



## Caracterização da Condutividade Hidráulica de Solos de Alteração das Rochas do Complexo Embu – SP

Autor: Paulo Henrique Barreto Ribeiro

Orientadora: Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Ana Elisa Silva de Abreu

A condutividade hidráulica (K) representa a facilidade com a qual a água percola ao longo de um meio físico. No caso das rochas e dos solos, a determinação de K é de extrema importância na caracterização de unidades aquíferas, uma vez que pode determinar o potencial de exploração de águas subterrâneas para o abastecimento público, e também é importante no estudo e gerenciamento de áreas contaminadas, já que a condutividade hidráulica é um dos fatores que condicionam o movimento dos compostos contaminantes em subsuperfície.

Nos perfis pedogênicos o grau de alteração do maciço rochoso diminui conforme a profundidade analisada. Os horizontes onde são encontrados os chamados solos de alteração possuem a característica da preservação de certas estruturas das rochas de origem, como a foliação e orientação de alguns minerais. Essas estruturas podem influenciar o modo como a água percola nesse meio.

Assim, este estudo teve por objetivo determinar como as estruturas de foliação ainda preservadas nos solos de alteração do Complexo Embu (SP) influenciam na condutividade hidráulica. Foi investigado se existe uma relação entre a orientação do fluxo e das próprias estruturas. Além disso buscou-se determinar os índices físicos das amostras de solo coletadas em campo para melhor caracterizar o material estudado e contribuir para outros projetos de pesquisa em andamento, cujo objeto de estudo são os mesmos solos de alteração.

Para a determinação da condutividade hidráulica, foi utilizado um permeâmetro de carga variável como ilustrado na Figura 1a. Nesse sistema o corpo de prova moldado é colocado juntamente a outros componentes no



recipiente metálico, mais bem detalhado na Figura 1b. O permeâmetro cria um fluxo de água descendente que percola a amostra e cujo volume pode ser medido na saída do sistema. Utilizando a Lei de Darcy, a condutividade hidráulica pode ser calculada levando-se em consideração o tempo decorrido para a captação de determinado volume de água.

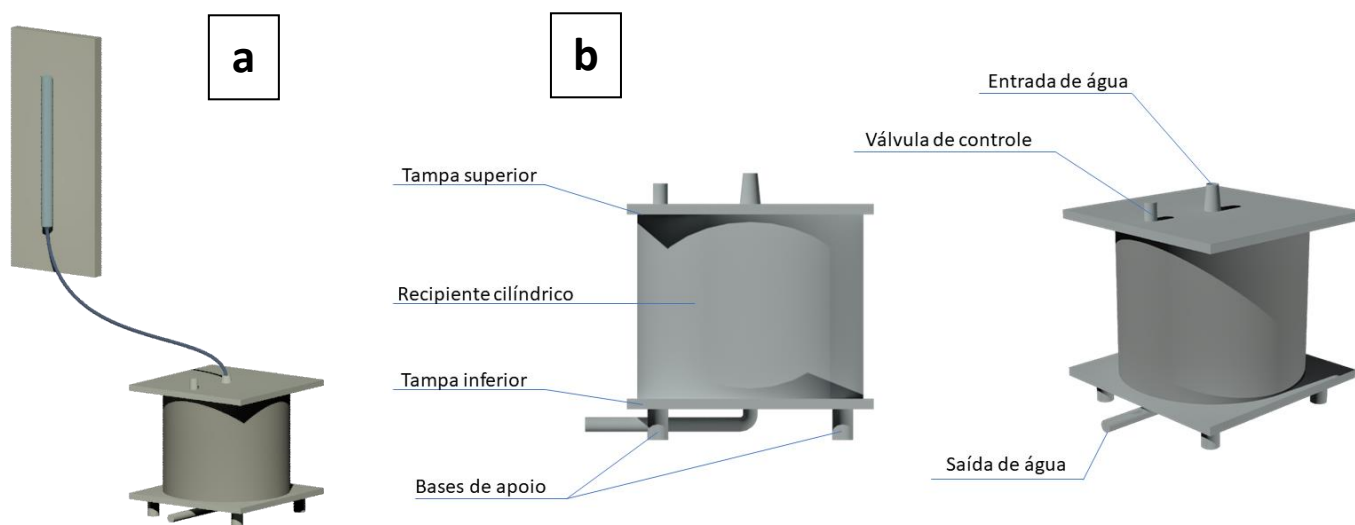


Figura 1: Permeâmetro de carga variável. a) bureta conectada ao recipiente metálico. b) detalhamento do recipiente metálico. Fonte: figuras elaboradas pelo autor.

O corpo de prova usado no sistema é moldado a partir de uma amostra de solo de alteração indeformada coletada em campo (Figura 2). Foram moldados dois corpos de prova para cada amostra, sendo um com a foliação horizontal e outro com a foliação na vertical, com o objetivo de avaliar se a orientação do fluxo em relação às estruturas afeta a condutividade hidráulica. Além do corpo de prova, foram colocados no recipiente metálico mantas de bidim, areia, camadas de parafina e bentonita para impermeabilizar o sistema e garantir que todo o volume de água captado na saída do permeâmetro tenha de fato percolado o corpo de prova. A Figura 3 ilustra o interior do recipiente metálico com todos os componentes colocados.

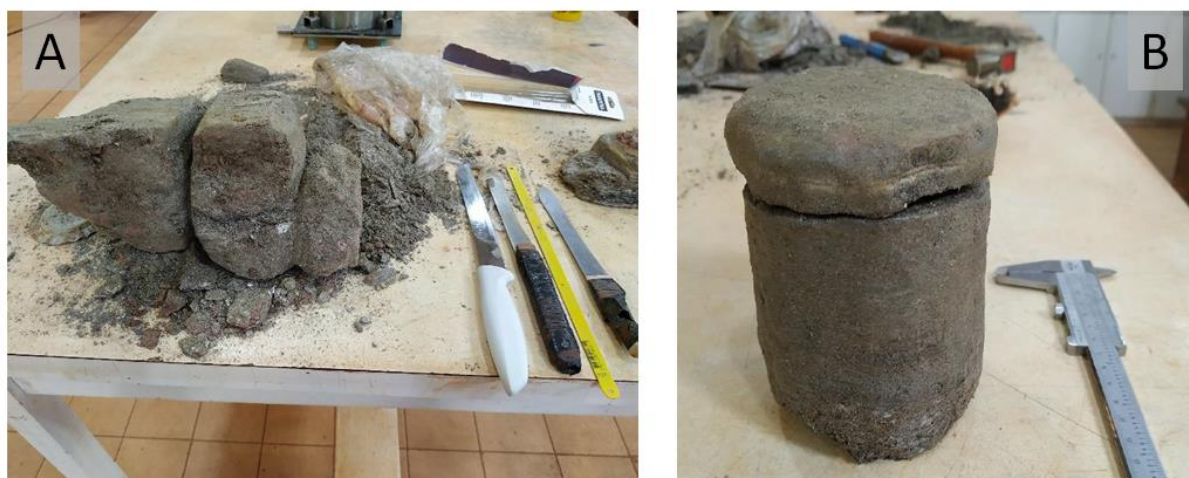


Figura 2 - Processo de modelagem do corpo de prova. A) Amostra de solo de alteração indeformada e ferramentas de corte. B) Corpo de prova quase finalizado rompido no plano de foliação.

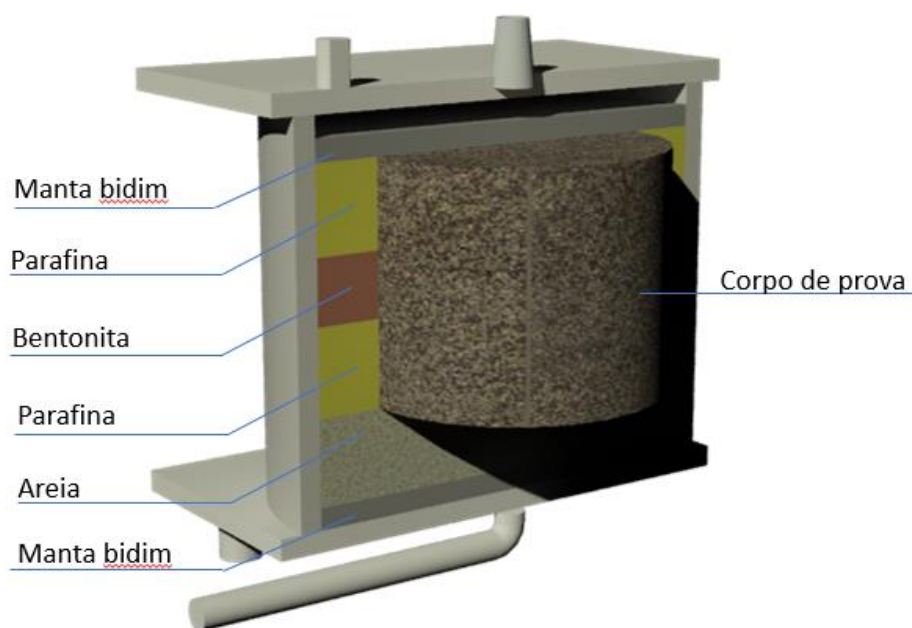


Figura 3 - Croqui da visão transversal do recipiente metálico ilustrando a disposição dos componentes inseridos. Fonte: figura elaborada pelo autor.

Os índices físicos são medidos em laboratório. A umidade e as massas específicas natural e dos sólidos são determinadas em ensaios, enquanto a massa específica seca, a porosidade e o índice de vazios são encontrados a partir de equações matemáticas usando os resultados dos ensaios.



Os valores obtidos mostraram que a condutividade hidráulica é maior quando o fluxo está paralelo à foliação (Tabela 1). Isso implica que, nessas condições, a foliação gera uma anisotropia na condutividade hidráulica. Esse resultado corrobora trabalhos anteriores que indicaram anisotropia em solos de alteração sob gradientes hidráulicos baixos (ISLER et al., 2016). Uma outra conclusão, a qual já era esperada, é que a condutividade hidráulica é maior nos horizontes superiores, como é apresentado na Tabela 2, onde a amostra H4.1 representa um horizonte relativamente menos profundo em relação à amostra H5. Isso ocorre devido à alteração mais avançada nas partes mais próximas à superfície, o que facilita a percolação da água nessas regiões.

Tabela 1 – Resultados da condutividade hidráulica para a amostra H5.

	<b>Fluxo paralelo à foliação</b>	<b>Fluxo perpendicular à foliação</b>
valor médio de K (cm/s)	<b>4,96E-06</b>	<b>2,57E-06</b>
desvio padrão de K (cm/s)	0,22E-06	0,24E-06

Tabela 2 – Comparação da condutividade hidráulica de amostras coletadas em diferentes profundidades.

	<b>Amostra analisada (fluxo perpendicular à foliação)</b>	
	<b>H4.1 (superior)</b>	<b>H5 (inferior)</b>
valor médio de K (cm/s)	<b>9,35E-06</b>	<b>2,57E-06</b>
desvio padrão de K (cm/s)	1,68E-06	0,24E-06

Em relação aos resultados para os índices físicos, foram observadas divergências entre os valores obtidos e os descritos na literatura para o mesmo horizonte de solo (Tabela 3). Para estes parâmetros, tais divergências podem ser consideradas significativas, podendo ser consequência da heterogeneidade das amostras, já que se trata de um terreno metamórfico. Aqui também foi observada a influência da posição relativa dos horizontes nos índices físicos. Os horizontes mais profundos apresentam as maiores massas específicas,



enquanto os horizontes mais superficiais mostram o índice de vazios e a porosidade mais elevados devido às alterações dos processos pedogênicos (Tabela 4).

Tabela 3 – Índices físicos das amostras para o horizonte H5

	Resultados obtidos	Silva, 2019
<b>Massa Específica Natural (g/cm<sup>3</sup>)</b>	2,33	-
Massa Específica Seca (g/cm <sup>3</sup> )	1,92	1,56 – 1,73
<b>Massa Específica dos Sólidos (g/cm<sup>3</sup>)</b>	2,85	2,94
Índice de Vazios (adimensional)	0,48	0,7 – 0,89
Porosidade (%)	32,62	41 - 47
<b>Umidade (%)</b>	21,30	10

Tabela 4 – Comparação dos índices físicos entre as amostras do Horizonte H5 e H4.1

	H5 (inferior)	H4.1 (superior – Silva, 2019)
<b>Massa Específica Natural (g/cm<sup>3</sup>)</b>	2,33	-
Massa Específica Seca (g/cm <sup>3</sup> )	1,92	1,75
<b>Massa Específica dos Sólidos (g/cm<sup>3</sup>)</b>	2,85	2,69
Índice de Vazios (adimensional)	0,48	0,53
Porosidade (%)	32,62	35
<b>Umidade (%)</b>	21,30	12

## PRINCIPAIS REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ISLER, E.; SOTO, M.A.A; CHANG, H.K. Caracterização da Condutividade Hidráulica Saturada e Direcional em Xisto por meio de Ensaio de Laboratório. Águas Subterrâneas, vol. 30 (1), pag. 62-78. 2016.

SILVA I.S. Caracterização Geológico-geotécnica de Perfil de Alteração de Rochas do Complexo Embu na Região Metropolitana de São Paulo. Exame de qualificação de mestrado (Mestre em Geociências). Universidade Estadual de Campinas, 2019.