

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

**AVALIAÇÃO DE TESTES DE CONDUTIVIDADE
HIDRÁULICA "IN SITU" UTILIZANDO O
MÉTODO "SLUG TEST"**

Robercal Asevedo Berrocal

Orientador: Prof. Dr. Uriel Duarte

Co-orientador: Prof. Dr. Everton de Oliveira

MONOGRAFIA DE TRABALHO DE FORMATURA
(TF-31/2002)

SÃO PAULO
2002

**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS**

DEDALUS - Acervo - IGC



30900011722

**AVALIAÇÃO DE TESTES DE
CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA “IN SITU”
UTILIZANDO O MÉTODO “SLUG TEST”**

Robercal Asevedo Berrocal



Orientador: Prof. Dr. Uriel Duarte

Co-Orientador: Prof. Dr. Everton de Oliveira

**MONOGRAFIA DE TRABALHO DE FORMATURA
(TF-2002/31)**

**SÃO PAULO
2002**

TP
B533
RA.a

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

AValiação de testes de
condutividade hidráulica "in situ"
utilizando o método "slug test"



Roberto Azevedo Barros

Orientador: Prof. Dr. Arnaldo Duarte

Co-Orientador: Prof. Dr. Evandro de Oliveira

MONOGRAFIA DE TRABALHO DE FORMATURA
(11-2002/01)

SÃO PAULO
2002

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

**AVALIAÇÃO DE TESTES DE CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA “IN SITU”
UTILIZANDO O MÉTODO “SLUG TEST”**

Robercal Asevedo Berrocal

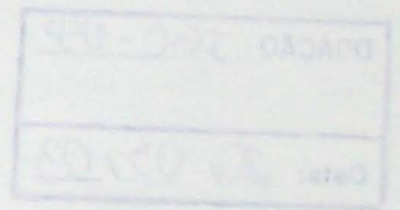
ORIENTADOR: Prof. Dr Uriel Duarte (GSA)

CO-ORIENTADOR: Prof. Dr. Everton de Oliveira (GSA)

MONOGRAFIA DE TRABALHO DE FORMATURA
(TF-2002/31)

SÃO PAULO

2002



UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

AVALIÇÃO DE TESTES DE CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA EM SBT
UTILIZANDO O MÉTODO "SLUG TEST"

Rosângela Assis de Sá

ORIENTADOR: Prof. Dr. Luiz Carlos de Sá
CO-ORIENTADOR: Prof. Dr. Evandro de Sá

DOAÇÃO	IGC - USP
Data:	20/03/03

MONOGRAFIA DE TRABALHO DE FOMENTURA
(75.200.000)

SÃO PAULO
2003

Agradecimentos

Em primeiro lugar eu quero agradecer a Deus e aos meus pais pelo auxílio, amor e confiança que tiveram em mim, ao longo de todos esses anos de graduação e não posso esquecer minhas três irmãs Ana Paula, Luciana e Kelly.

Durante a elaboração deste trabalho muitas pessoas tiveram importante participação e a elas eu expresso os meus sinceros agradecimentos:

Aos Profs. Drs Uriel Duarte e Everton de Oliveira pelo apoio e orientações que foram fundamentais para a execução deste trabalho.

Ao pessoal da Hidroplan: Celso, Flávio, Japa, Bizu, Digo, Poça, Haxta, Bia, Reginaldo(Rato), Ricardo e Thiago.

A Marcela e Elaine do laboratório de sedimentologia, e um agradecimento especial a Marco Pedi pela paciência e ajuda na realização dos testes. A Daniel Davanço pela ajuda na montagem final do trabalho.

E a todos os amigos formados, formandos e galera que vai se formar pelo apoio e baladas inesquecíveis:

Kagohara(Larson), Barel-pai, Kiki, Macaco, Hinfeliz(eterno rei), Giba, Tarcis, Joe, Ceara(novo rei), Babacu, Pagão, 101, Boi, 5, Mike, Horácio, Vermei, Baralho, AB, Sextinha, Krusti, Carniceira, Camila, Kola, Topera, Sueli, Sarita, Urubu, Flamingo, Rídiculo, GLS, Severino(Ba), toda irmandade Lee, Pateta, Tabajara, Rosa(pedreiro), Monga, Jacira, Leão, Mateu, Hipoglós, Xiwawa, Klain, Tracejo, Ninguém, Lendia, Paraíba, Micomo, Medusa, Coró, Sabugueira, Keite, Urina, Capivara, Pópó, Aline, Bo, aos Monkeys: Carica, Dregui, Cabaço, Rincon e aos funcionários: Zé Carlos, Henrique, Charles Bronson(The Flesh), Argilito e Mauro(sobrinho), desculpem mas é tanta gente que com certeza devo ter esquecido de alguém.

ÍNDICE

RESUMO.....	i
ABSTRACT.....	ii
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. METAS E OBJETIVOS.....	2
3. TRABALHOS PRÉVIOS.....	3
4. MATERIAIS E MÉTODOS.....	5
4.1. Trabalho de Campo.....	5
4.2. Métodos “ <i>in situ</i> ” para determinar a Condutividade Hidráulica.....	6
4.3. Estimativa da Condutividade Hidráulica pela Análise Granulométrica.....	12
5. DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO.....	13
5.1. Instalação de Poços.....	13
5.2. Análises Granulométricas.....	15
5.3. Testes “ <i>in situ</i> ”	17
6. RESULTADOS OBTIDOS.....	17
6.1. Métodos com Dados Coletados “ <i>in situ</i> ” para determinar o K.....	17
6.2. Métodos para determinar o K utilizando Dados das Análises Granulométricas.....	26
7. INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS.....	27
8. CONCLUSÕES.....	28
9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	29

RESUMO

Este trabalho tem como objetivo efetuar uma análise comparativa de testes de condutividade hidráulica (K), em dois poços de monitoramento com características construtivas diferentes e a 2,0 m de distância um do outro: o poço PM-01 com um filtro de 0,5 m totalmente saturado, e o PM-02 com um filtro de 3,0 m, sendo parte deste saturado e outra parte não (filtro total). A condutividade hidráulica foi obtida utilizando-se os testes “*slug*” e “*bail*”, que consistem na inserção e na retirada, respectivamente, de um tarugo de dentro do poço, medindo-se então a variação do nível d’água em função do tempo. Para calcular essa condutividade com dados coletados “*in situ*” foram utilizados os métodos de Hvorslev e de Bouwer & Rice. Além disso, foram efetuadas análises granulométricas no laboratório das amostras coletadas durante a instalação dos poços, com a finalidade de calcular a condutividade hidráulica através dos métodos de Hazen e de Shepherd.

Os resultados obtidos mostram que existe coerência dos valores de condutividade hidráulica utilizando os dados “*in situ*” com ambos testes e métodos mencionados acima ($K \approx 1 \times 10^{-5}$ no PM-01 e $K \approx 1 \times 10^{-4}$ no PM-02). Essa diferença deve estar sendo causada pelo tamanho e posição do filtro, visto que os valores de K obtidos em laboratório são semelhantes em todas as amostras. Destes resultados, os calculados com o método de Hazen ($K \approx 1$ a 3×10^{-5}) são mais compatíveis com os resultados de campo. Ambos tipos de poços fornecem resultados aceitáveis de K , entretanto, a preferência de um deles vai depender da finalidade da pesquisa.

ABSTRACT

The objective of this work is to perform a comparative analysis of hydraulic conductivity (K) tests in two monitoring holes with different constructive characteristics, located at around 2 m one of the other. The PM-01 hole with the screen of 0.5 m totally saturated and PM-02 hole with a 3.0 m screen with part of it saturated and an small above the aquifer level (total screen). The hydraulic conductivity is obtained by applying the *slug test* and the *bail test*, that consist in lowering or removing, respectively, a cylindrical object or slug from the hole, measuring then the changes of the water level with time. To calculate the hydraulic conductivity with the data collected "*in situ*" were used the Hvorslev and the Bouwer & Rice Slug-Test methods. Besides those methods, grain-size analyses were performed in the laboratory by using the samples collected during the installation of the holes, with the purpose of calculating the hydraulic conductivity by using the Hazen and the Shepherd methods.

The results obtained in this work indicate that both type of "*in situ*" tests and the hydraulic conductivity calculated with the methods mentioned above, are coherent ($K \approx 1 \times 10^{-5}$ for PM-01, and $K \approx 1 \times 10^{-4}$ for PM-02). The different screen size and its position in both holes might cause that difference, considering that the values of K obtained with the grain-size data are almost the same in all collected samples. From these grain-size results the obtained with Hazen method ($K \approx 1$ to 3×10^{-5}) are more compatible with the results obtained "*in situ*". Both types of hole (PM-01, PM-02) provide acceptable K values, however, the choice of one of them depends on the purpose of the survey.

1. INTRODUÇÃO

As empresas de consultoria ambiental, para tentar solucionar o problema de contaminação de águas subterrâneas, necessitam fazer alguns testes com a finalidade de determinar os parâmetros hidráulicos do aquífero. Esses parâmetros, principalmente o de condutividade hidráulica, que permite determinar a velocidade da água subterrânea ajudando na montagem do modelo hidrogeológico, podem ser conseguidos através de testes alternativos, entre os quais o mais utilizado é o "*slug test*".

Segundo Hvorslev (1951) o "*slug test*" é um ensaio para a determinação da condutividade hidráulica *in situ*, a partir da mudança instantânea do nível d'água provocada pela rápida introdução ("*slug test*") ou retirada de um objeto ("*bail test*"), por exemplo, um cilindro metálico dentro de um poço ou piezômetro. É uma técnica bastante utilizada para medições *in situ* da condutividade hidráulica que fornece bons resultados deste parâmetro quando comparados com outras técnicas.

A característica ideal dos poços de monitoramento para executar os testes de condutividade hidráulica utilizando o "*slug test*" e o "*bail test*", é de que o filtro esteja instalado totalmente na zona saturada, seguindo as recomendações de Bouwer-Rice (1976) em que fluxo só pode ocorrer abaixo do nível d'água e, além disso, o fluxo deve ser horizontal (Hvorslev, 1951). Por outro lado, ao realizar-se um desses testes em um poço onde parte do filtro esteja na zona saturada e a outra parte não, o nível d'água que sobe repentinamente pela introdução de um objeto durante o teste, atingirá a zona não saturada do aquífero fazendo com que a água entre em contato com poros parcialmente saturados mudando o sentido do fluxo o que pode acarretar em variações nas medidas de condutividade hidráulica no local (ver Fig 1).

As empresas normalmente instalam poços de monitoramento com parte do filtro acima do nível freático, para identificar e estimar a formação de uma possível lâmina de produto sobre a água. Por esse motivo o "*slug test*" e o "*bail test*" geralmente não são efetuados em condições ideais como se menciona acima. A relevância do presente trabalho é comparar as medidas de condutividade hidráulica nas duas situações, utilizando diferentes métodos de análise.

Além dos testes mencionados acima, foram efetuadas neste trabalho análises granulométricas das amostras coletadas. Uma das finalidades dessas análises aplicadas ao campo da hidrogeologia, mais precisamente na determinação das

propriedades dos aquíferos, é obter valores da condutividade hidráulica levando-se em conta o diâmetro dos grãos.

Entretanto devem ser consideradas as variações dos tipos de aquíferos existentes para selecionar o método mais adequado para análise dos dados levantados através de "slug test", além de considerar as características construtivas dos poços de monitoramento cujas diferenças podem afetar os resultados.

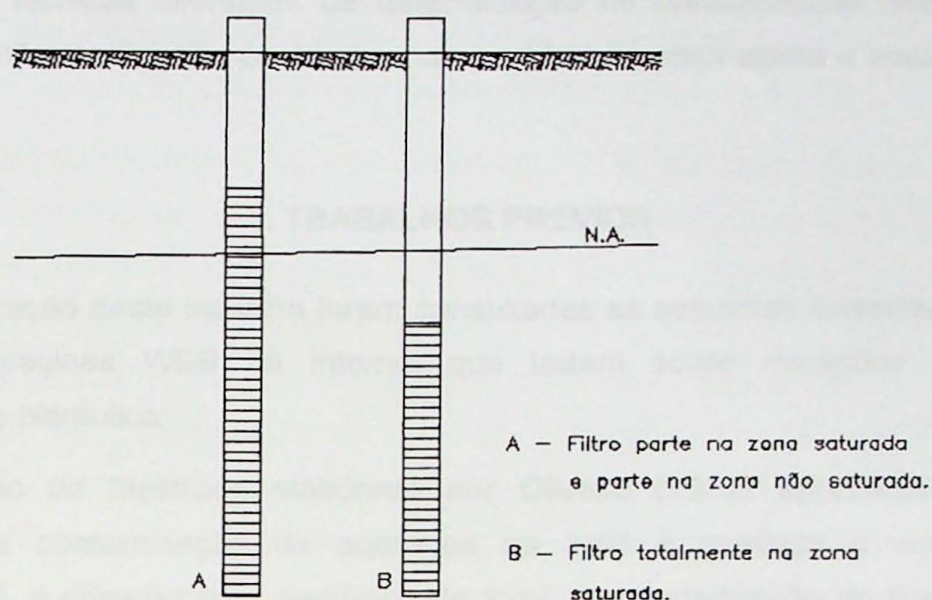


Fig. 1 - Posição do filtro

2. METAS E OBJETIVOS

O objetivo deste trabalho é efetuar uma avaliação comparativa de testes de condutividade hidráulica em dois poços de monitoramento instalados na área em estudo, utilizando dados obtidos com os testes: "slug test" e "bail test", com a finalidade de comparar os resultados em um poço com filtro totalmente submerso na zona saturada, e em outro com parte do filtro na zona saturada e parte na zona não saturada (filtro total), sendo que este último tipo de instalação é normalmente utilizado nas empresas de consultoria ambiental.

Como todos os métodos de análise de dados obtidos *in situ* são aplicados a poços com a seção filtrante totalmente submersa, a meta deste experimento é verificar os

resultados da utilização desses métodos em poços com características construtivas distintas daquelas utilizadas na definição do método.

Durante a instalação dos poços foram efetuadas coletas de solo de metro em metro, para realizar análises granulométricas, com a finalidade de medir a condutividade hidráulica do local utilizando os métodos de Hazen (1911) e de Shepherd (1989). Isto possibilitou verificar a homogeneidade das características hidráulicas dos perfis dos poços. Esta constatação é muito importante porque permite comparar os resultados obtidos com técnicas diferentes de determinação de condutividade hidráulica nos poços e permite medir esse parâmetro nas porções do poço acima e abaixo do nível d'água.

3. TRABALHOS PRÉVIOS

Para a elaboração deste trabalho foram consultadas as seguintes dissertações, livros e algumas páginas WEB na Internet que tratam sobre medições *in situ* de condutividade hidráulica:

A Dissertação de Mestrado elaborada por Oliveira (1992) apresenta um caso específico de contaminação de aquíferos na qual é avaliada a extensão da contaminação, a característica geológica do local, a caracterização do fluxo da água subterrânea e de sua velocidade de percolação, assim como a progressão da contaminação. Na metodologia empregada para efetuar essa pesquisa foram efetuados testes de condutividade hidráulica tanto em laboratório como *in situ*. Os levantamentos *in situ* foram efetuados utilizando o método original de "slug test" desenvolvido por Hvorslev (1951), e apresenta a dedução detalhada da equação original de Hvorslev para calcular a condutividade hidráulica em medições *in situ*. Os resultados finais apresentados neste trabalho mostram que as medidas da constante de condutividade hidráulica na componente vertical, obtida em laboratório, são 15 vezes maiores do que as obtidas *in situ* na componente horizontal. Os testes *in situ* mostram que em um dos poços o valor da constante de condutividade obtida com o "slug test." ($K = 3,986 \times 10^{-4}$ cm/s) é 26% maior que o valor obtido com o "bail test" ($K = 5,029 \times 10^{-4}$ cm/s). Os resultados obtidos na área pesquisada neste trabalho utilizando os métodos *in situ* indicam diferenças da ordem de até 75% nos valores da constante de condutividade hidráulica, em poços distantes na ordem de até 100m.

A Dissertação de Mestrado de Oliva (2002) que aborda um estudo hidrogeológico da Formação Rio Claro através do mapeamento do lençol freático, da determinação da condutividade hidráulica e da análise hidroquímica das águas subterrâneas. A

determinação da condutividade hidráulica foi determinada através dos métodos granulométricos de Hazen e de Shepherd, e do levantamento de dados *in situ* utilizando os testes de slug, através dos métodos de Hvorslev e de Bouwer & Rice. O resultado final deste trabalho, referente a condutividade hidráulica, determina valores compatíveis utilizando os métodos de Shepherd e do "*slug test*" $K = 7,71 \times 10^{-3} \text{ cm/s}$

A Dissertação de Mestrado de Salles (1999) apresenta a avaliação de uma área contaminada por compostos orgânicos despejados durante um acidente ocorrido duas décadas antes de efetuada essa pesquisa. A determinação da condutividade hidráulica, nesse trabalho, foi efetuada através de testes em laboratório e em campo. Neste caso observa-se a aplicação do método original proposto por Hvorslev (1951).

O livro *Applied Hydrogeology* de Fetter (2001) é um texto atualizado, bastante completo e básico, que pode ser utilizado como iniciação para uma especialização em hidrogeologia. Além de abranger esse tema em 13 capítulos, este livro apresenta um suporte técnico numa página WEB elaborada pelo próprio autor, além de incluir no livro um CD-ROM com três programas para microcomputadores utilizados por profissionais em hidrogeologia. O tema deste trabalho ("*slug test*") é amplamente desenvolvido no capítulo 5 deste livro, onde são apresentadas detalhadamente várias modalidades desta técnica. Essas modalidades de "*slug test*" foram agrupadas em testes com resposta *Overdamped* (supertravada): o método Cooper-Bredehoeft-Papadopoulos para aquíferos confinados, o método Hvorslev para poços que não penetram completamente o aquífero e o método Bouwer-Rice para poços que penetram ou não completamente o aquífero; e testes com resposta *Underdamped* (subtravada): o método Van der Kamp e o método Kipp, ambos para poços que penetram completamente o aquífero. No capítulo 3, Propriedades dos Aquíferos, são apresentados os métodos Hazen e Sheperd, que são utilizados para calcular a condutividade hidráulica a partir das análises granulométricas.

O livro *Geologia de Engenharia* de Oliveira et al. (1998) é um texto multidisciplinar que enfoca conceitos básicos de geologia aplicados em engenharia. No capítulo 11 Métodos de Investigação, em um de seus itens, o autor explica o método Hvorslev de *slug test* e mostra a equação de condutividade hidráulica da água.

O livro *Engenharia Hidrológica* de Ramos et al. (1989) é uma síntese na língua portuguesa, de cinco temas sobre Hidrologia que têm como objetivo servir de apoio aos cursos de graduação em engenharia apresentando os diversos aspectos do ciclo hidrológico. O Quinto Capítulo, Águas Subterrâneas (Cleary, 1989), trata sobre aquíferos onde são apresentados as noções básicas e os conceitos fundamentais

sobre a ocorrência de água no subsolo, incluindo um item sobre métodos de campo para a caracterização de aquíferos. Nesse item são abordados os testes de bombeamento onde se menciona o método Hvorslev de “*slug test*”.

O livro *Groundwater* de Freeze & Cherry (1979) é um texto mais antigo sobre águas subterrâneas. De acordo com os autores o livro trata sobre o ambiente geológico que controla a ocorrência de água subterrânea, sobre as leis físicas que controlam seu fluxo e trata também sobre a influência do homem nos aquíferos naturais. No capítulo 8, este livro trata sobre a avaliação de aquíferos onde são apresentados os métodos para determinar os parâmetros de um aquífero tanto em laboratório quanto *in situ*, porém de uma forma mais condensada que no livro de Fetter (2001).

O programa ADEPT (A Program for Aquifer Data Evaluation), elaborado por Levy (s/d) e comercializado através da Internet contém dezenas de soluções para a análise de testes de bombeamento e “*slug test*”. A página WEB desse programa apresenta uma descrição dos cinco métodos de “*slug test*”, mencionados na apresentação acima, do livro de Fetter (2001).

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1. Trabalho de Campo

A área que foi escolhida para os testes faz parte do Município de Cotia, mais precisamente na Granja Viana, é compreendida pela Bacia de São Paulo, e por ser próxima a um córrego possui sedimentos aluvionares fluviais do Quaternário: argila, areia e cascalho.

Para a execução deste Trabalho de Formatura foram instalados dois poços de monitoramento, de duas polegadas de diâmetro, distantes 2 metros um do outro, no intuito de que a condutividade hidráulica não sofra variações, em uma região com o nível freático do aquífero raso. Para efetuar os testes de condutividade hidráulica nesses poços os dados foram obtidos através do “*slug test*” e “*bail test*” que consistem em medir a recuperação do nível estático com o tempo, a partir do momento que esse nível é perturbado ao introduzir ou retirar um objeto cilíndrico no poço.

Para efetuar a análise comparativa da condutividade hidráulica, um poço foi instalado com o filtro totalmente abaixo do nível da água, porém sem penetrar totalmente o aquífero como foi proposto na metodologia original de Hvorslev (1951) para aquíferos

livres, e outro poço com filtro total, ou seja, parte na zona saturada e uma parte pequena na zona não-saturada.

Para instalação dos poços foi utilizada a metodologia baseada na norma da ABNT-NBR 13895, e foram efetuadas coletas de amostras de solo de metro em metro, para que sejam realizadas análises granulométricas. Para executar o *slug test* foram utilizados: um objeto cilíndrico ou tarugo para produzir a mudança do N. A. nos poços; um transdutor de variação de pressão da marca Druck com saída dos dados para registro automático em um laptop; e software Winslug® para processamento dos dados (Foto 1). As medidas desses testes também foram realizadas manualmente, neste caso, além do tarugo, foram necessários: um medidor de nível d'água e um cronômetro (Foto 2).

4.2. Métodos *in situ* para Determinar a Condutividade Hidráulica

Quando o nível da água em um poço de pequeno diâmetro é perturbado, podem ocorrer várias formas de resposta. O nível de água pode recuperar-se até atingir seu nível estático inicial de uma maneira simples aproximadamente exponencial. Esse tipo de resposta se denomina *Overdamped* (sobre-amortecido). Outra forma de resposta é que o nível da água oscile ao redor de seu nível estático, diminuindo a amplitude da oscilação com o tempo, até chegar a parar. Neste caso esse tipo de resposta se denomina *Underdamped* (sub-amortecido), que ocorre preferencialmente em poços que tem uma coluna muito extensa de água ou que são revestidos em um aquífero altamente transmissível.

Os métodos de "*slug test*" são agrupados nessas duas modalidades de resposta, de modo que, para escolher o método apropriado de análise, a forma de resposta do nível de água do poço deve ser previamente considerada. Tendo em vista que a profundidade dos poços deste Trabalho é pequena, serão utilizados os métodos aplicados ao tipo de resposta *Overdamped* (sobre-amortecido): Hvorslev e Bouwer & Rice.

As fórmulas normalmente empregadas para a determinação da condutividade hidráulica consideram o meio homogêneo e contínuo, com regime de escoamento laminar, permitindo, portanto, aplicações nos cálculos das permeabilidades de maciços terrosos inconsolidados e de maciços rochosos porosos .

4.2.1. Métodos de Análise para o Cálculo da Condutividade Hidráulica

A) Método Hvorslev

Este método foi desenvolvido por Hvorslev (1951) baseado numa variação instantânea de carga no poço, podendo ser realizada em um único poço. Para tanto, o aquífero foi assumido como homogêneo, isotrópico e infinito no qual água e aquífero são incompressíveis (Oliveira 1992).

Nesse teste foi observado que a taxa do fluxo para o interior do poço (ou para o exterior) poderia ser calculada a partir da elevação ou rebaixamento do nível d'água e da equação de um cilindro, da seguinte maneira:

$$q \times dt = A \, dh \quad (1)$$

$$q \, dt = \pi r^2 \, dh \quad (2)$$

$$q = \frac{\pi r^2 \, dh}{dt} = FK(H - h)L \quad (3)$$

Onde,

q = taxa de fluxo [L^3/T]

A = área da seção transversal do poço (tubo de revestimento) [L^2]

r = raio do revestimento do poço [L]

H = carga hidráulica estática ou N.E. [L]

h = carga hidráulica dentro do poço no tempo t [L]

F = fator que depende da forma e dimensões do poço [L]

K = condutividade hidráulica [L/T]

A equação (4) representa a relação da taxa de variação do volume de água dentro do poço com o fluxo volumétrico de Darcy dentro do raio do poço, medido do eixo do poço até o final do pré filtro.

$$H - h = \frac{\pi r^2 \, dh}{FK \, dt} \quad (4)$$

Hvorslev definiu T_o como sendo o tempo de resposta básico, ou seja

$$T_o = \frac{\pi r^2}{FK} \quad (5)$$

De modo que a equação (6) pode ser escrita como:

$$H - h = T_o \frac{dh}{dt} \quad (6) \quad 7$$

A solução da equação diferencial parcial ordinária (7) com condição inicial $h=H_0$ para $t=0$, é:

$$\frac{H - h}{H - H_0} = e^{-t/\tau_0} \quad (7)$$

Ou:

$$\ln \frac{H - h}{H - H_0} = -\frac{t}{T_0} \quad (8)$$

Quando os valores de $(H - h)/(H - H_0)$ são plotados versus t em um gráfico monolog, os pontos apresentam a forma aproximada de uma reta. Por regressão linear obtém-se a reta média dos pontos. Para $(H - h)/(H - H_0) = 0,37$, ($\ln 0,37 = -1$) temos:

$$-\frac{t}{T_0} = -1 \quad (9)$$

e, portanto $t = T_0$. Desta forma pode-se determinar graficamente o valor de T_0 , que é a abscissa que corresponde à ordenada 0,37. Sabendo que:

$$T_0 = \frac{\pi r^2}{FK} \quad (10)$$

logo

$$K = \frac{\pi r^2}{FT_0} \quad (11)$$

Para um poço com filtro de comprimento L_e e raio R , onde $L_e/R > 8$, segundo Hvorslev (1951), temos:

$$F = \frac{2\pi L_e}{\ln(L_e / R)} \quad (12)$$

Finalmente, temos:

$$K = \frac{r^2 \ln(L_e / R)}{2L_e T_0} \quad (13)$$

Esta equação é um das muitas equações apresentadas por Hvorslev (1951) para poços com características construtivas distintas e diferentes tipos de aquíferos, entretanto, ela é muito útil e pode ser aplicada em condições não confinadas para a maior variedade de poços ou piezômetros, onde o comprimento do filtro é muito maior que o raio do filtro, como é o caso dos poços utilizados neste Trabalho.

No método de Hvorslev o filtro deve penetrar somente uma parte do aquífero e o topo deste filtro deve estar submerso, como pode ser visto na Fig. 2. Como foi dito antes, as empresas normalmente instalam poços de monitoramento com parte do filtro acima do nível freático, para identificar e estimar a formação de uma possível lâmina de produto sobre a água.

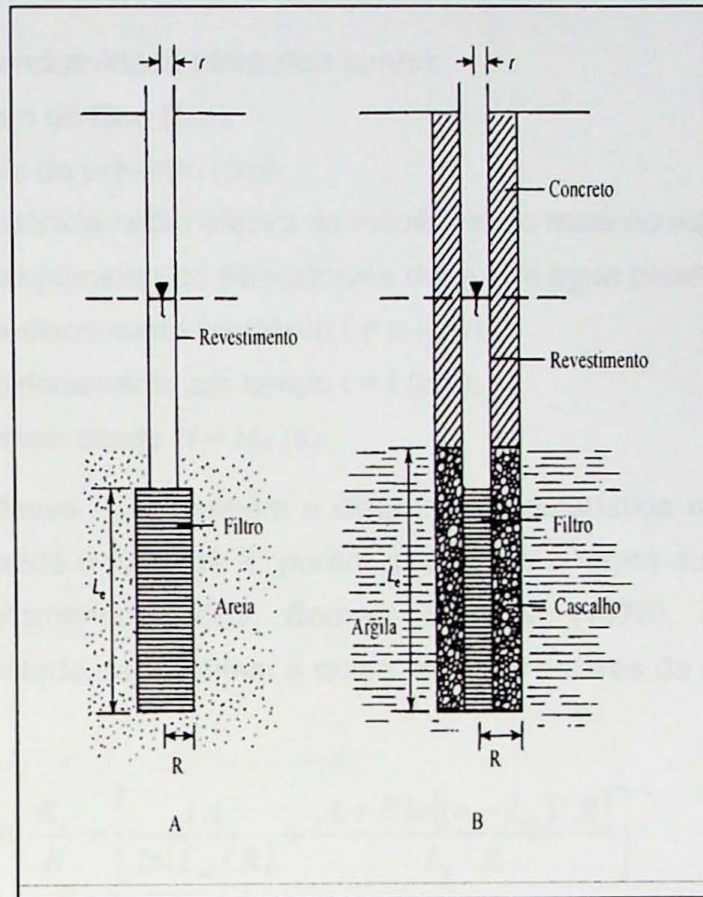


Fig. 2 – Método Hvorslev de slug test para poço em aquífero em areia (A) e em meio pouco permeável como argila (B).

B) Método Bouwer & Rice

Esse método pode ser utilizado em poços com ou sem filtro. Os poços podem penetrar o aquífero de forma total ou parcial. Embora este método tenha sido originalmente desenvolvido para aquíferos não confinados, ele pode ser utilizado em aquíferos confinados, desde que a parte superior do filtro esteja localizada a uma certa distância abaixo da base da camada confinante.

A geometria do poço para aplicar este método é mostrada na Fig. 3. Nesse diagrama o parâmetro r_c é o raio do filtro do poço no qual o nível d'água se movimenta e R é o raio do pré filtro. A equação para este método é:

$$K = \frac{r_c^2 \ln(R_e / R)}{2L_e} \frac{1}{t} \ln\left(\frac{H_0}{H_t}\right) \quad (14)$$

Onde: K é a condutividade hidráulica (cm/s);
 r_c é o raio do filtro (cm);
 R é o raio do pré-filtro (cm);
 R_e é a distância radial efetiva da influência do teste no aquífero (cm);
 L_e é o comprimento do filtro através do qual a água penetra no poço (cm);
 H_0 é o deslocamento inicial em $t = 0$ (cm);
 H_t é o deslocamento em tempo $t = t$ (cm);
 t é o tempo desde $H = H_0$ (s).

A distância radial efetiva R_e é também a distância característica a partir do poço na qual está sendo medido o valor de K , porém não existe a forma de saber qual é este valor para um determinado poço. Bouwer & Rice, (1976), e Bouwer (1989) apresentaram um método para estimar a razão $\ln(R_e/R)$ através da seguinte equação:

$$\ln \frac{R_e}{R} = \left[\frac{1.1}{\ln(L_w / R)} + \frac{A + B \ln[(h - L_w) / R]}{L_e / R} \right]^{-1} \quad (15)$$

que é utilizada no caso em que a distância do nível d'água ao fundo do filtro (L_w) é menor que a espessura saturada do aquífero (h). No caso em que esses parâmetros sejam iguais, ou seja, com o filtro ocupando todo o aquífero, se utiliza a seguinte equação:

$$\ln \frac{R_e}{R} = \left[\frac{1.1}{\ln(L_w / R)} + \frac{C}{L_e / R} \right]^{-1} \quad (16)$$

Nestas equações A , B e C são números adimensionais que são encontrados em função de L_e / R em um gráfico mostrado na Fig. 4 que foi desenvolvido por Bouwer (1989), segundo referência mencionada em Fetter (2001).

Este método foi desenvolvido para usar dados de "bail test", ou seja, onde o nível d'água é rebaixado para depois fluir do aquífero para o poço. Porém, este método

pode ser utilizado quando a água é adicionada ao poço e desce dentro do poço, com a condição que o nível estático da água esteja acima do topo do filtro.

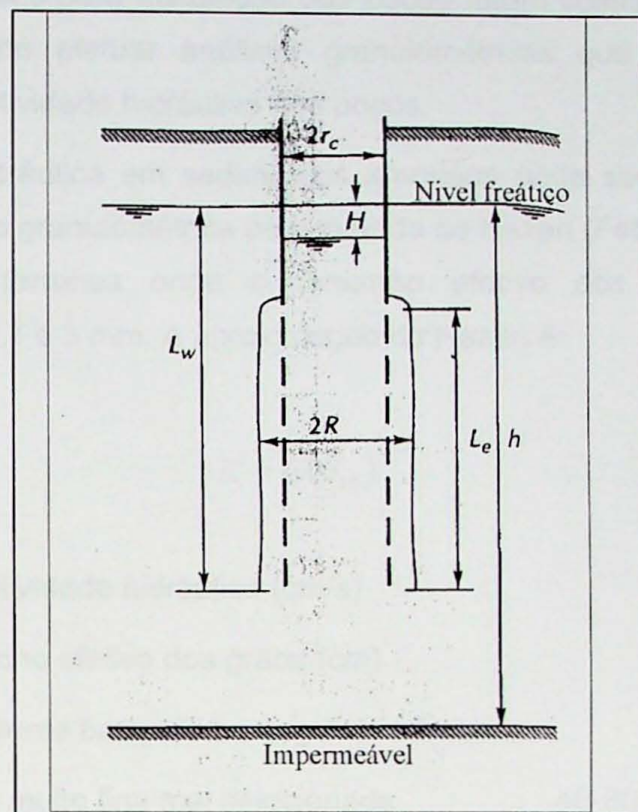


Figura 3- Método Bouwer & Rice de *slug test*

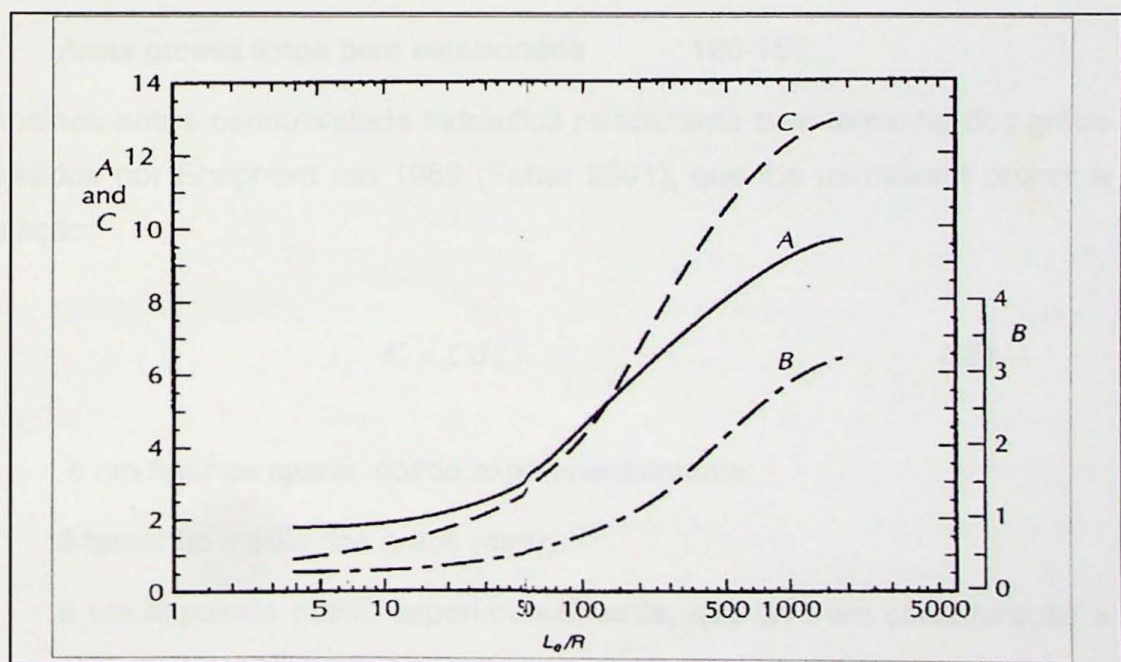


Fig. 4 – Parâmetros adimensionais para o método Bouwer & Rice

4.3. Estimativa da Condutividade Hidráulica pela Análise Granulométrica

Durante as sondagens para instalação dos poços foram coletadas amostras de solo com a finalidade de efetuar análises granulométricas que permitam fazer uma estimativa da condutividade hidráulica nos poços.

A condutividade hidráulica em sedimentos arenosos pode ser estimada a partir da curva de distribuição granulométrica pelo método de Hazen (Fetter 2001). Este método é aplicável para terrenos onde o tamanho efetivo dos grãos (d_{10}) é entre aproximadamente 0,1 e 3 mm. A aproximação de Hazen é:

$$K = C(d_{10})^2 \quad (17)$$

Onde :

K é a condutividade hidráulica (cm/s)

d_{10} é o tamanho efetivo dos grãos (cm)

C é o coeficiente baseado na seguinte tabela:

Areia muito fina mal selecionada	40-80
Areia fina bem selecionada	40-80
Areia média bem selecionada	80-120
Areia grossa mal selecionada	80-20
Areia grossa limpa bem selecionada	120-150

Dezoito trabalhos sobre condutividade hidráulica relacionada com tamanho dos grãos foram analisados por Shepherd em 1989 (Fetter 2001), que lhe permitiram propor a seguinte relação:

$$K = Cd_{50}^j \quad (18)$$

Onde:

C é um fator de ajuste, obtido experimentalmente;

d_{50} é tamanho médio dos grãos (mm);

j é um expoente obtido experimentalmente, que leva em consideração a textura dos sedimentos.

Os valores de C e j são obtidos do gráfico mostrado na Fig. 5

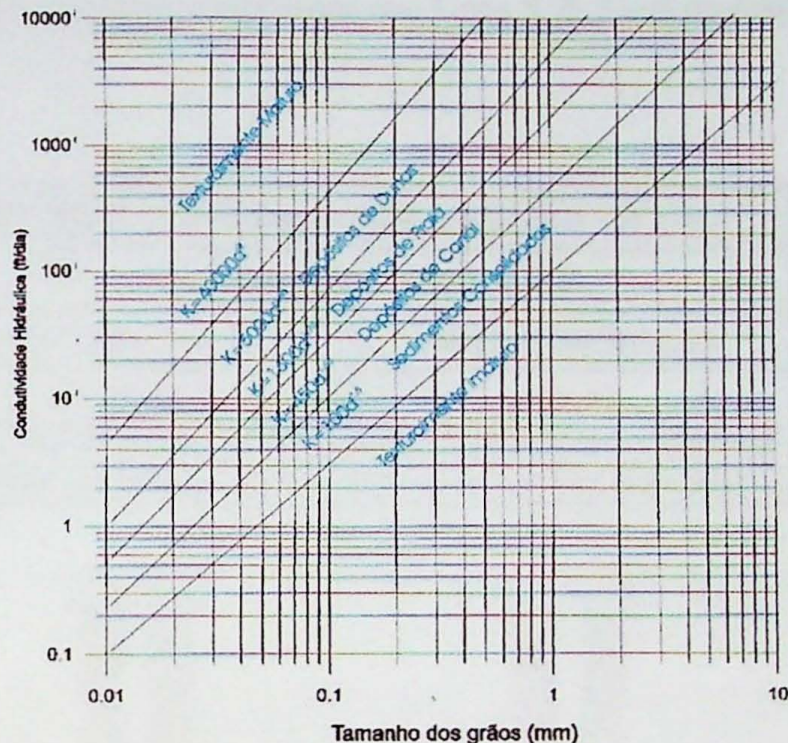


Fig.5 – Gráfico mostrando relação da condutividade hidráulica com o diâmetro dos grãos de sedimentos texturalmente diferentes (Fetter, 1988)

5. DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO

5.1. Instalação de poços

Para efetuar os testes de condutividade hidráulica *in situ*, foram instalados dois poços de monitoramento em junho de 2002, baseados na norma da ABNT-NBR 13895. A perfuração foi feita com trado manual de diâmetro interno útil de 4" (quatro polegadas). No revestimento dos furos foram utilizados tubos geomecânicos de 2" (duas polegadas) e filtros de mesmo material, com ranhuras de 0,50 mm, apropriadas à granulometria local. Os espaços anelares foram preenchidos com areia (pré-filtro) de granulometria entre 1,00 e 2,00 mm, e os poços tiveram em suas partes superiores selos sanitários compostos por cimento. No contato entre o solo reposto e o pré-filtro foi adicionada uma camada de bentonita. As proteções das bocas dos poços foram feitas por *grippers*, com posterior colocação de câmeras de ferro posicionadas dois centímetros acima do nível do pavimento.

Os poços instalados foram identificados como PM-01 e PM-02. A instalação e seus perfis construtivos, podem ser observados nas Fotos 5, 6, 7 e 8 do Anexo 1, e na Fig. 6.

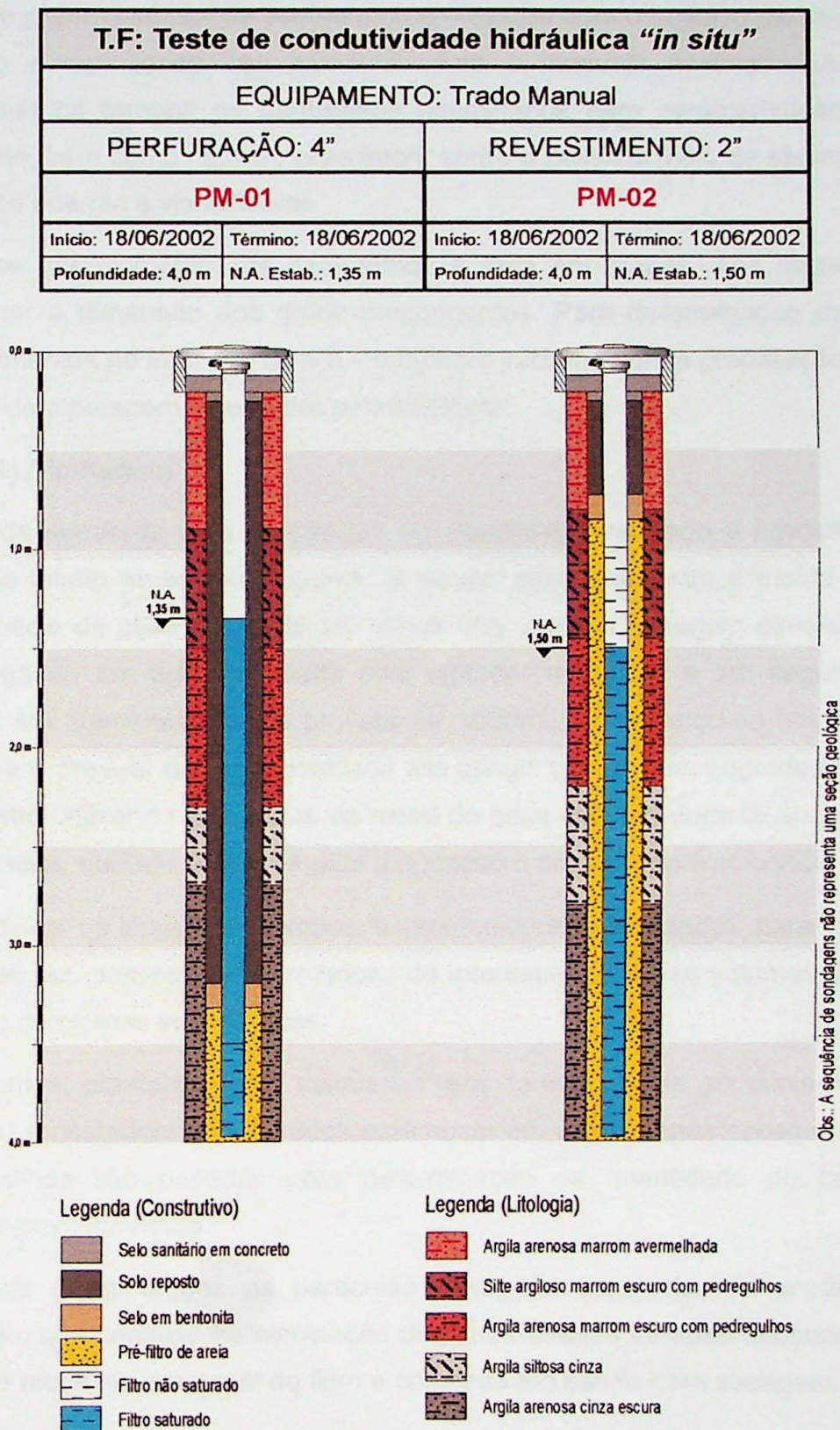


Fig. 6 – Perfil litológico dos poços de monitoramento PM-01 e PM-02

5.2. Análises Granulométricas

No final de julho e começo de agosto de 2002 foram efetuadas as análises granulométricas utilizando as facilidades do Laboratório de Petrologia Sedimentar do Instituto de Geociências da USP.

A análise granulométrica de sedimentos é efetuada com o objetivo de se determinar o tamanho e quantidade das partículas para o intervalo analisado. A distribuição granulométrica fornece os parâmetros necessários para caracterização textural do sedimento, bem como aqueles para inferir sobre o possível meio de sedimentação, em termos de energia e viscosidade.

A análise granulométrica de sedimentos é feita em etapas, nas quais se procura determinar a dimensão dos grãos componentes. Para determinação da granulação dos sedimentos no intervalo de 4,0 – 0,004mm inicia-se com a preparação da amostra, seguida de pipetagem e posterior peneiramento.

A) Pipetagem

Depois de separada uma porção em um recipiente graduado a amostra vai para a estufa no intuito de secá-la. Quando já estiver seca a amostra é moída utilizando-se uma espécie de pilão e pesada até atingir 60g. Após a pesagem deve-se proceder a desagregação em água destilada com agitador mecânico e em seguida colocar a amostra em suspensão numa proveta de 1000ml, adicionando-se um antifloculante. Enche-se a proveta de água destilada até atingir 1000ml, em seguida agita-se o que está dentro utilizando uma haste de metal de base circular, durante aproximadamente 30 segundos, quando é interrompida a agitação o cronômetro é acionado.

Utilizando-se os dados de tempos e profundidades, calculados para deposição de partículas por classes granulométricas de interesse, coleta-se volumes de 20ml cada por meio de pipetas volumétricas.

Os volumes pipetados são colocados em forminhas de alumínio (previamente pesadas) e posteriormente levadas para secar em estufa. Após secagem do material, as forminhas são pesadas para determinação da quantidade de partículas por intervalo granulométrico.

Terminada a pipetagem, as partículas finas são separadas da areia através da elutriação, que consiste na eliminação dos finos através de fluxo ascendente aquoso. A areia é recolhida em papel de filtro e colocada em estufa para secagem.

A pipetagem e outros métodos que utilizam a velocidade de decantação dimensionam partículas finas segundo o diâmetro equivalente de sedimentação. Este é conceituado

como o diâmetro de uma esfera que tem a mesma velocidade de sedimentação que a partícula em questão.

B) Peneiramento

O método de peneiramento é mais efetivo se os grãos estiverem secos e limpos, por isso opta-se pela sua realização após a pipetagem e elutriação, porque desta forma os finos já foram eliminados. Além disso, o peneiramento a úmido deteriora mais rapidamente as peneiras e é pouco prático quando da coleta de finos.

O peneiramento é feito colocando-se a areia seca em um conjunto de peneiras sobrepostas de tal maneira que apresentem em ordem decrescente de abertura. Utilizam-se as peneiras que variam de 4,00 a 0,062mm. A escolha destas peneiras proporciona um intervalo de $1/2\phi$ que melhora o grau de precisão do método. A variável $\phi = -\log 2 d_0$, onde d é o diâmetro do grão.

C) Tratamento dos Dados

Os valores de pesos por intervalo granulométrico obtidos na pipetagem e peneiramento são agora tratados de maneira a fornecer alguns parâmetros que representam quantitativamente características da amostra analisada.

Antes de proceder ao cálculo dos parâmetros estatísticos, determina-se o fator de correção, dividindo-se o peso total inicial pelo peso total final. Se este fator estiver entre 0,95 e 1,05, ou seja, com 5% de erro, a análise é considerada satisfatória, podendo-se prosseguir nos demais cálculos, caso contrário a análise deve ser repetida. A pipetagem é a principal fonte de erro, pois além da análise ser indireta (amostragem de 1/50 do volume total) ela depende de diversos outros fatores como: floculação, temperatura de suspensão forma e densidade das partículas, pipetagem de volumes diferentes de 20ml, etc. Por outro lado, o peneiramento é uma análise direta contribuindo com a menor parcela de erro. Eventualmente podem ocorrer perdas acidentais de massa de areia durante a elutriação, contribuindo para um aumento indesejável do fator de correção.

Algumas dessas análises tiveram de ser refeitas, provavelmente por erros cometidos durante a pipetagem, que foram corrigidos numa segunda análise, contudo, este contra-tempo não foi prejudicial para o cronograma de execução do trabalho. As tabelas e gráficos com os resultados das oito análises são apresentados no Anexo 2.

5.3. Testes “*in situ*”

No final de setembro e começo de outubro de 2002, foram realizados os testes de condutividade hidráulica “*in situ*” nos dois poços instalados (Fotos 3 e 4). Inicialmente os testes foram efetuados com um tarugo de *nylon* de 1,0 m de comprimento e diâmetro de 2,54 cm, os dados, neste caso, foram registrados com o equipamento de medidas automáticas descrito anteriormente. A análise dos dados foi processada no campo utilizando o software Winslug®. Os resultados são apresentados nas figuras 11 e 12.

Nessa época, foram efetuados também os testes *slug* e *bail* nesses poços e os dados obtidos foram anotados de maneira manual, com ajuda de um medidor de nível d’água, uma tabela com tempos pré-determinados, um cronômetro, além de um tarugo de PVC com 1,5 m de comprimento e 2,54 cm de diâmetro. Os resultados são apresentados no Anexo 3.

6. RESULTADOS OBTIDOS

6. 1. Métodos com dados coletados “*in situ*” para determinar K

Foram realizados slug e bail testes nos poços PM-01 e PM-02. As características construtivas desses poços estão expressas na Tabela 1.

Tabela 1- Profundidade do NA, e dados construtivos dos poços de monitoramento.

Poço	N.A (cm)	Prof. do Poço (cm)	Raio do Filtro (cm)	Raio do Poço (cm)	Comprimento do Filtro (cm)
PM-01	65,0	400,0	2,54	5,08	50,0
PM-02	98,5	400,0	2,54	5,08	300,0

A) Método Hvorslev

Para calcular a condutividade hidráulica pelo método de Hvorslev é necessário resolver a equação (13). Para isto é necessário conhecer o T_0 (s), que é conseguido utilizando as equações apresentadas nos gráficos das Figs. 7, 8, 9 e 10. Além disso, é necessário conhecer o deslocamento inicial da água no interior do poço (H_0) no instante 0 (zero), na inserção e retirada do tarugo. Esse deslocamento inicial é calculado utilizando os dados construtivos do poço, volume do tarugo e volume d'água, como pode ser observado nos quadros abaixo:

PM-01		
R =	0,0508	metros
r =	0,0254	metros
h ini =	3,35	metros
V tubo =	0,00678968	metros cúbicos
V pre =	0,001824151	
r tarugo =	0,0125	metros
h tarugo =	1,5	metros
V tarugo =	0,000736289	metros cúbicos
V total =	0,00935012	metros cúbicos
h desl. =	2,428021613	metros
Hf - Hini =	-0,92197839	

PM-02		
R =	0,0508	metros
r =	0,0254	metros
h ini =	3,015	metros
V tubo =	0,006110712	metros cúbicos
V pre =	0,005499816	
r tarugo =	0,0125	metros
h tarugo =	1,5	metros
V tarugo =	0,000736289	metros cúbicos
V total =	0,012346817	metros cúbicos
h desl. =	3,206198157	metros
Hf - Hini =	0,191198157	

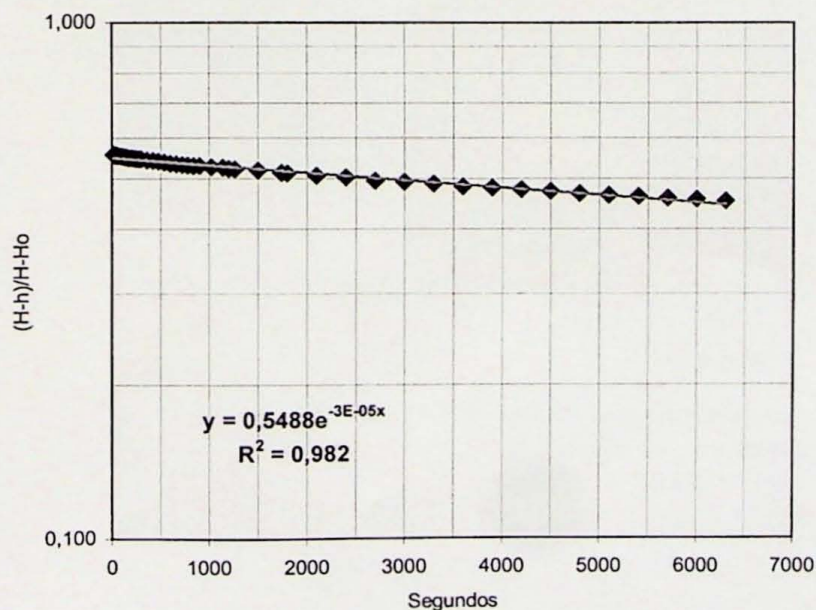


Figura 7. Gráfico para determinar t_0 utilizando a equação da linha de tendência das medidas obtidas na inserção do tarugo do poço PM-01

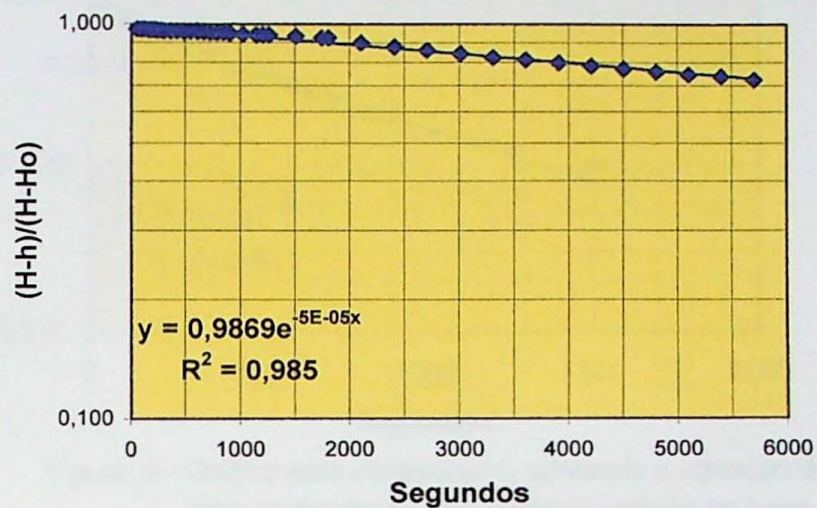


Figura 8. Gráfico para determinar t_0 utilizando a equação da linha de tendência das medidas obtidas na retirada do tarugo do poço PM-01

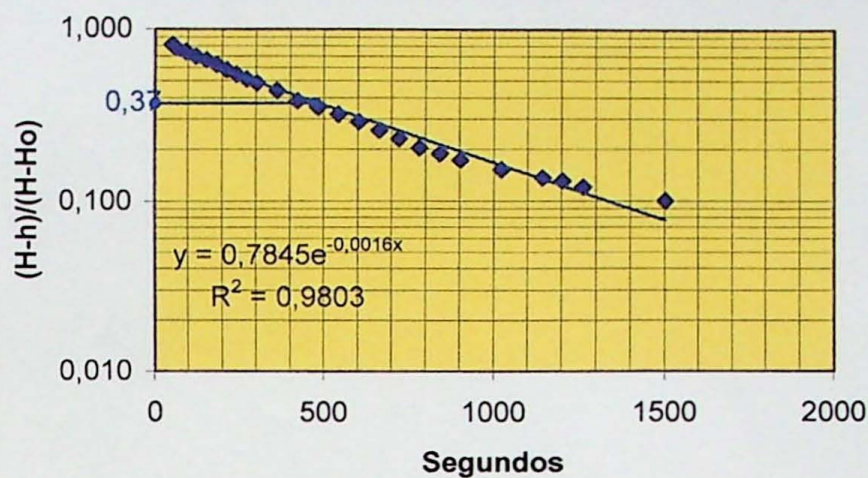


Figura 9. Gráfico para determinar t_0 utilizando a equação da linha de tendência das medidas obtidas na inserção do tarugo do poço PM-02

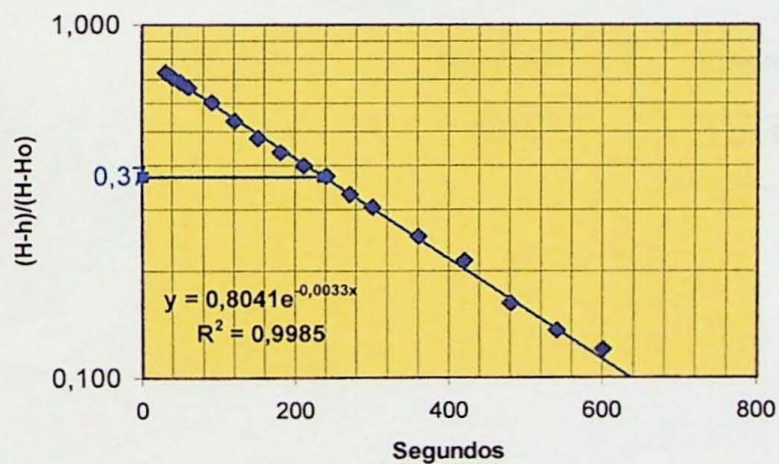


Figura 10. Gráfico para determinar t_0 utilizando a equação da linha de tendência das medidas obtidas na retirada do tarugo do poço PM-02

18063

Conhecendo T_o para cada teste poderemos calcular a condutividade hidráulica utilizando a equação (14) definida por Hvorslev (1951).

Por exemplo, para o PM-01 (inserção) temos:

$r = 2,54 \text{ cm}$; $R = 5,08 \text{ cm}$; $L = 50,0 \text{ cm}$; $T_o = 13.140,0 \text{ s}$ (ver equação na Fig. 7)

Então,

$$K = \frac{r^2 \ln(L/R)}{2LT_o} =$$

$$K = \frac{6,4516 \ln(9,8425)}{1.314.000,0} =$$

$$K = 1,1 \times 10^{-5} \text{ cm/s}$$

Os resultados da condutividade hidráulica calculadas com este método para os outros testes estão expressos na Tabela 2.

Tabela 2- Condutividade hidráulica em (cm/s) obtidas utilizando o método Hvoslev.

Método	PM-01		PM-02	
	Inserção	Retirada	Inserção	Retirada
Hvorslev	$1,1 \times 10^{-5}$	$7,5 \times 10^{-6}$	$1,0 \times 10^{-4}$	$2,0 \times 10^{-4}$

Através da maneira automática utilizando software Winslug®, foram efetuados dois testes nos poços, o *slug* (inserção) no PM-01 e o *bail* (retirada) no PM-02. Os gráficos para a determinação do T_o e os resultados dos testes podem ser observados nas Figuras 11 e 12 e na Tabela 3.

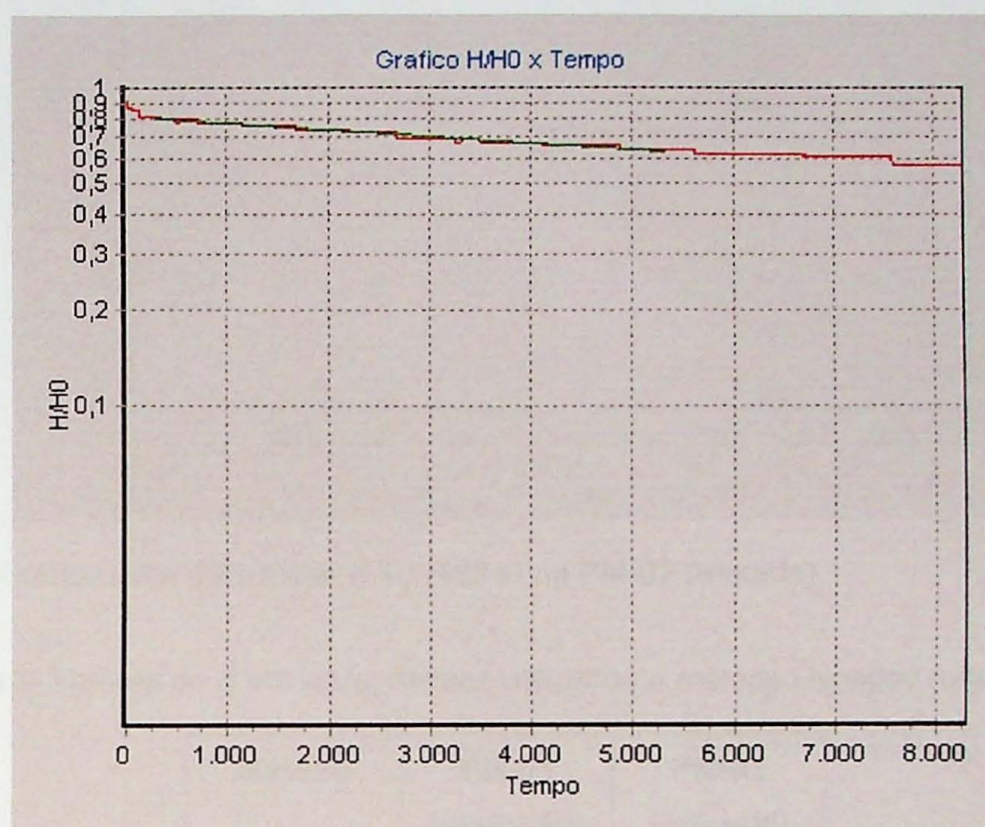


Fig. 11- Gráfico para determinar o T_o (20.454 s) no PM-01 (inserção).

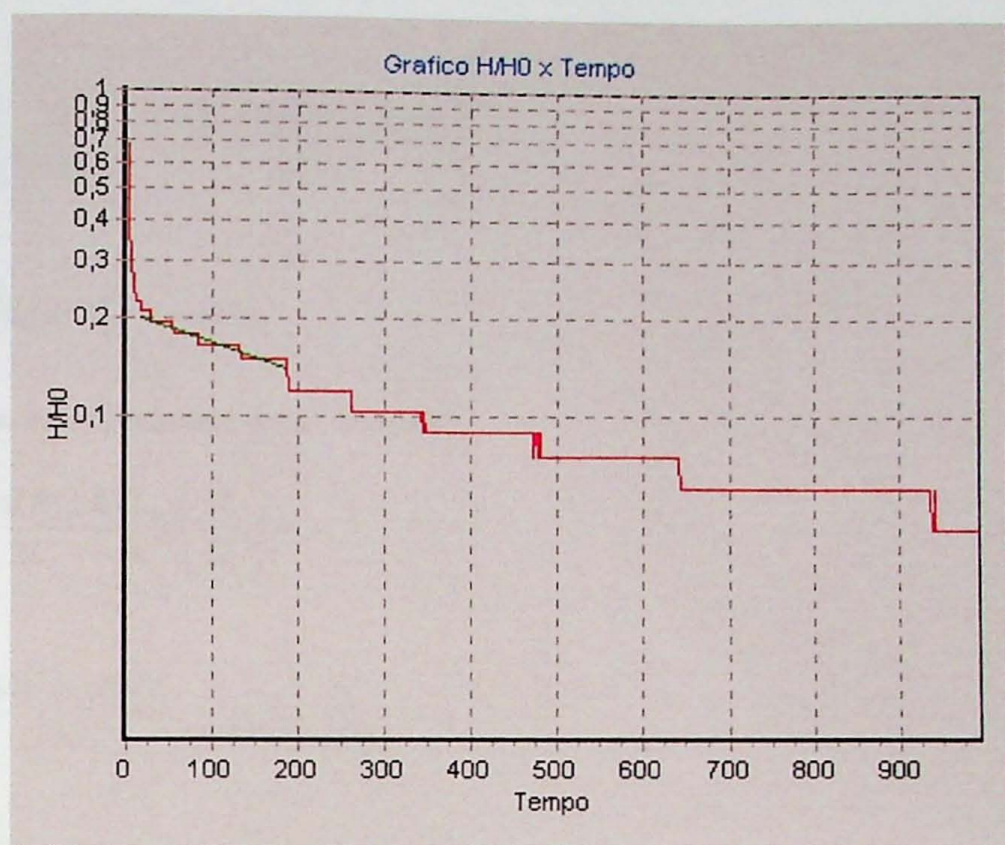


Fig. 12- Gráfico para determinar o T_o (462 s) no PM-02 (retirada).

Tabela 3- Valores de K em cm/s, obtidos utilizando o método Hvorslev (automático)

Método	PM-01 (inserção)	PM-02 (retirada)
Hvorslev	$7,2 \times 10^{-6}$	$9,7 \times 10^{-5}$

B) Método Bouwer & Rice

Para determinar o K (condutividade hidráulica) através da equação (15), teve-se que calcular o $\ln(R_e/R)$ utilizando a equação (16), e determinar A e B que são encontrados em função de L_w/R , observados na Fig-4. Para calcular o PM-01 (inserção) foram dados:

$L_w = 335$ cm; $R = 5,08$ cm; $r = 2,54$ cm; $h = 1000$ cm; $A = 2$; $B = 0,25$; L_e/R

$$\ln \frac{R_e}{R} = \left[\frac{1,1}{\ln(65,944)} + \frac{A + B \ln[(h - L_w)/R]}{L_e/R} \right]^{-1} =$$

$$\ln \frac{R_e}{R} = \left[\frac{1,1}{4,1888} + \frac{2 + 0,25 \ln[665 / 5,08]}{9,84} \right]^{-1} =$$

$$\ln \frac{R_e}{R} = [0,5897]^{-1} = 1,6958$$

Com este valor podemos encontrar o K,

$$K = \frac{r_c^2 \ln(R_e / R)}{2L_e} \frac{1}{t} \ln \left(\frac{H_o}{H_i} \right) =$$

$$K = \frac{(2,54)^2 (1,6958)}{100} \frac{1}{4.200} \ln \left(\frac{55}{37,6} \right) =$$

$$K = 0,1094 \times 0,0002 \times 0,3833 = 8,3 \times 10^{-6} \text{ cm/s}$$

Os gráficos da condutividade hidráulica versus tempo podem ser vistos nas Fig. 13, 14, 15 e 16. os resultados dos outros testes aplicando este método podem ser observados na Tabela 4.

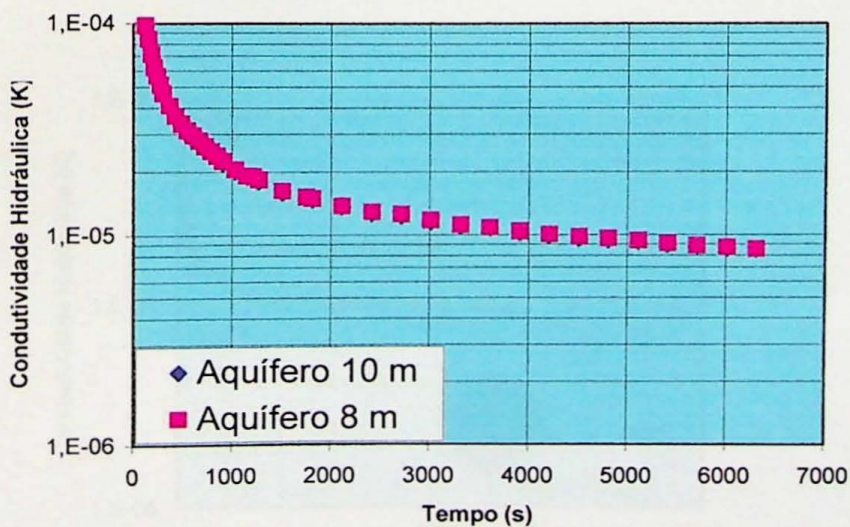


Figura 13. Valores de K calculados pelo método de Bouwer & Rice para diferentes valores de t, com dados do poço PM-01 (inserção), com duas prováveis profundidades do aquífero

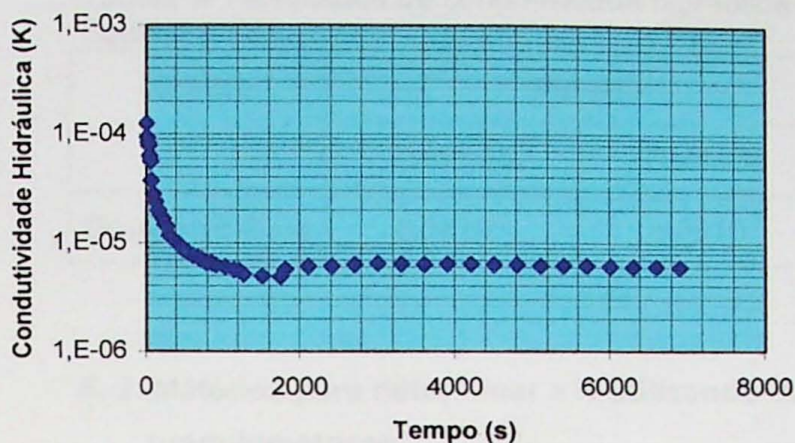


Figura 14. Valores de K calculados pelo método de Bouwer & Rice para diferentes valores de t, com dados do poço PM-01 (retirada)

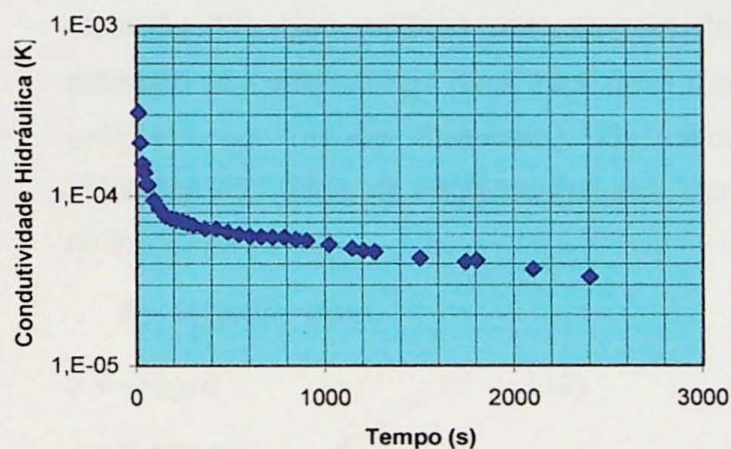


Figura 15. Valores de K calculados pelo método de Bouwer & Rice para diferentes valores de t, com dados do poço PM-02 (inserção).

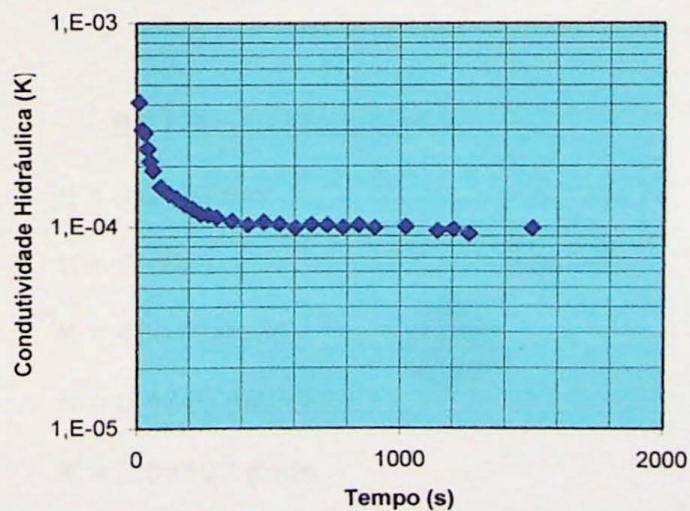


Figura 16. Valores de K calculados pelo método de Bouwer & Rice para diferentes valores de t, com dados do poço PM-02 (retirada).

◆ Sequência1

Tabela 4- Resultados da condutividade hidráulica (cm/s) obtidos utilizando o método Bouwer & Rice.

Método	PM-01		PM-02	
	Inserção	Retirada	Inserção	Retirada
Bouwer & Rice	$8,3 \times 10^{-6}$	$6,0 \times 10^{-6}$	$6,4 \times 10^{-5}$	$1,0 \times 10^{-4}$

6. 2. Métodos para determinar a K utilizando dados das análises granulométricas.

Neste estudo foram utilizados os métodos Hazen (1911) e Shepherd (1989), que foram calculados a partir da conversão do diâmetro dos grãos de ϕ (Phi) para mm (ver equação 19). Nos gráficos porcentagem de grãos versus ϕ , observa-se qual é o diâmetro dos sedimentos para 10% de ϕ (utilizado no método Hazen), e 50 % de ϕ (utilizado no método Shepherd). Os cálculos para determinar a condutividade hidráulica são feitos da seguinte maneira, por exemplo para a mostra PM-02 (1,00 m) temos:

A) Método Hazen

$$\phi = -\log_2 d \quad (19)$$

$$d = 0,00048 \text{ cm}$$

$$K = C (d_{10})^2 \quad (17)$$

$$K = 60 (0,00048)^2$$

$$K = 1,4 \times 10^{-5} \text{ cm/s}$$

B) Método Shepherd

$$d = 0,0156 \text{ cm}$$

$$K = C d_{50}^j \quad (18)$$

$$K = 450 (0,0156)^{1,65}$$

$$K = 0,4710 \text{ pés/dia}$$

$$K = 2,0 \times 10^{-4} \text{ cm/s}$$

Os resultados do cálculo da condutividade hidráulica utilizando os dois métodos estão expressos na Tabela 5. Os gráficos e tabelas das análises granulométricas poderão ser vistas no Anexo 2.

Tabela 5- Resultados da condutividade hidráulica (cm/s) a partir das análises granulométricas.

Métodos	Poço	1,0 m	2,0 m	3,0 m	4,0 m
Hazen	PM-01	$1,4 \times 10^{-5}$	$1,4 \times 10^{-5}$	$2,9 \times 10^{-5}$	$2,4 \times 10^{-5}$
	PM-02	$1,4 \times 10^{-5}$	$1,4 \times 10^{-5}$	$1,7 \times 10^{-5}$	$3,6 \times 10^{-5}$
Shepherd	PM-01	$2,8 \times 10^{-3}$	$2,4 \times 10^{-3}$	$2,0 \times 10^{-2}$	$8,5 \times 10^{-3}$
	PM-02	$2,0 \times 10^{-4}$	$1,6 \times 10^{-3}$	$1,7 \times 10^{-2}$	$8,1 \times 10^{-3}$

7. INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS

Analisando os resultados obtidos com os testes de *slug* e *bail* para cada poço pode-se notar uma coerência nos valores da condutividade hidráulica “*in situ*”, que são apresentados na Tabela 6.

Tabela 6- Valores de condutividade hidráulica (cm/s) obtidos a partir dos métodos utilizados no trabalho.

Método	PM-01		PM-02	
	Inserção	Retirada	Inserção	Retirada
Hvorslev	$1,1 \times 10^{-5}$	$7,5 \times 10^{-6}$	$1,0 \times 10^{-4}$	$2,0 \times 10^{-4}$
Hvorslev (automático)	$7,21 \times 10^{-6}$	-	-	$9,7 \times 10^{-5}$
Bouwer & Rice	$8,3 \times 10^{-6}$	$6,0 \times 10^{-6}$	$6,4 \times 10^{-5}$	$1,0 \times 10^{-4}$

Na Tabela acima podemos observar que, independente do método utilizado, os valores para cada tipo de teste, em cada poço, são praticamente iguais. Para o poço PM-01 (inserção) temos valores próximos de 1×10^{-5} , e na retirada em torno de 7×10^{-6} . Para o poço PM-2 na retirada temos valores próximos de $1,0 \times 10^{-4}$, e na inserção valores próximos a 8×10^{-5} . Esses resultados indicam que os valores obtidos para PM-

02 tem uma condutividade hidráulica de aproximadamente dez vezes maior em relação aos valores de K do poço PM-01. Essa diferença deve estar sendo causada pelo tamanho e posição do filtro, visto que os valores de K obtidos em laboratório são semelhantes nas amostras do mesmo nível para cada poço.

Observando a Tabela 5, que apresenta os resultados de K através da análise granulométrica nota-se uma diferença muito grande (pelo menos 100 vezes) nos valores de K entre os dois métodos. Isto provavelmente seja devido ao fato de que no método Hazen foi utilizado o diâmetro efetivo dos grãos, ou seja, a porção dos grãos mais finos que resultam num menor de K.

8 CONCLUSÕES

Primeira Conclusão

Levando-se em conta que a litologia nos dois poços é a mesma, por estarem muito próximos, o que foi comprovado pela análise granulométrica, deveria esperar-se valores de K semelhantes nos dois poços. Entretanto, os resultados deste trabalho mostram que existe uma diferença da ordem de 10 vezes, maior para o PM-02 que tem filtro total (3,0 m), que sugere uma relação direta com o tamanho do filtro, que pode facilitar contato com níveis de maior K e drenança maior em decorrência do pré-filtro.

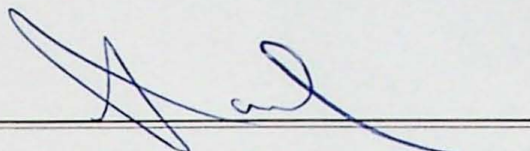
Segunda Conclusão

Os resultados conseguidos nos métodos *in situ* indicam que independente do método utilizado, os valores para cada tipo de teste são parecidos em cada poço. Os valores de K discutidos acima para o poço PM-01 são compatíveis com os obtidos no método Hazen com dados da análise granulométrica, o que sugere que a estrutura do filtro do poço PM-01 pode estar outorgando valores de K mais confiáveis.

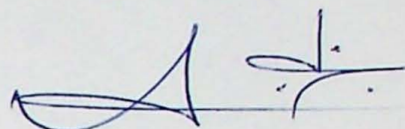
9 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT** – Associação Brasileira de Normas Técnicas (1997). Construção de poços de monitoramento e Amostragem – NBR 13895, Rio de Janeiro, 21p.
- Bouwer, H.**, 1989. The Bouwer and Rice Slug Test – An Update, Ground Water, vol 27, No.3, pp. 304-309.
- Cleary, R.W.**, 1989. Águas Subterrâneas. Capítulo 5 em Engenharia Hidrológica, Editores Ramos, F., Occhipinti, A.G., Villa Nova, N.A.-Reichardt, K., Magalhães, P.C. & Cleary, R.W. ABRH, Editora da UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil. p292 – 404..
- Coimbra, Armando M., Kazuo, J., Góes, Ana Maria**, 1991 Análise Granulométrica de Sedimento. Aparentamentos de Sedimentologia. Instituto de Geociências. Universidade de São Paulo. 52pp.
- Feitosa, F. A. C. & Filho, J. M.**, 2000. Hidrogeologia Conceitos e Aplicações. CPRM – Serviço Geológico do Brasil. Universidade Federal de Pernambuco, Fortaleza-CE, Brasil. 391pp.
- Fetter, C. W.**, 2001. Applied Hydrogeology. Prentice-Hall, Inc., USA. 598 pp + CD-ROM.
- Freeze, R. Allan & Cherry, John A.**, 1979. Groundwater. Prentice-Hall, Inc., USA. 604pp.
- Hirata, Ricardo**, 2001. Recursos Hídricos, Capítulo 20 em Decifrando a Terra, Editores Teixeira, W., Toledo, M.C.M., de, Fairchild, T.R. & Taioli, F. Oficina de Textos, São Paulo, SP, Brasil. p421 – 442.
- Hvorslev, M. J.**, 1951. Time Lag and Soil Permeability in Ground Water Observations. U.S. Army Corps of Engineers Waterway Experimentation Station, Bulletin36, em Fetter (2001) e Oliveira (1992).
- Levy, Benjamin S.** (sem/data). ADEPT - A Program for Aquifer Data Evaluation <http://www.us.net/adept/tocx.html>
- Oliva, A.**, 2002. Estudo Hidrogeológico da Formação Rio Claro no Município de Rio Claro-SP. Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro. 71pp.
- Oliveira, A.M.S., Brito, S.N.A.**, 1998. Geologia de Engenharia ABGE, São Paulo, SP, Brasil. 596pp..
- Oliveira, Everton, de**, 1992. Contaminação de Aquíferos por Hidrocarbonetos Provenientes de Vazamentos de Tanques de Armazenamento Subterrâneo. Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo. 112pp.
- Ramos, F., Occhipinti, A.G., Villa Nova, N.A.-Reichardt, K., Magalhães, P.C. & Cleary, R.W.**, 1989. Engenharia Hidrológica. ABRH, Editora da UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.404pp
- Salles, F.A.F.**, 1999. Avaliação de Área Contaminada Por Compostos Orgânicos Às Margens Da Represa De Guarapiranga, No Município De São Paulo – SP. Dissertação de Mestrado. Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo. 107pp.
- Teixeira, W., Toledo, M.C.M., de, Fairchild, T.R. & Taioli, F.**, 2001. Decifrando a Terra. Oficina de Textos, São Paulo, SP, Brasil. 558pp.

De acuerdo:

A handwritten signature in blue ink, consisting of a large, stylized 'A' followed by a cursive 'sevedo' and a long horizontal stroke.

Aluno: Robercal Asevedo Berrocal

A handwritten signature in blue ink, featuring a stylized 'U' and 'D' with a horizontal line extending to the right.

Orientador: Prf. Dr. Uriel Duarte

ANEXO 1

FOTOGRAFIAS DO TRABALHO DE CAMPO

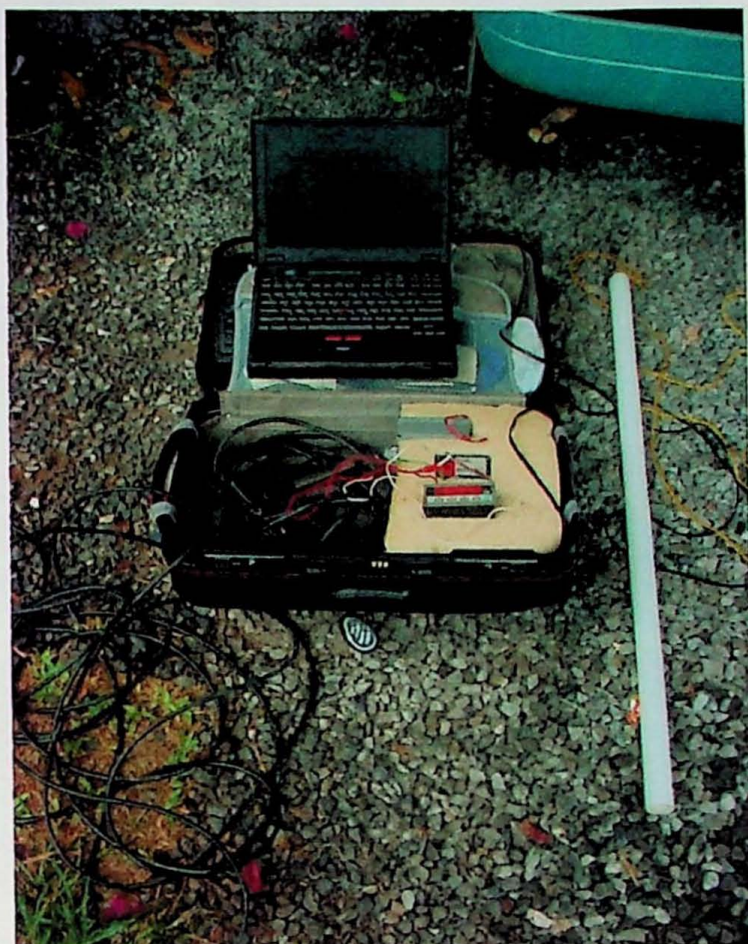


Foto 1 – Equipamento automático



Foto 2 – Equipamento manual



Foto 3 – Inserção do tarugo



Foto 4 – Ajuste dos dados



Foto 5 – Início da perfuração com trado manual



Foto 6. Montagem do revestimento juntamente com o filtro.

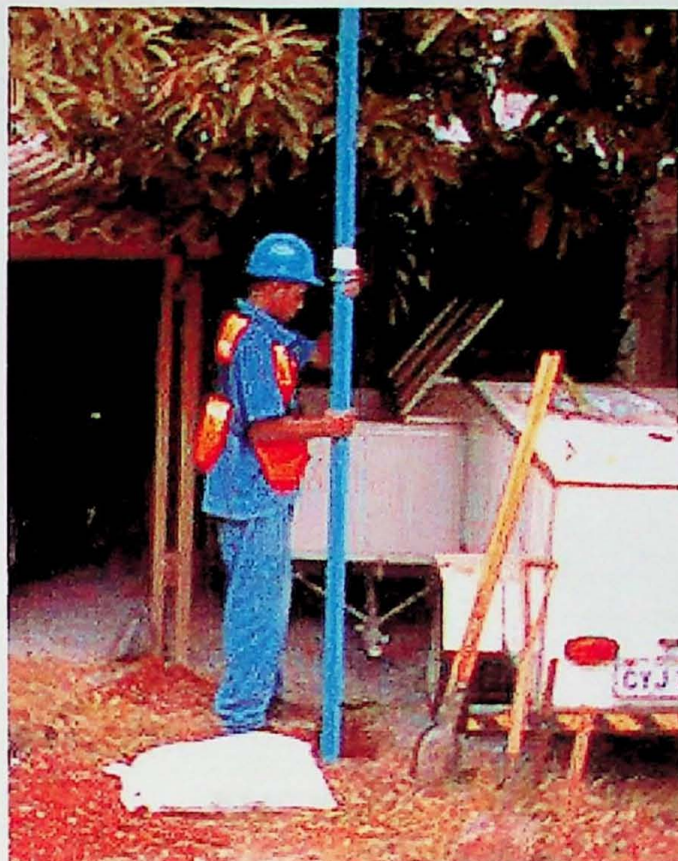


Foto 7. Colocação do tubo geomecânico (filtro e revestimento) no furo.

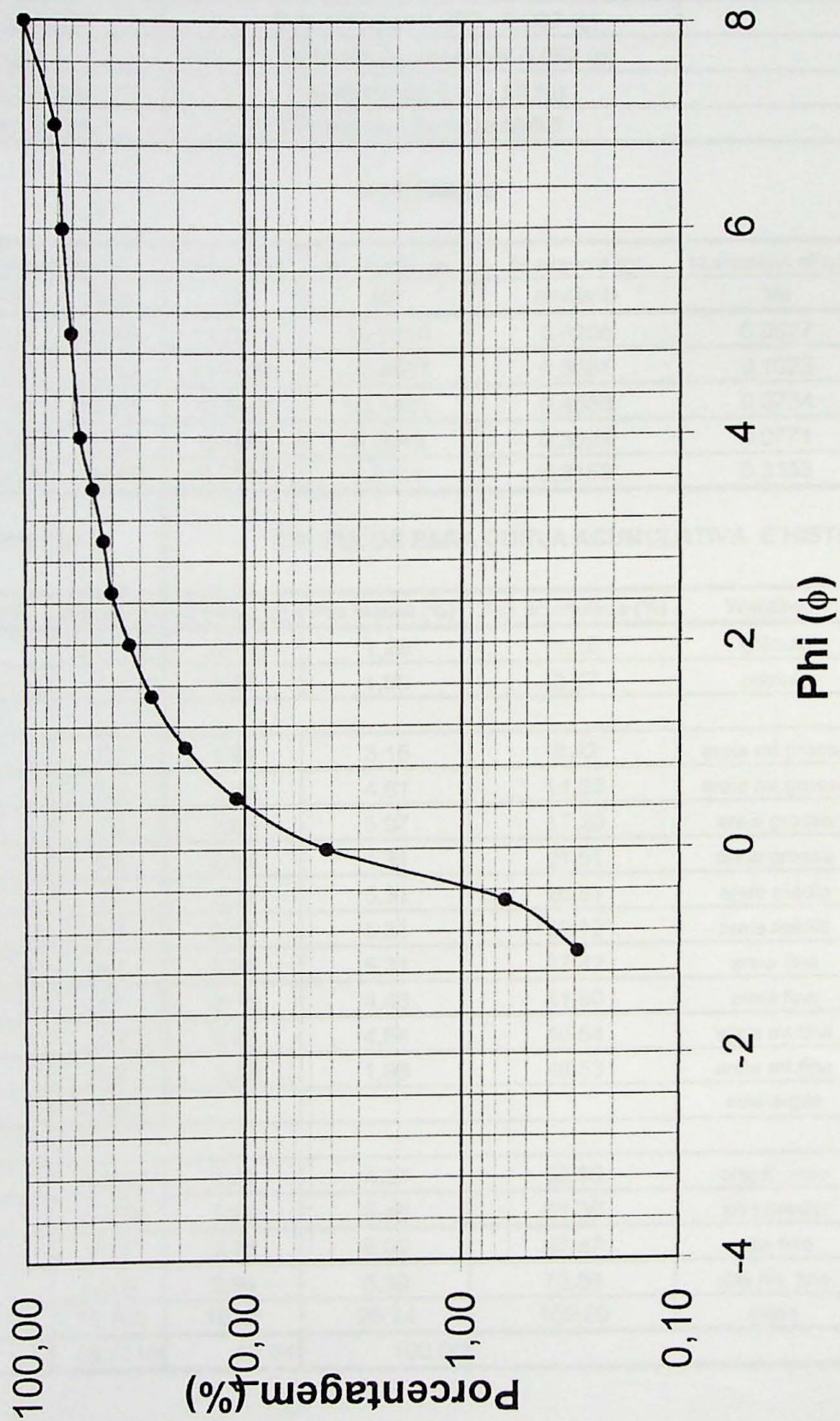


Foto 8 – Colocação do pré-filtro (areia).

RESULTADOS DAS ANÁLISES GRANULOMÉTRICAS

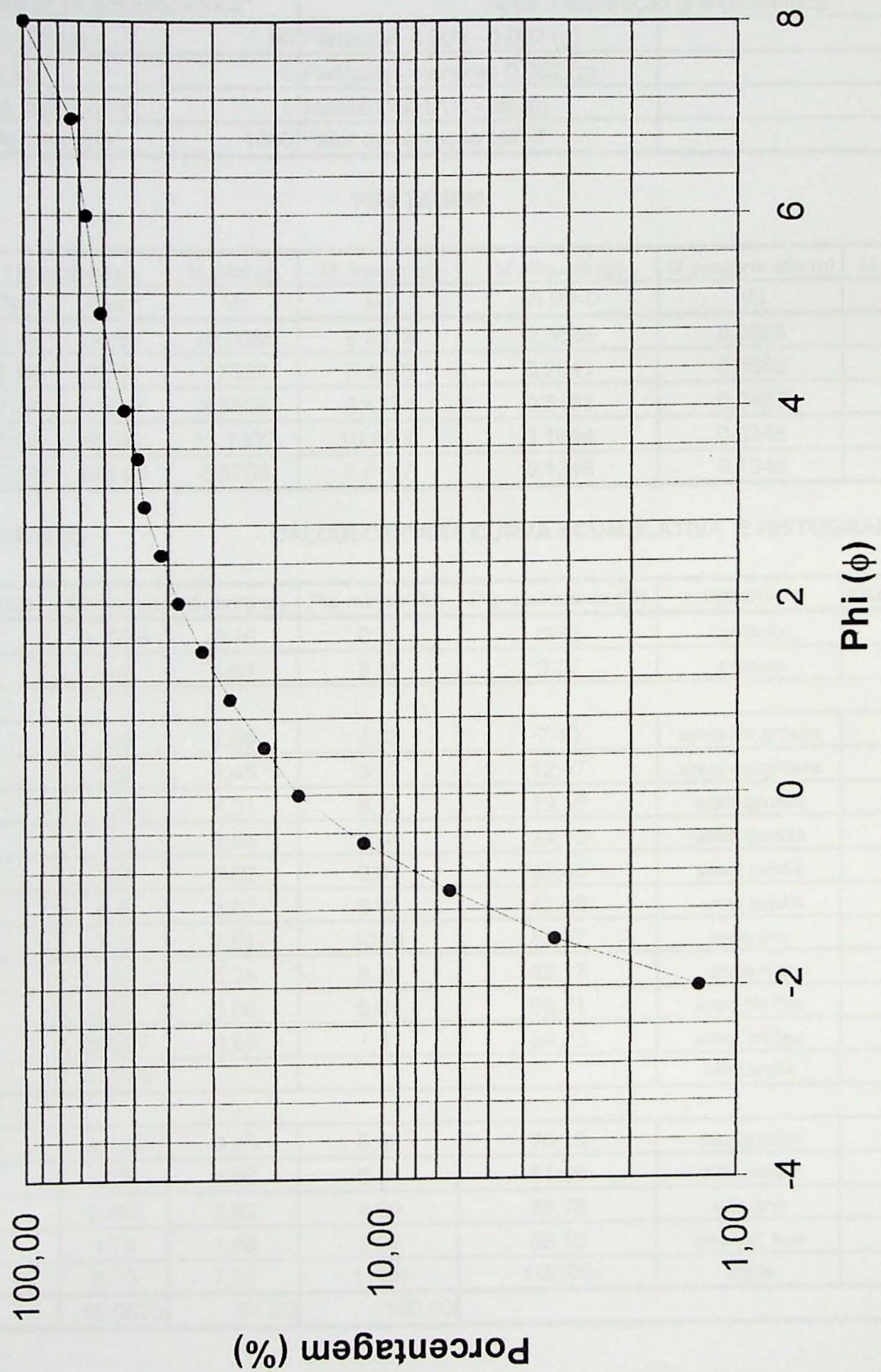
IGcUSP - GSA			Análise granulométrica por pipetagem e peneiramento				
Responsável: Robercal							
Projeto : Trabalho de formatura							
Eliminação ataque químico (g)							
Amostra: PM - 01 (1,0 m)			Massa dispersante (g)			1,00	
Antes da separação granulométrica			*Após a separação granulométrica*				
Massa total inicial - Mi (g)		60	Partículas 4,000 - 0,062 (g)		26,1548		
Massa dos seixos (g)		0	Partículas menores 0,062 (g)		30,4850		
Eliminação ataque químico (g)		0	Massa total final - Mf (g)		56,6398		
Volume da proveta - Vp (ml)		1000	Fator de correção Mi/Mf		1,0593		
PIPETAGEM							
Granulometria	Tempo(min:s)		M.total (g)	M. frasco (g)	M.aliquota (g)	M.suspens aliq (g)	M susp.total(g)
(mm)	10cm	20cm	Mt	Mfr	Mt-Mfr-D	Ms	Ms*Vp/20
0,062 - 0,031	00:29	00:58	10,7043	10,0746	0,6097	0,0838	4,1900
0,031 - 0,016	01:56	03:52	10,6369	10,091	0,5259	0,0628	3,1400
0,016 - 0,008	07:44	15:28	8,4984	8,0153	0,4631	0,0682	3,4100
0,008 - 0,004	31:00	62:00	8,676	8,2611	0,3949	0,0613	3,0650
<0,004	123:00	246:00	8,4734	8,1198	0,3336	0,3336	16,6800
PENEIRAMENTO			CÁLCULOS PARA CURVA ACUMULATIVA E HISTOGRAMA				
Granulometria (mm)	Massa (g)	M.corrig (g)	Prp.massa (%)	Prp.acumulada (%)	Wenthwort	Krumbein (phi)	
4,000 - 2,830	0	0,00	0,00	0,00	grânulo		
2,830 - 2,000	0	0,00	0,00	0,00	grânulo		
2,000 - 1,410	0,1743	0,18	0,29	0,29	areia mt.grossa		
1,410 - 1,000	0,2023	0,21	0,34	0,63	areia mt.grossa		
1,000 - 0,707	1,414	2,28	3,59	4,22	areia grossa		
0,707 - 0,500	2,1494	4,30	6,77	10,98	areia grossa		
0,500 - 0,354	4,0546	4,97	7,83	18,82	areia média		
0,354 - 0,250	4,6943	4,97	7,83	26,65	areia média		
0,250 - 0,177	4,2152	4,47	7,03	33,69	areia fina		
0,177 - 0,125	4,1168	4,36	6,87	40,56	areia fina		
0,125 - 0,088	2,0911	2,22	3,49	44,05	areia mt.fina		
0,088 - 0,062	3,0428	3,22	5,08	49,12	areia mt.fina		
<0,062* (fundo)	0,582				silte/argila		
0,062 - 0,031	4,19	4,44	6,99	56,12	silte grosso		
0,031 - 0,016	3,14	3,33	5,24	61,36	silte médio		
0,016 - 0,008	3,41	3,61	5,69	67,05	silte fino		
0,008 - 0,004	3,065	3,25	5,12	72,16	silte mt. fino		
<0,004	16,68	17,67	27,84	100,00	argila		
Total	56,6398	63,47	100,00				

Porcentagem Acumulada da Amostra PM- 01 (1,0 m)



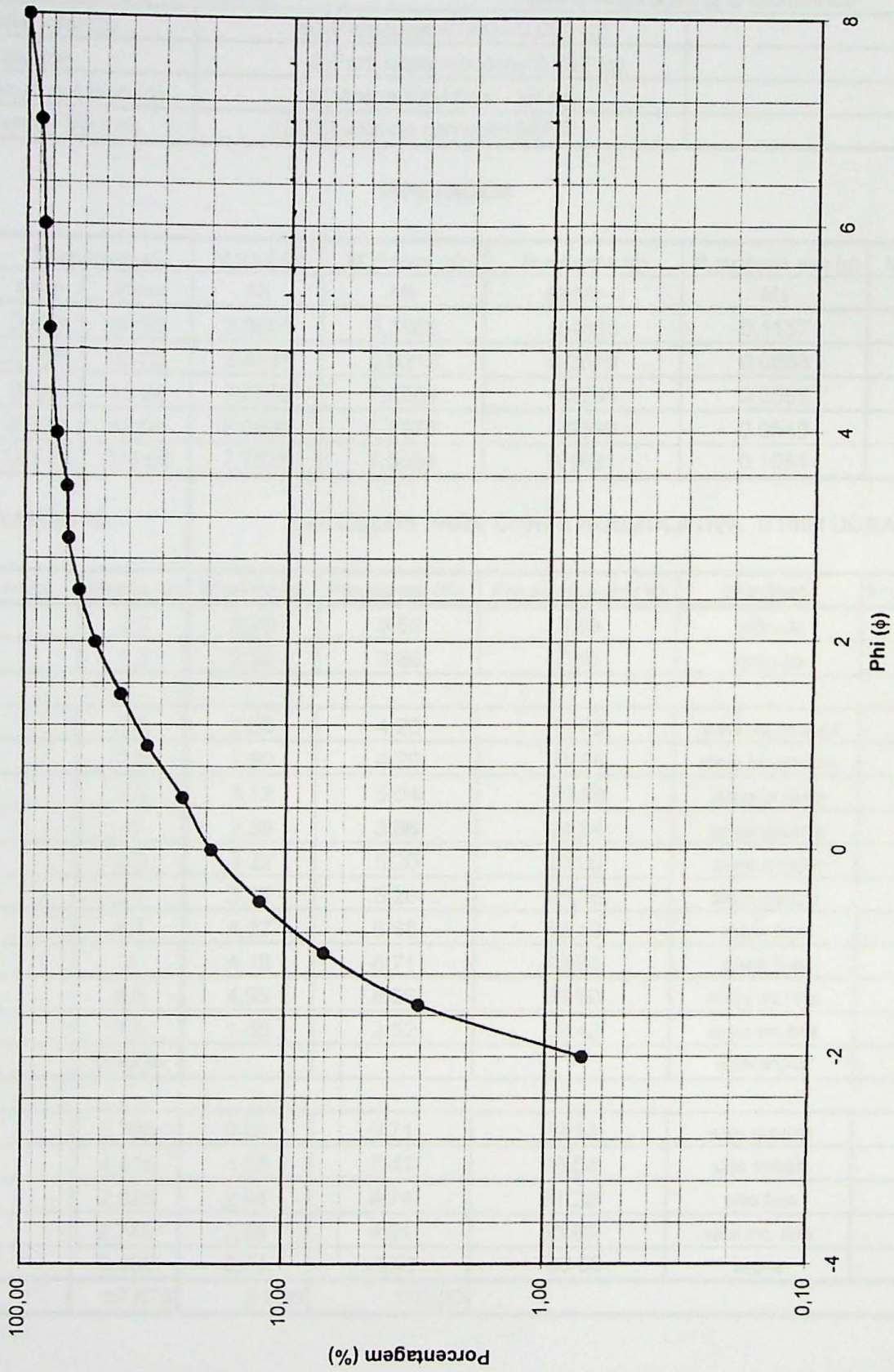
IGcUSP - GSA		Análise granulométrica por pipetagem e peneiramento					
Responsável: Robercal							
Projeto : trabalho de formatura							
Eliminação ataque químico (g)							
Amostra: PM - 01 (2,00m)			Massa dispersante (g)			1,00	
Antes da separação granulométrica			*Após a separação granulométrica*				
Massa total inicial - Mi (g)		60	Partículas 4,000 - 0,062 (g)		27,6715		
Massa dos seixos (g)		0	Partículas menores 0,062 (g)		31,0400		
Eliminação ataque químico (g)		0	Massa total final - Mf (g)		58,7115		
Volume da proveta - Vp (ml)		1000	Fator de correção Mi/Mf		1,0219		
PIPETAGEM							
Granulometria	Tempo(min:s)		M.total (g)	M. frasco (g)	M.alíquota (g)	M.suspens aliq (g)	M susp.total(g)
(mm)	10cm	20cm	Mt	Mfr	Mt-Mfr-D	Ms	Ms*Vp/20
0,062 - 0,031	00:29	00:58	11,0026	10,3618	0,6208	0,0527	2,6350
0,031 - 0,016	01:56	03:52	11,0688	10,4807	0,5681	0,1023	5,1150
0,016 - 0,008	07:44	15:28	10,6349	10,1491	0,4658	0,0734	3,6700
0,008 - 0,004	31:00	62:00	8,4167	8,0043	0,3924	0,0771	3,8550
<0,004	123:00	246:00	8,2494	7,9141	0,3153	0,3153	15,7650
PENEIRAMENTO			CÁLCULOS PARA CURVA ACUMULATIVA E HISTOGRAMA				
Granulometria (mm)	Massa (g)	M.corrig (g)	Prp.massa (%)	Prp.acumulada (%)	Wentworth	Krumbein (phi)	
4,000 - 2,830	0,7715	0,79	1,28	1,28	grânulo		
2,830 - 2,000	1,2	1,23	1,99	3,27	grânulo		
2,000 - 1,410	1,9	1,94	3,15	6,42	areia mt.grossa		
1,410 - 1,000	2,9	2,96	4,81	11,23	areia mt.grossa		
1,000 - 0,707	1,6	3,68	5,97	17,20	areia grossa		
0,707 - 0,500	3,6	2,66	4,31	21,51	areia grossa		
0,500 - 0,354	2,6	3,27	5,31	26,81	areia média		
0,354 - 0,250	3,2	3,27	5,31	32,12	areia média		
0,250 - 0,177	3,2	3,27	5,31	37,42	areia fina		
0,177 - 0,125	2,7	2,76	4,48	41,90	areia fina		
0,125 - 0,088	2,8	2,86	4,64	46,54	areia mt.fina		
0,088 - 0,062	1,2	1,23	1,99	48,53	areia mt.fina		
<0,062* (fundo)	0,4923				silte/argila		
0,062 - 0,031	2,635	2,69	4,37	52,90	silte grosso		
0,031 - 0,016	5,115	5,23	8,48	61,38	silte médio		
0,016 - 0,008	3,67	3,75	6,09	67,47	silte fino		
0,008 - 0,004	3,855	3,94	6,39	73,86	silte mt. fino		
<0,004	15,765	16,11	26,14	100,00	argila		
Total	58,7115	61,64	100,00				

Porcentagem Acumulada PM-01 (2,00m)



IGcUSP - GSA			Análise granulométrica por pipetagem e peneiramento				
Responsável:							
Projeto :							
Eliminação ataque químico (g)							
Amostra: PM - 01 (3,00m)			Massa dispersante (g)		1,00		
Antes da separação granulométrica			*Após a separação granulométrica*				
Massa total inicial - Mi (g)		60	Partículas 4,000 - 0,062 (g)		37,3323		
Massa dos seixos (g)		0	Partículas menores 0,062 (g)		18,3300		
Eliminação ataque químico (g)		0	Massa total final - Mf (g)		55,6623		
Volume da proveta - Vp (ml)		1000	Fator de correção Mi/Mf		1,0779		
PIPETAGEM							
Granulometria	Tempo(min:s)		M.total (g)	M. frasco (g)	M.alíquota (g)	M.suspens alíq (g)	M susp.total(g)
(mm)	10cm	20cm	Mt	Mfr	Mt-Mfr-D	Ms	Ms*Vp/20
0,062 - 0,031	00:29	00:58	10,2685	9,8819	0,3666	0,0825	4,1250
0,031 - 0,016	01:56	03:52	7,7327	7,4286	0,2841	0,0660	3,3000
0,016 - 0,008	07:44	15:28	8,3555	8,1174	0,2181	0,0487	2,4350
0,008 - 0,004	31:00	62:00	11,1303	10,9409	0,1694	0,0348	1,7400
<0,004	123:00	246:00	6,6703	6,5157	0,1346	0,1346	6,7300
PENEIRAMENTO			CÁLCULOS PARA CURVA ACUMULATIVA E HISTOGRAMA				
Granulometria (mm)	Massa (g)	M.corrig (g)	Prp.massa (%)	Prp.acumulada (%)	Wentworth	Krumbein (phi)	
4,000 - 2,830	0,4296	0,46	0,72	0,72	grânulo		
2,830 - 2,000	1,4	1,51	2,35	3,07	grânulo		
2,000 - 1,410	2,4	2,59	4,03	7,10	areia mt.grossa		
1,410 - 1,000	3,2	3,45	5,37	12,47	areia mt.grossa		
1,000 - 0,707	1,5	4,31	6,72	19,19	areia grossa		
0,707 - 0,500	4	3,56	5,54	24,73	areia grossa		
0,500 - 0,354	3,3	5,82	9,07	33,80	areia média		
0,354 - 0,250	5,4	5,82	9,07	42,86	areia média		
0,250 - 0,177	6,5	7,01	10,91	53,77	areia fina		
0,177 - 0,125	5	5,39	8,39	62,17	areia fina		
0,125 - 0,088	3,6	3,88	6,04	68,21	areia mt.fina		
0,088 - 0,062	0,6027	0,65	1,01	69,23	areia mt.fina		
<0,062* (fundo)	0,0759				silte/argila		
0,062 - 0,031	4,125	4,45	6,93	76,15	silte grosso		
0,031 - 0,016	3,3	3,56	5,54	81,69	silte médio		
0,016 - 0,008	2,435	2,62	4,09	85,78	silte fino		
0,008 - 0,004	1,74	1,88	2,92	88,70	silte mt. fino		
<0,004	6,73	7,25	11,30	100,00	argila		
Total	55,6623	64,20	100,00				

Porcentagem Acumulada PM-01 (3,0 m)

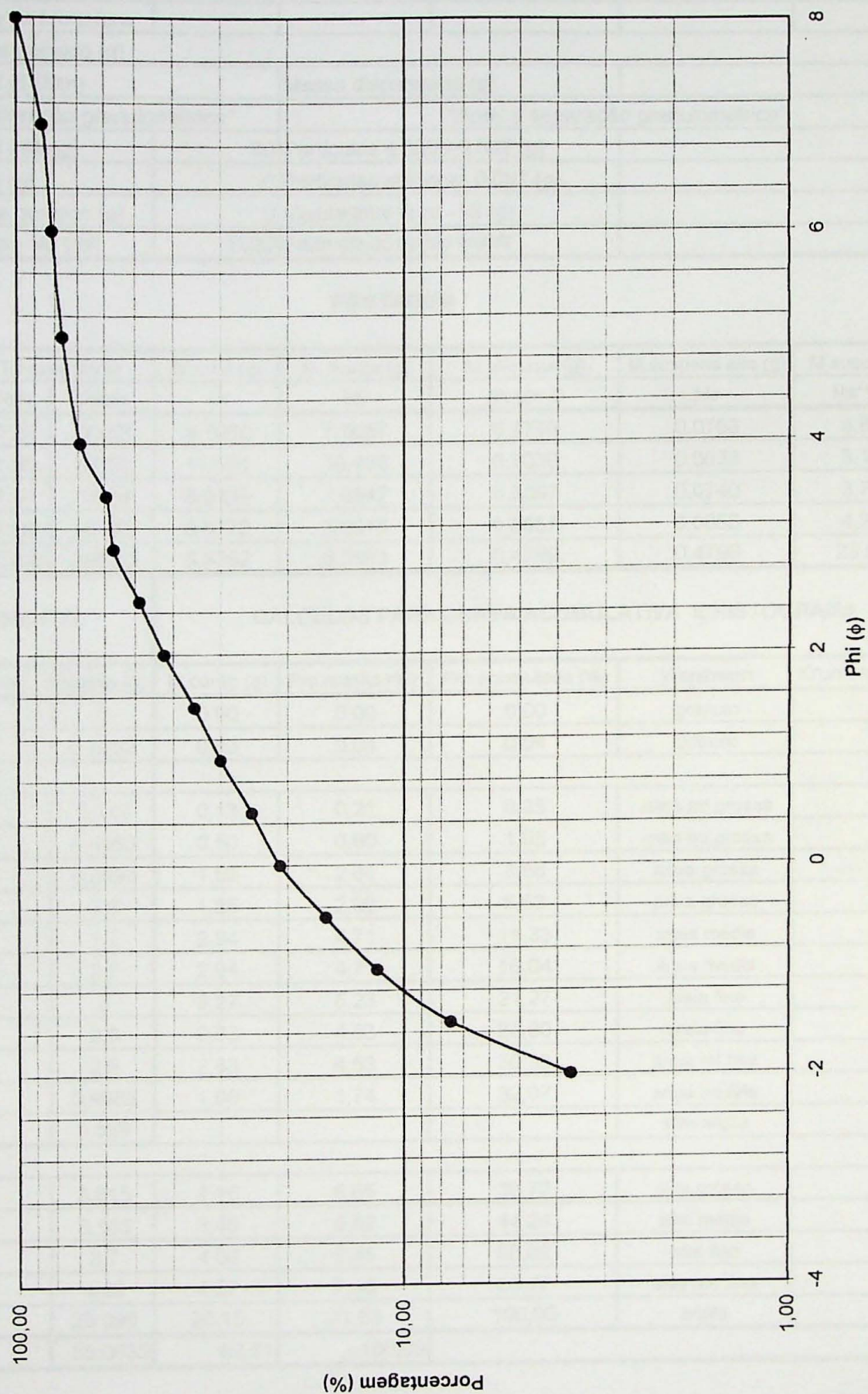


IGcUSP - GSA		Análise granulométrica por pipetagem e peneiramento			
Responsável: Robercal					
Projeto : Trabalho de formatura					
Eliminação ataque químico (g)					
Amostra: PM - 01 (4,00m)		Massa dispersante(g)		1,00	
Antes da separação granulométrica		*Após a separação granulométrica*			
Massa total inicial - Mi (g)	60	Partículas 4,000 - 0,062 (g)		33,5000	
Massa dos seixos (g)	0	Partículas menores 0,062 (g)		24,1750	
Eliminação ataque químico (g)	0	Massa total final - Mf (g)		57,6750	
Volume da proveta - Vp (ml)	1000	Fator de correção Mi/Mf		1,0403	

PIPETAGEM							
Granulometria	Tempo(min:s)		M.total (g)	M. frasco (g)	M.alíquota (g)	M.suspens aliq (g)	M susp.total(g)
(mm)	10cm	20cm	Mt	Mfr	Mt-Mfr-D	Ms	Ms*Vp/20
0,062 - 0,031	00:29	00:58	8,8901	8,3866	0,4835	0,1157	5,7850
0,031 - 0,016	01:56	03:52	8,4191	8,0313	0,3678	0,0883	4,4150
0,016 - 0,008	07:44	15:28	7,7559	7,4564	0,2795	0,0565	2,8250
0,008 - 0,004	31:00	62:00	8,0406	7,7976	0,2230	0,0549	2,7450
<0,004	123:00	246:00	7,7535	7,5654	0,1681	0,1681	8,4050

PENEIRAMENTO		CÁLCULOS PARA CURVA ACUMULATIVA E HISTOGRAMA				
Granulometria (mm)	Massa (g)	M.corrig (g)	Prp.massa (%)	Prp.acumulada (%)	Wenthwort	Krumbein (phi)
4,000 - 2,830	2,2	2,29	3,69	3,69	grânulo	
2,830 - 2,000	2,3	2,39	3,86	7,55	grânulo	
2,000 - 1,410	2,5	2,60	4,20	11,75	areia mt.grossa	
1,410 - 1,000	2,5	2,60	4,20	15,95	areia mt.grossa	
1,000 - 0,707	1,2	3,12	5,04	20,98	areia grossa	
0,707 - 0,500	3	2,39	3,86	24,84	areia grossa	
0,500 - 0,354	2,3	3,22	5,20	30,05	areia média	
0,354 - 0,250	3,1	3,22	5,20	35,25	areia média	
0,250 - 0,177	4,1	4,27	6,88	42,13	areia fina	
0,177 - 0,125	4	4,16	6,71	48,85	areia fina	
0,125 - 0,088	4,8	4,99	8,06	56,90	areia mt.fina	
0,088 - 0,062	1,5	1,56	2,52	59,42	areia mt.fina	
<0,062* (fundo)	0,4336				silte/argila	
0,062 - 0,031	5,785	6,02	9,71	69,13	silte grosso	
0,031 - 0,016	4,415	4,59	7,41	76,54	silte médio	
0,016 - 0,008	2,825	2,94	4,74	81,28	silte fino	
0,008 - 0,004	2,745	2,86	4,61	85,89	silte mt. fino	
<0,004	8,405	8,74	14,11	100,00	argila	
Total	57,675	61,98	100,00			

Porcentagem Acumulada - PM-01 (4,0 m)



IGcUSP - GSA	Análise granulométrica por pipetagem e peneiramento				
Responsável: Robercal					
Projeto : Trabalho de formatura					
Eliminação ataque químico (g)					
Amostra: PM - 02 (1,00m)		Massa dispersante (g)		1,00	
Antes da separação granulométrica		*Após a separação granulométrica*			
Massa total inicial - Mi (g)	60	Partículas 4,000 - 0,062 (g)		16,0983	
Massa dos seixos (g)	0	Partículas menores 0,062 (g)		38,9650	
Eliminação ataque químico (g)	0	Massa total final - Mf (g)		55,0633	
Volume da proveta - Vp (ml)	1000	Fator de correção Mi/Mf		1,0897	

PIPETAGEM

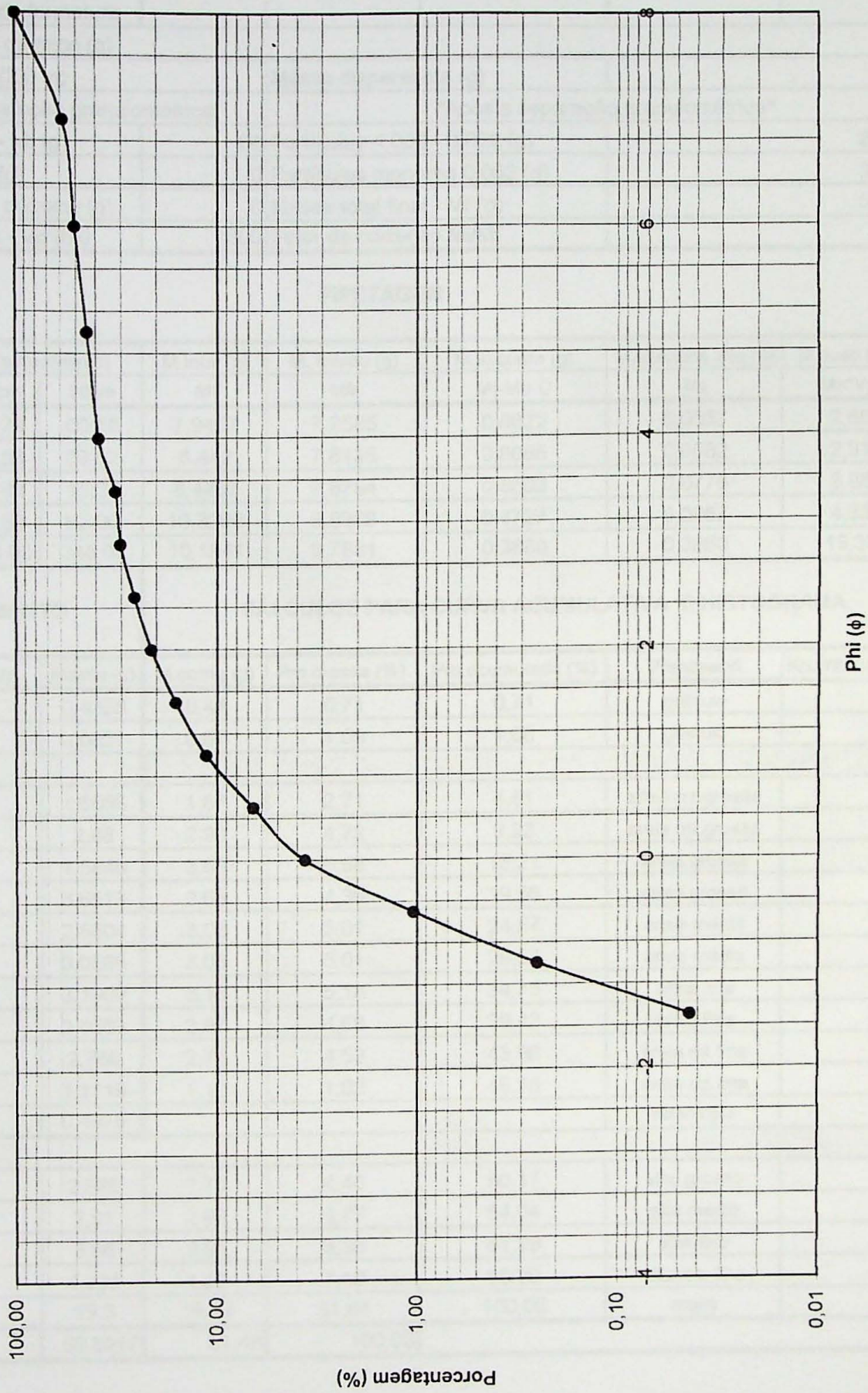
Granulometria	Tempo(min:s)		M.total (g)	M. frasco (g)	M.alíquota (g)	M.suspens aliq (g)	M susp.total(g)
(mm)	10cm	20cm	Mt	Mfr	Mt-Mfr-D	Ms	Ms*Vp/20
0,062 - 0,031	00:29	00:58	8,7650	7,9657	0,7793	0,0763	3,8150
0,031 - 0,016	01:56	03:52	11,161	10,438	0,7030	0,0633	3,1650
0,016 - 0,008	07:44	15:28	8,6439	7,9842	0,6397	0,0740	3,7000
0,008 - 0,004	31:00	62:00	8,6772	8,0915	0,5657	0,0858	4,2900
<0,004	123:00	246:00	8,8992	8,3993	0,4799	0,4799	23,9950

PENEIRAMENTO

CÁLCULOS PARA CURVA ACUMULATIVA E HISTOGRAMA

Granulometria (mm)	Massa (g)	M.corrig (g)	Prp.massa (%)	Prp.acumulada (%)	Wentworth	Krumbein (phi)
4,000 - 2,830	0	0,00	0,00	0,00	grânulo	
2,830 - 2,000	0,0252	0,03	0,04	0,04	grânulo	
2,000 - 1,410	0,119	0,13	0,21	0,25	areia mt.grossa	
1,410 - 1,000	0,4563	0,50	0,80	1,05	areia mt.grossa	
1,000 - 0,707	0,3995	1,63	2,61	3,66	areia grossa	
0,707 - 0,500	1,5	1,85	2,96	6,63	areia grossa	
0,500 - 0,354	1,7	2,94	4,71	11,33	areia média	
0,354 - 0,250	2,7	2,94	4,71	16,04	areia média	
0,250 - 0,177	3	3,27	5,23	21,27	areia fina	
0,177 - 0,125	2,6	2,83	4,53	25,80	areia fina	
0,125 - 0,088	2,6	2,83	4,53	30,33	areia mt.fina	
0,088 - 0,062	0,9983	1,09	1,74	32,07	areia mt.fina	
<0,062* (fundo)	0,599				silte/argila	
0,062 - 0,031	3,815	4,16	6,65	38,72	silte grosso	
0,031 - 0,016	3,165	3,45	5,52	44,24	silte médio	
0,016 - 0,008	3,7	4,03	6,45	50,69	silte fino	
0,008 - 0,004	4,29	4,67	7,48	58,17	silte mt. fino	
<0,004	23,995	26,15	41,83	100,00	argila	
Total	55,0633	62,51	100,00			

Porcentagem Acumulada - PM-02 (1,0 m)



IGcUSP - GSA		Análise granulométrica por pipetagem e peneiramento				
Responsável: Robercal						
Projeto : Trabalho de formatura						
Eliminação ataque químico (g)						
Amostra: PM - 02 (2,0 m)		Massa dispersante (g)			1,00	
Antes da separação granulométrica		*Após a separação granulométrica*				
Massa total inicial - Mi (g)	60	Partículas 4,000 - 0,062 (g)			26,4817	
Massa dos seixos (g)	0	Partículas menores 0,062 (g)			33,1100	
Eliminação ataque químico (g)	0	Massa total final - Mf (g)			59,5917	
Volume da proveta - Vp (ml)	1000	Fator de correção Mi/Mf			1,0069	

PIPETAGEM

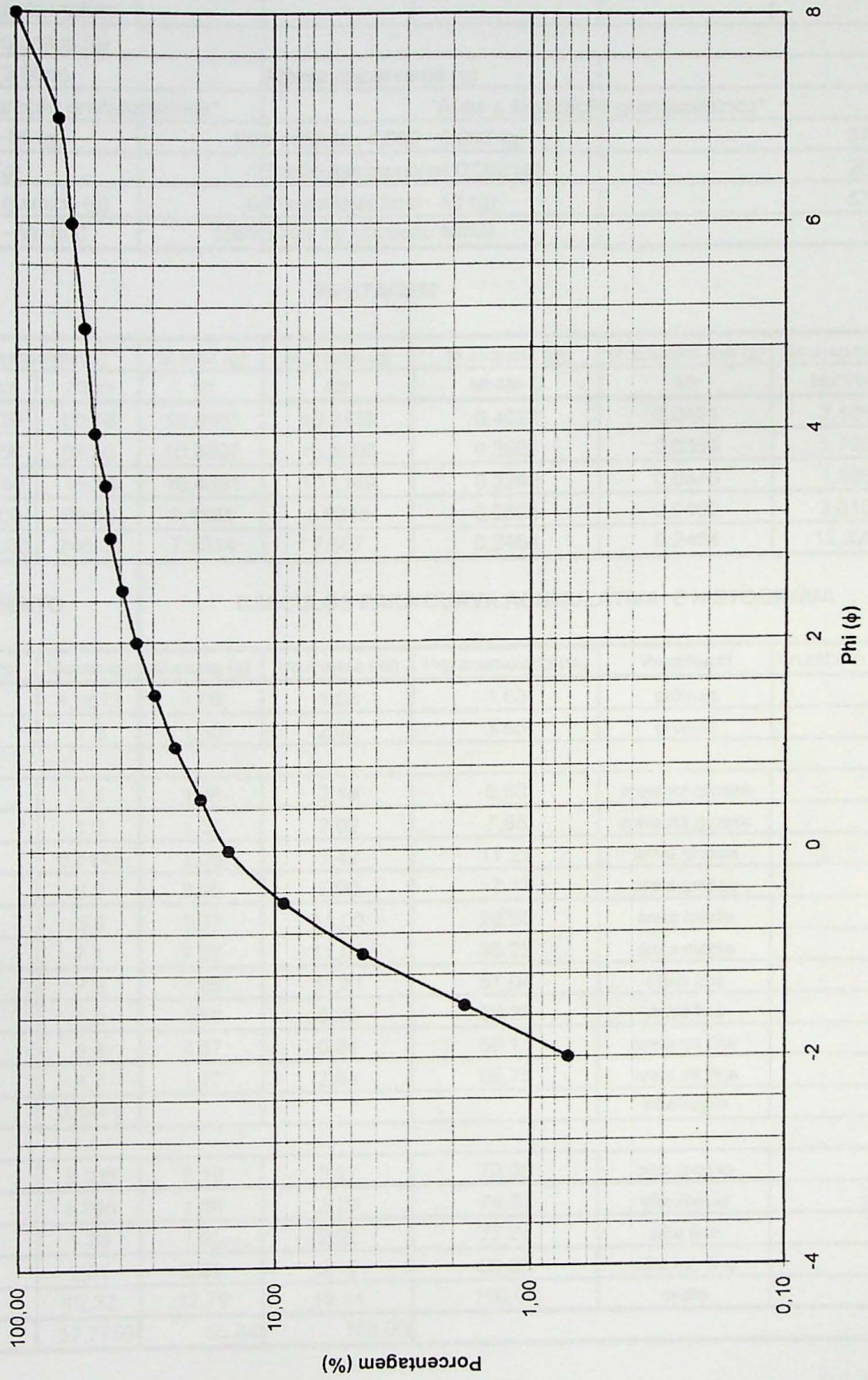
Granulometria	Tempo(min:s)		M.total (g)	M. frasco (g)	M.alíquota (g)	M.suspens aliq (g)	M susp.total(g)
(mm)	10cm	20cm	Mt	Mfr	Mt-Mfr-D	Ms	Ms*Vp/20
0,062 - 0,031	00:29	00:58	7,9407	7,2585	0,6622	0,0537	2,6850
0,031 - 0,016	01:56	03:52	8,442	7,8135	0,6085	0,0582	2,9100
0,016 - 0,008	07:44	15:28	8,4497	7,8794	0,5503	0,0776	3,8800
0,008 - 0,004	31:00	62:00	10,3296	9,8369	0,4727	0,0867	4,3350
<0,004	123:00	246:00	10,1941	9,7881	0,3860	0,3860	19,3000

PENEIRAMENTO

CÁLCULOS PARA CURVA ACUMULATIVA E HISTOGRAMA

Granulometria (mm)	Massa (g)	M.corrig (g)	Prp.massa (%)	Prp.acumulada (%)	Wentworth	Krumbein (phi)
4,000 - 2,830	0,4338	0,44	0,71	0,71	grânulo	
2,830 - 2,000	0,6651	0,67	1,09	1,80	grânulo	
2,000 - 1,410	1,6556	1,67	2,71	4,51	areia mt.grossa	
1,410 - 1,000	2,88	2,90	4,72	9,23	areia mt.grossa	
1,000 - 0,707	1,5848	3,68	5,98	15,21	areia grossa	
0,707 - 0,500	3,6513	2,68	4,36	19,56	areia grossa	
0,500 - 0,354	2,6604	3,08	5,01	24,57	areia média	
0,354 - 0,250	3,0566	3,08	5,01	29,57	areia média	
0,250 - 0,177	3,1609	3,18	5,18	34,75	areia fina	
0,177 - 0,125	2,8553	2,87	4,68	39,43	areia fina	
0,125 - 0,088	2,766	2,78	4,53	43,96	areia mt.fina	
0,088 - 0,062	1,1119	1,12	1,82	45,78	areia mt.fina	
<0,062* (fundo)	0,4478				silte/argila	
0,062 - 0,031	2,685	2,70	4,40	50,17	silte grosso	
0,031 - 0,016	2,91	2,93	4,77	54,94	silte médio	
0,016 - 0,008	3,88	3,91	6,35	61,29	silte fino	
0,008 - 0,004	4,335	4,36	7,10	68,39	silte mt. fino	
<0,004	19,3	19,43	31,61	100,00	argila	
Total	59,5917	61,48	100,00			

Porcentagem Acumulada PM-02 (2,0 m)



IGcUSP - GSA		Análise granulométrica por pipetagem e peneiramento			
Responsável: Robercal					
Projeto : Trabalho de formatura					
Eliminação ataque químico (g)					
Amostra: PM - 02 (3,00m)		Massa dispersante (g)		1,00	
Antes da separação granulométrica		*Após a separação granulométrica*			
Massa total inicial - Mi (g)	60	Partículas 4,000 - 0,062 (g)		37,6659	
Massa dos seixos (g)	0	Partículas menores 0,062 (g)		20,1100	
Eliminação ataque químico (g)	0	Massa total final - Mf (g)		57,7759	
Volume da proveta - Vp (ml)	1000	Fator de correção Mi/Mf		1.0385	

PIPETAGEM

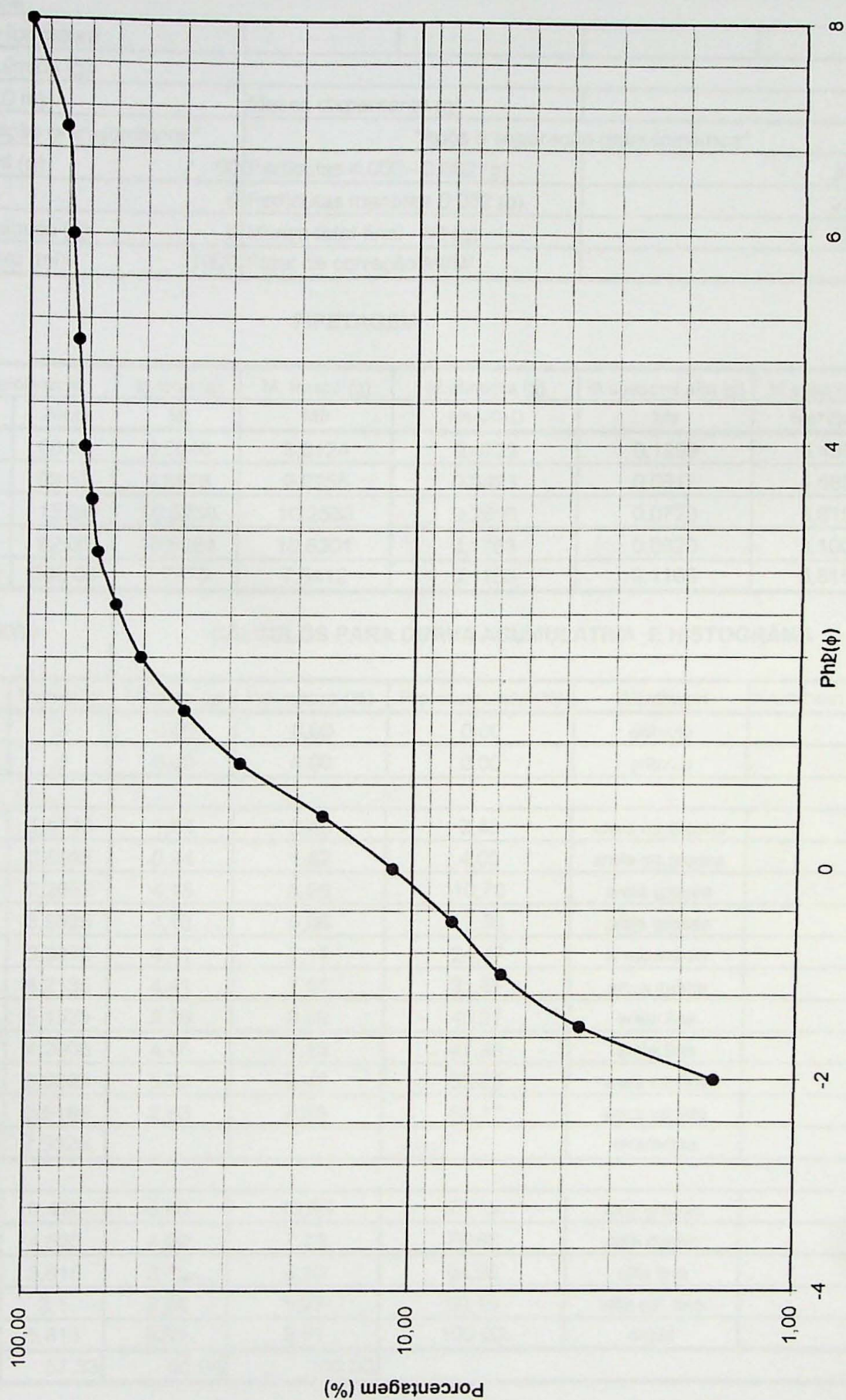
Granulometria	Tempo(min:s)		M.total (g)	M. frasco (g)	M.alíquota (g)	M.suspens aliq (g)	M susp.total(g)
(mm)	10cm	20cm	Mt	Mfr	Mt-Mfr-D	Ms	Ms*Vp/20
0,062 - 0,031	00:29	00:58	10,6661	10,2439	0,4022	0,0421	2,1050
0,031 - 0,016	01:56	03:52	10,8807	10,5006	0,3601	0,0359	1,7950
0,016 - 0,008	07:44	15:28	10,4591	10,1149	0,3242	0,0376	1,8800
0,008 - 0,004	31:00	62:00	9,1381	8,8315	0,2866	0,0402	2,0100
<0,004	123:00	246:00	7,9334	7,667	0,2464	0,2464	12,3200

PENEIRAMENTO

CÁLCULOS PARA CURVA ACUMULATIVA E HISTOGRAMA

Granulometria (mm)	Massa (g)	M.corrig (g)	Prp.massa (%)	Prp.acumulada (%)	Wentworth	Krumbein (phi)
4,000 - 2,830	1,0513	1,09	1,63	1,63	grânulo	
2,830 - 2,000	1,3	1,35	2,02	3,65	grânulo	
2,000 - 1,410	1,4	1,45	2,18	5,83	areia mt.grossa	
1,410 - 1,000	1,3	1,35	2,02	7,85	areia mt.grossa	
1,000 - 0,707	0,5146	2,28	3,42	11,27	areia grossa	
0,707 - 0,500	2,2	3,95	5,90	17,17	areia grossa	
0,500 - 0,354	3,8	7,37	11,03	28,20	areia média	
0,354 - 0,250	7,1	7,37	11,03	39,23	areia média	
0,250 - 0,177	7,6	7,89	11,81	51,04	areia fina	
0,177 - 0,125	5,3	5,50	8,23	59,28	areia fina	
0,125 - 0,088	4,4	4,57	6,84	66,11	areia mt.fina	
0,088 - 0,062	1,7	1,77	2,64	68,75	areia mt.fina	
<0,062* (fundo)	0,6451				silte/argila	
0,062 - 0,031	2,105	2,19	3,27	72,03	silte grosso	
0,031 - 0,016	1,795	1,86	2,79	74,81	silte médio	
0,016 - 0,008	1,88	1,95	2,92	77,74	silte fino	
0,008 - 0,004	2,01	2,09	3,12	80,86	silte mt. fino	
<0,004	12,32	12,79	19,14	100,00	argila	
Total	57,7759	66,84	100,00			

Porcentagem Acumulada - PM-02 (3,0 m)



IGcUSP - GSA		Análise granulométrica por pipetagem e peneiramento			
Responsável: Robercal					
Projeto : Trabalho de formatura					
Eliminação ataque químico (g)					
Amostra: PM - 02 (4,0 m)		Massa dispersante (g)		1,00	
Antes da separação granulométrica		*Após a separação granulométrica*			
Massa total inicial - Mi (g)	60	Partículas 4,000 - 0,062 (g)		33,7200	
Massa dos seixos (g)	0	Partículas menores 0,062 (g)		23,6100	
Eliminação ataque químico (g)	0	Massa total final - Mf (g)		57,3300	
Volume da proveta - Vp (ml)	1000	Fator de correção Mi/Mf		1,0466	

PIPETAGEM

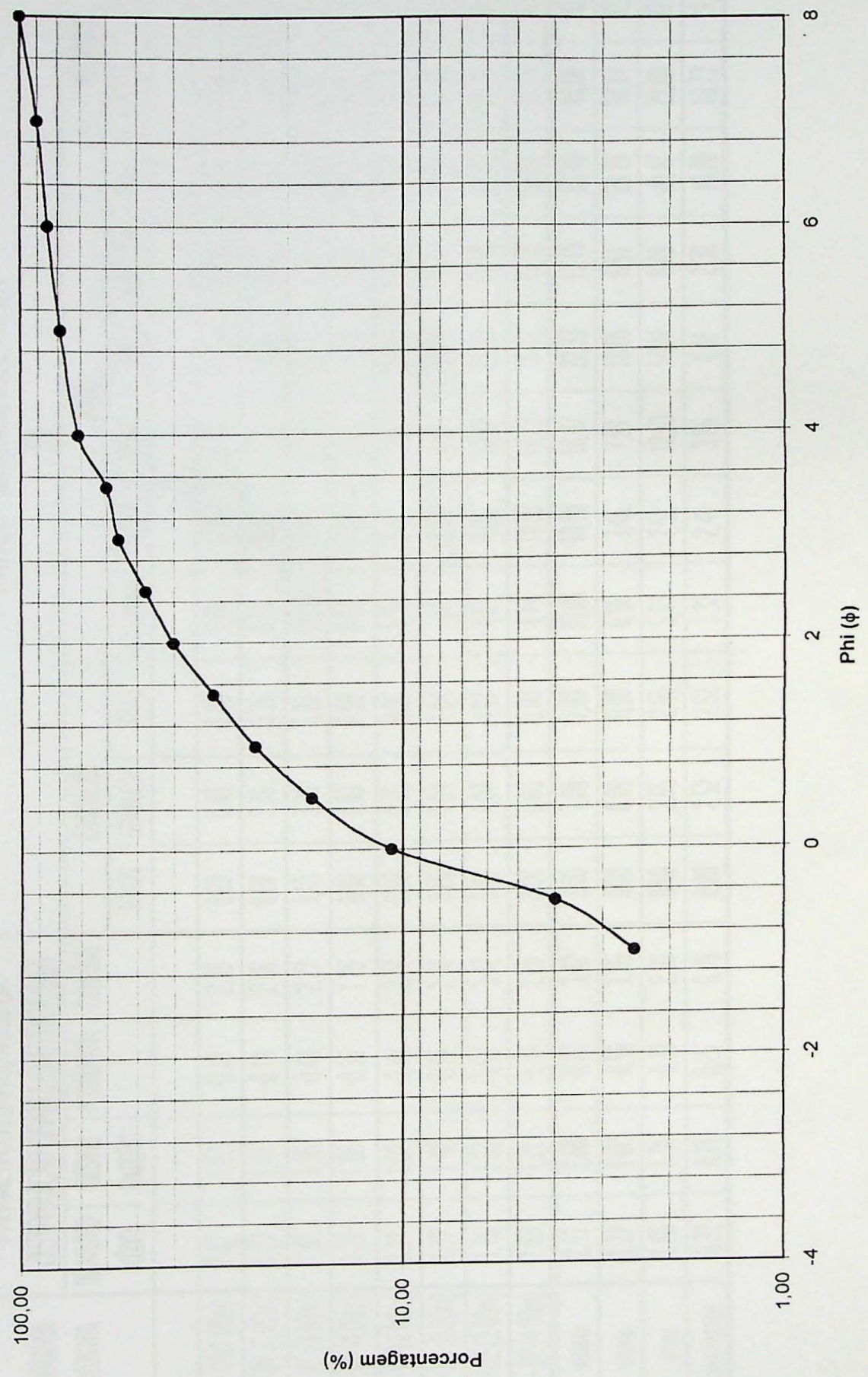
Granulometria	Tempo(min:s)		M.total (g)	M. frasco (g)	M.alíquota (g)	M.suspens aliq (g)	M susp.total(g)
(mm)	10cm	20cm	Mt	Mfr	Mt-Mfr-D	Ms	Ms*Vp/20
0,062 - 0,031	00:29	00:58	8,5046	8,0124	0,4722	0,1299	6,4950
0,031 - 0,016	01:56	03:52	9,5878	9,2255	0,3423	0,0917	4,5850
0,016 - 0,008	07:44	15:28	10,5239	10,2533	0,2506	0,0723	3,6150
0,008 - 0,004	31:00	62:00	10,8284	10,6301	0,1783	0,0620	3,1000
<0,004	123:00	246:00	7,7775	7,6412	0,1163	0,1163	5,8150

PENEIRAMENTO

CÁLCULOS PARA CURVA ACUMULATIVA E HISTOGRAMA

Granulometria (mm)	Massa (g)	M.corrig (g)	Prp.massa (%)	Prp.acumulada (%)	Wentworth	Krumbein (phi)
4,000 - 2,830	0	0,00	0,00	0,00	grânulo	
2,830 - 2,000	0	0,00	0,00	0,00	grânulo	
2,000 - 1,410	1,4743	1,54	2,49	2,49	areia mt.grossa	
1,410 - 1,000	0,8995	0,94	1,52	4,00	areia mt.grossa	
1,000 - 0,707	2,2662	4,15	6,69	10,70	areia grossa	
0,707 - 0,500	3,9685	4,13	6,66	17,36	areia grossa	
0,500 - 0,354	3,9472	4,41	7,11	24,47	areia média	
0,354 - 0,250	4,2135	4,41	7,11	31,57	areia média	
0,250 - 0,177	5,1535	5,39	8,69	40,27	areia fina	
0,177 - 0,125	4,2606	4,46	7,19	47,46	areia fina	
0,125 - 0,088	5,0203	5,25	8,47	55,93	areia mt.fina	
0,088 - 0,062	2,5164	2,63	4,25	60,17	areia mt.fina	
<0,062* (fundo)	2,5025				silte/argila	
0,062 - 0,031	6,495	6,80	10,96	71,13	silte grosso	
0,031 - 0,016	4,585	4,80	7,73	78,86	silte médio	
0,016 - 0,008	3,615	3,78	6,10	84,96	silte fino	
0,008 - 0,004	3,1	3,24	5,23	90,19	silte mt. fino	
<0,004	5,815	6,09	9,81	100,00	argila	
Total	57,33	62,04	100,00			

Porcentagem Acumulada PM-02 (4,0 m)



CÓDIGO DA AMOSTRA	PARÂMETROS ESTATÍSTICOS DA DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA (phi)				FAIXA GRANULOMÉTRICA (%)												REL. FINO/GROSSO
	DIÂMETRO MÉDIO	DESVIO PADRÃO	ASSIMETRIA	CURTOSE	CASCALHO			AREIA					PELÚCULOS				
					SEXOS	GRÂNULOS	TOTAL	MUITO GROSSA	GROSSA	MÉDIA	FINA	MUITO FINA	TOTAL	ARGILA	TOTAL		
PM - 01 (1.00m)	2,07	1,03	-0,10	2,39	0,00	0,00	0,00	0,66	6,29	15,45	14,71	9,06		46,18	29,45	53,82	1,1656
PM - 01 (2.00m)	1,27	1,47	-0,19	2,06	0,00	3,36	3,36	8,18	8,86	9,88	10,05	6,81		43,77	26,85	52,87	1,1217
PM - 01 (3.00m)	1,45	1,35	-0,49	2,27	0,00	3,29	3,29	10,06	9,88	15,63	20,66	7,55		63,78	12,09	32,93	0,4910
PM - 01 (4.00m)	1,29	1,68	-0,35	1,85	0,00	7,80	7,80	8,67	7,28	9,36	14,04	10,92		50,28	14,57	41,92	0,7216
PM - 02 (1.00m)	2,11	1,02	-0,48	2,77	0,00	0,05	0,05	1,04	3,45	7,99	10,17	6,53		29,19	43,58	70,76	2,4204
PM - 02 (2.00m)	1,37	1,40	-0,19	2,10	0,00	1,84	1,84	7,61	8,79	9,59	10,10	6,51		42,59	32,39	55,56	1,2503
PM - 02 (3.00m)	1,76	1,33	-0,96	3,42	0,00	4,07	4,07	4,67	4,70	18,87	22,33	10,56		61,12	21,32	34,81	0,5339
PM - 02 (4.00m)	1,89	1,21	-0,34	2,28	0,00	0,00	0,00	4,14	10,88	14,23	16,42	13,15		58,82	10,14	41,18	0,7002
MÁXIMO	2,11	1,68	-0,10	3,42	0,00	7,80	7,80	10,06	10,88	18,87	22,33	13,15		63,78	43,58	70,76	2,42
MÍNIMO	1,27	1,02	-0,96	1,85	0,00	0,00	0,00	0,66	3,45	7,99	10,05	6,51		29,19	10,14	32,93	0,49
MÉDIA	1,65	1,31	-0,39	2,39	0,00	2,55	2,55	5,63	7,52	12,63	14,81	8,89		49,47	23,80	47,98	1,05
DESVIO PADRÃO	0,32	0,21	0,25	0,46	0,00	2,52	2,52	3,32	2,41	3,66	4,48	2,30		10,78	10,73	11,82	0,59

ANEXO 3

DADOS COLETADOS EM CAMPO A PARTIR DOS TESTES DE CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA

PM-01 (INSERÇÃO)

Tempo(s)	H-h/H-Ho	Inserção(m)
0	0,587	0,1
10	0,560	0,142
20	0,557	0,147
30	0,556	0,149
40	0,555	0,15
50	0,554	0,151
60	0,554	0,151
90	0,553	0,153
120	0,552	0,155
150	0,549	0,159
180	0,549	0,16
210	0,548	0,161
240	0,547	0,163
270	0,546	0,164
300	0,546	0,165
360	0,544	0,168
420	0,542	0,171
480	0,540	0,174
540	0,538	0,177
600	0,535	0,181
660	0,534	0,184
720	0,532	0,186
780	0,531	0,188
840	0,530	0,19
900	0,529	0,191
1020	0,527	0,194
1140	0,525	0,198
1200	0,522	0,202
1260	0,522	0,203
1500	0,518	0,208
1740	0,513	0,216
1800	0,512	0,218
2100	0,507	0,226
2400	0,503	0,233
2700	0,496	0,244
3000	0,492	0,249
3300	0,489	0,255
3600	0,484	0,263
3900	0,480	0,268
4200	0,477	0,274
4500	0,473	0,279
4800	0,469	0,286
5100	0,465	0,292
5400	0,463	0,296
5700	0,459	0,301
6000	0,456	0,306
6300	0,453	0,311

H= 0,65

H-Ho= 1,58

B\$Rc10= 0,1094

B\$Rc8= 0,1112

PM-01 (RETIRADA)

H= 0,65
H-Ho= -0,527

Tempo(s)	H-h/H-Ho	Retirada(m)
0	1	1,177
10	0,989 -0,011451	1,171
20	0,983 -0,017225	1,168
30	0,977 -0,023034	1,165
40	0,972 -0,028876	1,162
50	0,972 -0,028876	1,162
60	0,970 -0,030831	1,161
90	0,970 -0,030831	1,161
120	0,970 -0,030831	1,161
150	0,968 -0,03279	1,16
180	0,968 -0,03279	1,16
210	0,966 -0,034753	1,159
240	0,964 -0,036719	1,158
270	0,964 -0,036719	1,158
300	0,962 -0,03869	1,157
360	0,962 -0,03869	1,157
420	0,960 -0,040664	1,156
480	0,958 -0,042642	1,155
540	0,958 -0,042642	1,155
600	0,956 -0,044624	1,154
660	0,954 -0,04661	1,153
720	0,953 -0,0486	1,152
780	0,951 -0,050594	1,151
840	0,951 -0,050594	1,151
900	0,947 -0,054594	1,149
1020	0,943 -0,058611	1,147
1140	0,939 -0,062643	1,145
1200	0,939 -0,062643	1,145
1260	0,937 -0,064665	1,144
1500	0,932 -0,070756	1,141
1740	0,924 -0,078936	1,137
1800	0,922 -0,080992	1,136
2100	0,896 -0,110222	1,122
2400	0,875 -0,133803	1,111
2700	0,860 -0,151308	1,103
3000	0,841 -0,173631	1,093
3300	0,822 -0,196463	1,083
3600	0,810 -0,210417	1,077
3900	0,797 -0,226946	1,07
4200	0,782 -0,246177	1,062
4500	0,769 -0,263313	1,055
4800	0,757 -0,278239	1,049
5100	0,744 -0,295939	1,042
5400	0,736 -0,306195	1,038
5700	0,723 -0,324401	1,031
6000	0,712 -0,340275	1,025
6300	0,702 -0,353698	1,02
6600	0,694 -0,364567	1,016
6900	0,683 -0,381097	1,01
7200	0,674	1,005

PM-02(INSERÇÃO)

Tempo(s)	H-h/H-Ho	inserção			H=	0,985
0	1,000	0,794			H-Ho=	0,191
10	0,895	0,814			B&Rcon	0,028
20	0,864	0,82	0	0,37		
30	0,848	0,823	469	0,37		
40	0,822 -0,196028	0,828				
50	0,812 -0,208848	0,83				
60	0,780 -0,248327	0,836				
90	0,738 -0,303514	0,844				
120	0,696 -0,361924	0,852				
150	0,665 -0,408086	0,858				
180	0,623 -0,47315	0,866				
210	0,581 -0,542743	0,874				
240	0,545 -0,607883	0,881				
270	0,513 -0,667306	0,887				
300	0,487 -0,719674	0,892				
360	0,440 -0,821457	0,901				
420	0,382 -0,961814	0,912				
480	0,351 -1,047581	0,918				
540	0,319 -1,1414	0,924				
600	0,288 -1,24494	0,93				
660	0,257 -1,360453	0,936				
720	0,230 -1,468084	0,941				
780	0,204 -1,588712	0,946				
840	0,188 -1,668754	0,949				
900	0,173 -1,755766	0,952				
1020	0,152 -1,884978	0,956				
1140	0,136 -1,994177	0,959				
1200	0,131 -2,033398	0,96				
1260	0,120 -2,116779	0,962				
1500	0,099	0,966				
1740	0,079	0,97				
1800	0,068	0,972				
2100	0,063	0,973				
2400	0,058	0,974				

PM-02 (RETIRADA)

Tempo(s)	H-h/H-Ho		Retirada		H=	0,985
0	1,000	1	0,37	1,176	H-Ho=	-0,191
10	0,864	235	0,37	1,15	B&R cons	0,028
20	0,806			1,139		
30	0,733			1,125		
40	0,707			1,12	0	-1
50	0,686			1,116	236	-1
60	0,665			1,112		
90	0,602			1,1		
120	0,534			1,087		
150	0,476			1,076		
180	0,435			1,068		
210	0,398			1,061		
240	0,372			1,056		
270	0,330			1,048		
300	0,304			1,043		
360	0,251			1,033		
420	0,215			1,026		
480	0,162			1,016		
540	0,136			1,011		
600	0,120			1,008		
660	0,089			1,002		
720	0,073			0,999		
780	0,063			0,997		
840	0,047			0,994		
900	0,042			0,993		
1020	0,026			0,99		
1140	0,021			0,989		
1200	0,016			0,988		
1260	0,016			0,988		
1500	0,005			0,986		

