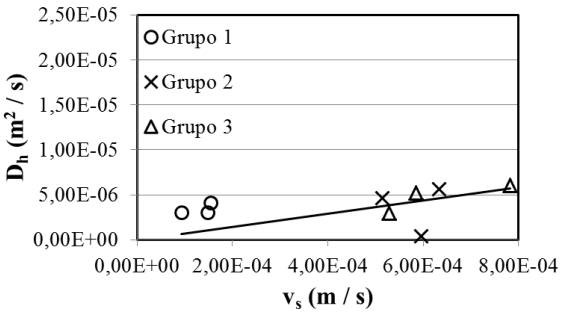
Para a construção da curva teórica, os valores de C / C_0 foram encontrados fixando diferentes faixas de tempo, z e v_s. R_d e D_h foram variados até a otimização do ajuste aos pontos experimentais.

Para realizar a comparação das metodologias de obtenção de α, foi utilizado o método de Frezze e Cherry (1979). O método define α através da regressão linear dos valores de D_h com diferentes valores de v_s, ocorrida em função da variação de i nos ensaios (INOUE, 2000; COSTA, 2002; MONCADA, 2004; AZEVEDO, 2005 e KNOP, 2007).

3. RESULTADOS

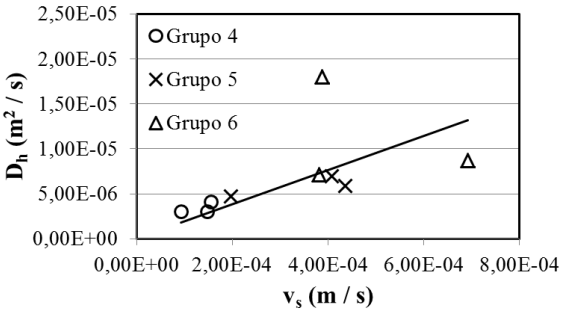
A Fig. 1 apresenta o gráfico D_h *versus* v_s obtido para cada CP da metodologia 1 (variação de z).

Figura 1: D_h *x* v_s para a metodologia 1



A Fig. 2 apresenta o gráfico D_h *versus* v_s obtido para cada CP da metodologia 2 (variação de H).

Figura 2: D_h *x* v_s para a metodologia 2



O valor médio obtido para o parâmetro α foi de 0,73 cm para a metodologia 1 e 2,10

cm para a metodologia 2. A variação nos valores de α entre as metodologias foi de 288 %.

Observa-se que os valores obtidos para v_s são aproximados entre os grupos em ambas as metodologias, em função dos valores aproximados utilizados para *i*.

4. CONCLUSÕES

A partir dos resultados obtidos, é possível concluir que:

(1) As metodologias de variação de *i* para a obtenção de α não são equivalentes; e

(2) Não é possível determinar a influência de *z* em α, pois os valores utilizados para *i* não implicaram em variação suficiente de v_s para os grupos de ensaio da metodologia 1.

Um novo programa experimental será executado, no qual a variação de *i* entre os grupos de ensaio será maior do que a variação do programa experimental ensaiado.

Agradecimentos

O grupo agradece ao CNPq e à FAPERGS pelo apoio financeiro destinado ao trabalho realizado.

5. REFERÊNCIAS

American Society For Testing And Materials – ASTM (1995) *Standard Test Method for leaching solid material in a Column: D4874*. Apparatus. Philadelphia.

Azevedo, I. C. D; Nascentes, R.C.; Matos, T.A.; Azevedo, F.R. (2005) *Determinação de parâmetros de transporte de metais pesados em Latossolo compactado.* Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, PB, v.9, n.4, p. 623-630.

CETESB – C*ompanhia de Tecnologia em Saneamento Ambiental*.(2005) Disponível em: <http://www.cetesb.sp.gov.br/Solo/relatorios/tabela_valores_2005.pdf >. Acessoem 28.junho. 2006.

Costa, P. O. S. (2002) *Avaliação em laboratório, do transporte de contaminantes no solo do aterro sanitário de Sauípe/Ba*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil – Geotecnia) – Departamento de Engenharia Civil, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

Freeze, R. A. & Cherry, J. A. (1979) - *Groundwater.Prentice Hall*, Inc. U.S. 604 pp.

Inoue, M.; Simunek, J.; Shiozawa, S. & Hopmans, J. W. (2000) *Simultaneous estimation of soil hydraulic and solute transport parameters from transient infiltration experiments*. Advances in Water Resources. V. 23 p. 677-688.

Knop, A. (2007).*Estudo do comportamento de Liners atacado por ácido sulfúrico*. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 230 p., 2007.

Moncada, M. P. H. (2004).*Estudo em laboratório de características de colapso e transporte de soluto associadas à infiltração de licor cáustico em um solo laterítico*. Dissertação (Programa de pós-graduação em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Civil, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

Streck, E V. (2008) *Solos do Rio Grande do Sul*.Porto Alegre: EMATER. 107 p.