

Influência do gradiente hidráulico na permeabilidade de um solo compactado

Weiner Gustavo Silva Costa

Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Cruz das Almas - BA, Brasil, weiner@ufrb.edu.br

Luiz Filipe Caríssimo Soares

Universidade Federal de Viçosa, Viçosa - MG, Brasil, luiz.carissimo@ufv.br

Fernando Moraes Pinto

Universidade Federal de Viçosa, Viçosa - MG, Brasil, fernando.pinto@ufv.br

Paulo Sérgio de Almeida Barbosa

Universidade Federal de Viçosa, Viçosa - MG, Brasil, pbarbosa@ufv.br

Heraldo Nunes Pitanga

Universidade Federal de Viçosa, Viçosa - MG, Brasil, heraldopitanga@yahoo.com.br

Dario Cardoso de Lima

Universidade Federal de Viçosa, Viçosa - MG, Brasil, declima@ufv.br

RESUMO: No que diz respeito a aplicações geoambientais e, mais especificamente, nos ensaios de percolação em coluna para o estudo de transporte de contaminantes em solos, buscam-se equipamentos que sejam ágeis e eficazes. Esses ensaios muitas vezes são realizados em equipamentos de laboratório que empregam gradientes hidráulicos que demandam tempos excessivos para as suas execuções. Isso ocorre, principalmente, devido à sua aplicação em solos essencialmente argilosos com permeabilidade reduzida. Partindo-se desse pressuposto, esse trabalho objetivou analisar a influência do gradiente hidráulico utilizado em ensaios de percolação em coluna na permeabilidade de um solo compactado passível de ser utilizado na prática geoambiental. Buscou-se analisar uma possível alteração na permeabilidade e, conseqüentemente, na estrutura de um solo ao ser submetido a gradientes hidráulicos variados em relação aos observados em outros estudos. Essa análise foi pautada no fato de que o aumento na velocidade de percolação pode promover carreamento de partículas, ocasionando tais alterações. O solo empregado foi um residual maduro, pedologicamente classificado como Latossolo Vermelho-Amarelo, de expressiva ocorrência no Brasil e, em especial, no Sudeste brasileiro. O solo foi coletado na região de Viçosa - MG e passou por fase de caracterização, quando foram realizados ensaios de caracterização geotécnica (LL, LP, granulometria e massa específica dos sólidos), bem como de compactação na energia do ensaio Proctor Normal, para a produção de corpos de prova na umidade ótima. Foram compactados seis corpos de prova, dos quais três foram utilizados em ensaios de permeabilidade sob a ação do gradiente hidráulico 66 e três para o gradiente hidráulico 140, utilizando-se ar comprimido em um equipamento de percolação em coluna. Obedecendo a Lei de Darcy, os valores médios obtidos para os coeficientes de permeabilidade relativos aos gradientes hidráulicos 66 e 140 foram, respectivamente, $3,25 \times 10^{-8} \text{ cm.s}^{-1}$ e $4,37 \times 10^{-8} \text{ cm.s}^{-1}$. Com base nos resultados obtidos, pode-se observar que houve uma leve tendência de crescimento no valor do coeficiente de permeabilidade com o acréscimo ocorrido no gradiente hidráulico; porém, para fins práticos de engenharia, não ocorreram alterações significativas na permeabilidade do solo ensaiado.

PALAVRAS-CHAVE: Gradiente hidráulico, solos compactados, permeabilidade.

1 INTRODUÇÃO

Nos dias atuais, a busca por inovação tecnológica tornou-se a chave mestra do desenvolvimento de um país, com resultados expressos em patentes e novas tecnologias de engenharia. Aliado a este quadro, há a limitação na disponibilidade de equipamentos de laboratório que possam ser empregados para a realização de ensaios que, simulando condições de campo, sejam ágeis e reduzam a duração de ensaios convencionais, em especial para aplicações geoambientais.

Dentre estes ensaios, cita-se o de percolação em coluna, comumente aplicado no estudo de transporte de contaminantes em solos, em geral, realizado em equipamentos de laboratório que empregam gradientes hidráulicos relativamente baixos e que, no caso do estudo de contaminantes, demandam tempos excessivos para as suas execuções.

Especificamente, no caso de ensaios em coluna, é comum o emprego de baixos gradientes hidráulicos, resultando em ensaios de laboratório que demandam períodos excessivos de tempo. Com relação a trabalhos prévios, Pacheco e Silva (2005), Boff (1999), Leite (2001) e Basso (2003) empregaram nesses ensaios pressão de ar comprimido de 76 kPa (gradiente hidráulico de 52), com base no fato de que este gradiente era representativo de pressões ocorridas em barreiras selantes de aterros sanitários (comumente, na faixa de 50 – 100 kPa). Por outro lado, Yong (2001) adotou gradiente hidráulico em torno de 55, enquanto que Alves (2005) trabalhou com gradiente hidráulico de 24, a partir de recomendações da ASTM D 4874 (ASTM, 1995). Rojas *et. al.* (2007) empregaram gradiente hidráulico máximo de, aproximadamente, 92.

Considerando a literatura consultada, entende-se que há interesse em se caracterizar a influência da velocidade de percolação utilizada em ensaios de percolação em coluna na estrutura dos solos, haja vista que alterações produzidas na mesma podem afetar significativamente as respostas hidráulica e

mecânica destes materiais. Assim, no presente trabalho, aborda-se a influência da variação do gradiente hidráulico na estrutura de um solo argiloso compactado, empregando-se um equipamento de percolação em coluna projetado, desenvolvido e tornado operacional por Caneschi (2012) junto ao Laboratório de Engenharia Civil (LEC) da Universidade Federal de Viçosa (UFV).

O objetivo geral do presente trabalho foi analisar os efeitos decorrentes da variação do gradiente hidráulico e, conseqüentemente, da velocidade de percolação na estrutura de um solo compactado, empregando-se resultados de ensaios de permeabilidade.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Material

2.1.1 Solo

No decorrer deste trabalho, foi utilizado um solo residual maduro de gnaiss classificado, pedologicamente, como Latossolo Vermelho-Amarelo (LVA). Essa classe de solo tropical ocorre com grande expressividade no território brasileiro e, em especial, na Zona da Mata Norte de Minas Gerais.

A amostra de solo foi coletada na jazida de empréstimo denominada ETA, em um talude à margem direita da atual entrada para a Área de Eventos da UFV, na rodovia que liga Viçosa a Paula Cândido, no local de coordenadas 20°45'35"S; 42°52'28"W. Destaca-se que esse solo já foi empregado em pesquisas anteriores nos Departamentos de Engenharia Civil e de Solos da Universidade Federal de Viçosa, sendo que nas Tabelas 1 e 2 têm-se resultados de ensaios geotécnicos de laboratório conduzidos no mesmo por Caneschi (2012).

Tabela 1. Caracterização geotécnica do solo LVA (CANESCHI, 2012)

Solo	Limites de Atterberg			γ_s	Areia	Silte	Argila
	LL %	LP %	IP %	g/cm^3	%	%	%
LVA	82	46	36	2,78	23	10	67

Tabela 2. Parâmetros de compactação do solo LVA (CANESCHI, 2012)

Solo	W_{ot} (%)	γ_{dmax} (kN/m^3)
LVA	31,37	13,54

2.2 Métodos

2.2.1 Ensaios de permeabilidade

Para a realização dos ensaios de permeabilidade, utilizou-se um sistema desenvolvido por Caneschi (2012), conforme apresentado na Figura 1.

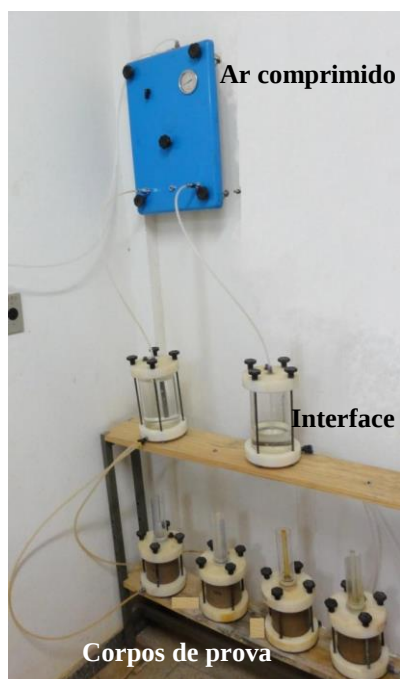


Figura 1. Visão geral do equipamento de percolação em coluna.

Esse equipamento consiste em corpos de prova compactados em cilindro de PVC conectados a uma interface. Seu funcionamento se dá pela aplicação de pressão, por meio de ar comprimido, na interface, onde se encontra o líquido percolante. Essa interface é conectada na base dos corpos de prova, gerando um fluxo

ascendente. Na parte superior, é feita a leitura do volume percolado por meio de um tubo graduado.

Os corpos de prova foram compactados nos cilindros de PVC, no teor de umidade ótima (W_{ot}), na energia do Proctor normal, segundo a NBR 7182 (ABNT, 1986). Os referidos cilindros foram vedados na parte superior e na parte inferior, com o fluxo no sentido ascendente. Foram empregados gradientes hidráulicos de 140 e 66. Para isso, aplicaram-se pressões no sistema de 16,8 mca e 7,65 mca, respectivamente.

Montados os corpos de prova e preenchidas as interfaces com água destilada, deu-se início ao fluxo, de modo a saturar os vazios e medir os coeficientes de permeabilidade dos corpos de prova relativos a cada gradiente hidráulico. Na determinação do coeficiente de permeabilidade, empregou-se a Lei de Darcy (Head, 1982). Os ensaios foram realizados empregando-se três corpos de prova para cada gradiente hidráulico. O coeficiente de permeabilidade foi determinado diariamente para cada repetição. Dessa forma, para cada gradiente hidráulico, tem-se o valor médio para cada repetição e o coeficiente de permeabilidade médio para o gradiente hidráulico.

3 RESULTADOS

A seguir, são apresentados os resultados obtidos nos ensaios de permeabilidade dos corpos de prova submetidos a cada gradiente hidráulico.

3.1 Gradiente hidráulico 66

Os resultados diários de permeabilidade dos três corpos de prova submetidos ao gradiente hidráulico 66 são apresentados na Figura 2.

Na Tabela 3, são apresentados os valores de permeabilidade para o gradiente hidráulico 66. A média e o desvio padrão das leituras diárias podem ser considerados constantes nesse caso. A média geral para o gradiente hidráulico 66 foi de $3,25 \times 10^{-8}$ cm/s.

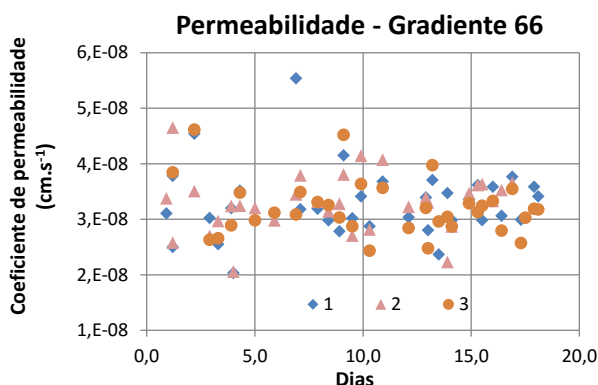


Figura 2. Resultados de permeabilidade para o gradiente hidráulico 66.

Tabela 3. Resultados de permeabilidade para o gradiente hidráulico 66

GRADIENTE HIDRÁULICO 66		Coeficiente de permeabilidade ($\times 10^{-8}$ cm/s)
Repetições	1	Média
		3,28
	2	Desvio padrão
		0,62
	3	Média
		3,30
	MÉDIA GERAL	3,25

3.2 Gradiente hidráulico 140

Os resultados diários de permeabilidade para o gradiente hidráulico 140 são apresentados na Figura 3.

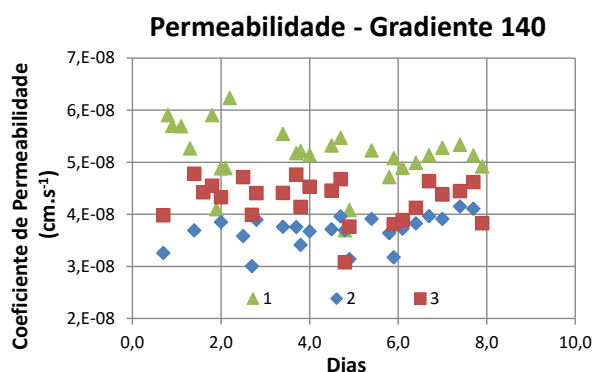


Figura 3. Resultados de permeabilidade para o gradiente hidráulico 140.

Os resultados de permeabilidade dos corpos de prova submetidos ao gradiente hidráulico 140 apresentaram valores médios variando de $3,69 \times 10^{-8}$ cm/s a $5,14 \times 10^{-8}$ cm/s embora se observe, neste caso e visualmente, maior tendência à dispersão dos resultados.

A média geral, apresentada na Tabela 4, foi

de $4,37 \times 10^{-8}$ cm/s.

Tabela 4. Resultados de permeabilidade para o gradiente hidráulico 140

GRADIENTE HIDRÁULICO 140		Coeficiente de permeabilidade ($\times 10^{-8}$ cm/s)
Repetições	1	Média
		5,14
	2	Desvio padrão
		0,56
	3	Média
		3,69
	MÉDIA GERAL	4,37

3.3 Comparativo entre gradientes hidráulicos

Ao se comparar esses resultados, pode-se ver, na Figura 4, a variação do coeficiente de permeabilidade com o gradiente hidráulico. Como mostrado, o coeficiente de permeabilidade varia de $3,25 \times 10^{-8}$ cm/s, para o gradiente hidráulico 66, até $4,37 \times 10^{-8}$ cm/s, para o gradiente hidráulico 140. Nota-se, pois, uma tendência de aumento no valor do coeficiente de permeabilidade com o acréscimo no gradiente hidráulico, mas que, para fins práticos de engenharia, pode ser considerado de pouca significância.

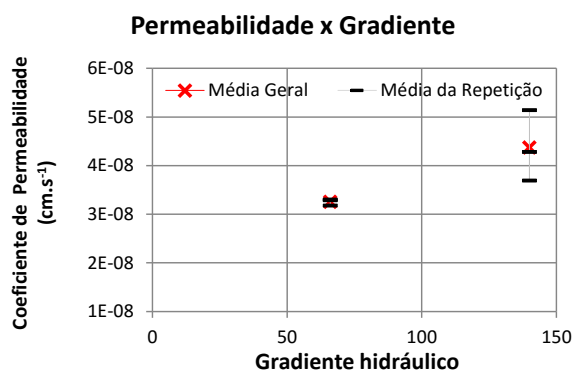


Figura 4. Relação do coeficiente de permeabilidade com o gradiente hidráulico.

4 CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos e para fins práticos de engenharia, pode-se concluir que a variação do gradiente hidráulico de 66 a 140 não produziu mudanças estruturais significativas no solo compactado, embora

tenha-se observado uma leve tendência de crescimento no coeficiente de permeabilidade com o acréscimo produzido no gradiente hidráulico.

Os valores obtidos de permeabilidade mostram que esse material pode ser utilizado em aplicações geoambientais, principalmente no caso de barreiras impermeabilizantes em aterros sanitários.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq e à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais – FAPEMIG, pela concessão de bolsa de mestrado ao primeiro autor e de bolsas de iniciação científica ao segundo ao terceiro autores. Agradecem, também, à Universidade Federal de Viçosa – UFV, através do Departamento de Engenharia Civil, pela infraestrutura disponível para a realização desta pesquisa.

REFERÊNCIAS

- Associação Brasileira de Normas Técnicas (1986). *NBR 7182: Solo - ensaio de compactação: método de ensaio*. Rio de Janeiro-RJ, 10 p.
- Alves, G. P. M. (2005) *Capacidade de atenuação do solo de fundo da lagoa anaeróbia da ETE de Passo Fundo/RS*. Dissertação. (Mestre em Engenharia). Faculdade de Engenharia e Arquitetura de Passo Fundo, 102 p.
- American Society for Testing and Materials (1995). *D 4874: Standart test method for leaching solid material in a column apparatus*. Philadelphia.
- 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: procedimento de homogeneização da mistura e adaptações em equipamento de percolação em colunas*. Dissertação. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 168 p.
- Boff, F. E. (1999) *Avaliação do comportamento de uma mistura compactada de solos lateríticos frente a soluções de Cu^{+2} , K^+ e Cl^- em colunas de percolação*. Dissertação. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 180 p.
- Caneschi, F. P. (2012) *Estudos geoambientais em solos modificados quimicamente*. Viçosa-MG, Universidade Federal de Viçosa, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Tese de doutorado, 117 p.
- Head, K. H. (1982) *Manual of soil laboratory testing: permeability, shear strength and compressibility tests*. New York-NY: John Wiley and Sons Inc., Vol. 2: 412 p.
- Leite, A. L. (2001) *Migração de íons inorgânicos em alguns solos tropicais, com ênfase nos processos de sorção e difusão molecular*. Tese. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 254 p.
- Pacheco e Silva, D. (2005) *Influência da contaminação por cloreto de cobre na resistência ao cisalhamento de solos utilizados em liners*. Dissertação. (Mestre em Geotecnia) Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, 136 p.
- Rojas J. W. J., Consoli N. C., Heineck K. S. (2007) Aplicação da Técnica de Encapsulamento em um Solo Contaminado com Borra Oleosa Ácida. *REA – Revista de estudos ambientais* v.9, n.2, p. 6-15.
- Yong, R. N. (2001) *Geoenvironmental engineering: contaminated soils, pollutant fate and mitigation*. Boca Raton, London, New York, Washington, D. C.: CRC Press. ISBN: 0-8493-8289-0