

DETERMINAÇÃO DAS CONDUTIVIDADES HIDRÁULICAS DAS ZONAS SATURADA E NÃO SATURADA DO AQUÍFERO FREÁTICO NAS ADJACÊNCIAS DO ATERRO CONTROLADO DE LONDRINA.

Autores: André Celligoi¹; Diogo Lamônica²; Andressa de Cássia Machado³; Rodrigo Vitor⁴; Hugo Reis Medeiros⁵.

Resumo

O aterro controlado de Londrina está localizado na porção leste da cidade, sobre a Formação Serra Geral. Foi realizado um estudo no aquífero freático que se encontra nas adjacências do aterro, procurando se estabelecer metodologias de investigação do solo e subsolo, com poços de monitoramento e sondagens SPT. Essas metodologias permitem a análise das águas subterrâneas e a determinação da pluma de contaminação oriunda do chorume produzido pelo lixo enterrado. Nos poços de monitoramento foram realizados ensaios de *Slug* que, analisados pela metodologia de Hvorslev, fornecem as condutividades hidráulicas da zona saturada do aquífero freático. As condutividades hidráulicas da zona não saturada foram obtidas pelas sondagens SPT. Os valores obtidos nos testes de *Slug* foram significativamente maiores do que os das sondagens SPT, demonstrando que a zona saturada, correspondente ao basalto semi-alterado intensamente fraturado horizontalmente, possui alta condutividade, maior que o solo propriamente dito.

Palavras chave: Aterro controlado, aquífero freático, Formação Serra Geral, poços de monitoramento, testes de *Slug*

¹ Professor Adjunto do Departamento de Geociências da Universidade Estadual de Londrina. Caixa Postal 6001 - Cep: 86051-900 - Londrina - PR. Fone: (43) 3371-4316 Fax: (43) 3371-4216 e-mail: celligoi@uel.br

² Aluno graduação, estagiário bolsista. Universidade Estadual de Londrina. Caixa Postal 6001 - Cep: 86051-900 - Londrina - PR. Fone: (43) 3371-4316 Fax: (43) 3371-4216 e-mail: diogolamonica@hotmail.com

³ Aluna graduação, estagiária bolsista. Universidade Estadual de Londrina. Caixa Postal 6001 - Cep: 86051-900 - Londrina - PR. Fone: (43) 3371-4316 Fax: (43) 3371-4216 e-mail: andressamor22@hotmail.com

⁴ Aluno graduação, estagiário bolsista. Universidade Estadual de Londrina. Caixa Postal 6001 - Cep: 86051-900 - Londrina - PR. Fone: (43) 3371-4316 Fax: (43) 3371-4216 e-mail: ro_vitorgeo@yahoo.com.br

⁵ Aluno graduação, estagiário bolsista. Universidade Estadual de Londrina. Caixa Postal 6001 - Cep: 86051-900 - Londrina - PR. Fone: (43) 3371-4316 Fax: (43) 3371-4216 e-mail: gohu-nc@bol.com.br

Abstract

The controlled landfill of Londrina is located on east portion from city, under the Serra Geral formation. A groundwater study was made near the landfill, with investigation methodologies, including monitoring wells and SPT drillings. These methodologies allow analyze the groundwater flows and the determination of the plume contamination by the leachate from the waste.

Slug tests were made on the groundwater monitoring wells, analyzed by Hvorslev methodology provide the hydraulic conductivities from the saturated zones. The hydraulic conductivities from unsaturated zone have been obtained by SPT drillings. Slug tests data were higher than the SPT drilling, showing that the hydraulic conductivities of the saturated zone are higher than the unsaturated zones themselves.

Keywords: controlled landfill, landfill, Serra Geral formation, monitoring wells, *Slug* Test.

1 – Introdução.

As cidades de grande e médio porte no Brasil possuem grandes problemas ambientais, como a má disposição de resíduos sólidos nos aterros sanitários - caso da cidade de Londrina. O aterro controlado de Londrina começou a receber lixo urbano em 1977, a escolha do local não obedeceu nenhum critério técnico. Em 1993 teve início o primeiro estudo da área, com a instalação de metodologias de investigação do solo e subsolo. Em 2000 se realizou outro estudo do aterro, mais detalhado com sondagens SPT e poços de monitoramento (PM), para que permitisse análise de águas subterrâneas e a determinação da pluma de contaminação, oriunda da infiltração e percolação do chorume produzido pelo lixo depositado. A cidade de Londrina possui aproximadamente 480.000 habitantes, produzindo assim 335 ton/dia de lixo.

O aterro está localizado em um vale, na porção mais alta do terreno, na área de recarga do aquífero freático, na área de descarga do aquífero está localizada a nascente do Córrego dos Periquitos. O aquífero freático está localizado nas adjacências do aterro, este aquífero se encontra estruturalmente a cima do Serra Geral, considerado o mais importante da região.

Os poços de monitoramento (PM) e as sondagens SPT e foram feitos na área correspondente ao aquífero freático. As sondas SPT e os poços de monitoramento (com a realização de testes *Slug*) fazem parte de uma metodologia para se determinar as condutividades hidráulicas (k) das zonas não saturada e saturada da área.

2 – Objetivos.

O objetivo desse estudo é comparar as condutividades hidráulicas (k) das zonas não-saturada e saturada do aquífero freático das adjacências do aterro de Londrina. Esses dados servem de base para estudos hidrogeológicos e das redes de fluxos subterrâneos dos aquíferos freático e Serra Geral.

É objetivo, também, a utilização da metodologia de *Slug Test* como referencial para a obtenção da condutividade hidráulica da zona saturada, através de poços de monitoramento.

3 - Localização da área.

A área do aterro está localizada na região leste da cidade de Londrina, como se pode observar na figura 1, entre as coordenadas UTM E-W: 488921 e 489860 e UTM N-S: 7417636 e 7419131, correspondendo a uma área de 280.000 m².

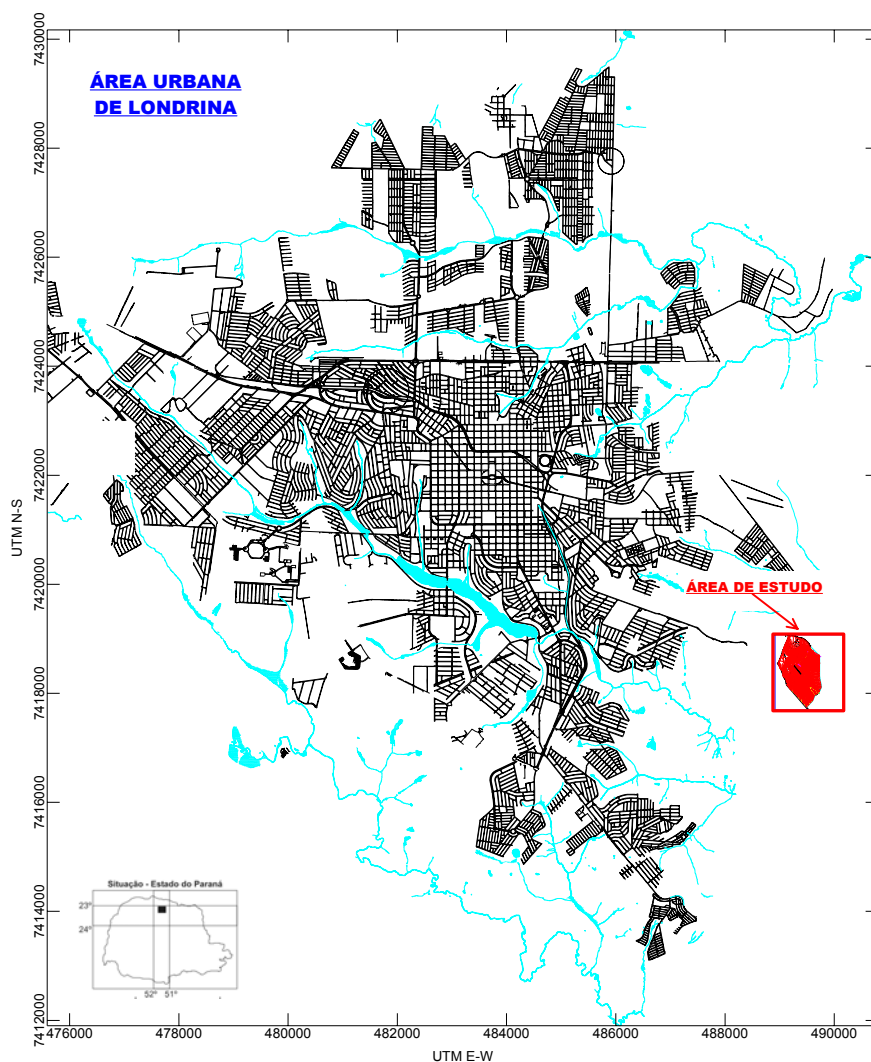


Figura 1 - Mapa de Localização do aterro de Londrina.

4 – Aspectos Geológicos.

O aterro controlado se encontra na porção leste de Londrina, localizando-se, em sua totalidade, sobre as rochas basálticas da Formação Serra Geral (CELLIGOI & DUARTE 1996), correspondendo à unidade hidrogeológica designada Aquífero Serra Geral.

A formação Serra geral é composta por basaltos pretos a cinza escuros, de estrutura maciça ou vesicular, fraturados e com o manto de intemperismo muito pouco presente em algumas localidades, até cerca de 30 metros nas regiões mais elevadas topograficamente (REBOUÇAS, 1978).

O solo argiloso encontrado na região do aterro é originário, principalmente, do intemperismo do mineral plagioclásio, mineral este que tem sua presença marcante nas rochas basálticas. Durante os trabalhos de perfuração dos poços de monitoramento (PM), nas diversas amostras retiradas e analisadas, verificou-se também a presença de minerais como piroxênio e clorita.

5 - Modo de ocorrência das águas subterrâneas.

Na grande área estudada existem duas formas de ocorrência de água subterrânea: o aquífero freático e o sistema aquífero Serra Geral (CELLIGOI & DUARTE, 1996).

Aquífero Serra Geral.

O Aquífero Serra Geral tem seu modo de ocorrência restrito ao basalto, ao contrario dos aquíferos sedimentares ele se não se constitui em um meio homogêneo, existindo apenas nas zonas de descontinuidades das rochas basálticas e semi-alteradas, principalmente em estruturas tectônicas do tipo fratura e/ou falhamento, pelas suas características litológicas de rochas cristalinas, se constitui em um meio aquífero de condições hidrogeológicas heterogêneas e anisotrópicas (FREEZE & CHERRY, 1979)

A Formação Serra Geral, local de ocorrência do aquífero, possui uma porosidade baixa, com a entrada de água no aquífero (recarga) devido à ocorrência de fraturas, sendo por isso considerado de porosidade e permeabilidade secundária.

Aquífero Freático.

O aquífero freático, aqui, é composto por camadas de solo e rocha alterada, possuindo características geológicas de sedimentos argilosos, sendo geralmente pouco espesso e com baixa profundidade do nível saturado.

Segundo CELLIGOI (et.al. 2001) Este aquífero possui características essenciais de aquífero livre ou não-confinado. Dessa forma, a recarga se dá diretamente a partir de águas pluviais nas áreas mais elevadas topograficamente.

Esse aquífero pode ter sua área de descarga nas nascentes ou no curso dos rios (fluxo de base), ou por meio de falhamento geológico compor sistemas como o Serra Geral, que em determinadas regiões tem sua recarga por falhamento geológico.

6 - Determinação da condutividade hidráulica (k).

Foram determinadas as condutividades hidráulicas (k) das zonas não-saturada e saturada do aquífero freático nas adjacências do aterro de Londrina. Para a determinação da condutividade hidráulica (k) da zona não saturada foram feitas sondagens do tipo SPT (Standard Penetration Test), e para a da zona saturada foram realizados ensaios de *Slug* (*Slug Tests*) em poços de monitoramento (PM). Tais poços foram perfurados no ano de 2000 para estudar o comportamento da pluma poluente oriunda do lixo depositado.

Os poços de monitoramento (PM) estão localizados nas adjacências do aterro, no meio e nas porções inferiores da vertente do vale, sendo um total de doze poços. O estudo da zona não-saturada, bem como a determinação da sua condutividade hidráulica (k), foi realizado por sondagens SPT. As sondagens foram feitas ao lado de determinados poços (PM5, PM8, PM11), com o objetivo de se comparar as condutividades. A baixo um mapa com a localização dos PM e das sondagens SPT (Figura 2).

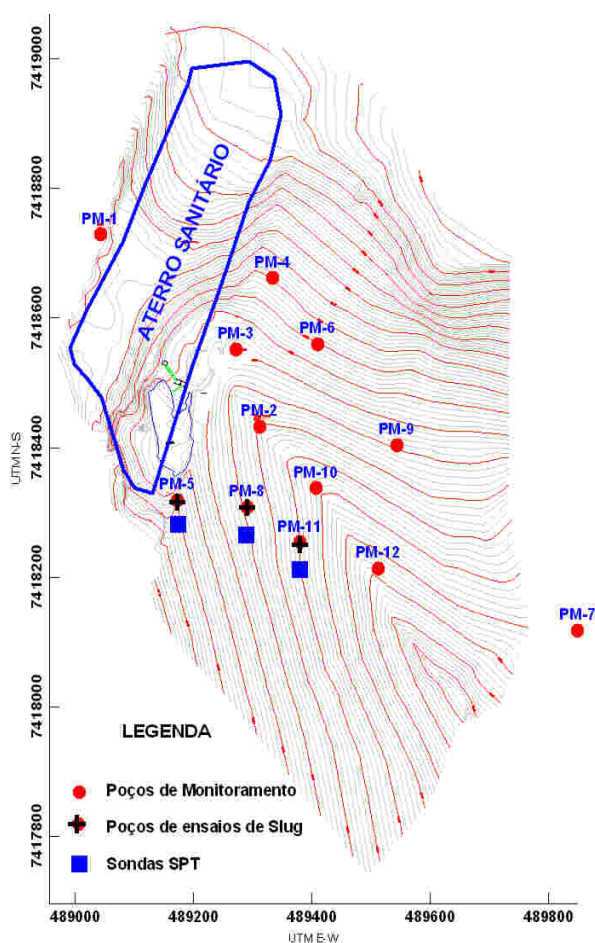


Figura 2 – Mapa de localização dos PM e sondagens SPT.

Nos poços 5, 8 e 11 foram realizados testes de *Slug*, os quais são utilizados para se determinar a condutividade hidráulica (k) da zona saturada. O *Slug test* é uma metodologia de fácil e rápida realização, de baixo custo e dispensa o bombeamento de água do poço.

O ensaio consiste em introduzir ou retirar um sólido (*slug*) dentro do poço, de forma que o nível d'água no poço seja elevado ou rebaixado instantaneamente (Figura 3). Este volume deslocado equivale à adição ou à retirada instantânea de água do aquífero.

Monitorando o posicionamento do nível d'água, obtém-se uma curva de abaixamento do nível d'água. com tempo (Figura 4). Desta curva são extraídos os parâmetros que, juntamente com as características geométricas do poço, fornecem o valor de condutividade hidráulica (k).

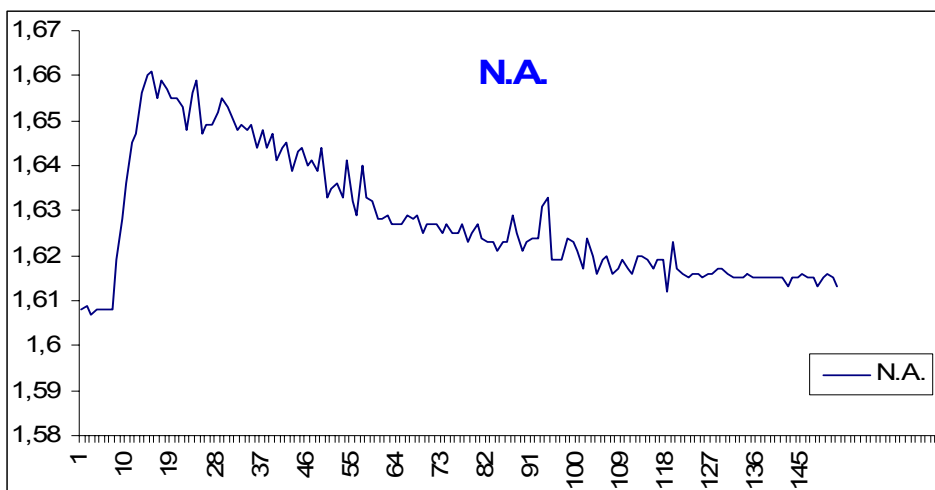


Figura 3: Curva de abaixamento do nível d'água.

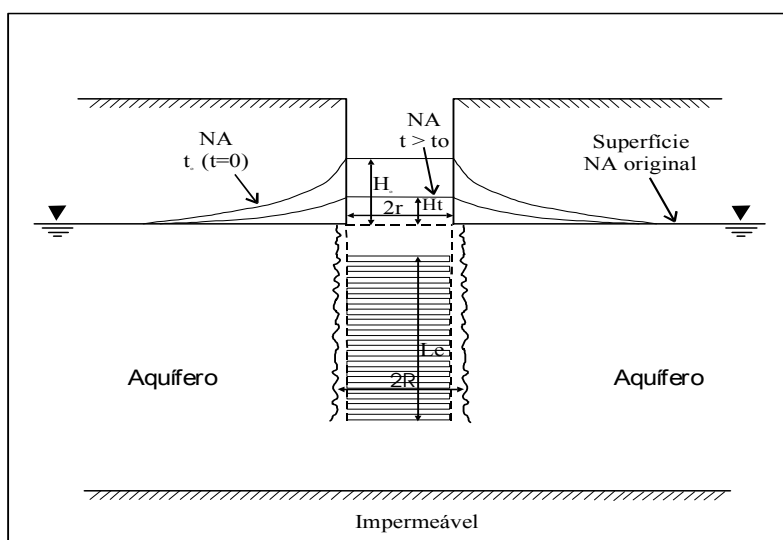


Figura 4: Ensaio de *Slug*.

Para se interpretar os dados de testes de *slug* foi utilizada a metodologia de Hvorslev. A determinação da condutividade hidráulica pelo método de Hvorslev, é efetuada através da seguinte fórmula (Equação 1: Hvorslev)

$$K = \frac{r^2 \ln(L_e / R)}{2L_e T_0}$$

(Equação 1: Hvorslev)

Onde:

K - condutividade hidráulica

r - raio do revestimento

R - raio do poço

L_e - comprimento do filtro

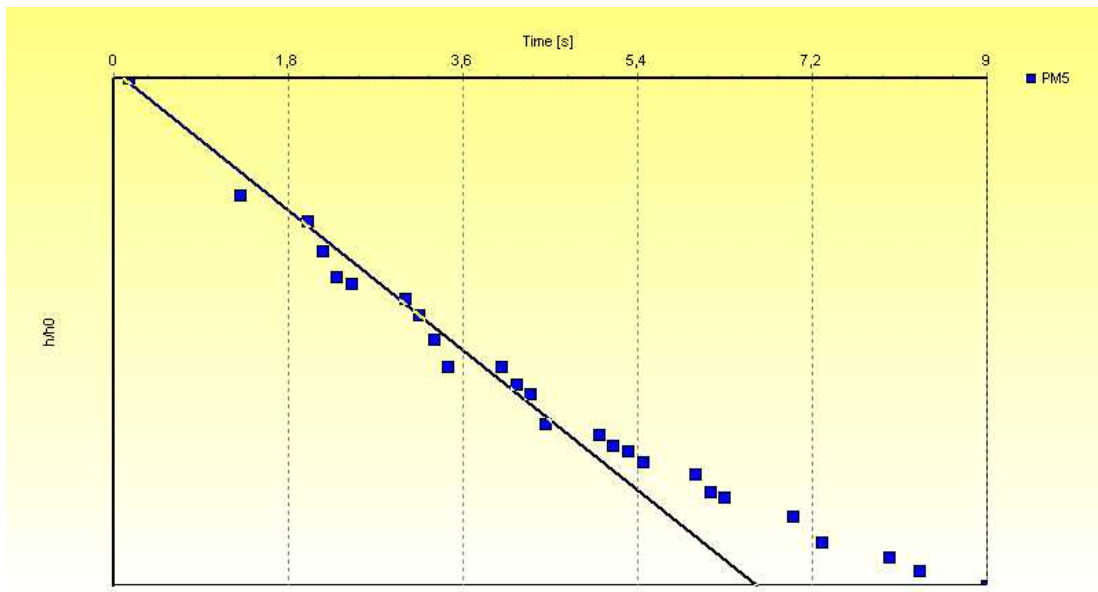
T_0 - tempo que leva para o nível d'água cair 37 % da variação inicial

A sondagem SPT foi realizada, de acordo com a norma NBR-6484/97, ao lado dos PM2, PM5, PM8. O método SPT consiste em sondagens feitas por amostrador, que vai sendo cravado no solo (com ou sem o auxílio de circulação de água) com golpes de martelo, onde é anotada a quantia de golpes necessários para cravar cada parcela da sonda.

7 - Interpretação dos resultados.

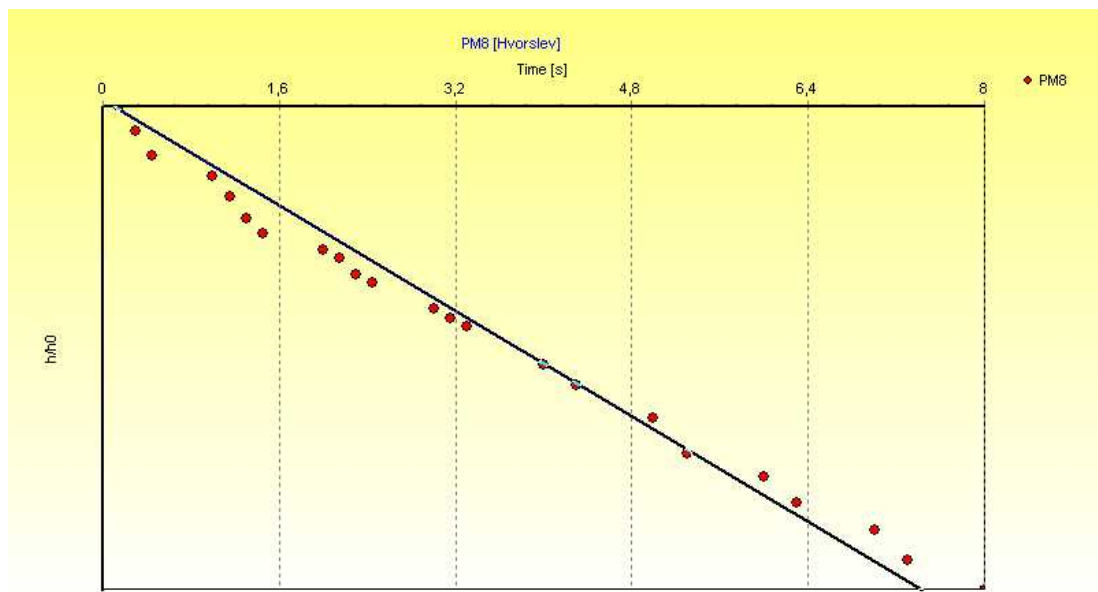
Como mostrado anteriormente, os ensaios de *slug* são realizados nos poços de monitoramento. Os testes de *slug* modificam o comportamento do nível d'água, resultando tabelas de tempo (s) x h/h_0 (m), interpretados pelo Software Aquifer Test, que utiliza a metodologia de Hvorslev para a determinação da Condutividade Hidráulica (k).

A seguir podemos observar a determinação da condutividade hidráulica pelo Software Aquifer Test nos poços de monitoramento 5 (figura 5), 8 (figura 6) e 11 (figura 7).



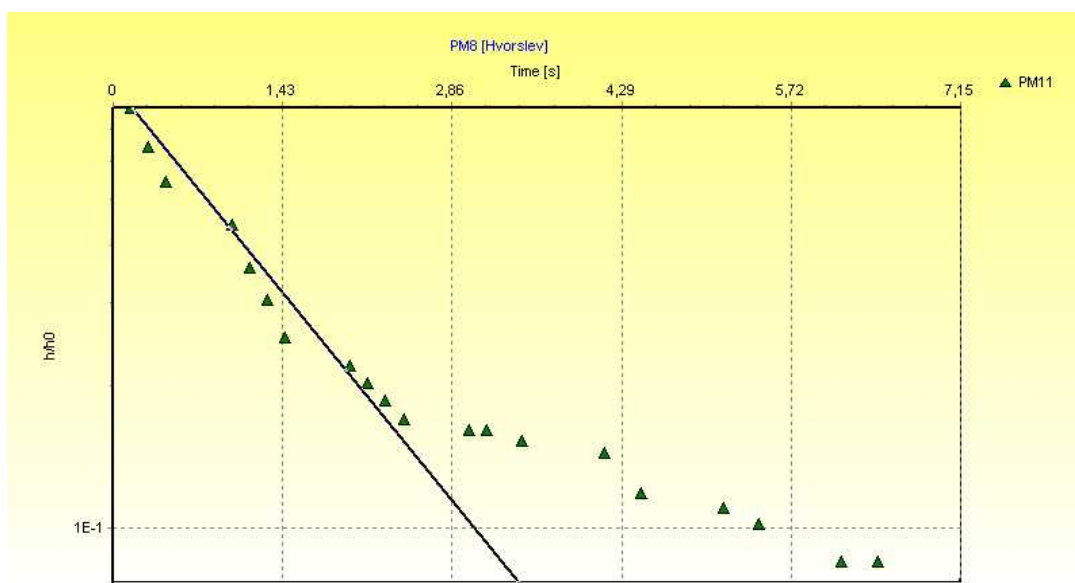
Conductivity: 1,94E-2 cm/s

Figura 5: Condutividade do PM 5



Conductivity: 1,46E-2 cm/s

Figura 6: Condutividade do PM 8



Conductivity: 7,72E-2 cm/s

Figura 7: Condutividade do PM 11

As sondagens SPT foram feitas ao lado dos poços 5, 8 e 11. Os resultados das determinações das condutividades hidráulicas da zona não saturada foram menores que o da não saturada (figura 8). Os filtros dos poços de monitoramento estão na zona saturada, onde ocorre o basalto e semi-alterado, e as fraturas horizontais proporcionam maior permeabilidade e condutividade (figura 9).

Figura 8: Tabela com valores das condutividades.

UTM E-W	UTM N-S	PM	SPT	k não saturada cm/s	k saturada cm/s
489172	7418319	PM 5	SP 1	$1,59 \times 10^{-5}$	$1,94 \times 10^{-2}$
489290	7418308	PM 8	SP 2	$4,49 \times 10^{-6}$	$1,46 \times 10^{-2}$
489379	7418254	PM 11	SP 3	$3,50 \times 10^{-5}$	$7,70 \times 10^{-2}$



Figura 9: Foto com o perfil de solo e rochas alterada e sã de basalto da Formação Serra Geral, mostrando os fraturamentos horizontais (Foto: Arq. Arlen).

A porção relativa à zona não saturada é composta por camadas de solos e rocha alterada, possuindo características geológicas sedimentos argilosos, sendo pouco permeável e possuindo baixa condutividade.

Nota-se, pelos valores obtidos nos testes, que a camada de solo e rocha alterada, correspondente ao aquífero freático, tem duas condutividades distintas: A camada de solo não saturado, de característica argilosa, possui uma média de $1,84 \times 10^{-5}$ cm/s, em três testes realizados, enquanto que a porção de rocha alterada, na base do perfil de alteração, possui média de $3,70 \times 10^{-2}$ cm/s.

Tais valores concordam com o esperado para o perfil do manto de alteração, em que a rocha semi-alterada, neste caso saturada, possui uma série de pequenos fraturamentos e diáclases horizontais, as quais permitem uma maior percolação de água provinda das camadas superiores.

Por outro lado, as porções relativas ao solo propriamente dito, tratado neste trabalho como não-saturado, assumem características de um meio poroso pouco permeável, devido à grande presença de material argiloso oriundo da decomposição dos minerais do tipo plagioclásio e piroxênios, presentes nos basaltos.

8 – Conclusões.

O aterro controlado se encontra na porção leste de Londrina, a cidade de Londrina localiza-se, em sua totalidade, sobre as rochas basálticas da Formação Serra Geral. Foi realizado um estudo no aquífero freático localizado nas adjacências do aterro, com a instalação de metodologias de investigação do solo, subsolo e das águas subterrâneas, como instalação de poços de monitoramento e sondagens SPT.

Nos poços de monitoramento foram realizados testes de *Slug*, que interpretados pela metodologia de Hvorslev forneceram as condutividades hidráulicas da zona saturada do aquífero freático. As condutividades da zona não saturada foram obtidas com a sondagem SPT.

Os valores das condutividades não foram iguais, sendo os da zona saturada maiores que o da não saturada. Isso ocorre devido à zona saturada corresponder à porção de maior fraturamento horizontal de material semi-alterado, proporcionando uma maior percolação da água subterrânea neste nível. A zona não-saturada, por sua vez, corresponde ao solo, propriamente dito, tem características de um meio poroso pouco permeável, permitindo uma percolação dificultada pela presença de materiais extremamente argilosos, próprios dos solos da região.

9 - Referências bibliográficas.

CELLIGOI, A.; SANTOS, M. M.; VIANNA, T. R. “Análise e interpretação do gradiente hidráulico do aquífero freático em uma área na região sul de Londrina-PR”. Revista de Geografia. Universidade Estadual de Londrina, v. 10, n. 1, p. 79-87, 2001.

CELLIGOI, A. & DUARTE, U. “Critérios hidrogeológicos na locação de poços tubulares na Formação Serra Geral”, In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, (9.: 1996: Salvador), Anais... Salvador, ABAS, 1996.

FREEZE, R.A. & CHERRY, J.A. “Groundwater”. Prentice-Hall inc., New Jersey, 604 p, 1979.

HVORSLEV, M. J. Time lag and soil permeability in groundwater observations. Bulletin Army.

REBOUÇAS, A.C. Potencialidades hidrogeológicas dos basaltos da bacia do Paraná no Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA (30.: 1978), Anais..., v.6, p.2963-2976, 1978