

Avaliação das Condições de Impermeabilização do Solo pelo Permeômetro *Guelph*

Tiago Casseb Barbosa^{1*}, Leandro Marques Freire¹, Cícero Antônio Carvalho¹

¹ Geoambiente S/A, Curitiba - PR, Brasil
*tiago@geoambiente.eng.br

Palavras-Chave: Investigação, Condutividade Hidráulica, Permeabilidade.

Resumo:

O presente estudo descreve os serviços realizados pela Geoambiente S/A em um pátio de estocagem de uma unidade fabril, com objetivo de avaliar as condições de impermeabilização do solo local. O estudo foi realizado comparando-se os resultados obtidos em ensaios de permeabilidade com permeômetro de *Guelph*, ensaio geotécnico do solo e ensaio de condutividade do tipo *Slug Test* em poço de monitoramento, além de vistoria *in situ*. De acordo com o escopo do projeto, os ensaios e amostragem foram realizados em fases, de forma escalonada, visando a avaliação inicialmente de níveis superficiais e posteriormente de níveis mais profundos. A adoção de novas fases seguiu a premissa de buscar novas linhas de evidência, afim de complementar e/ou confirmar resultados obtidos em fases anteriores. Na Fase I realizaram-se ensaios de permeabilidade, com uso do permeômetro de *Guelph*, a profundidades de até 35 cm. Visando uma avaliação conservadora dos resultados, propôs-se a execução de uma Fase II compreendendo o adensamento da malha de ensaios de permeabilidade, a profundidades entre 35 e 75 cm, no entorno daqueles ensaios que apresentaram resultado de grau baixo, bem como a realização de ensaios de condutividade hidráulica em poços de monitoramento pré-existentis ou instalados, amostragem de solo em alíquotas indeformada e deformada para caracterização geotécnica e uma vistoria técnica afim de avaliar a infraestrutura da área de interesse. De acordo com informações observadas em campo e a partir de entrevistas com colaboradores do local, observou-se que a área de interesse possui: um sistema perimetral de canaletas, com aproximadamente 290 m de comprimento, 37 cm de largura e 25 cm de profundidade, que escoam a água superficial para um poço de decantação, adjacente à área; piso com porções concretadas, mais evidentes nas partes marginais, sendo a porção central constituída de aterro de escória de aciaria compactada; o pátio é utilizado para estocagem de entulho e resíduos do tipo Classe IIA – Não inertes e Classe IIB – Inertes, onde aguardam a destinação final em aterros Classe II. A partir dos dados coletados em campo com o permeômetro, foram calculados: a taxa de queda estável, fator forma do bulbo saturado, vazão, potencial de fluxo matricial e a condutividade hidráulica saturada (Tabela 1). Esta última apresentou resultados variando entre $9,78 \times 10^{-7}$ a $6,89 \times 10^{-3}$ cm/s, correlatos a graus de permeabilidade muito baixo a médios. A avaliação da espacialização da rede de pontos dos ensaios com permeômetro de *Guelph* permitiu a geração de um mapa temático de isovalores, definindo assim zonas de permeabilidade. Observando o mapa, o único valor médio obtido restringe-se a porção noroeste da área, próximo à entrada do pátio, sendo esta área destinada a circulação de veículos e não a deposição de material. O restante da área de interesse apresenta zonas de permeabilidade muito baixos a baixo. A análise laboratorial das amostras de solo resultou em valores de permeabilidade de $1,94 \times 10^{-5}$ cm/s e as porosidades total e específica de 2,60 e 0,50%, respectivamente, indicando assim uma condutividade hidráulica baixa. As camadas superficiais, compostas de resíduos de escória, possuem natureza argilo-arenosa, ou seja, um teor de maior de areia do que argila. Todavia, o alto grau de compactação dessa camada colabora com a diminuição da porosidade intergranular, reduzindo assim o grau de permeabilidade do meio. Para as camadas de solo natural sotopostas à camada de escória, percebe-se um alto teor de partículas silte-argilosas, acima de 55%, resultando nos baixos graus de permeabilidades observados. Para o ensaio de condutividade hidráulica, do tipo *Slug Test*, o resultado obtido foi de $3,82 \times 10^{-4}$ cm/s, também representando valores baixos. Por fim, a vistoria técnica apresentou algumas fissuras no piso de concreto, sendo necessária a reparação de caráter preventivo, uma vez que o material estocado no pátio não apresenta risco. Os resultados compilados apresentaram boa correlação entre si, com exceção do TP-04-11 realizado na entrada do pátio, pois uma vez que o aterro de escória foi desagregado os resultados tenderam a aumentar. Levando em consideração que em um cenário típico não há atividades que promovam a descompactação da camada de escória, aumentando a condutividade do solo, o resultado obtido nesse ensaio, pode ser considerado não representativo. De modo geral, os resultados refletiram o conteúdo litológico das camadas avaliadas. Quando comparados a classificação estabelecida na norma de referência, ABNT NBR 16.416:2015, os resultados se equiparam a graus de permeabilidade baixos a muito baixos, que segundo a norma supracitada, indicam uma taxa de infiltração irrisória (Tabela 2). A aplicação e correlação de diferentes técnicas permitiu a construção fidedigna de um modelo conceitual da condutividade hidráulica local, identificando assim o perfil da permeabilidade frente aos limites técnicos (Figura 1). Portanto, pode-se concluir que a área de interesse possui condições de impermeabilização adequadas à ocupação e uso que é atualmente destinado.

Ensaio	ST (cm)	[a] (cm)	H (cm)	R (cm/min)	C	Q (cm ³ /min)	K (cm/min)	K (cm/s)	Φm (cm ² /min)
TP-01-11	16,00	6,00	51,00	0,05	1,93	1,47	5,87E-05	9,78E-07	5,87E-03
TP-02-11	16,00	6,00	49,40	3,01	1,91	88,73	3,63E-03	6,05E-05	3,63E-01
TP-03-11	75,00	8,00	69,00	2,25	1,95	66,33	1,75E-03	2,92E-05	1,75E-01
TP-04-11	75,00	8,00	10,00	145,16	0,68	4.279,35	4,13E-01	6,89E-03	4,13E+01
TP-05-11	45,00	10,00	53,00	0,32	1,55	9,43	2,83E-04	4,72E-06	2,83E-02
Média	45,40	7,60	46,48	30,16	1,60	889,07	8,38E-02	1,40E-03	8,38E+00
Mínimo	16,00	6,00	10,00	0,05	0,68	1,47	5,87E-05	9,78E-07	5,87E-03
Máximo	75,00	10,00	69,00	145,16	1,95	4.279,35	4,13E-01	6,89E-03	4,13E+01

Tabela 1. Resultados do Permeâmetro de *Guelph*. TP: Teste de Permeabilidade; ST: Sondagem a Trado; [a]: Raio do Poço; H: Altura do Nível Inicial da Água; R: Taxa de Queda Estável; C: Fator Forma; Q: Vazão; K: Condutividade Hidráulica Saturada; Φm: Potencial de Fluxo Matricial; cm: centímetro; cm²: centímetro quadrado; cm³: centímetro cúbico; min: minuto; s: segundo.

Coeficiente de permeabilidade do solo (k)		Grau de Permeabilidade	Infiltração
m/s	cm/s		
>10 ⁻³	>10 ⁻¹	Alta	Total
10 ⁻³ a 10 ⁻⁵	10 ⁻¹ a 10 ⁻³	Média	Parcial
10 ⁻⁵ a 10 ⁻⁷	10 ⁻³ a 10 ⁻⁵	Baixa	Sem infiltração
10 ⁻⁷ a 10 ⁻⁹	10 ⁻⁵ a 10 ⁻⁷	Muito baixa	Sem infiltração
<10 ⁻⁹	<10 ⁻⁷	Praticamente impermeável	Sem infiltração

Tabela 2. Tipos de Infiltração em função da Permeabilidade. cm: centímetro; m: metro; s: segundo.

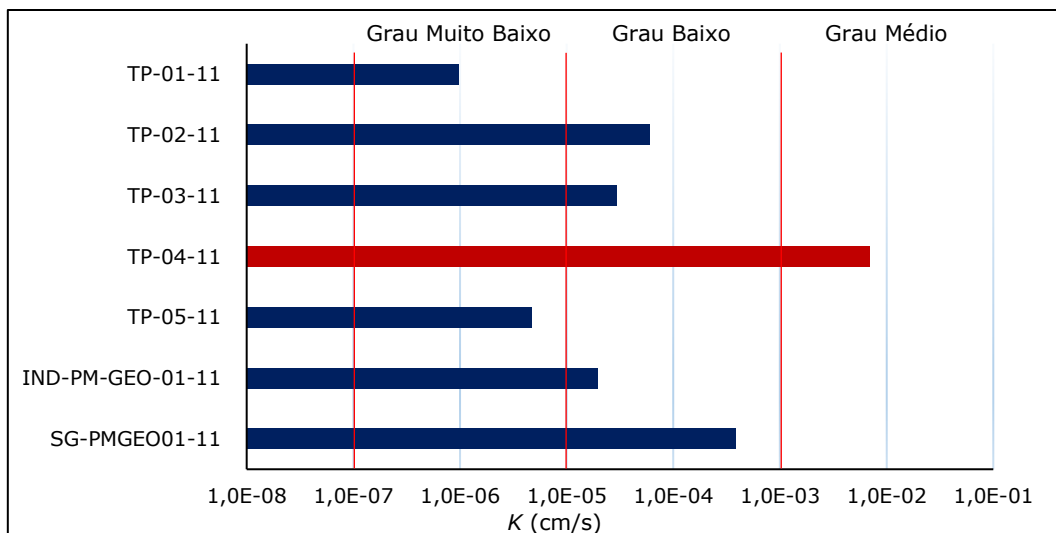


Figura 1 – Resultados de Condutividade Hidráulica.

Agradecimentos

Agradeço a Geoambiente S/A, pela oportunidade de realizar o estudo e elaborar o relatório, bem como ao apoio da diretoria e da gerência técnica na revisão do texto e pelos conselhos valiosos.

Referências

- ABNT NBR 16.416. (2015). *Pavimentos Permeáveis de Concreto – Requisitos e Procedimentos*.
- Bouwer, H. and R.C. Rice. (1976). A slug test method for determining hydraulic conductivity of unconfined aquifers with completely or partially penetrating wells. *Water Resources Research*, vol. 12, no. 3, pp. 423-428.
- DRISCOLL F.G. (1986). *Groundwater and Wells*. Johnson Filtration Systems.
- EMBRAPA. (2017). *Manual de métodos de análise de solo*. 3º Ed. Brasília. 2017.
- FEITOSA A.C., MANOEL FILHO J. (2000). *Hidrogeologia: Conceitos e Aplicações*. CPRM.
- GONÇALVES A.D.M.A.; LIBARDI P.L. (2013). Análise da determinação da condutividade hidráulica do solo pelo método do perfil instantâneo. *Rev. Bras. Ciênc. Solo*, vol.37, no.5, pp. 1174-1184.