

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

**PRÉ-DIMENSIONAMENTO E CARACTERIZAÇÃO  
HIDROGEOLÓGICA/GEOTÉCNICA DE AQUÍFERO PARA FINS DE  
REBAIXAMENTO**

Raphael Martin Salaroli

Orientador: Prof. Dr. Edilson Pissato

**MONOGRAFIA DE TRABALHO DE FORMATURA  
(TF 17-42)**

SÃO PAULO

2017

Assinatura do Orientador:

Edilson Pissato \_\_\_\_\_

Assinatura do aluno:

Raphael Martin Salaroli \_\_\_\_\_

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente, sou muito grato aos meus pais Deborah e Geraldo, e ao meu irmão Phelipe por todo apoio que sempre me deram. Sem eles jamais seria sequer capaz de iniciar esse curso que hoje, após 5 anos, estou concluindo.

Agradeço ao meu orientador Edilson Pissato, que sempre esteve disposto a me auxiliar e orientar na produção deste trabalho. Agradeço também ao Marcelo Denser Monteiro, por providenciar os dados utilizados neste trabalho e por tirar dúvidas. Agradeço à Companhia Metropolitana de São Paulo, por permitir o fornecimento dos dados utilizados neste Trabalho de Formatura. Não posso deixar de agradecer ao Professor Reginaldo Bertolo, por ter me introduzido no mundo científico através de uma iniciação científica, e ao Professor Marcelo Monteiro, pela confiança no meu conhecimento, me deixando monitor de sua matéria e pelas receitas de bolo e doces que compartilha comigo.

Sou imensamente grato à todos meus amigos que tornaram essa longa caminhada de 5 anos mais alegre, em especial: Aids(Alessandro Pezzin), Bandida(Marcelo Jr.), Bigode(Victor Gonzaga), Furunka(Laura Furukawa), Garibolo(Bruna Ricardo), Maria(Maria Pelissari), Mãe Ioka(Gabriel Gutierrez), Murta (Gabriel Damasio), Porka(Fernanda Piotto), Bagossauro(Lucas Tonon), Sifu Iokão(Vinicius Giroto), Pinga(Priscila Petrelli), Kreuza(Yuri Kuivjogi). É tanta gente que cabe nessa lista que acho melhor parar por aqui antes que ela fique grande demais. Deixo uma parte só pra Xica (Ângela Isaura), que tanto me ensinou a ver minerais no microscópio, mesmo eles sendo todos iguais pra mim, além de todas bebedeiras, conversas, tretas, trabalhos em grupo e loucuras.

Agradeço a todos os membros da Grauvaca pelas risadas, estudos, rolês e reclamações da vizinha de baixo: Fidida(Saulo Vieira), Lady bug(João Mariante), Navara(Guilherme Navarro), Pikadero(Paulo Koki), Dipe (Pedro Dipe).

Muito tenho a agradecer a todos os funcionários da Geo, por botar ordem no galinheiro, e aos motoristas, por colocarem o busão onde ninguém mais consegue e pela paciência com a zona que fazemos nos campos.

A todos da Alphageos pelo conhecimento compartilhado e crescimento profissional.

A minha namorada Giovanna Bianchini, pela companhia, risos, choros, desenhos, passeios, enfim, por tudo.

Por fim, agradeço à todos que diretamente ou indiretamente fizeram a diferença e me ajudaram a realizar esse sonho.



## ÍNDICE

<b>1. RESUMO.....</b>	<b>4</b>
<b>2. ABSTRACT.....</b>	<b>5</b>
<b>3. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>6</b>
<b>4. OBJETIVOS .....</b>	<b>6</b>
<b>5. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>7</b>
5.1. Geologia regional .....	7
5.1.1. Embasamento Pré-Cambriano.....	7
5.1.2. Preenchimento sedimentar .....	9
5.1.3. Comportamento Geotécnico da Bacia de São Paulo.....	11
5.2. Rebaixamento de lençol d'água .....	13
5.2.1. Ensaio de bombeamento .....	14
5.2.2. Sistemas de rebaixamento de lençol d'água .....	18
5.2.3. Cuidados prévios à execução do rebaixamento .....	22
5.2.4. Cálculo do rebaixamento .....	23
5.3. Ensaaios laboratoriais geotécnicos.....	29
5.3.1. Análise granulométrica.....	29
5.3.2. Limites de Atterberg .....	30
5.3.3. Adensamento .....	32
<b>6. METODOLOGIA .....</b>	<b>33</b>
6.1. TRATAMENTO DOS DADOS.....	33
6.2. ESTIMATIVA DO REBAIXAMENTO .....	33
<b>7. RESULTADOS.....</b>	<b>36</b>
7.1. PERFIS GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO .....	36
7.2. DESCRIÇÃO DOS MATERIAIS.....	39
7.3. PERFIL PIEZOMÉTRICO .....	40

7.4.	CARACTERIZAÇÃO HIDROGEOLÓGICA.....	41
7.5.	CÁLCULO ANALÍTICO DO REBAIXAMENTO .....	45
7.6.	ANÁLISE GEOTÉCNICA DO SOLO .....	48
<b>8.</b>	<b>DISCUSSÕES .....</b>	<b>48</b>
<b>9.</b>	<b>CONCLUSÕES .....</b>	<b>50</b>
<b>10.</b>	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>52</b>
	<b>ANEXO I - BOLETINS DE SONDAGEM .....</b>	<b>56</b>
	<b>ANEXO II – PIEZÔMETROS.....</b>	<b>61</b>
	<b>ANEXO III – ENSAIO DE BOMBEAMENTO .....</b>	<b>69</b>
	<b>ANEXO IV – CARACTERIZAÇÃO DO SOLO .....</b>	<b>80</b>

## 1. RESUMO

O rebaixamento de aquíferos é utilizado extensamente na construção civil para permitir escavações abaixo do nível d'água. Esse Trabalho de Formatura tem como objetivo apresentar os estudos geotécnicos e hidrogeológicos realizados para o pré-dimensionamento de um projeto básico de rebaixamento utilizando métodos analíticos, utilizando dados fornecidos pelo Metrô de São Paulo.

A partir das dimensões da construção foi determinado uma circunferência onde, a partir dela, o aquífero estaria rebaixado na profundidade desejada, que é a 21 metros. Esta possui 117 metros de diâmetro e está centrada na construção retangular.

Utilizando dados de sondagem executadas na área, bem como dados piezométricos foi possível caracterizar o aquífero como do tipo confinado com aproximadamente 22 metros , de espessura. A camada confinante é aluvionar, com granulometria argilo-arenosa.

A partir de um ensaio de bombeamento executado na área foi possível determinar a condutividade hidráulica (k), transmissividade (T) e o coeficiente de armazenamento (S) como sendo, respectivamente  $1,31 \times 10^{-5} \frac{m}{s}$ ,  $2,87 \times 10^{-4} \frac{m^2}{s}$ ,  $8,78 \times 10^{-3}$ .

Aplicando as características do aquífero nas equações de rebaixamento, foi possível determinar o raio de influência do rebaixamento em 215 metros e a vazão necessária para realizar o rebaixamento em 232,44m³/h.

A quantidade de bombas foi pré-determinada a partir da vazão total. O pré-dimensionamento ocorreu considerando o uso de 14 bombas com vazão de 30m³/h operando a 55% do seu potencial, ou seja, 16,7 m³/h. Essas bombas estão separadas a 26 metros entre si num padrão retangular com dimensões 104x78 metros.

## 2. ABSTRACT

Dewatering systems are widely used in civil constructions to allow excavations below groundwater surface. This paper presents the geotechnical studies regarding dewatering for a rectangle shaped construction with dimensions of 115x20 meters.

Starting with the construction dimensions was determined a circle where, from its limit the water table is at the desired depth, which is 21 meters. The circle diameter is 117 meters long and is centered in the rectangular construction.

Using drilling and piezometers data it was possible to characterize the aquifer as confined and with, approximately, 22 meters thickness. The confining layer is an alluvional deposit, consisting of sandy clay.

A pumping test was executed at the site. This test allowed the determination of the hydraulic conductivity (k), transmissivity (T) and storage coefficient (S) as, respectively,  $1,31 \times 10^{-5} \frac{m}{s}$ ,  $2,87 \times 10^{-4} \frac{m^2}{s}$ ,  $8,78 \times 10^{-3}$ .

Applying the aquifer characteristics in the dewatering equations made possible the determination the influence radius as 215 meters and the total flow rate as 232,44m<sup>3</sup>/h.

The numbers of pumps was set using the total flow rate. The scaling considered 14 pumps of maximum flow rate of 30m<sup>3</sup>/h operating at a 55% power, 16,7m<sup>3</sup>/h. These pumps are spaced 26 meters between each other in a rectangular 104x78 meters pattern.

### **3. INTRODUÇÃO**

A cidade de São Paulo enfrenta um sério problema de transporte de pessoas, tendo uma vasta frota de carros que geram trânsito e lentidão. Tendo isto em vista, foram realizados investimentos no transporte público para aliviar esta problemática, levando ao início das perfurações em subsolo da Linha 1 Azul do metrô, em 1969, utilizando o método de trincheira.

O método NATM (New Austriac Tunneling Method) foi e vem sendo executado em diversas obras do metrô, como na Linha 4 Amarela e extensão da Linha 1 Azul. Por vezes, essas obras são realizadas em profundidades abaixo do nível d'água, fazendo-se indispensável o rebaixamento do mesmo para permitir a execução do trabalho. Outros tipos de obras também demandam o rebaixamento, quando há escavações abaixo do nível d'água. É o caso de fundações, túneis, instalações de canos subterrâneos, etc.

Tal rebaixamento faz-se necessário para evitar infiltrações durante a realização da obra, que podem ocorrer ao se interceptar o aquífero durante a escavação. Mesmo que a escavação esteja sendo realizada em solos pouco permeáveis, como argilas, ainda é necessário realizar o rebaixamento, para evitar que haja o rompimento e infiltração do solo na base da perfuração. Esse rompimento é gerado pelo aumento da pressão relativa da água, derivado da diminuição do peso do solo, causado pela retirada deste material (Velloso, 1988).

### **4. OBJETIVOS**

Este Trabalho de Formatura tem por objetivo apresentar os estudos geotécnicos envolvidos na realização de um projeto básico de rebaixamento temporário de aquífero utilizando dados do metrô de São Paulo. Também é do escopo do trabalho um pré-dimensionamento do rebaixamento, através de métodos analíticos, para se ter uma estimativa da quantia de bombas a serem utilizadas no projeto executivo.

## **5. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **5.1. Geologia regional**

A Bacia de São Paulo, feição geológica onde se estabelece o objeto de estudo deste trabalho, está inserido no Rift Continental do Sudeste do Brasil (RCSB) (Riccomini, 1989). Este sistema de rifts foi formado sobre as rochas arqueanas a neoproterozóicas do Cinturão Ribeira, constituído de rochas metamórficas de baixo a médio grau, migmatitos e gnaisses (Almeida et al. 1973). Essas rochas foram cisalhadas ductilmente por zonas de cisalhamento orientadas de ENE a E-W (Sadowski & Motidome, 1987) durante o Ciclo Brasileiro (Riccomini et al, 2004). Foi durante a Reativação Wealdeniana (Almeida, 1967), onde houve abertura do Oceano Atlântico, que reativou falhas e zonas de fraquezas, que foi formado o RCSB.

Limitada a norte pela zona de cisalhamento Taxaquara-Jaguari, a sul por contato irregular e leste-oeste por elevações no embasamento (Cozzolino, 1996), a Bacia de São Paulo é interpretada como um hemigráben orientado a ENE e rotacionado para NNW. Este hemigráben foi preenchido por depósitos terciários e quaternários (Riccomini, 1989).

#### **5.1.1. Embasamento Pré-Cambriano**

O embasamento da Bacia de São Paulo consiste de rochas ígneas e metamórficas do Complexo Embu, Grupo São Roque, Serra do Itaberaba, Granitóides intrusivos, Complexo Costeiro, Complexo Pico do Papagaio, Nappe Socorro-Guaxupé e Grupo Votuverava (Figura 1). Como o escopo deste trabalho de formatura está na cidade de São Paulo, não será feita uma revisão bibliográfica das rochas que não afloram na RMSP (Complexo Costeiro, Pico do Papagaio e Nappe Socorro-Guaxupé).

#### **i. Complexo Embu**

Fernandes (1991) dividiu o Complexo Embu em três unidades, sendo estas: Unidade Redenção da Serra; Unidade Rio Paraibuna; Unidade Rio Una.

A Unidade Redenção da Serra é constituída por granada-sillimanita-biotita gnaisses e biotita gnaisses de composição granodiorítica a tonalítica com associações a anfíbolitos e a rochas calciossilicáticas (Fernandes, 1991).

As rochas da Unidade Rio Paraibuna são muito semelhantes às da Unidade Redenção da Serra, se diferenciando pela existência de camadas métricas de quartzitos intercaladas com

camadas também métricas de rochas calciossilicáticas. As rochas representantes dessa unidade são granada-sillimanita-biotita xisto e biotita gnaisses tonalito-granodioríticos (Fernandes, 1991).

As rochas da Unidade Rio Una são xistos com composição variando entre micáceo e quartzoso, intercalando-se em camadas métricas a decimétricas. Estes possuem granulação fina e mineralogia composta essencialmente por muscovita, quartzo e biotita, podendo aparecer em quantidade inexpressiva sillimanita, granada, feldspato e turmalina.

## **ii. Grupo São Roque e Serra do Itaberaba**

Segundo Rodriguez (1998), os Grupos São Roque e Serra do Itaberaba são representados pelas seguintes rochas metassedimentares e metavulcânicas: metarenitos, filitos, quartzitos, anfibolitos, metacalcários, xistos, metacalcários.

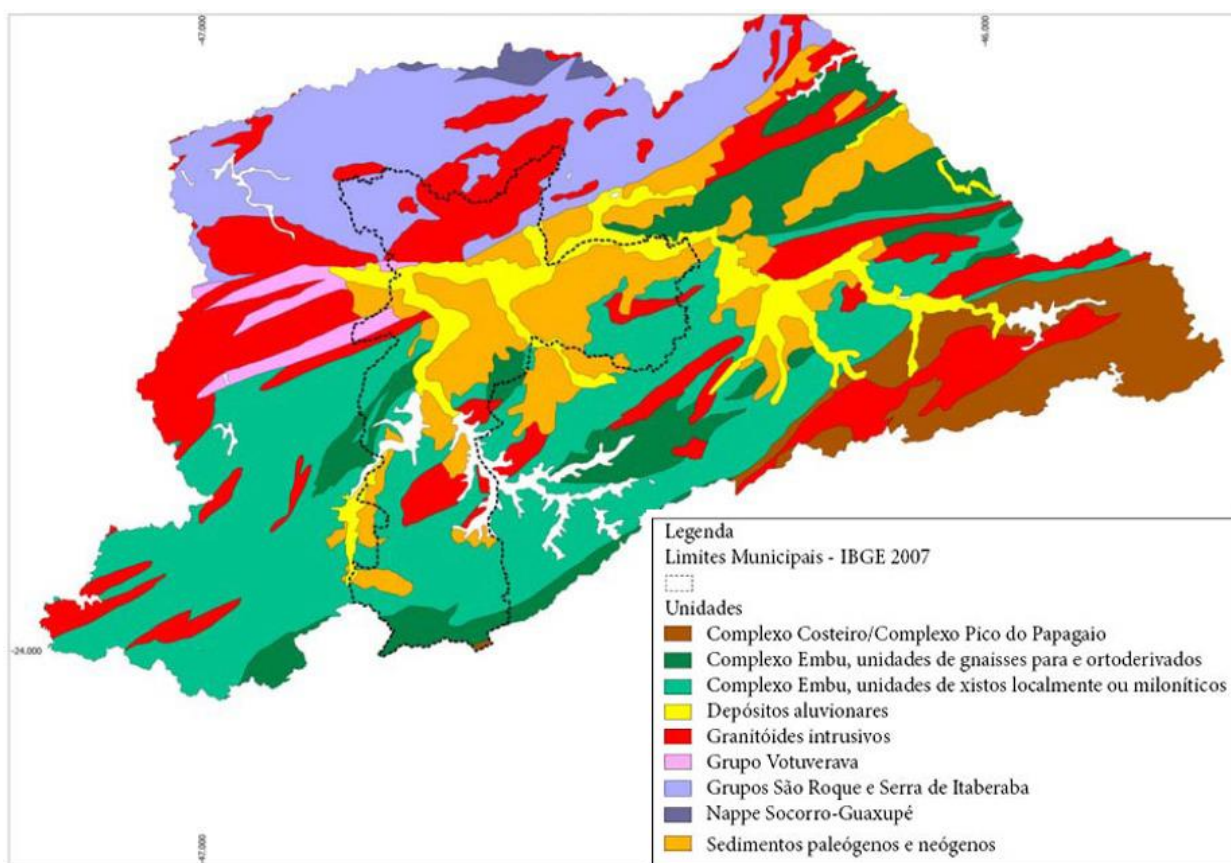
Bergmann (1998) informa que o ambiente de deposição ocorreu num mar raso com atividade vulcânica subaquosa restrita, numa bacia de retro arco. Um contato tectônico coloca acima as rochas do Grupo São Roque sobre as rochas do Grupo Serra do Itaberaba (Juliani & Beljavskis, 1995).

## **iii. Grupo Votuverava**

O Grupo Votuverava é constituído por metaconglomerados polimíticos, metarenitos lenticulares e metassiltitos maciços a muito foliados com alternância de argilitos (Perrota et al., 2005). Este grupo está encaixado no Granito Itapevi, a oeste da RMSP.

## **iv. Granitoides intrusivos**

Granitoides são presentes na RMSP na forma de “stocks” e batólitos. Segundo Juliani (1992), essas rochas possuem composição variando de granítica a tonalítica e apresentam-se foliadas e com bordas associadas a zonas de falha.



**Figura 1:** Mapa geológico da Região Metropolitana de São Paulo dando enfoque para o embasamento pré-cambriano. Modificado de Monteiro, 2012.

### 5.1.2. Preenchimento sedimentar

O preenchimento da Bacia de São Paulo consiste em sedimentos do Grupo Taubaté e da Formação Itaquaquecetuba, de idade terciária, bem como coberturas quaternárias. A figura 2, extraída de Riccomini et al, 2004, ilustra a litoestratigrafia das rochas do RCSB.

#### i. Grupo Taubaté

O Grupo Taubaté é representado pela Formação Resende, Formação Tremembé e Formação São Paulo.

A Formação Resende corresponde a depósitos fluviais entrelaçados, tendo como litologias representantes orto e para conglomerados, situados nas áreas proximais dos leques aluviais. Nas áreas mais distantes do leque aluvial encontram-se arenitos esverdeados e lamitos arenosos (Riccomini et al, 2004).

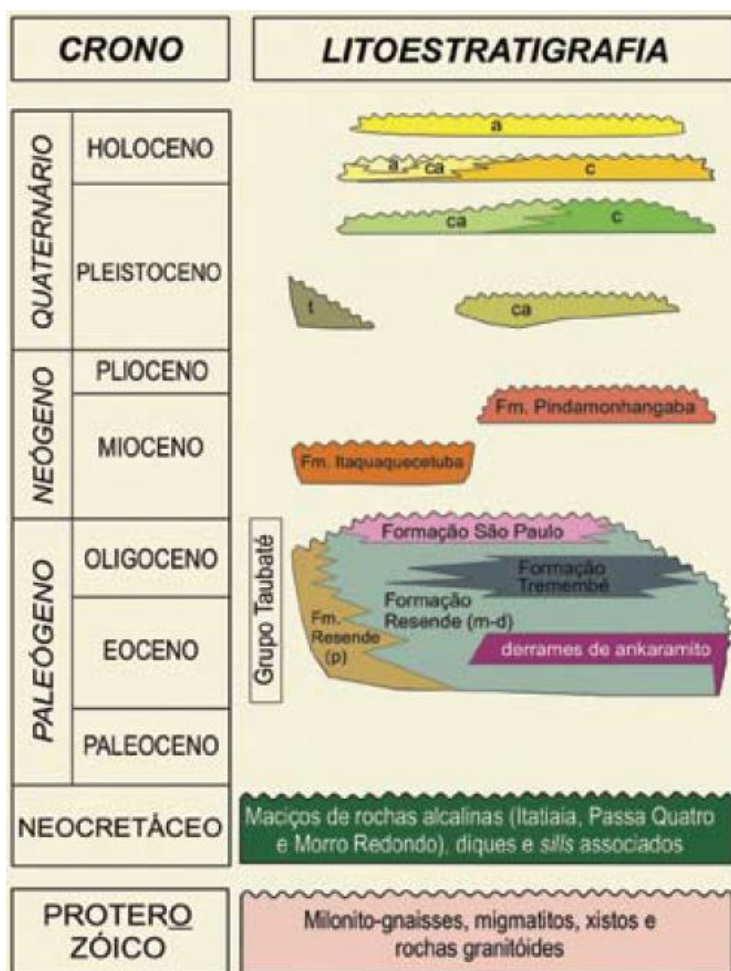


A Formação Tremembé é um paleolago, consistindo de argilitos cinza-escuros a pretos, com muita matéria orgânica intercalados com argilitos maciços verdes, sendo ambas camadas tabulares com espessuras decimétricas (Riccomini & Coimbra, 1992).

A Formação São Paulo é formada por depósitos fluviais de rios meandantes, sendo representativos na Bacia de São Paulo arenitos médios a grossos e, arenitos conglomeráticos com estratificação cruzada.

## ii. Formação Itaquaquecetuba

A Formação Itaquaquecetuba está em contato direto com o embasamento. Esta consiste num sistema fluvial entrelaçado, sendo representada por arenitos arcoseanos com estratificação cruzada acanalada e conglomerados na base (Riccomini, 1989; Coimbra et al. 1983).



**Figura 2:** Litoestratigrafia das rochas do Rift Continental do Sudeste do Brasil. Modificado de Riccomini et al., 2004.

### 5.1.3. Comportamento Geotécnico da Bacia de São Paulo

Gurgueira (2013) apresentou, a partir da compilação de dados de sondagem, o comportamento geotécnico das principais unidades constituintes dos solos da bacia de São Paulo.

A autora dividiu os sedimentos da Bacia Sedimentar de São Paulo nas seguintes unidades.

- Aterro (AT)

Aterros são depósitos de origem antrópica, consistindo de solos de outros locais transportados para o terreno para diversos objetivos como, por exemplo, nivelamento do terreno.

Assim sendo, as características geotécnicas desse material são extremamente variadas, podendo variar desde argilas siltosas a areias siltosas. Os valores de NSPT são diversos, e podem ocorrer presença de fragmentos de rocha (brita, geralmente), restos vegetais, restos antrópicos (plástico, cordas, etc), entre outros.

- Aluviões

Gurgueira (2013) dividiu os aluviões em 2 tipos, os atribuindo as seguintes designações: *Alag* e *Alar*.

*Alag* são depósitos decorrentes da planície de inundação de um rio meandrante ou de “chifres de boi”. São constituídos por argilas ricas em matéria orgânica, tendo coloração preta a cinza escura e compactidade mole a muito mole (NSPT de 0 a 5).

*Alar* consistem de areias e cascalhos de coloração amarelo a cinza, compactidade fofa a pouco compacto (NSTP de 0 a 8) podendo chegar a muito compacto (NSPT>40) em partes ricas em cascalho. A gênese do *Alar* é resultado de depósitos fluviais dos canais meandrantess.

- Formação São Paulo

Divididos em *SPal*, *SPag* e *SPar*.

*SPal* corresponde a argilas siltosas vermelhas a vermelho-amareladas. Na parte superior o valor de NSPT é baixo, sendo abaixo de 5 (mole a muito mole) e, conforme se aumenta a profundidade, este valor, geralmente, aumenta, chegando a valores próximos de 11 (médio) na parte mais basal.

*SPag* é composto por argilitos e lamitos argilosos de coloração variegada, compactidade variando de mole a duro (NSPT de 3 a 49), tendo sido formado em planície de inundação de rios meandrantess ou “chifres de boi”.

*Spar* corresponde a arenitos e conglomerados com coloração variada (amarelo, roxo, cinza ou vermelho), compactidade pouco compacto a compacto (NSPT de 5 a 39), chegando a muito compacto em camadas com muito cascalho. O *SPar* possui, geralmente, baixa coesão e alta permeabilidade. Estes foram formados por depósitos de rompimento de dique marginal de rio meandrante ou do próprio canal do rio.

- Formação Resende

As *RS/p* são representadas por brechas e diamictitos, com baixa seleção dos grãos e presença de fragmentos do embasamento. Sua matriz é de lama, com ambiente de formação em leques aluviais proximais. Estes possuem coloração cinza esverdeada, marrom e vermelho e compactidade variando de fofa a muito compacto (NSPT de 4 até <40).

Argilitos e lamitos argilosos a arenosos correspondem a *RS/d*. Estes foram formados em leques aluviais medianos a distais. A coloração é semelhante a do *RS/p*, tendo cor cinza esverdeada, marrom, cinza e vermelha e compactidade variando de fofo a muito compacto (NSPT de 4 até <40)

Por fim, se tem a *RSe/l*, representado por arenitos e conglomerados amarelos ou cinzas formados por canais de rios entrelaçados. Sua compactidade varia de pouco compacto a compacto (NSPT de 5 a 40).

Gurgueira (2013) também resumiu os parâmetros geotécnicos médios de cada unidade em função do seu NSPT, conforme compilação de dados das investigações realizadas pelo Metrô. A tabela 1 a seguir ilustra a correlação de cada litologia com seus parâmetros geotécnicos médios.

**Tabela 1:** Correlação entre as unidades geológicas com seus parâmetros geotécnicos. Legenda: NSPT,  $\gamma$  (peso específico),  $c'$  (coesão efetiva),  $\phi$  (ângulo de atrito),  $K_0$  (coeficiente de empuxo em repouso),  $K_h$  (coeficiente de apoio elástico horizontal),  $E$  (módulo de elasticidade),  $K$  (coeficiente de permeabilidade). Extraído de Gurgueira, 2013.

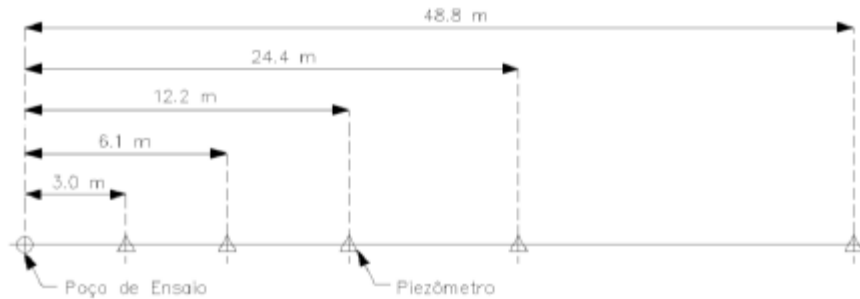
Unidade	Nspt	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	$c'$ (kN/m <sup>2</sup> )	$\phi'$ (°)	$K_0$	$K_h$	$E$	$k$ (cm/s)
ALag	0 a 4	16,0	8	20	0,83	2,08	3,2	$10^{-5}$ a $10^{-4}$
ALar	1 a 9	17,0	5	28	0,73	5,20	8,0	$10^{-3}$ a $5 \cdot 10^{-3}$
SPal	2 a 4	15,0	20	27	0,60	3,90	6,0	$5 \cdot 10^{-4}$
	5 a 10	16,0	20	27	0,60	9,75	15,0	$5 \cdot 10^{-4}$
	> 10	18,0	40	25	0,60	19,50	30,0	$5 \cdot 10^{-4}$
SPag	3 a 5	17,0	25	27	0,90	5,20	8,0	$5 \cdot 10^{-4}$
	5 a 8	18,0	30	25	0,90	9,75	15,0	$5 \cdot 10^{-4}$
	8 a 12	19,0	40	24	0,90	13,00	20,0	$5 \cdot 10^{-4}$
	12 a 18	20,0	50	23	0,90	19,50	30,0	$5 \cdot 10^{-4}$
	18 a 25	20,0	75	22	0,80	29,25	45,0	$5 \cdot 10^{-4}$
	25 a 40	20,0	100	21	0,80	42,25	65,0	$5 \cdot 10^{-4}$
	> 40	20,0	150	20	0,80	65,00	100,0	$5 \cdot 10^{-4}$
SPar	5 a 10	19,0	3	30	0,80	6,50	10,0	$10^{-4}$ a $10^{-3}$
	10 a 20	19,0	3	32	0,80	19,50	30,0	$10^{-4}$ a $10^{-3}$
	> 20	19,0	3	35	0,80	32,50	50,0	$10^{-4}$ a $10^{-3}$
RSel	5 a 10	19,0	5	30	0,80	9,75	15,0	$10^{-4}$ a $10^{-2}$
	10 a 20	20,0	5	32	0,80	19,50	30,0	$10^{-4}$ a $10^{-2}$
	> 20	20,6	5	35	0,80	32,50	50,0	$10^{-4}$ a $10^{-2}$
RSld e Ip	3 a 5	19,0	25	27	0,80	5,20	8,0	$10^{-7}$ a $10^{-6}$
	5 a 8	19,5	30	25	0,80	9,75	15,0	$10^{-7}$ a $10^{-6}$
	8 a 12	20,0	40	24	0,80	13,00	20,0	$10^{-7}$ a $10^{-6}$
	12 a 18	20,5	50	23	0,80	19,50	30,0	$10^{-7}$ a $10^{-6}$
	18 a 25	21,0	75	22	0,80	29,25	45,0	$10^{-7}$ a $10^{-6}$
	25 a 40	21,5	100	21	0,80	42,25	65,0	$10^{-7}$ a $10^{-6}$
	>40	21,5	150	20	0,80	65,00	100,0	$10^{-7}$

## 5.2. Rebaixamento de lençol d'água

As obras de engenharia subterrâneas frequentemente necessitam rebaixar o aquífero para realizar a construção em terreno seco, para evitar desmoronamentos devido a pressões d'água subjacentes, entre outros. Para realizar esse rebaixamento é necessário a definição de alguns parâmetros que estão explicitados abaixo.

### 5.2.1. Ensaio de bombeamento

O ensaio de bombeamento consiste na remoção da água de um poço a uma vazão contínua e conhecida, fazendo medições do nível d'água com o decorrer do teste. Piezômetros devem estar instalados a distâncias pré-determinadas, a fim de observar a resposta do gradiente hidráulico no decorrer do teste (figura 3).



**Figura 3:** Distribuição espacial de piezômetros para um teste de bombeamento. Extraído de Parra(2014).

Powers et al. (2007) recomenda que a vazão do bombeamento seja tal que não exceda a capacidade do poço, mas seja suficiente para gerar uma resposta no aquífero, para que não ocorram superestimações da transmissividade e permeabilidade do aquífero.

O ensaio deve durar o suficiente para ser possível extrair todas as informações possíveis. Walton (1970) recomenda que o ensaio deva durar, no mínimo, o tempo estimado pela equação 1:

$$t_{se} = \frac{0,209r^2S}{T} \quad \text{Eq. 1}$$

Sendo:

$t_{se}$  Tempo mínimo de ensaio

S Coeficiente de armazenamento

$r^2$  Distância em metros ao poço de observação

T Transmissividade

Terminado o ensaio, anota-se a recuperação do aquífero, para determinar se a água recuperada é proveniente de uma fonte de recarga ou estava armazenada no aquífero (*delayed water*).

Analisando os dados do ensaio de bombeamento é possível a obtenção da transmissividade (T) e do coeficiente de armazenamento(S). A transmissividade consiste na facilidade da água passar por um aquífero. Já o coeficiente de armazenamento é a quantidade de água que o aquífero libera do seu armazenamento (Freeze & Cherry, 1979).

Num aquífero confinado, a transmissividade T pode ser determinada pela equação 2:

$$T = K.B \quad \text{Eq. 2}$$

Sendo,

K Condutividade hidráulica

B Espessura do aquífero

Essa mesma equação pode ser válida para aquíferos livres, utilizando como valor de B a profundidade saturada do aquífero. No entanto, em aquíferos livres a transmissividade não é tão bem definida quanto em um aquífero confinado (Freeze & Cherry, 1979).

- Método de Cooper e Jacob (1946)

A transmissividade também pode ser determinada pela inclinação da reta do gráfico rebaixamento x tempo (figura 4), pelo método de Cooper e Jacob (1946), com o tempo em escala logarítmica. A inclinação é proporcional à transmissividade e a vazão “Q” da bomba, como mostra a equação 3 (Todd e Mays, 2005).

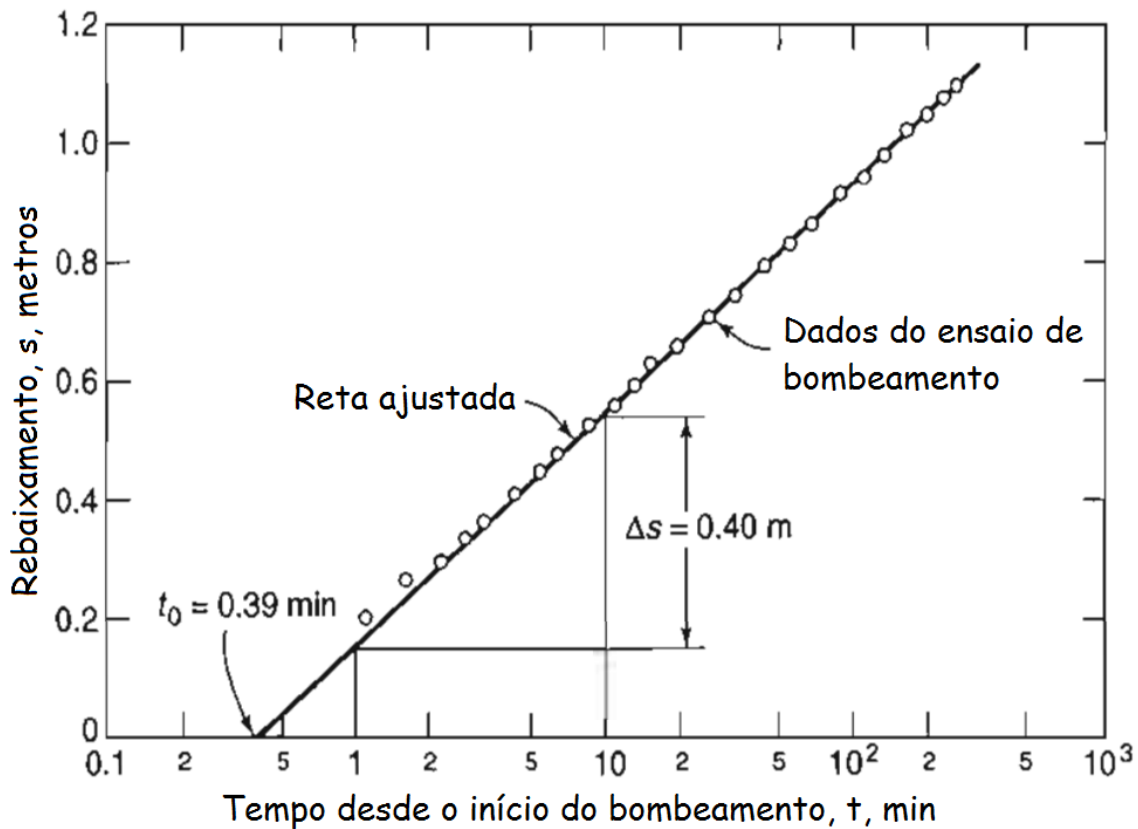
$$T = \frac{2.30Q}{4\pi\Delta s} \quad \text{Eq. 3}$$

Sendo,

T Transmissividade

Q Vazão da bomba

$\Delta s$  Diferença entre nível d’água por ciclo logarítmico



**Figura 4:** Gráfico rebaixamento x tempo para tratamento de dados do ensaio de bombeamento. Modificado de Todd e Mays, 2005.

Esse mesmo gráfico pode determinar o valor do coeficiente de armazenamento do aquífero. Estendendo a reta ajustada, chegamos a um tempo  $t_0$ , que representa o tempo onde não há rebaixamento. Aplicando esse valor na equação 4 abaixo, podemos obter o valor do coeficiente de armazenamento (Todd e Mays, 2005).

$$S = \frac{2.25Tt_0}{r^2} \quad \text{Eq. 4}$$

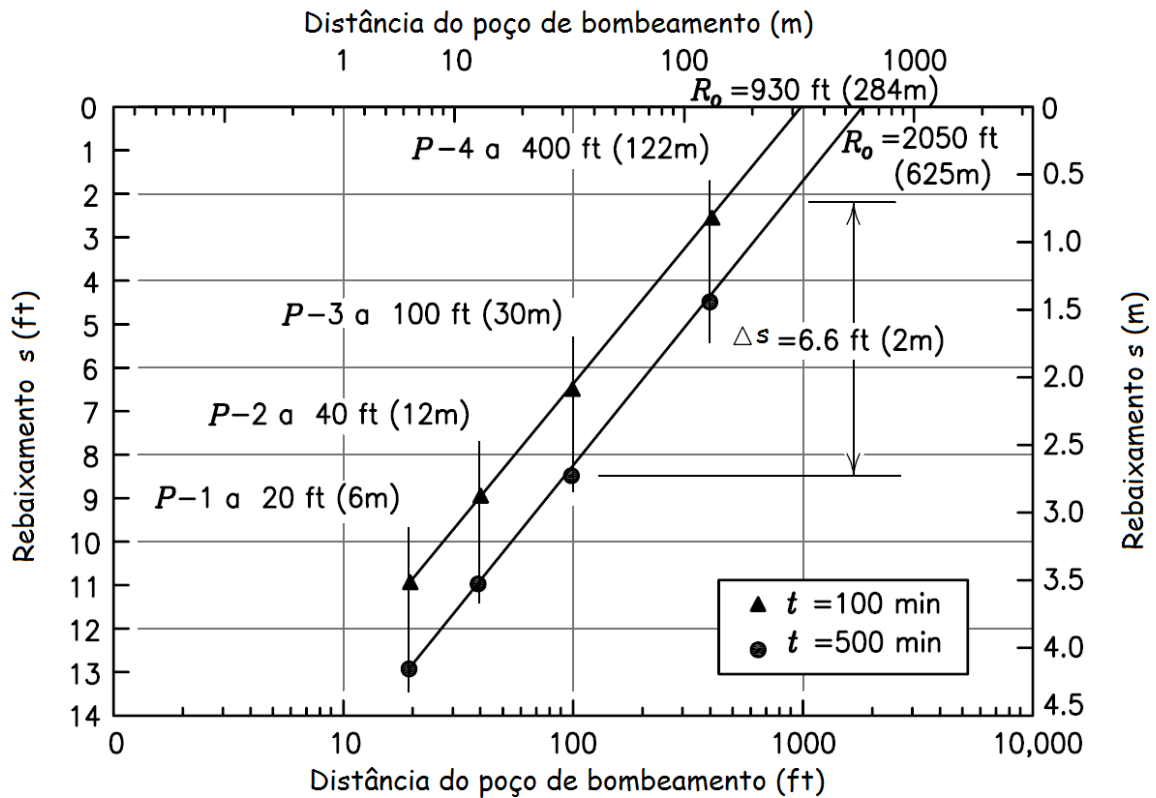
Sendo,

S Coeficiente de armazenamento     $r^2$  Distância do piezômetro do centro da bomba

T Transmissividade     $t_0$  Tempo de intercepto zero da reta ajustada

- Método das distâncias de Cooper e Jacob (1946)

O método de Cooper e Jacob (1946) também pode ser aplicado em um gráfico rebaixamento x distância (figura 5), realizando algumas alterações nas equações. Neste gráfico, plota-se o rebaixamento total observado “s” nos piezômetros e poço de bombeamento no tempo “t”, assim como as distâncias destes instrumentos ao poço de bombeamento.



**Figura 5:** Gráfico rebaixamento x distância para tratamento de dados do ensaio de bombeamento. Modificado de Powers et al., 2007.

Neste método, as equações para cálculo da transmissividade e do coeficiente de armazenamento são:

$$T = \frac{1.15Q}{\pi \Delta s} \quad \text{Eq. 5}$$



$$S = \frac{2.25Tt}{R_0} \quad \text{Eq. 6}$$

Sendo,

S Coeficiente de armazenamento

$R_0$  Raio de influência do rebaixamento

T Transmissividade

Q Vazão da bomba

t Tempo

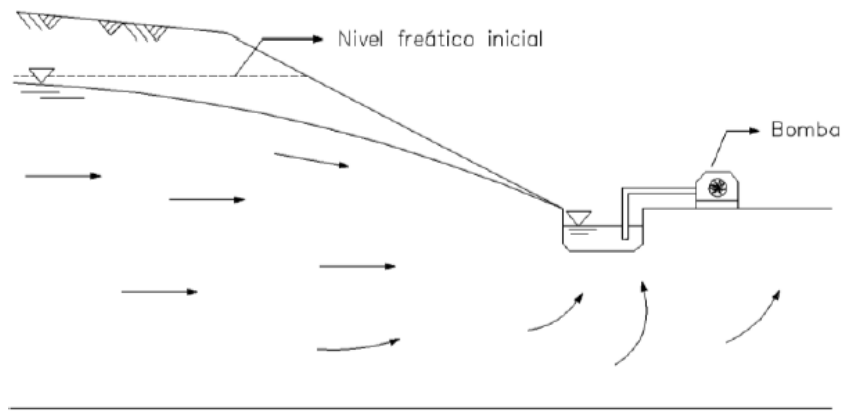
Powers et al (2007) recomenda a utilização de ambos os métodos para comparar os valores obtidos em cada um deles e fornecer maior robustez aos valores calculados, além de fornecer uma ideia do comportamento do aquífero, uma vez que aquíferos ideais possuem valores idênticos para ambos os métodos.

### 5.2.2. Sistemas de rebaixamento de lençol d'água

O rebaixamento temporário de aquíferos pode ocorrer utilizando diversos equipamentos. Neste trabalho de formatura serão citados apenas 3 destes, os quais serão analisados para dimensionar o rebaixamento da forma mais eficaz e eficiente na área de estudo.

- **Bombeamento direto**

O bombeamento direto consiste na abertura de valas no entorno do local a ser rebaixado e bombear a água presente nas valas (figura 6). Caso haja construções no entorno, pode ser necessário a utilização, também, de bombas de recalque, que recarregam o aquífero, impedindo recalques nos edifícios adjacentes. (Alonso, 1999)

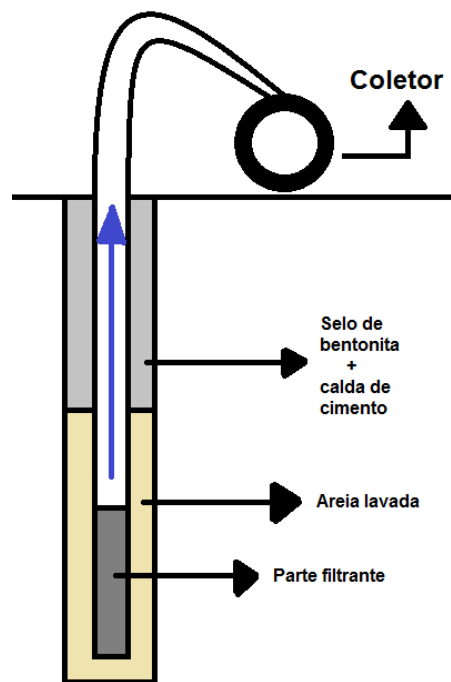


**Figura 6:** Desenho esquemático ilustrando o método de bombeamento direto. Extraído de Parra(2014)

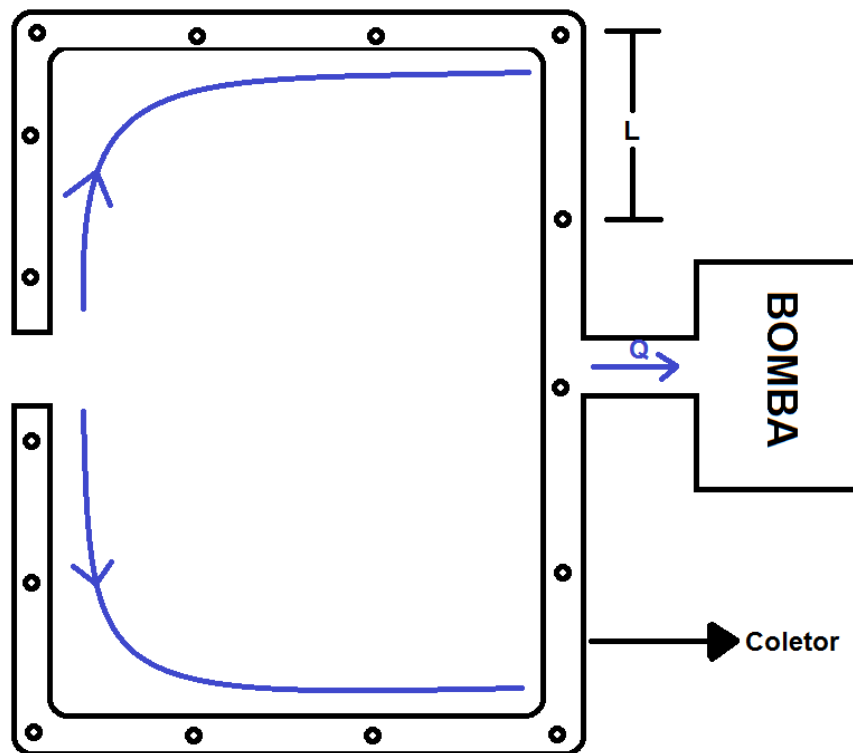
- **Ponteira filtrante**

As ponteiros filtrantes (figura 7) são tubos de PVC de 1 ½" perfuradas ou ranhuradas, em locais estratégicos, e envolvidas por tela de nylon ou geotêxtil ligadas a um tubo coletor principal conectado a uma bomba de vácuo (figura 8) (Alonso, 1999). Ao se instalar as ponteiros é necessário envolvê-las por um pré-filtro de areia lavada, na parte filtrante, e na parte não filtrante preencher com bentonita e calda de cimento.

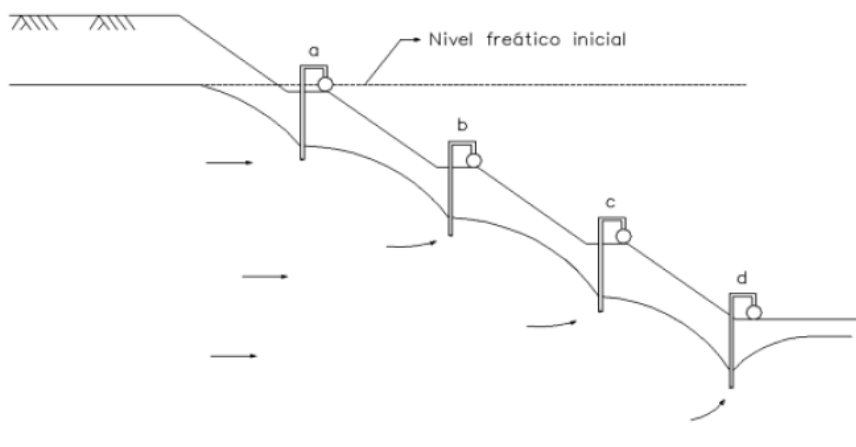
Powers et al. (2007) ressalta que o rebaixamento máximo deste sistema é de 5 a 6 metros com relação ao nível d'água inicial. Caso se deseje rebaixar mais que esse limite, deve-se realizar o rebaixamento em diversos estágios, como mostra a figura 9.



**Figura 7:** Desenho esquemático de instalação de uma ponteira filtrante.



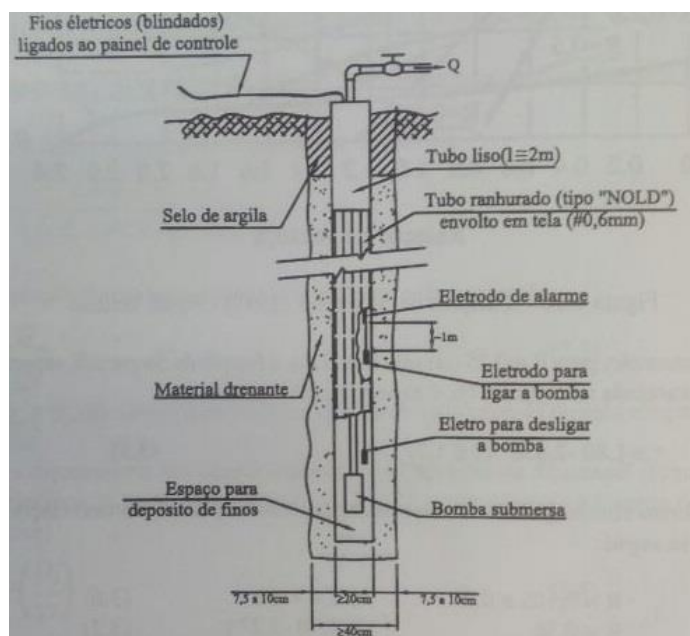
**Figura 8:** Desenho esquemático mostrando a instalação de um sistema de ponteiras filtrantes em planta.



**Figura 9:** Desenho esquemático ilustrando rebaixamento de aquífero com diversos estágios. Extraído de Parra, 2014

- **Bomba submersa**

O sistema utilizando bombas submersas consiste em bombas instaladas (figura 10) no fundo de um tubo filtro. Esse sistema possui sensores que ligam e desligam o funcionamento da bomba, conforme o nível d'água. Caso o N.A esteja acima do sensor, a bomba é acionada, caso contrário, o bombeamento é paralisado.



**Figura 10:** Desenho esquemático com bomba submersa instalada em fundo de poço. Extraído de Alonso(1999).

### 5.2.3. Cuidados prévios à execução do rebaixamento

Ao ser realizado o rebaixamento temporário de aquíferos granulares, é necessário se atentar à formação de efeitos chamados por Alonso (1999) de areia movediça e ruptura de fundo.

O efeito de “areia movediça”, ocorre quando o peso do solo é menor que a pressão d’água exercida. Para se determinar a pressão d’água ( $F_p$ ) deve-se realizar leituras em piezômetros ou aplicar a equação 3 no ponto desejado.

$$F_p = i \cdot \gamma_w \quad \text{Eq. 7}$$

Onde  $i$  representa o gradiente hidráulico e  $\gamma_w$  o peso específico da água.

O peso do solo ( $P_s$ ) pode ser determinado analogamente à pressão d’água, como mostra a equação 4.

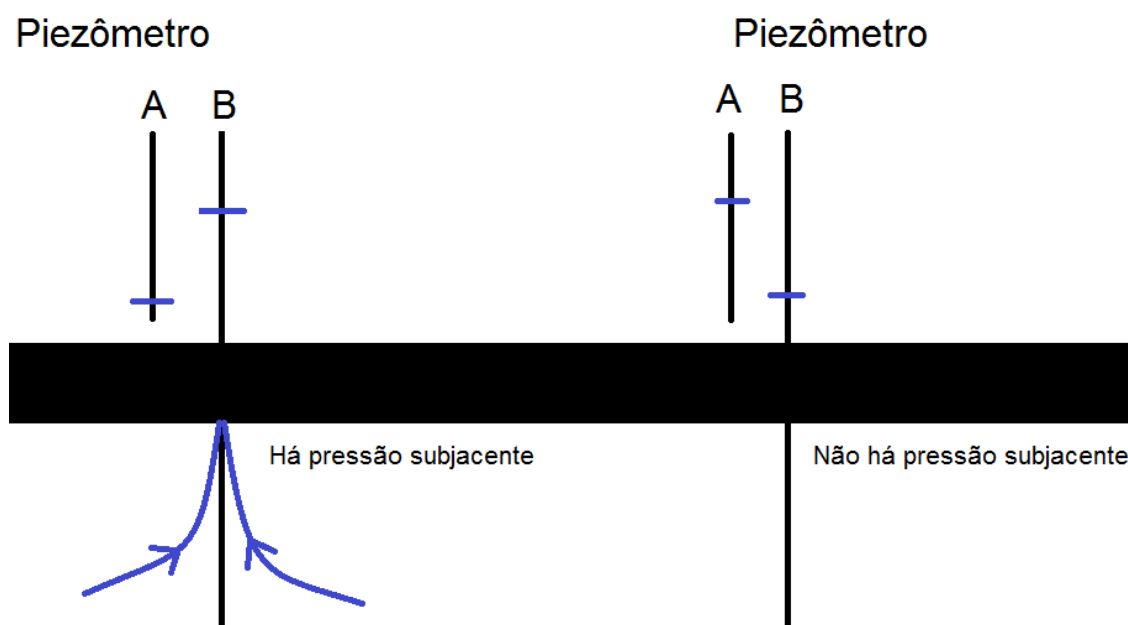
$$P_s = h \cdot \gamma_s \quad \text{Eq. 8}$$

Onde  $h$  representa a profundidade e  $\gamma_s$  o peso específico do solo.

Caso exista algum local onde  $P_s < F_p$ , deve-se remediar o efeito aumentando a pressão no local ou diminuindo o gradiente hidráulico. Um exemplo de remediação desse efeito seria o aumento da pressão do solo, depositando mais solo no local.

A ruptura de fundo ocorre em virtude da existência de pressões subjacentes, que são pressões d’água que atuam de “baixo para cima” em camadas impermeáveis. Como a camada impermeável atua como uma barreira para a água ascendente, esta começa a ser erodida, até a pressão romper a camada. Para evitar a ocorrência desse fenômeno, são adicionados drenos de alívio, que são furos que conectam a camada impermeável com as permeáveis, aliviando a pressão.

Para determinar se esse efeito irá ocorrer, deve-se instalar dois piezômetros, um acima da camada impermeável (piezômetro “a”) e outro abaixo (piezômetro “b”). Quando a altura d’água no piezômetro “b” for maior que a do piezômetro “a”, pode ocorrer ruptura de fundo (Figura 11).



**Figura 11:** Desenho esquemático mostrando casos onde ocorrem ou não pressão subjacente. Os traços em azul no piezômetro indicam a altura d'água no instrumento.

#### 5.2.4. Cálculo do rebaixamento

Segundo Velloso (1988), para se calcular o rebaixamento do aquífero pode-se utilizar três métodos diferentes, dependendo apenas do seu objetivo: rebaixamento circular, linear ou um rebaixamento geral.

O rebaixamento circular é utilizado para áreas com pequenas dimensões em planta, disponibilizando a locação dos poços de rebaixamento em sistemas circulares (diversos poços dispostos formando um círculo em planta) ou sistemas quadrados ou retangulares (poços dispostos formando um quadrado ou retângulo em planta).

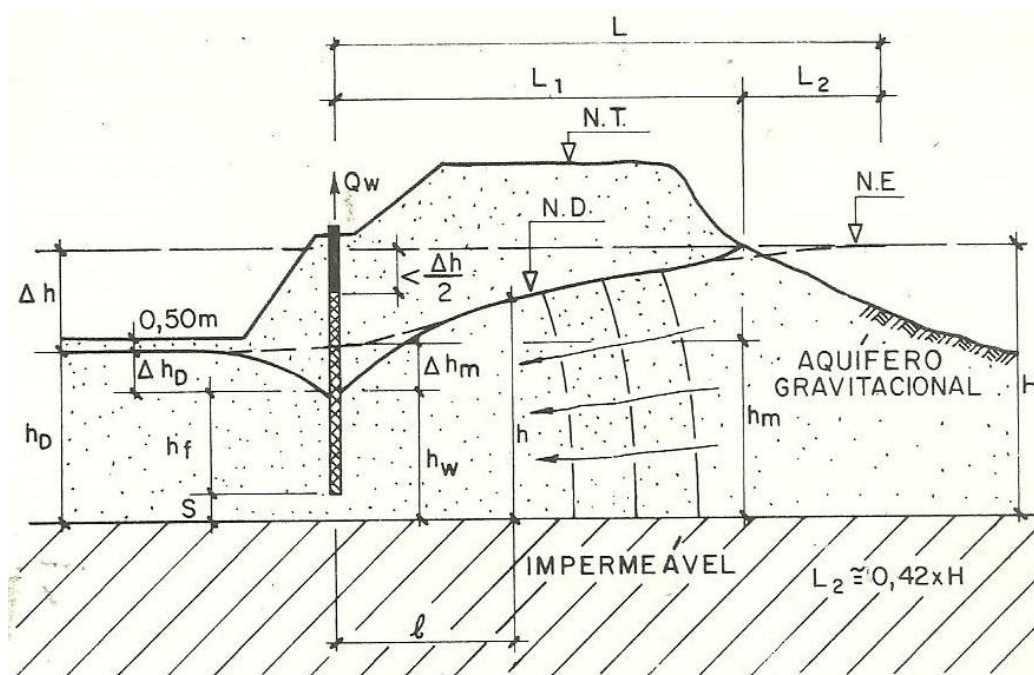
O rebaixamento linear consiste na disposição dos poços de rebaixamento em duas linhas, uma de cada lado de uma escavação longa com pequena largura. Este é o caso de túneis e escavações metroviárias, por exemplo.

Já o rebaixamento geral é utilizado quando não é possível alocar os poços numa geometria circular ou linear, tendo os poços dispostos numa malha irregular.

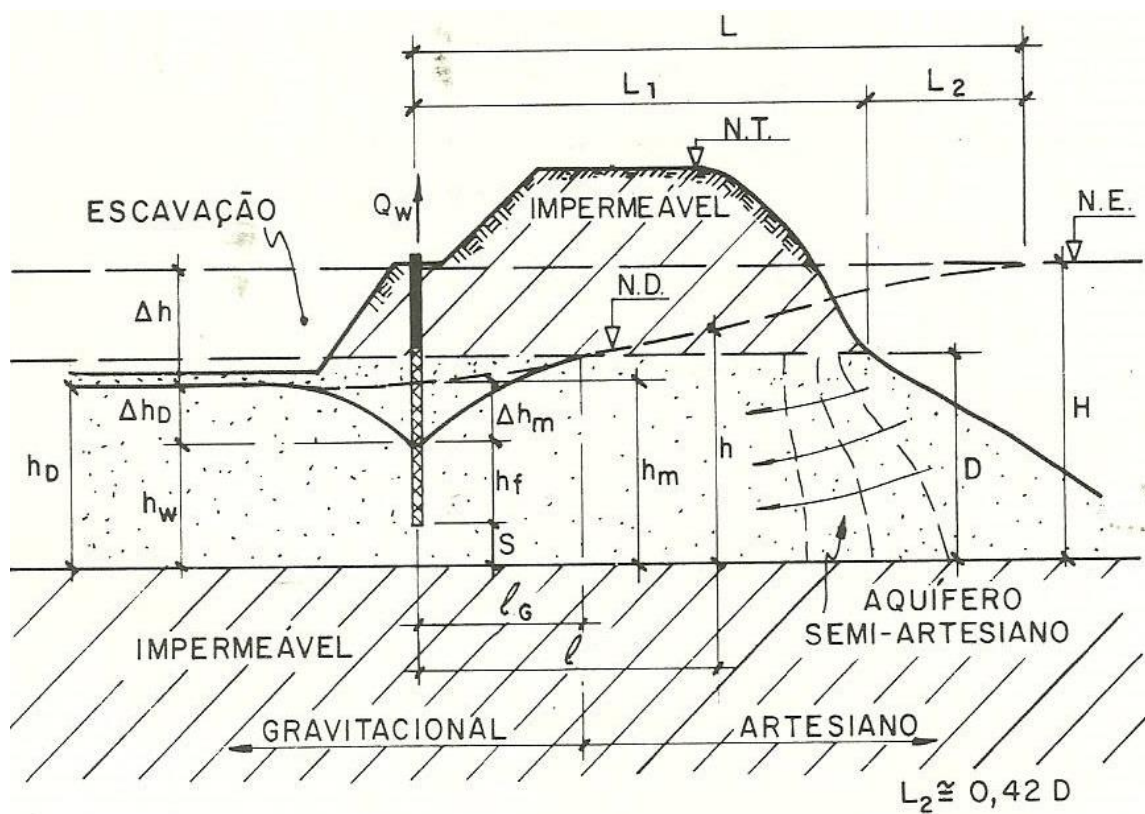
A definição do tipo de aquífero a ser rebaixado é de suma importância para realizar os cálculos corretamente, uma vez que as fórmulas matemáticas são diferentes em cada caso.

[illegible]

24



**Figura 13:** Desenho esquemático de um aquífero gravitacional. É notável que o nível estático (N.E) encontra-se na camada permeável. Extraído de Velloso, 1988.



**Figura 14:** Desenho esquemático de um aquífero semi-artesiano. O nível estático passa tanto na camada permeável como impermeável. Extraído de Velloso, 1988.

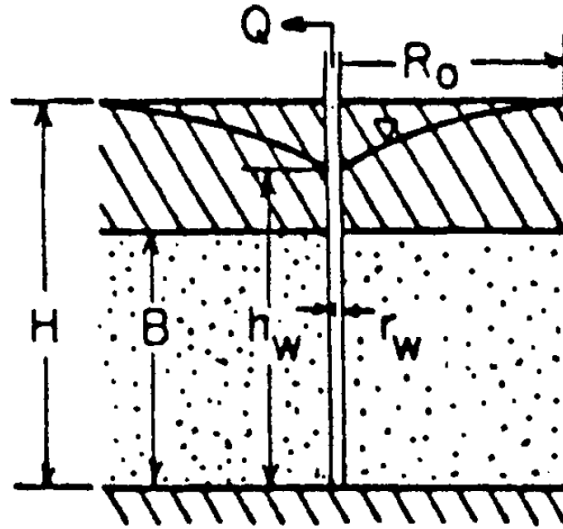


Como o aquífero a ser rebaixado é artesiano, apenas fórmulas de rebaixamento circular de aquíferos dessa natureza serão consideradas (Alonso, 1999).

É necessário ressaltar que para essas equações serem válidas, algumas simplificações devem ser feitas, ou seja, considerar o aquífero como o ideal. Está sendo considerado como ideal segundo Jacob (1950), onde o aquífero se estende horizontalmente em todas as direções; com espessura aproximadamente constante; a sua água de armazenamento é liberada instantaneamente quando bombeada; é isotrópico (condutividade hidráulica é a mesma em todas as direções); o poço de bombeamento é totalmente penetrante, sem atrito e de diâmetro muito pequeno; o ensaio de bombeamento deve durar no mínimo um período de tempo igual a  $t_{se}$  (equação 1) (Powers et al., 2007).

A figura 15 ilustra as variáveis consideradas no cálculo do rebaixamento em aquíferos confinados. Estas variáveis são:

$R_0$	Raio de influência do rebaixamento	$r_w$	Diâmetro do poço
$H$	Altura piezométrica sem influência do rebaixamento	$h$	Altura da superfície piezométrica a uma distância $r$
$h_w$	Altura d'água no poço, durante o bombeamento	$r$	Distância aleatória do poço
$k$	Condutividade hidráulica	$Q$	Vazão de extração de água
$B$	Espessura do aquífero		



**Figura 15:** Configuração no espaço, durante o bombeamento, das variáveis utilizadas no cálculo do rebaixamento para aquífero confinado. Extraído de Powers et al., 2007.

Segundo Powers et al. (2007), a equação que possibilita realizar uma estimativa da vazão “Q” necessária para rebaixar o aquífero a uma profundidade de  $H - h_w$  é:

$$Q = \frac{2\pi k B (H - h_w)}{\ln\left(\frac{R_0}{r_w}\right)} \quad \text{Eq. 9}$$

Como fator de segurança, Alonso (1999) recomenda que ocorra uma majoração de 10% na vazão calculada.

Para se determinar a altura d’água “h” a uma distância arbitrária “r” do poço de bombeamento, temos:

$$H - h = \frac{Q}{2k\pi B} \ln\left(\frac{R_0}{r}\right) \quad \text{Eq.10}$$

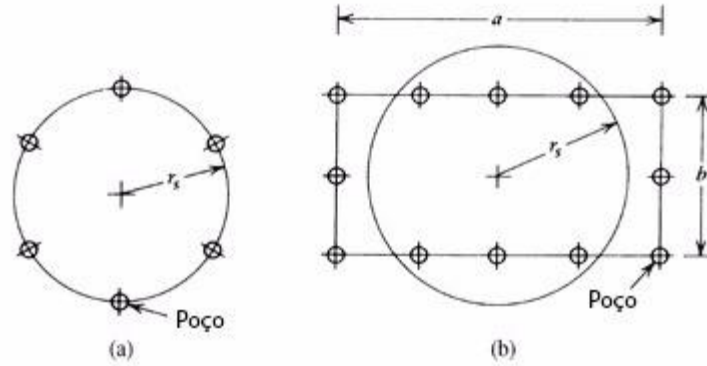
O raio de influência do bombeamento  $R_0$  pode ser determinado por testes de bombeamentos e aproximações matemáticas. No entanto, o teste de bombeamento realizado nesta fase inicial do projeto (projeto básico), foi executado numa local diferente da área a de fato ser rebaixado,

este valor de será estimado matematicamente pela equação 5. Ressalta-se que a equação considera que não há recarga no aquífero e que o mesmo é ideal (Powers et al.,2007).

$$R_0 = 3000(H - h_w)\sqrt{k} \quad \text{Eq. 11}$$

- **Rebaixamento considerando um conjunto de poços**

Na utilização de mais de um poço extraíndo água do aquífero, é comum considerar os diversos poços como apenas um poço maior (figura 16) que representa o efeito que seria gerado pelos “n” poços.



**Figura 16:** Arranjo circular (a) e retangular (b) gerando um poço equivalente de raio  $r_s$ . Modificado de Powers et al. (2007).

Este método é mais preciso em sistemas circulares, onde a malha de poços está disposta a uma mesma distância de um ponto central e com distância entre si iguais. No entanto, é possível assumir esse mesmo comportamento para sistemas retangulares, formando um poço equivalente de raio  $r_s$  segundo as equações que seguem. Para tal, é necessário que a proporção “a/b” seja menor que 1,5; que  $R_0$  seja maior que  $r_s$  e que os poços não estejam muito espaçados (Powers et al., 2007).

$$r_s = \frac{a + b}{\pi} \quad \text{Eq. 12}$$

### 5.3. Ensaios laboratoriais geotécnicos

#### 5.3.1. Análise granulométrica

Existem materiais de diversos tamanhos num solo, podendo ir desde argilas até pedregulhos. Para se determinar com precisão a porcentagem de cada fração granulométrica se realizam ensaios laboratoriais de granulometria por peneiramento e sedimentação.

Primeiramente, realiza-se o peneiramento dos materiais grossos. Esse material é inicialmente colocado numa peneira de maior diâmetro e anota-se a massa do solo que atravessa esta peneira. O material que passa pela peneira é, então, depositado sobre uma peneira mais fina e repete-se o processo até que se atinja o diâmetro da peneira de 200 mesh. Terminado o peneiramento, segue-se para o processo de sedimentação (Pinto, 2012).

A determinação da granulometria por sedimentação consiste em colocar uma certa quantia do solo que passou pela peneira de 200 mesh em frascos graduados. Esse solo é misturado com água até preencher completamente o frasco e, então, os materiais são misturados até que todo solo esteja disperso na água. Anota-se em intervalos de tempo regulares a quantidade de solo que se deposita no fundo do frasco, bem como a densidade, com auxílio de um densímetro. Adiciona-se um defloculante na mistura para que não se forme flocos de solo e, desta maneira, não ocorra medição do diâmetro dos flocos. O diâmetro dos grãos é determinado a partir da Lei de Stokes (equação 13) que diz que partículas depositam-se proporcionalmente ao seu diâmetro, quando num meio aquoso (Pinto, 2012).

$$v = \frac{\gamma_s - \gamma_w}{18\mu} D^2 \quad \text{Eq. 13}$$

Sendo,

$v$  Velocidade de queda das partículas

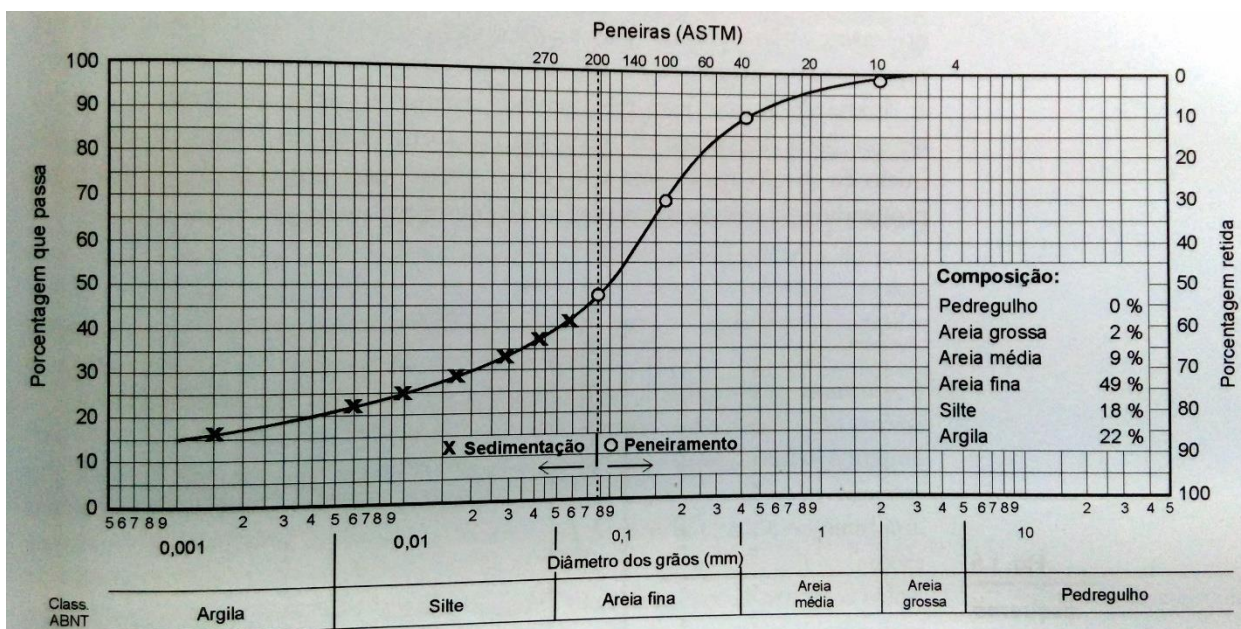
$\mu$  Viscosidade do fluido

$\gamma_s$  Peso específico da partícula (medido no densímetro)

$D$  Diâmetro da partícula

$\gamma_w$  Peso específico do fluido

Os dados obtidos nas etapas de peneiramento e sedimentação são plotados num gráfico porcentagem x diâmetro, com o diâmetro em escala logarítmica (figura 17). Nota-se que este método aproxima as partículas para esferas, mesmo que as mesmas não sejam esféricas, ocorrendo, desta maneira, a determinação do diâmetro equivalente. Esse método é regulamentado pela NBR 7217.



**Figura 17:** Gráfico de granulometria acumulada do solo. Retirado de Pinto (2012).

### 5.3.2. Limites de Atterberg

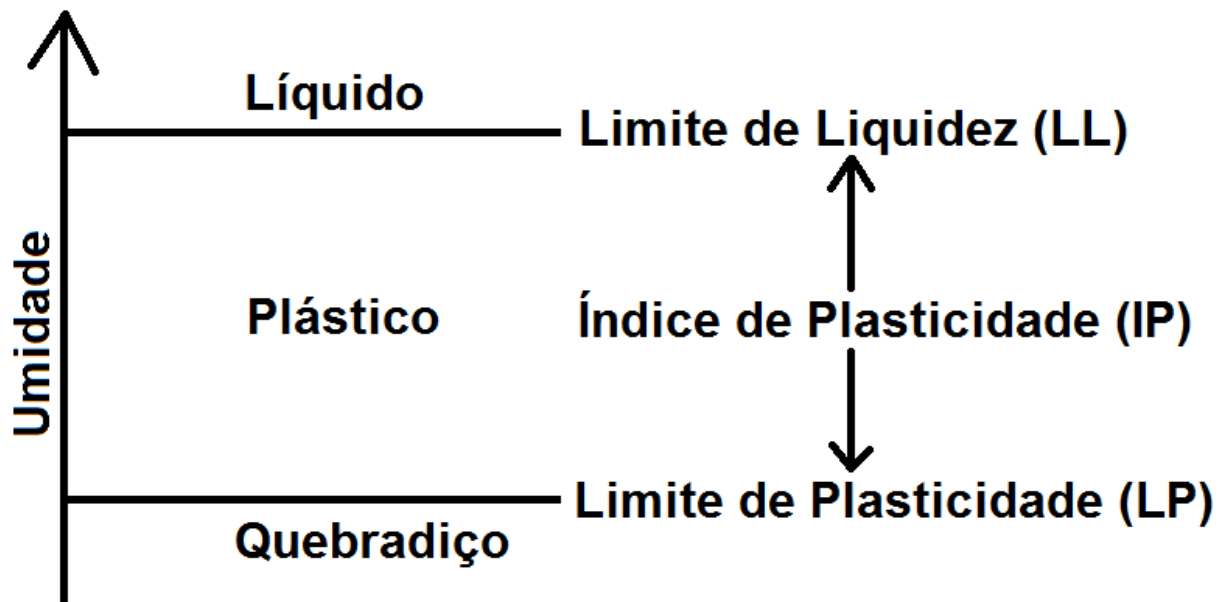
Com objetivo de caracterizar melhor o solo, se realiza ensaios para determinar os Limites de Atterberg do solo. Estes limites são dois, limite de liquidez (LL) e limite de plasticidade (LP), e são baseados no fato de solos argilosos se comportarem diferentemente de acordo com seu teor de umidade. A partir disto, foram determinados limites de umidade onde, a partir do qual, o solo muda de comportamento (Pinto, 2012).

O Limite Liquidez (LL) corresponde à porcentagem de umidade máxima do solo até que este tenha o comportamento de um líquido. Este é determinado como a umidade do solo onde são necessários 25 golpes para fechar uma ranhura feita numa concha. O ensaio é normatizado pela NBR 6459.

Já o Limite de Plasticidade (LP) corresponde à porcentagem de umidade mínima onde o solo se comporta plasticamente. Quando a umidade encontra-se abaixo do LP, o comportamento do

solo é quebradiço. Este limite é determinado como a mínima umidade onde se é possível moldar com as mãos um cilindro de 3mm de diâmetro. O ensaio é normatizado pela NBR 7180.

A partir dos dados de LL e LP é possível determinar o Índice de Plasticidade(IP), que representa a umidade na qual o solo tem comportamento plástico. O IP é determinado pela subtração do LL pelo LP. Estes parâmetros podem ser observados melhor na figura 18.



**Figura 18:** Desenho esquemático mostrando o comportamento do solo de acordo com a umidade os Limites de Atterberg. Modificado de Pinto (2012).

Os Limites de Atterberg também permitem determinar o índice de atividade (equação 14) da argila. A atividade da argila indica como a argila irá se comportar ao aumentar sua umidade, ou seja, se ao adicionar água ela irá se expandir ou não. Considera-se pouco ativas as argilas que tem índice de atividade menor que 0,75, normal quando o índice está entre 0,75 e 1,25 e muito ativa quando o índice é maior que 1,25.

$$\text{Índice de Atividade} = \frac{IP}{\% \text{ fração argila}} \quad \text{Eq. 13}$$

### 5.3.3. Adensamento

O adensamento é um fenômeno onde ocorre a expulsão da água dos poros das argilas. Essa expulsão pode ocorrer por aumento de carga no local ou pela remoção de água do solo, que é o caso do presente trabalho. Ambos adensamentos resultam em recalques de estruturas na vizinhança e por este motivo deve ser estudado e previsto (Pinto, 2012).

O ensaio de adensamento ocorre pela inserção de um corpo de prova dentro de um recipiente metálico. Sobre corpo de prova é colocado uma tampa com uma válvula para escape de água e, então, são adicionados pesos. Conforme o peso é adicionado, haverá adensamento do solo. Este adensamento é medido, quando estabilizado, e segue o ensaio adicionando mais pesos até que se chegue no adensamento máximo. A partir deste ensaio determina-se o coeficiente de compressibilidade ( $a_v$ ) e o coeficiente de adensamento ( $c_v$ ) (equações 15 e 16) (Pinto, 2012).

$$a_v = \frac{\Delta e}{\Delta \sigma} \quad \text{Eq. 15}$$

$$c_v = \frac{k(1 + e)}{a_v \gamma_w} \quad \text{Eq. 16}$$

Sendo,

$a_v$  Coeficiente de compressibilidade

$k$  Condutividade hidráulica

$\Delta e$  Variação do índice de vazios

$e$  Índice de vazios

$\Delta \sigma$  Variação da pressão durante ensaio

$\gamma_w$  Peso específico da água

$c_v$  Coeficiente de adensamento

## **6. METODOLOGIA**

### **6.1. TRATAMENTO DOS DADOS**

No mês de abril de 2017 foram concedidos pelo Metrô de São Paulo dados de sondagens, de piezômetros, do ensaio de bombeamento e ensaios de caracterização de solo (Limites de Atterberg e granulometria).

Estes dados foram organizados, primeiramente, para confeccionar perfis geológico-geotécnicos e piezométricos para, desta maneira, determinar as características gerais do aquífero. Dessa forma foi determinado o tipo do aquífero em estudo e sua espessura. Uma vez conhecidas as características do aquífero, é possível tratar os dados do ensaio de bombeamento.

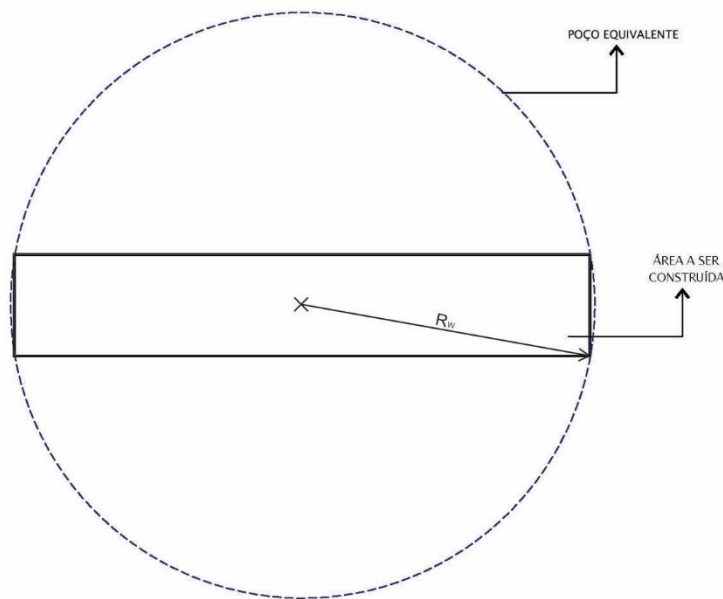
O ensaio de bombeamento foi processado no *software AquiferTest*. Na interface do programa foram inseridos dados das características do aquífero (tipo e espessura), bem como a variação temporal do nível d'água nos piezômetros e no poço de bombeamento durante a realização do ensaio. Como resultado desta etapa, chegou-se nos valores de transmissividade, condutividade hidráulica e do coeficiente de armazenamento. Tais valores, juntamente às características obtidas na primeira etapa, serão utilizados para cálculo do rebaixamento.

Os dados de caracterização de solo foram utilizados para melhor determinar o material atravessado pelos furos de sondagem, além de fornecer o índice de atividade das argilas. Estes dados foram analisados para prever eventuais problemas no rebaixamento.

### **6.2. ESTIMATIVA DO REBAIXAMENTO**

Primeiramente foi determinado o raio do poço equivalente. Para isso, um círculo foi centrado na área a ser rebaixada e foi definido um raio que contenha toda esta área e seja a menor possível (figura 18).





**Figura 18:** Raio equivalente contendo toda área a ser construída.

A altura piezométrica da água foi utilizada para determinar quantos metros o aquífero precisou ser rebaixado até atingir a profundidade desejada. No caso, a altura piezométrica era de aproximadamente 2,20 metros e desejava-se rebaixar o aquífero até 21 metros de profundidade, resultando num rebaixamento de 19,80 metros.

Os valores de condutividade hidráulica foram utilizados para aplicar a equação 11 obtendo, dessa forma, o raio de influência.

Tendo o raio de influência, a profundidade do rebaixamento, o raio equivalente, a condutividade hidráulica e a espessura do aquífero em mãos, foi possível realizar o cálculo da vazão necessária para promover o rebaixamento na profundidade desejada (equação 9).

O sistema de rebaixamento foi escolhido nesta etapa. A partir das características dos mesmos foi verificado qual seria mais adequado para o projeto. Como é necessário uma vazão alta e a profundidade do rebaixamento é elevada, o sistema utilizando bomba submersa foi eleito como mais apropriado.

Definidos o sistema de rebaixamento e a vazão total do sistema, foi feita uma pesquisa de bombas. Nessa pesquisa, foram encontradas bombas de 4 polegadas com vazão de 6m³/h operando a 40% da potência total e consideradas suficientes para atender ao projeto.

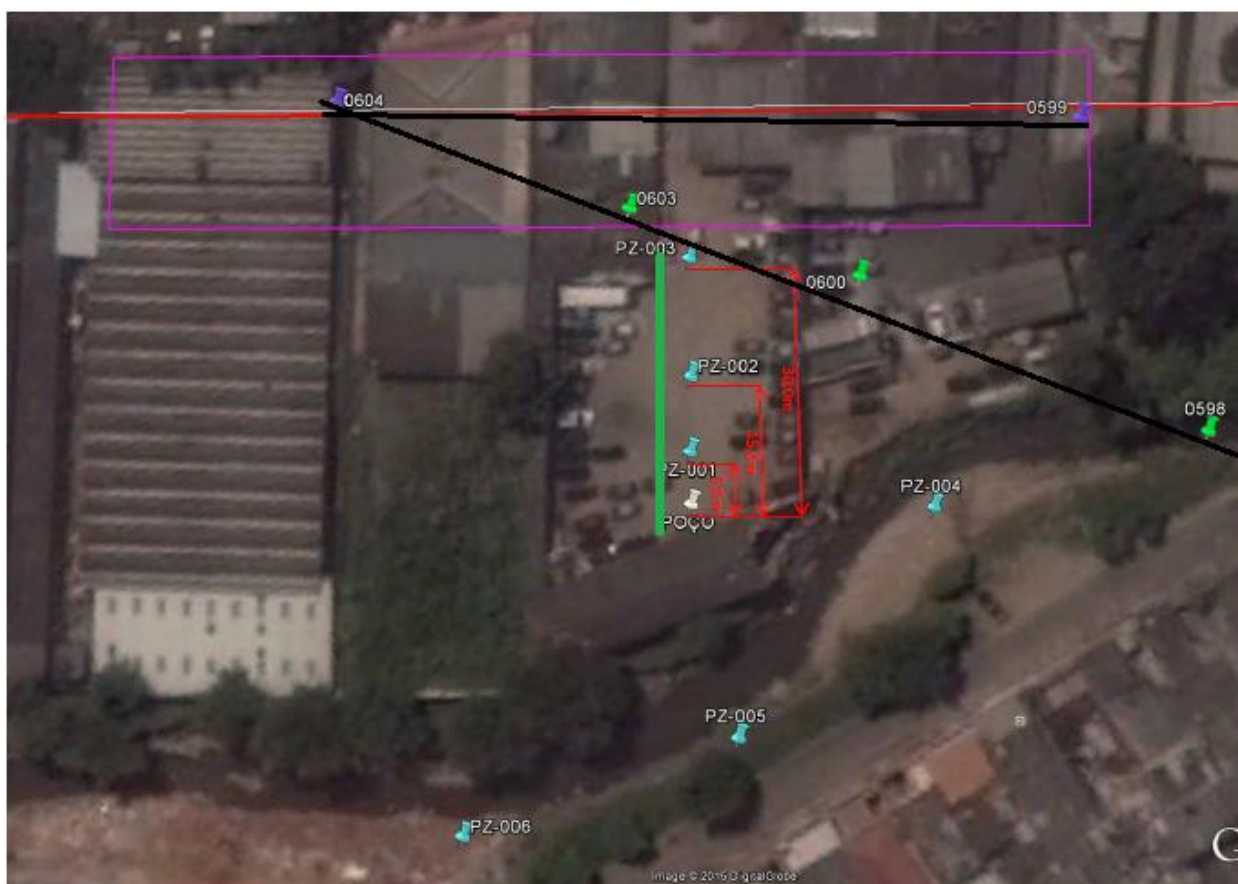
Sendo assim, dividiu-se a vazão total pela vazão de cada bomba, chegando num número total de 14 de bombas a serem utilizadas no sistema de rebaixamento. Sabendo disto, a equação 12 foi aplicada, chegando em valores de “a” e “b” que formam um sistema retangular de rebaixamento.

Por fim, foi analisado o sistema de rebaixamento calculado, a fim de conferir se o mesmo é efetivo para esta fase do projeto de engenharia, sendo analisadas diversas geometrias possíveis, considerando mesma vazão e tipo de bomba.

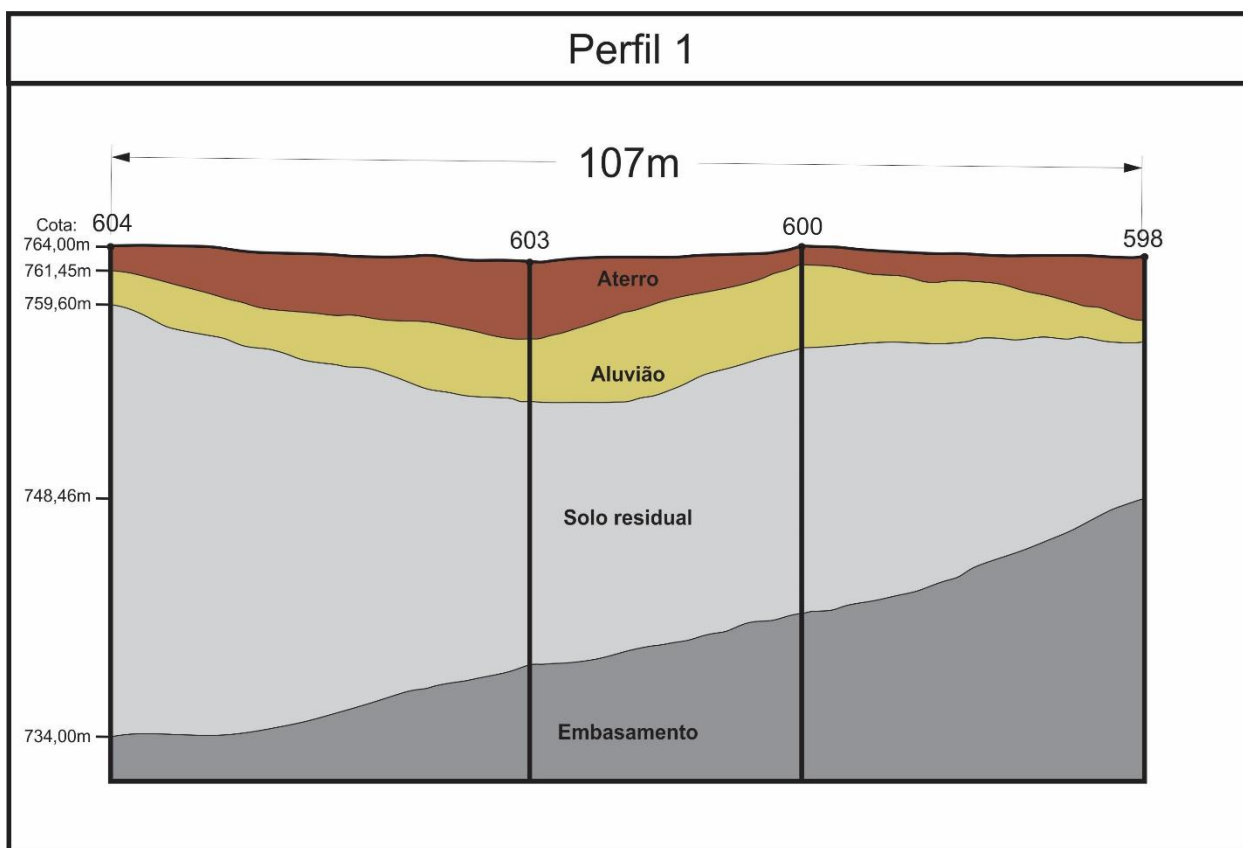
## 7. RESULTADOS

### 7.1. PERFIS GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO

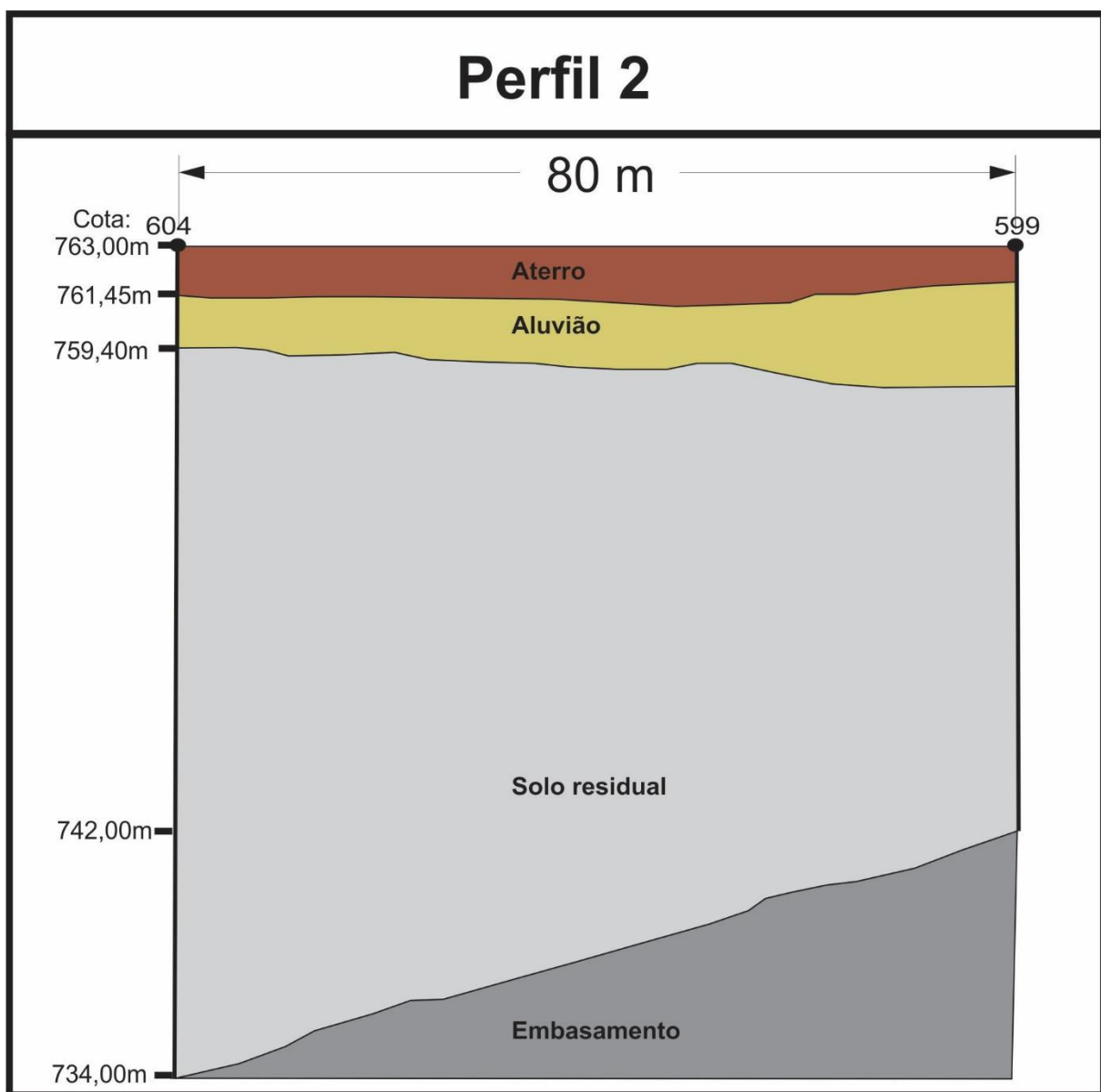
A figura 19 contém a localização no espaço dos piezômetros e das sondagens executadas na área de estudo, sendo representados pelo alfinete junto com as siglas que os identificam. O retângulo roxo corresponde à área onde será a construção. As linhas em preto são as orientações utilizadas para confecção dos perfis de sondagem. O primeiro perfil (figura 20) teve sua direção escolhida com base na existência de diversas sondagens alinhadas, sendo seu início na sondagem “598” e final na “604”. Já o segundo perfil (figura 21) representa a geologia logo abaixo do local a ser rebaixado, começando na sondagem “599” e terminando na “604”.



**Figura 19:** Localização dos piezômetros e das sondagens. As linhas pretas representam os perfis geológicos/geotécnicos do solo. O retângulo roxo representa a área a ser rebaixada.



**Figura 20:** Perfil geológico-geotécnico “1” da área de estudo, confeccionado utilizando os perfis de sondagem 604, 603, 600 e 598. Nota-se que o embasamento encontra-se muito inclinado, porém isto é efeito do exagero vertical. Sua real inclinação é de, aproximadamente, 7,5°.



**Figura 21:** Perfil geológico-geotécnico “2” da área de estudo, confeccionado utilizando os perfis de sondagem 604 e 599. Nota-se que o embasamento encontra-se muito inclinado, porém isto é efeito do exagero vertical. Sua real inclinação é de, aproximadamente,  $5,5^\circ$ .

A partir da análise do perfil geotécnico do solo (perfil 2, figura 21), podemos notar que o embasamento rochoso aparenta estar muito inclinado, porém isso é apenas um efeito visual do exagero vertical, uma vez que a inclinação entre eles é de apenas  $5,5^\circ$ . O topo rochoso mais profundo foi observado na sondagem “604”, a 29,04 metros da cota do terreno, enquanto o mais raso está na sondagem “599”, a 21,00 metros da cota do terreno.

Também é notável a alternância da espessura do solo residual, que é o aquífero a ser rebaixado. A espessura deste varia de 16 a 25 metros. Para efeitos de cálculos, está sendo considerado uma espessura de 22 metros dessa camada de solo, valor um pouco maior que a média aritmética entre os extremos.

## 7.2. DESCRIÇÃO DOS MATERIAIS

Os materiais interceptados pelos furos de sondagem são classificados em 4: aterro, aluvião, solo residual e rocha. No anexo IV constam os ensaios de caracterização do solo. A tabela 2 relaciona o ensaio com a profundidade e sua classificação genética. Só foram realizados ensaios no aluvião e no solo residual.

**Tabela 2:** Correlação entre amostra de sondagens em diferentes profundidades, sua gênese, granulometria obtida pelo ensaio de granulometria, Limites de Atterberg, e Índice de atividade.

ID	PROF.	GÊNESE	GRANUL.	LL; LP; IP	ATIVIDADE
<b>SM-599</b>	5 a 7m	Solo residual	Areia siltosa	-	-
<b>SM-599</b>	19 a 20m	Solo residual	Areia siltosa	-	-
<b>SM-600</b>	4 a 6m	Aluvião*	Areia argilosa	31; 20; 11	0,52
<b>SM-603</b>	21 a 23m	Solo residual	Areia siltosa	42; 28; 14	0,71
<b>SM-604</b>	2,5 a 3,5m	Aluvião	Argila arenosa	-	-

O aterro consiste de argilas siltosas de coloração marrom avermelhada. Não foi realizado nenhuma análise laboratorial neste solo, nem foi medido o seu NSPT durante o andamento da sondagem.

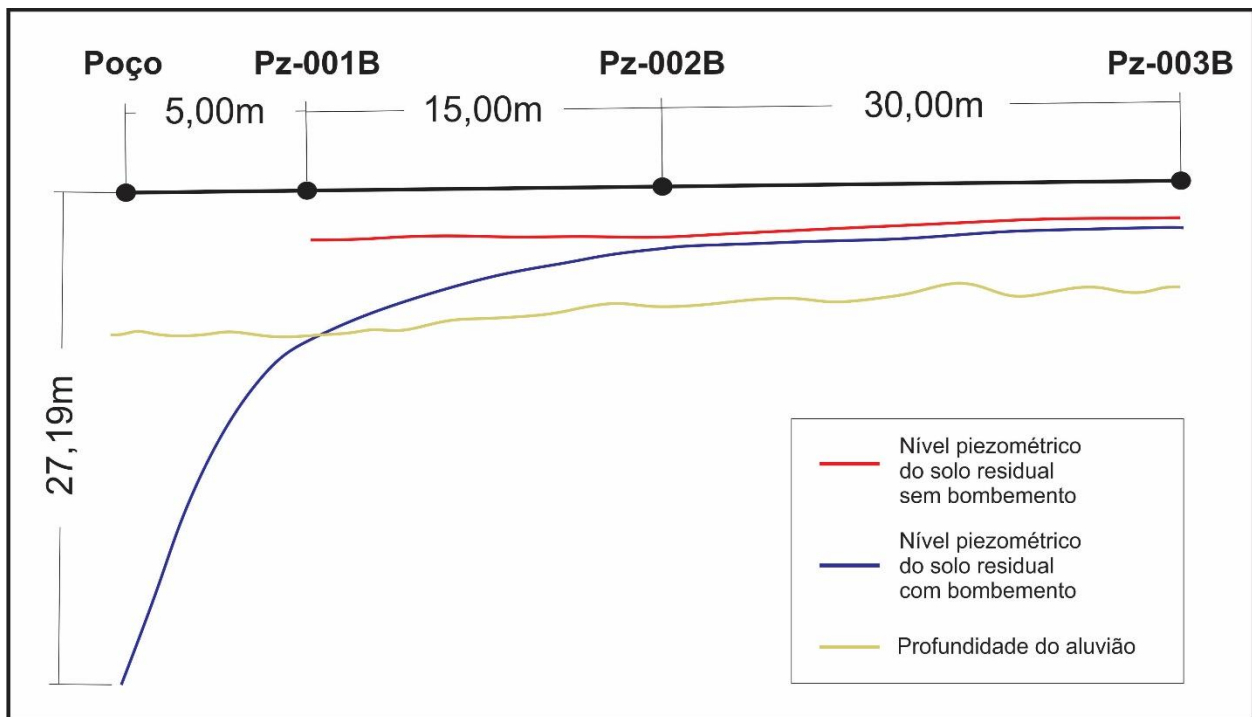
O aluvião é composto de argilas arenosas muito moles (NSPT<2) acinzentadas. De acordo com o ensaio laboratorial realizado na amostra na sondagem SM-600 com profundidade de 4 a 6m o material é uma areia argilosa com índice de atividade 0,52, no entanto há dúvidas se a amostra é mesmo de um aluvião, tendo em vista que o resultado da granulometria está muito parecido com o solo residual. Devido a isto, não será considerado este ensaio; só será considerado como aluvião o realizado na sondagem SM-604 de 2,5 a 3,5 metros de profundidade.

Já o solo residual possui cor cinza e branco, tem granulometria areia fina com parte siltosa e é medianamente compacta à muito compacta ( $6 < \text{NSPT} < 60$ ). Nos ensaios laboratoriais pode-se observar que este solo tem uma argila inativa (índice de atividade  $< 0,75$ ).

O embasamento consiste num gnaiss cinza, com textura lepidoblástica, de granulometria fina e bandamento inclinado ( $30^\circ$  a  $60^\circ$ ).

### 7.3. PERFIL PIEZOMÉTRICO

Para não haver dúvidas sobre o tipo do aquífero – confinado ou livre – foi confeccionado, também, um perfil piezométrico (figura 22) com a profundidade aproximada da camada de aluvião, que é a camada que espera-se ser a confinante.



**Figura 22:** Perfil piezométrico da região. Nota-se que o nível piezométrico está acima da camada aluvionar, sendo o aluvião, então, camada confinante.


Analisando a figura 22, podemos observar que o aluvião se situa abaixo do nível piezométrico, sendo, então, uma camada confinante. Ou seja, o aquífero em estudo é do tipo confinado ou artesianos, tendo o aluvião como camada confinante, o que é esperado, já que a argila é um material com permeabilidade extremamente baixa.

A existência de um aquífero superior também pode ser observada nos piezômetros durante o teste de bombeamento (Anexo II). Enquanto os piezômetros instalados abaixo da camada confinante foram afetados pelo teste de bombeamento (piezômetros com sufixo “B”, os instalados acima (piezômetros com sufixo “A”) não sofreram mudanças significativas em suas leituras, caracterizando a existência de dois aquíferos.

#### 7.4. CARACTERIZAÇÃO HIDROGEOLÓGICA

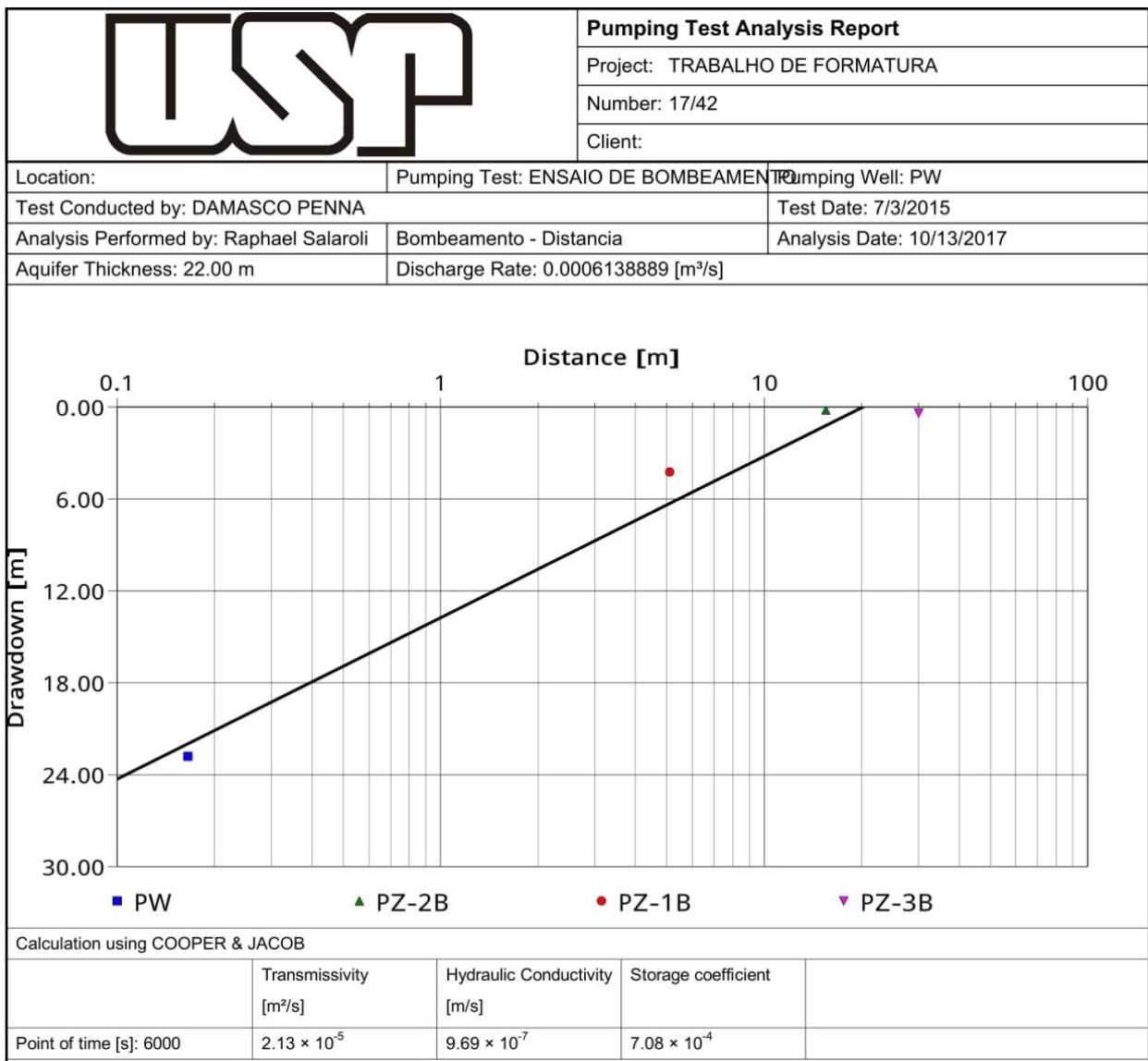
Para determinar os valores de transmissividade (T), do coeficiente de armazenamento (S) e a condutividade hidráulica (k), foram utilizados os métodos de Cooper e Jacob (1946) de distância e tempo, com auxílio do *software* *AquiferTest* (Figuras 23, 24 e 25). Em ambos os métodos foram obtidos resultados semelhantes, sendo assim, considera-se que a determinação destes parâmetros característicos do aquífero foram determinados com sucesso.

Os dados de *entrada no software* foram os níveis estáticos medidos nos piezômetros 1-B, 2-B, 3-B e o poço de bombeamento (PW), uma vez que esses instrumentos são os que estão no aquífero inferior, ou seja, locados abaixo da camada confinante aluvionar. A espessura do aquífero foi considerada em 22 metros, valor próximo da média entre as diferentes espessuras encontradas, conforme discutido no item acima.

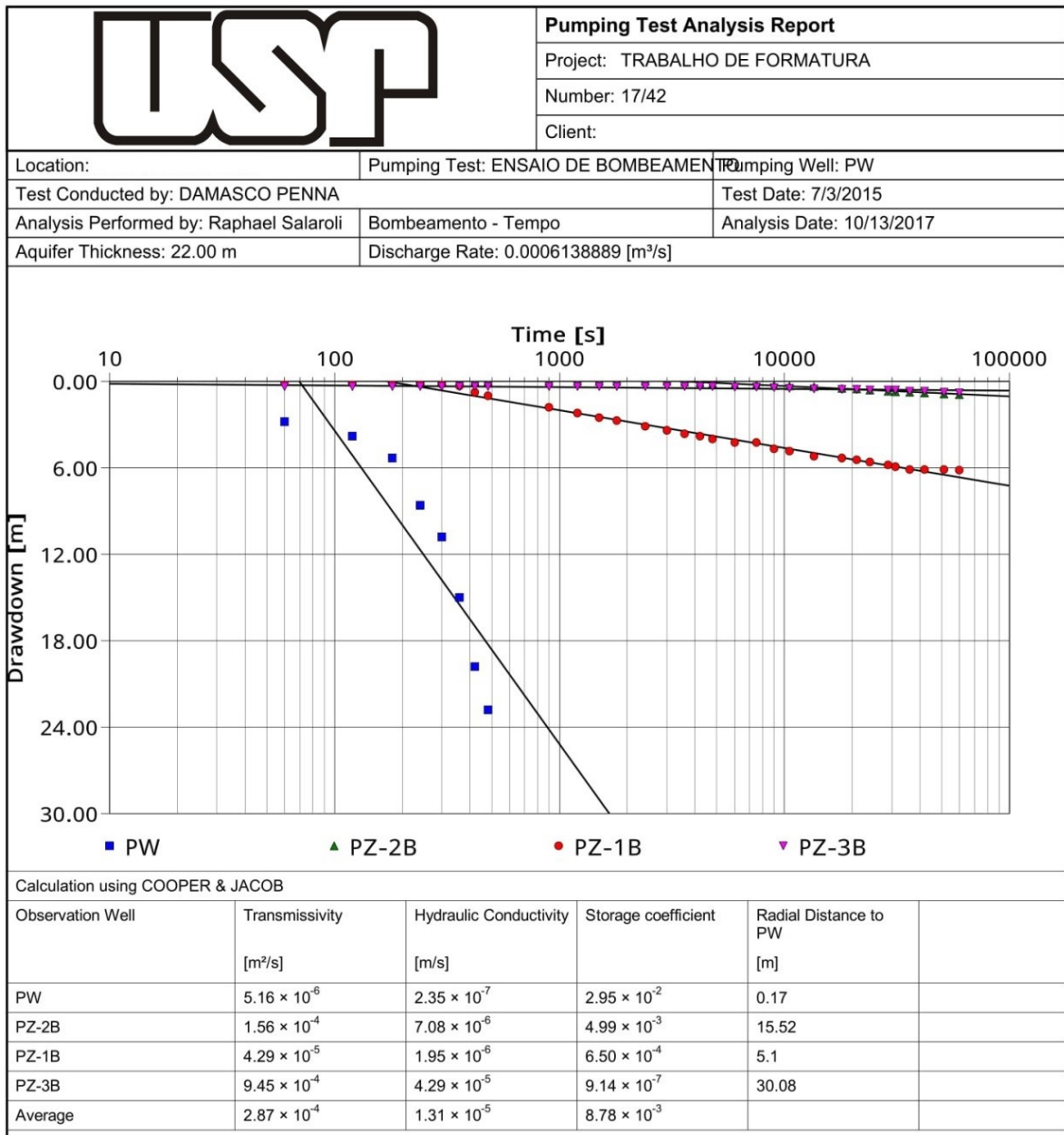
				<b>Pumping Test Analysis Report</b>				
				Project: TRABALHO DE FORMATURA				
				Number: 17/42				
				Client:				
Location:			Pumping Test: ENSAIO DE BOMBEAMENTO			Pumping Well: PW		
Test Conducted by: DAMASCO PENNA						Test Date: 7/3/2015		
Aquifer Thickness: 22.00 m			Discharge Rate: 0.0006138889 [m³/s]					
	Analysis Name	Analysis Performed by	Analysis Date	Method name	Well	T [m²/s]	K [m/s]	S
1	Bombeamento - Distância	Raphael Salaroli	10/13/2017	Cooper & Jacob II	multiple	$2.13 \times 10^{-5}$	$9.69 \times 10^{-7}$	$7.08 \times 10^{-4}$
2	Bombeamento - Tempo	Raphael Salaroli	10/13/2017	Cooper & Jacob I	PW	$5.16 \times 10^{-6}$	$2.35 \times 10^{-7}$	$2.95 \times 10^{-2}$
3	Bombeamento - Tempo	Raphael Salaroli	10/13/2017	Cooper & Jacob I	PZ-2B	$1.56 \times 10^{-4}$	$7.08 \times 10^{-6}$	$4.99 \times 10^{-3}$
4	Bombeamento - Tempo	Raphael Salaroli	10/13/2017	Cooper & Jacob I	PZ-1B	$4.29 \times 10^{-5}$	$1.95 \times 10^{-6}$	$6.50 \times 10^{-4}$
5	Bombeamento - Tempo	Raphael Salaroli	10/13/2017	Cooper & Jacob I	PZ-3B	$9.45 \times 10^{-4}$	$4.29 \times 10^{-5}$	$9.14 \times 10^{-7}$

**Figura 23:** Resumo dos valores de transmissividade (T), condutividade hidráulica (k) e Coeficiente de armazenamento (S).





**Figura 24:** Valores de transmissividade ( $T$ ), condutividade hidráulica ( $k$ ) e Coeficiente de armazenamento ( $S$ ) obtidos através do método das distâncias de Cooper e Jacob (1946). Foi utilizado os valores no tempo  $t = 6000$  segundos = 100 min.

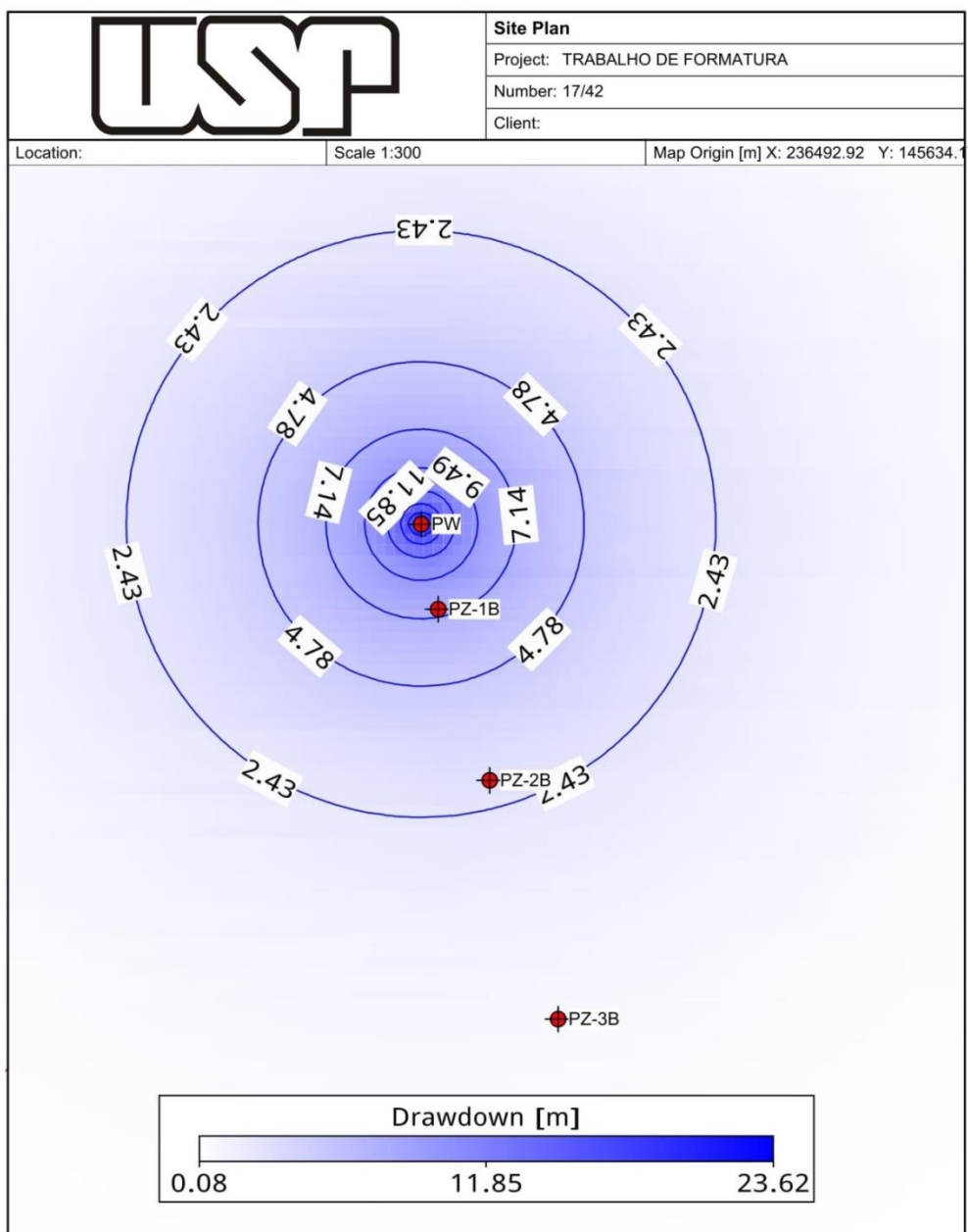


**Figura 25:** Valores de transmissividade ( $T$ ), condutividade hidráulica ( $k$ ) e Coeficiente de armazenamento ( $S$ ) obtidos através do método do tempo de Cooper e Jacob (1946).

É válido ressaltar que existem pequenas diferenças entre os valores determinados pelo fato do aquífero não ser, de fato, ideal. No entanto, para efeitos de cálculo do rebaixamento, essa simplificação deve ser feita. Assim, estará sendo utilizado nos cálculos a média dos valores obtidos pelo método do rebaixamento por tempo, uma vez que o método utiliza diversas fontes de dados (piezômetros e poço de bombeamento), dando um resultado mais representativo da região.

Não foram utilizados os dados do método das distâncias pois este estava indicando um raio de influência menor que os dados observados. O PZ-3B, por exemplo, teve seu nível estático rebaixado e, segundo o raio de influência calculado (intercepto zero no da reta do gráfico), este não deveria ter sido rebaixamento.

Utilizando o *AquiferTest* também foi possível gerar um mapa que ilustra o rebaixamento ocorrido na área durante o ensaio de bombeamento (Figura 26).



**Figura 26:** Rebaixamento observado durante o ensaio de bombeamento.

## 7.5. CÁLCULO ANALÍTICO DO REBAIXAMENTO

O rebaixamento previsto deverá ocorrer até a profundidade de 21 metros. Como a altura piezométrica dos piezômetros instalados no aquífero é de, aproximadamente, 2,20 metros, o rebaixamento total será de 19,80 metros.

O raio equivalente será um círculo centrado na área a ser construída, ou seja, o raio é igual a meia diagonal da construção retangular. Como a construção tem dimensões de 115x20 metros, o raio equivalente é igual a 58,36 metros (figura 19).

Aplicando a equação 11 é possível determinar o raio de influência ( $R_0$ ) do rebaixamento, com  $k=1,31 \times 10^{-5} \text{ m/s}$ . Sendo assim, foi calculado que o raio de influência é de 215,00 metros.

A equação 9 permite a obtenção a vazão necessária para rebaixar o nível d'água para a profundidade de 21 metros, o que resultou numa vazão de 207,05 m³/h. Para fator de segurança a vazão foi majorada em 10%, conforme recomenda Alonso (1999), chegando numa vazão de 227,76 m³/h.

$$Q = \frac{2\pi k B (H - h_w)}{\ln\left(\frac{R_0}{r_w}\right)} \approx 211,31 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

$$Q \times 1,10 = 232,44 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

Os dados de *input* são:

$k$ (Condutividade hidráulica)	$1,31 \times 10^{-5} \frac{\text{m}}{\text{s}}$	$B$ (Espessura do aquífero)	22m
$H$ (Nível d'água natural)	2,20m	$R_0$ (Raio de influência)	215,00m
$h_w$ (Nível d'água após o bombeamento)	21m	$r_w$ (Diâmetro do poço)	116,72m

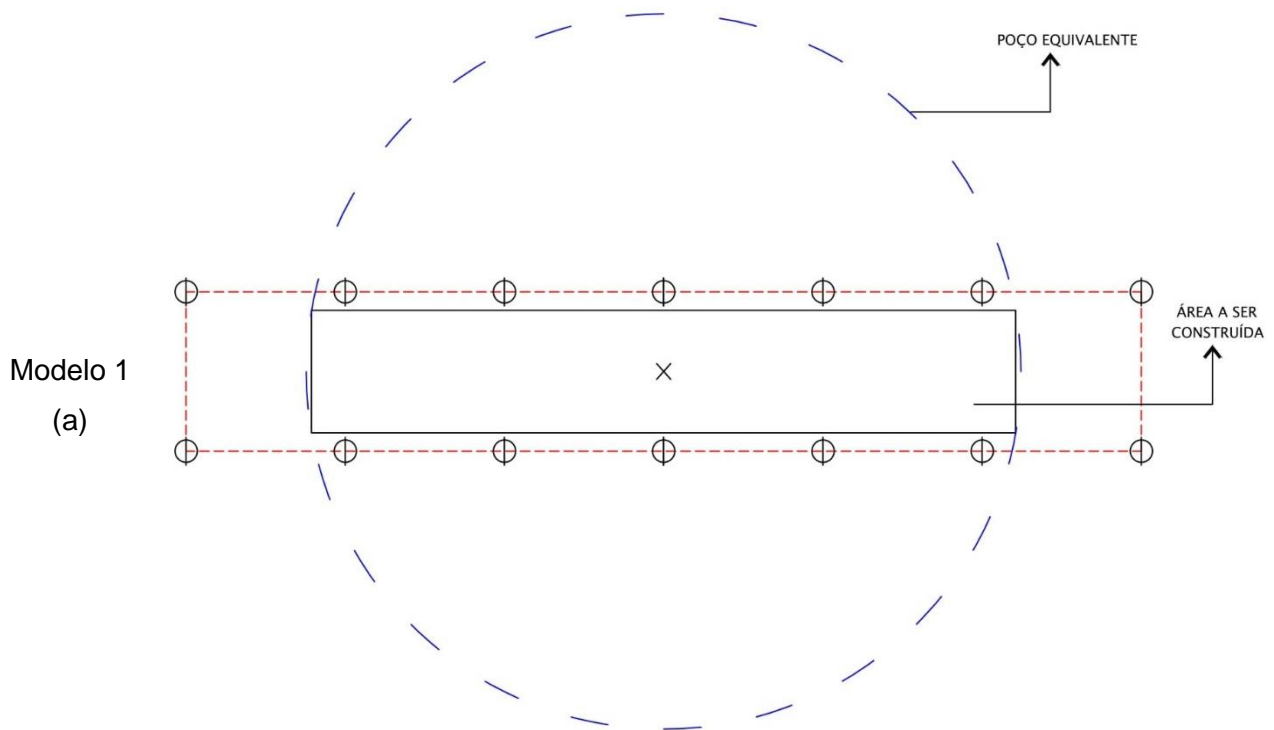
Sabendo a vazão total necessária, foi possível calcular o número de bombas que serão utilizadas para atingir o objetivo. Para realizar este cálculo, basta dividir a vazão total pela vazão da bomba utilizada. Foi encontrado o valor de 14 bombas para uso no projeto. Está sendo considerado o uso de bombas de 4 polegadas e extraindo água na vazão de 16,7 m³/h. A escolha da bomba está discutida melhor no item 8.

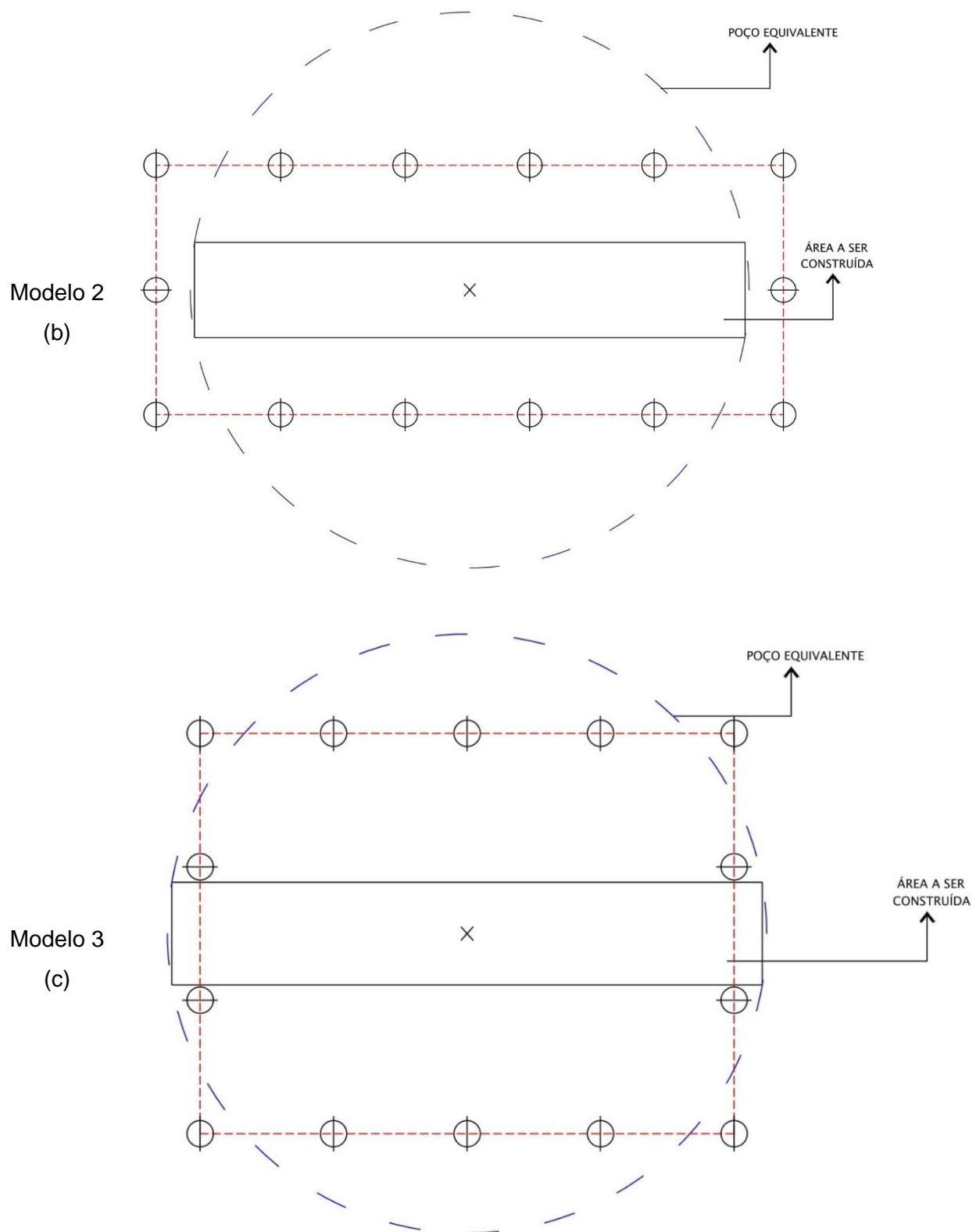
$$n = \frac{Q_{total}}{Q_{bomba}} = \frac{232,44}{16,7} = 13,91856 \approx 14 \text{ bombas}$$

Com o conhecimento do número de bombas a serem utilizadas no projeto, é possível alocar as bombas de diversas formas possíveis. Como a construção é retangular, foi escolhido uma geometria retangular para que, desta forma, as bombas se situem próximas ao canteiro de obras. Não foi escolhido a geometria circular para o sistema de bombas pois o mesmo ocuparia espaço demais, podendo ter bombas alocadas dentro de propriedades privadas e na ruas. Para determinar quantas bombas serão instaladas em cada lado ou vértice do retângulo, foi aplicado a equação 12 do raio equivalente, considerando distâncias iguais entre as bombas.

$$r_s = \frac{a + b}{\pi}; a + b \approx 183 \text{ metros}$$

Como  $a+b$  é equivalente a meio perímetro do retângulo,  $2a+2b$  equivalem ao perímetro do retângulo, ou seja, o perímetro é igual a 366 metros. Dividindo o perímetro pela quantidade de bombas chegamos no espaçamento de 26 metros entre as bombas. Inserindo uma bomba em cada vértice do retângulo e os dispersando a mesmas distâncias nas faces do retângulo, chegamos nos seguintes sistemas simétricos possíveis (figuras 27a, 27b e 27c).





**Figura 27 (a, b, c):** Modelos esquemáticos de sistemas possíveis para o rebaixamento utilizando vazão de  $16,7\text{m}^3/\text{h}$ . A distância entre poços é de 26 metros.

## 7.6. ANÁLISE GEOTÉCNICA DO SOLO

A partir dos ensaios laboratoriais (ANEXO IV) realizados no solo residual, é possível observar que este possui argilas inativas em sua composição, sendo assim, durante o rebaixamento não deve haver nenhuma preocupação com este tipo de solo, com relação à recalques oriundos de adensamento por remoção de água.

Não há dados suficientes para prever o comportamento das argilas aluvionares quanto ao adensamento. Uma vez que as argilas aluvionares de São Paulo costumam apresentar como comportamento típico altos índices de recalques por adensamento e neste caso a argila apresenta consistência muito mole, com valores de SPT menores que 2, recomenda-se atenção para recalques por adensamento que possam afetar construções dentro do raio de influência do rebaixamento. Recomenda-se ainda a realização de ensaios de adensamento nesse horizonte.

## 8. DISCUSSÕES

- Resultado dos cálculos de rebaixamento

No item anterior foram determinados três modelos para realizar o rebaixamento. Apesar de todos estes modelos serem simétricos e estarem seguindo os dados calculados, apenas o modelo 3 (figura 26c) se enquadra em todos os pré-requisitos para utilizar a equação 12 (Powers et al, 2007). Ele é o único que possui a proporção  $a/b < 1.5$ , além dos poços estarem bem espaçados e de  $R_0$  ser maior que  $r_w$ , conforme mostra a tabela abaixo.

**Tabela 2:** Correlação entre modelos, suas dimensões, e suas proporções  $a/b$ .

Modelo	a	b	a/b
1	156m	26m	6
2	130m	52m	2.5
3	104m	78m	1.33

Sendo assim, o modelo 3 é o sistema mais apropriado para realizar o rebaixamento para a construção, considerando uma vazão de 16,7 m<sup>3</sup>/h.

- Escolha das bombas submersas

O uso de bombas mais fracas seria inadequado, pois existiriam muitas bombas no sistema e, desta forma, a proporção  $a/b < 1,5$  teria dificuldade para ser alcançada, além de ocupar muito espaço quando respeitada a proporção. O uso de bombas mais potentes acarretaria num maior espaçamento entre as bombas e, conforme Powers et al.(2007) menciona, o espaçamento entre as bombas não pode ser muito grande.

Levando isto em consideração, foi escolhido o uso de bombas de 4 polegadas com potência de extração de até 30m<sup>3</sup>/h de água. Para não sobrecarregar as bombas, evitando uso de 100% da potência, foi escolhido utilizar 55% da potência total da bomba, resultando em vazões de 16,7m<sup>3</sup>/h.

- Características do solo

Aparentemente o solo residual não oferece nenhum problema acerca de recalque em estruturas vizinhas, dado ao baixo índice de atividade observado nos ensaios realizados. Já o mesmo não pode ser dito para a camada aluvionar, uma vez que não foi realizado nenhum ensaio neste solo.

Levando estes problemas em consideração, deve-se realizar maiores investigações geotécnicas dentro do raio de influência calculado, realizando ensaios de adensamento e caracterização do solo, principalmente no aluvião, uma vez que a argila é a fração mais presente neste solo.



## 9. CONCLUSÕES

A partir dos dados aqui evidenciados podemos notar que o rebaixamento para o projeto básico de uma construção foi pré-dimensionado de acordo com as metodologias analíticas mais atuais possíveis, assim como foi dada atenção a todos os possíveis problemas geotécnicos e ambientais que podem ocorrer.

O aquífero que será rebaixado é em solo residual, sendo do tipo confinado e possui, aproximadamente, 22 metros de espessura. Sua transmissividade, coeficiente de armazenamento e condutividade hidráulica são, respectivamente,  $2,87 \times 10^{-4}$ ,  $8,78 \times 10^{-3}$  e  $1,31 \times 10^{-5}$ . Esses valores foram determinados a partir do tratamento dos dados do ensaio de bombeamento realizado na área de estudo.

Serão necessárias 14 bombas de vazão de 30 m<sup>3</sup>/h operando a 55% da potência total para o objetivo ser atingido. Estas estarão dispersas numa geometria retangular com dimensões de 78x104 metros e distância entre as bombas de 26 metros, levando a um rebaixamento de 19,80 metros num raio de, aproximadamente, 58,36 metros.

Ao realizar o rebaixamento é necessário se atentar ao aluvião. Com a remoção de água pode ocorrer o adensamento da argila e, conseqüentemente, recalque de construções próximas. Este adensamento ocorre pela remoção da água da argila que, antes saturada, agora está com menos água, podendo ter seu volume diminuído.

De forma a prever esse tipo de comportamento sugere-se determinar a atividade da argila através da determinação dos Limites de Atterberg, ou mesmo realizar ensaios de adensamento. Caso seja constatada a possibilidade de recalque, recomenda-se, injetar água, durante o rebaixamento, para equilibrar as tensões efetivas.

Outra recomendação para o andamento do projeto seria a execução de mais sondagens. É muito importante ter um bom conhecimento da subsuperfície em obras de construção civil, para definir melhor a geometria do aquífero, permitindo melhor definição das profundidades da camada de solo e rocha.

Também é necessário observar a presença de contaminantes na água subterrânea no raio de influência do rebaixamento para, desta forma, tomar cuidado para não influenciar na pluma de contaminação caso a mesma exista. Deve-se observar, também no raio de influência, o

efeito do rebaixamento em árvores e outra vegetações visto que estas podem morrer por falta d'água.

## 10. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Almeida, F.F.M. (1967). Origem e evolução da plataforma brasileira. Rio de Janeiro, DNPM/DGM, Boletim da Divisão de Geologia e Mineralogia 241, 36p.

Almeida, F. F. M., Amaral, G., Cordani, U., & Kawashita, K. (1973). The Precambrian evolution of the South American cratonic margin south of the Amazon River. In The South Atlantic. Springer US.

Alonso, U.R. (1999). Rebaixamento Temporário de Aquíferos. São Paulo. Tecnogeo.

Bergmann, M. (1988). Caracterização Estratigráfica e Estrutural da sequência VulcanoSedimentar do Grupo São Roque, na região do Pirapora do Bom Jesus – SP. Dissertação de Mestrado. Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.

Coimbra, A. M., C. Riccomini, and MS de MELO. (1983) A Formação Itaquaquecetuba: evidências de tectonismo no quaternário paulista. Simpósio Regional de Geologia, 4, São Paulo, Anais, p.253-266.

Cooper, H. H., & Jacob, C. E. (1946). A generalized graphical method for evaluating formation constants and summarizing well-field history. Eos, Transactions American Geophysical Union, 27(4), 526-534.

Cozzolino, V.M. (1996). Areias basais fofas na área central da cidade de São Paulo. In: Revista Solos e Rochas. São Paulo, 19:163-174.

Fernandes, A.J. (1991). Complexo Embu no leste do estado de São Paulo: contribuição ao conhecimento da litoestratigrafia e da evolução estrutural e metamórfica. Tese de Doutorado. Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.

Freeze, A.R, Cherry, J.A. Groundwater. Printice-Hall Inc, Englewood Cliffs.

Gurgueira, M. D. (2013). Correlação de dados geológicos e geotécnicos na Bacia de São Paulo. São Paulo, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo. Dissertação de Mestrado em Geotectônica.

Jacob, C. (1950). Flow of groundwater. Engineering hydraulics, 5, 321.

Juliani, C. (1992). O embasamento pré-cambriano da Bacia de São Paulo. In: ABAS/ABGE/SBG-SP, Problemas geológicos e geotécnicos na Região Metropolitana de São Paulo. São Paulo, p. 3-20.

Juliani, C. & Beljavskis, P. (1995). Revisão da litoestratigrafia da Faixa São Roque/Serra do Itaberaba (SP). Revista do Instituto Geológico, 16:33-58.

Monteiro, M.D.; Gurgueira, M.D.; Rocha, H.C. (2012). Geologia da Região Metropolitana de São Paulo. Publicação do Instituto Geográfico e Geológico, São Paulo, 15: 73-94.

Parra, D. S. V. (2014). Rebaixamento temporário do lençol freático em aquíferos granulares. Tese (Mestrado). Departamento de Engenharia Civil, PUC-Rio.

Pinto, C. D. S. (2000). Curso básico de mecânica dos solos. São Paulo: Oficina de Textos.

Perrotta, M. M., Salvador, E. D., Lopes, R. D. C., D'Agostino, L. Z., Peruffo, N., Gomes, S. D., Lacerda Filho, J. V. (2005). Mapa geológico do Estado de São Paulo, escala 1: 750.000. São Paulo: CPRM.

Powers, J. P.; Corwin, A. B.; Schmall, P. C.; Kaack, W. E. (2007). Construction Dewatering and Groundwater Control. New York: John Wiley & Sons.

Riccomini, C. (1989). O rift continental do sudeste do Brasil. Tese de Doutorado. Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.

Riccomini, C., and A. M. Coimbra. "Geologia da bacia sedimentar." Solos da cidade de São Paulo (1992).

Riccomini, C; Sant'anna, L.C.; Ferrari, A.L. (2004). Evolução Continental do Rift Continental do Sudeste do Brasil. Geologia do Continente Sul-Americano Evolução da Obra de Fernando Flávio Marques de Almeida. Beca, São Paulo, p.385-405.

Rodriguez, S.K. (1998). Geologia urbana da Região Metropolitana de São Paulo. Tese de Doutorado. Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.

Sadowski, G.R. & Motidome, M.J. (1998). Brazilian megafaults. In: Revista Geologica de Chile, Santiago, 31:61-75.

Shepherd, R. G. (1989). "Correlations of permeability and grain size." Ground water 27.5: 633-638.

Todd DK, Mays LW (2005) Groundwater Hydrology. 3rd ed., Hoboken: John Wiley & Sons

Velloso, P.P.C. (1988). Teoria e prática de rebaixamento do lençol d'água, 1 ed., Rio de Janeiro, Livros Técnicos e Científicos Editora LTDA.

Walton, W. C. (1970). Groundwater Resource Evaluation. New York: McGraw-Hill.

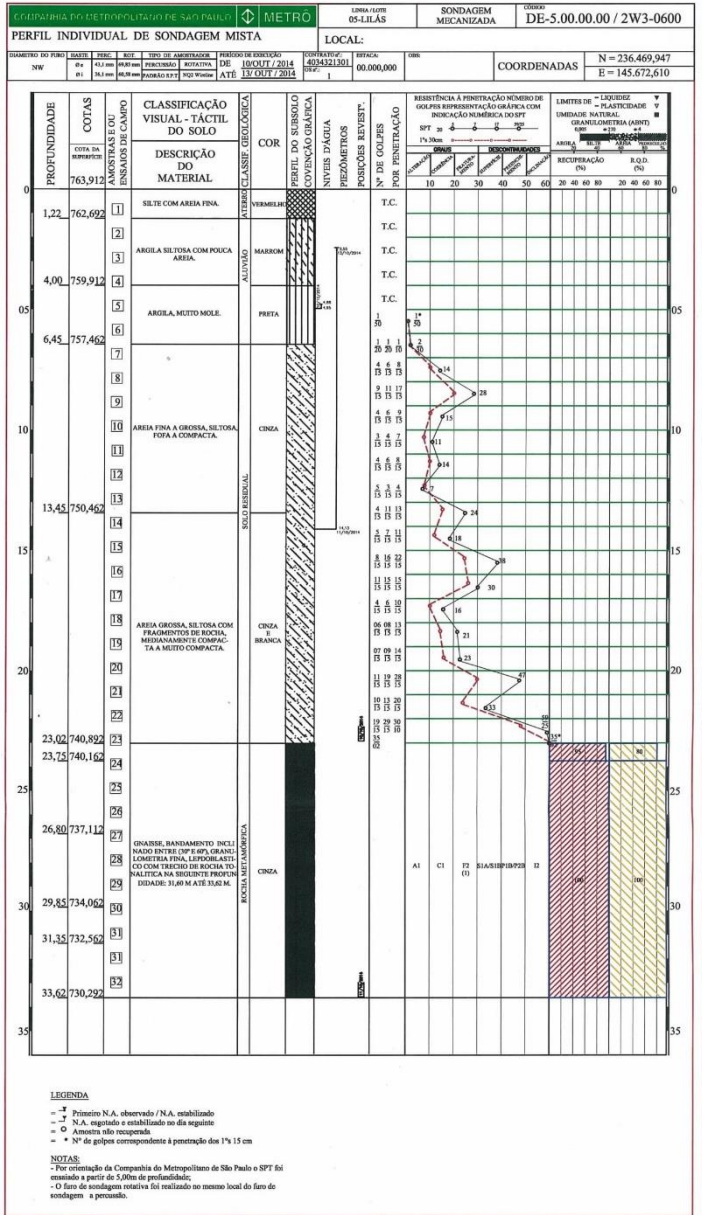


## ANEXO I - BOLETINS DE SONDAGEM

[illegible]

[illegible]





GRAU DE ALTERAÇÃO	GRAU DE COERÊNCIA	GRAU DE FRATURAMENTO (batim)	SUPERFÍCIE / ALTERAÇÃO	PREENCHIMENTO / ABERTURA	INCLINAÇÃO / ORIENTAÇÃO
A1 - SIL	C1 - MUITO COERENTE	P1 - 0 a 1 (POUCO FRATURADO)	B1 - LISA	P1 - SEM PREENCHIMENTO	11 - 0° a 10°
A2 - POUCA ALTERADA	C2 - COERENTE	P2 - 2 a 5 (FRATURADO)	B2 - LISA	P2 - FAREJOS ORIENTADOS	12 - 10° a 30°
A3 - MODERADAMENTE	C3 - MODERADAMENTE COERENTE	P3 - 6 a 10 (MUITO FRATURADO)	B3 - DEGRADADA	P3 - MATERIAL ARGILOSO	13 - 30° a 50°
A4 - MUITO A EXTENSAMENTE	C4 - POUCO COERENTE	P4 - 11 a 20 (EXTREMAMENTE FRATURADO)	A - SEM ALTERAÇÃO	A = < 1 mm	14 - 50° a 70°
		P5 - > 20 (FRATURAMENTO)	B - POUCA ALTERADA	B = 1 a 5 mm	15 - 70° a 90°
			C - MUITO ALTERADA	C = > 5 mm	

CROQUI DE LOCAÇÃO DA SONDAGEM S/ESCALA					
LEITURAS DE NÍVEL D'ÁGUA					
DATA	HORA	PROFUNDIDADE (DA SONDAGEM)	PROFUNDIDADE (INVESTIMENTO)	NÍVEL D'ÁGUA (m)	QUALIDADE
19/02/2014	08:30	5,00	1,00	4,00	
19/02/2014	10:00	5,00	1,00	4,00	
19/02/2014	10:10	5,00	1,00	4,00	
19/02/2014	10:25	5,00	1,00	4,00	
19/02/2014	10:40	5,00	1,00	4,00	
19/02/2014	10:55	5,00	1,00	4,00	
19/02/2014	11:20	5,00	1,00	4,00	
19/02/2014	11:30	5,00	1,00	4,00	
19/02/2014	11:40	5,00	1,00	4,00	
19/02/2014	11:50	5,00	1,00	4,00	
19/02/2014	12:00	5,00	1,00	4,00	
19/02/2014	12:10	5,00	1,00	4,00	
19/02/2014	12:20	5,00	1,00	4,00	
19/02/2014	12:30	5,00	1,00	4,00	
19/02/2014	12:40	5,00	1,00	4,00	
19/02/2014	12:50	5,00	1,00	4,00	
19/02/2014	13:00	5,00	1,00	4,00	
19/02/2014	13:10	5,00	1,00	4,00	
19/02/2014	13:20	5,00	1,00	4,00	
19/02/2014	13:30	5,00	1,00	4,00	
19/02/2014	13:40	5,00	1,00	4,00	
19/02/2014	13:50	5,00	1,00	4,00	
19/02/2014	14:00	5,00	1,00	4,00	
19/02/2014	14:10	5,00	1,00	4,00	
19/02/2014	14:20	5,00	1,00	4,00	
19/02/2014	14:30	5,00	1,00	4,00	
19/02/2014	14:40	5,00	1,00	4,00	
19/02/2014	14:50	5,00	1,00	4,00	
19/02/2014	15:00	5,00	1,00	4,00	
19/02/2014	15:10	5,00	1,00	4,00	
19/02/2014	15:20	5,00	1,00	4,00	
19/02/2014	15:30	5,00	1,00	4,00	
19/02/2014	15:40	5,00	1,00	4,00	
19/02/2014	15:50	5,00	1,00	4,00	
19/02/2014	16:00	5,00	1,00	4,00	
19/02/2014	16:10	5,00	1,00	4,00	
19/02/2014	16:20	5,00	1,00	4,00	
19/02/2014	16:30	5,00	1,00	4,00	
19/02/2014	16:40	5,00	1,00	4,00	
19/02/2014	16:50	5,00	1,00	4,00	
19/02/2014	17:00	5,00	1,00	4,00	
19/02/2014	17:10	5,00	1,00	4,00	
19/02/2014	17:20	5,00	1,00	4,00	
19/02/2014	17:30	5,00	1,00	4,00	
19/02/2014	17:40	5,00	1,00	4,00	
19/02/2014	17:50	5,00	1,00	4,00	
19/02/2014	18:00	5,00	1,00	4,00	
19/02/2014	18:10	5,00	1,00	4,00	
19/02/2014	18:20	5,00	1,00	4,00	
19/02/2014	18:30	5,00	1,00	4,00	
19/02/2014	18:40	5,00	1,00	4,00	
19/02/2014	18:50	5,00	1,00	4,00	
19/02/2014	19:00	5,00	1,00	4,00	
19/02/2014	19:10	5,00	1,00	4,00	
19/02/2014	19:20	5,00	1,00	4,00	
19/02/2014	19:30	5,00	1,00	4,00	
19/02/2014	19:40	5,00	1,00	4,00	
19/02/2014	19:50	5,00	1,00	4,00	
19/02/2014	20:00	5,00	1,00	4,00	
19/02/2014	20:10	5,00	1,00	4,00	
19/02/2014	20:20	5,00	1,00	4,00	
19/02/2014	20:30	5,00	1,00	4,00	
19/02/2014	20:40	5,00	1,00	4,00	
19/02/2014	20:50	5,00	1,00	4,00	
19/02/2014	21:00	5,00	1,00	4,00	
19/02/2014	21:10	5,00	1,00	4,00	
19/02/2014	21:20	5,00	1,00	4,00	
19/02/2014	21:30	5,00	1,00	4,00	
19/02/2014	21:40	5,00	1,00	4,00	
19/02/2014	21:50	5,00	1,00	4,00	
19/02/2014	22:00	5,00	1,00	4,00	
19/02/2014	22:10	5,00	1,00	4,00	
19/02/2014	22:20	5,00	1,00	4,00	
19/02/2014	22:30	5,00	1,00	4,00	
19/02/2014	22:40	5,00	1,00	4,00	
19/02/2014	22:50	5,00	1,00	4,00	
19/02/2014	23:00	5,00	1,00	4,00	
19/02/2014	23:10	5,00	1,00	4,00	
19/02/2014	23:20	5,00	1,00	4,00	
19/02/2014	23:30	5,00	1,00	4,00	
19/02/2014	23:40	5,00	1,00	4,00	
19/02/2014	23:50	5,00	1,00	4,00	
19/02/2014	00:00	5,00	1,00	4,00	
19/02/2014	00:10	5,00	1,00	4,00	
19/02/2014	00:20	5,00	1,00	4,00	
19/02/2014	00:30	5,00	1,00	4,00	
19/02/2014	00:40	5,00	1,00	4,00	
19/02/2014	00:50	5,00	1,00	4,00	
19/02/2014	01:00	5,00	1,00	4,00	
19/02/2014	01:10	5,00	1,00	4,00	
19/02/2014	01:20	5,00	1,00	4,00	
19/02/2014	01:30	5,00	1,00	4,00	
19/02/2014	01:40	5,00	1,00	4,00	
19/02/2014	01:50	5,00	1,00	4,00	
19/02/2014	02:00	5,00	1,00	4,00	
19/02/2014	02:10	5,00	1,00	4,00	
19/02/2014	02:20	5,00	1,00	4,00	
19/02/2014	02:30	5,00	1,00	4,00	
19/02/2014	02:40	5,00	1,00	4,00	
19/02/2014	02:50	5,00	1,00	4,00	
19/02/2014	03:00	5,00	1,00	4,00	
19/02/2014	03:10	5,00	1,00	4,00	
19/02/2014	03:20	5,00	1,00	4,00	
19/02/2014	03:30	5,00	1,00	4,00	
19/02/2014	03:40	5,00	1,00	4,00	
19/02/2014	03:50	5,00	1,00	4,00	
19/02/2014	04:00	5,00	1,00	4,00	
19/02/2014	04:10	5,00	1,00	4,00	
19/02/2014	04:20	5,00	1,00	4,00	
19/02/2014	04:30	5,00	1,00	4,00	
19/02/2014	04:40	5,00	1,00	4,00	
19/02/2014	04:50	5,00	1,00	4,00	
19/02/2014	05:00	5,00	1,00	4,00	
19/02/2014	05:10	5,00	1,00	4,00	
19/02/2014	05:20	5,00	1,00	4,00	
19/02/2014	05:30	5,00	1,00	4,00	
19/02/2014	05:40	5,00	1,00	4,00	
19/02/2014	05:50	5,00	1,00	4,00	
19/02/2014	06:00	5,00	1,00	4,00	
19/02/2014	06:10	5,00	1,00	4,00	
19/02/2014	06:20	5,00	1,00	4,00	
19/02/2014	06:30	5,00	1,00	4,00	
19/02/2014	06:40	5,00	1,00	4,00	
19/02/2014	06:50	5,00	1,00	4,00	
19/02/2014	07:00	5,00	1,00	4,00	
19/02/2014	07:10	5,00	1,00	4,00	
19/02/2014	07:20	5,00	1,00	4,00	
19/02/2014	07:30	5,00	1,00	4,00	
19/02/2014	07:40	5,00	1,00	4,00	
19/02/2014	07:50	5,00	1,00	4,00	
19/02/2014	08:00	5,00	1,00	4,00	
19/02/2014	08:10	5,00	1,00	4,00	
19/02/2014	08:20	5,00	1,00	4,00	
19/02/2014	08:30	5,00	1,00	4,00	
19/02/2014	08:40	5,00	1,00	4,00	
19/02/2014	08:50	5,00	1,00	4,00	
19/02/2014	09:00	5,00	1,00	4,00	
19/02/2014	09:10	5,00	1,00	4,00	
19/02/2014	09:20	5,00	1,00	4,00	
19/02/2014	09:30	5,00	1,00	4,00	
19/02/2014	09:40	5,00	1,00	4,00	
19/02/2014	09:50	5,00	1,00	4,00	
19/02/2014	10:00	5,00	1,00	4,00	
19/02/2014	10:10	5,00	1,00	4,00	
19/02/2014	10:20	5,00	1,00	4,00	
19/02/2014	10:30	5,00	1,00	4,00	
19/02/2014	10:40	5,00	1,00	4,00	
19/02/2014	10:50	5,00	1,00	4,00	
19/02/2014	11:00	5,00	1,00	4,00	
19/02/2014	11:10	5,00	1,00	4,00	
19/02/2014	11:20	5,00	1,00	4,00	
19/02/2014	11:30	5,00	1,00	4,00	
19/02/2014	11:40	5,00	1,00	4,00	
19/02/2014	11:50	5,00	1,00	4,00	
19/02/2014	12:00	5,00	1,00	4,00	
19/02/2014	12:10	5,00	1,00	4,00	
19/02/2014	12:20	5,00	1,00	4,00	
19/02/2014	12:30	5,00	1,00	4,00	
19/02/2014	12:40	5,00	1,00	4,00	
19/02/2014	12:50	5,00	1,00	4,00	
19/02/2014	13:00	5,00	1,00	4,00	
19/02/2014	13:10	5,00	1,00	4,00	
19/02/2014	13:20	5,00	1,00	4,00	
19/02/2014	13:30	5,00	1,00	4,00	
19/02/2014	13:40	5,00	1,00	4,00	
19/02/2014	13:50	5,00	1,00	4,00	
19/02/2014	14:00	5,00	1,00	4,00	
19/02/2014	14:10	5,00	1,00	4,00	
19/02/2014	14:20	5,00	1,00	4,00	
19/02/2014	14:30	5,00	1,00	4,00	
19/02/2014	14:40	5,00	1,00	4,00	
19/02/2014	14:50	5,00	1,00	4,00	
19/02/2014	15:00	5,00	1,00	4,00	
19/02/2014	15:10	5,00	1,00	4,00	
19/02/2014	15:20	5,00	1,00	4,00	
19/02/2014	15:30	5,00	1,00	4,00	
19/02/2014	15:40	5,00	1,00	4,00	
19/02/2014	15:50	5,00	1,00	4,00	
19/02/2014	16:00	5,00	1,00	4,00	
19/02/2014	16:10	5,00	1,00	4,00	
19/02/2014	16:20	5,00	1,00	4,00	
19/02/2014	16:30	5,00	1,00	4,00	
19/02/2014	16:40	5,00	1,00	4,00	
19/02/2014	16:50	5,00	1,00	4,00	
19/02/2014	17:00	5,00	1,00	4,00	
19/02/2014	17:10	5,00	1,00	4,00	
19/02/2014	17:20	5,00	1,00	4,00	
19/02/2014	17:30	5,00	1,00	4,00	
19/02/2014	17:40	5,00	1,00	4,00	
19/02/2014	17:50	5,00	1,00	4,00	
19/02/2014	18:00	5,00	1,00	4,00	



60

## ANEXO II – PIEZÔMETROS

COMPANHIA DO METROPOLITANO DE SÃO PAULO <b>METRÔ</b>				CÓDIGO:			
RELATÓRIO DE INSTALAÇÃO DE PIEZÔMETRO / I.N.A				DE-5.00.00.00 / 2W6 - PZ 1A			
LOCAL:							
DIÂMETRO DO TUBO	DIÂMETRO DO TUBO	SONDAGEM - BASE	DATA DE INSTALAÇÃO		COORDENADAS	N = 236.517,278	COTA DE SUPERFÍCIE
9"	2"	SM-0604	INÍCIO: 25/JUL/2015	TÉRMINO: 27/JUL/2015		E = 145.671,229	763,098
						PROFUNDIDADE:	5,55

RESPONSÁVEL TÉCNICO:

APROVADO:

**ESQUEMA DE INSTALAÇÃO**

**LEITURAS DE NÍVEL D'ÁGUA**

DATA	HORA	PROF.	COTA	DATA	HORA	PROF.	COTA
25/07/2015	09:30	2,24	760,858				
26/07/2015	09:31	2,33	760,768				
27/07/2015	09:30	2,27	760,828				
27/07/2015	09:31	0,00	763,098				
27/07/2015	09:32	0,94	762,158				
27/07/2015	09:33	1,31	761,788				
27/07/2015	09:34	1,57	761,528				
27/07/2015	09:37	1,97	761,128				
27/07/2015	09:40	2,06	761,038				
27/07/2015	09:43	2,12	760,978				
27/07/2015	09:46	2,15	760,948				
27/07/2015	09:51	2,18	760,918				
27/07/2015	10:01	2,19	760,908				
27/07/2015	10:06	2,20	760,898				
27/07/2015	10:16	2,21	760,888				
27/07/2015	10:26	2,21	760,888				
27/07/2015	10:36	2,21	760,888				
27/07/2015	10:51	2,21	760,888				
27/07/2015	11:06	2,21	760,888				
27/07/2015	11:21	2,21	760,888				
27/07/2015	11:51	2,21	760,888				
27/07/2015	12:21	2,21	760,888				

LEITURA DE N.A. INICIAL: 2,24

ESTABILIZADO: 2,21

DATA: 24/06/2015

**GRÁFICO DE ESTABILIZAÇÃO (COTAS X DATA/HORA)**

DATA - HORA	REV	POR	DATA	REV	POR
25/07/15 - 09:30					
27/07/15 - 09:31					
27/07/15 - 09:30					
27/07/15 - 09:31					
27/07/15 - 09:32					
27/07/15 - 09:33					
27/07/15 - 09:34					
27/07/15 - 09:35					
27/07/15 - 09:40					
27/07/15 - 09:43					
27/07/15 - 09:46					
27/07/15 - 09:51					
27/07/15 - 10:01					
27/07/15 - 10:06					
27/07/15 - 10:16					
27/07/15 - 10:26					
27/07/15 - 10:36					
27/07/15 - 10:51					
27/07/15 - 11:06					
27/07/15 - 11:21					
27/07/15 - 11:51					
27/07/15 - 12:21					

EXECUTORA	RESPONSÁVEL TÉCNICO (NOME E CREA)	DATA	C.M.S.P
CONSORCIO DAMASCO PENNA - SONDAOESTE	ENGº ANTÔNIO SÉRGIO DAMASCO PENNA - 0600459308	07/AGO/2015	



<div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;"> <div>COMPANHIA DO METROPOLITANO DE SÃO PAULO</div> <div style="text-align: center;">   <b>METRÔ</b> </div> </div>				CÓDIGO:			
RELATÓRIO DE INSTALAÇÃO DE PIEZÔMETRO / I.N.A				DE-5.00.00.00 / 2W6 - PZ 1B			
LOCAL:				DATA DE INSTALAÇÃO			
DIÂMETRO DO TUBO	DIÂMETRO DO TUBO	SONDAGEM - BASE	INÍCIO: 25 / JUL / 2015		TÉRMINO: 27 / JUL / 2015		COORDENADAS
9"	2"	SM-0604			N = 236.518,948 E = 145.671,668		COTA DE SUPERFÍCIE: 763,098 PROFUNDIDADE: 29,35

RESPONSÁVEL TÉCNICO: / /

APROVADO: / /

ESTA FOLHA É DE PROPRIEDADE DA COMPANHIA DO METROPOLITANO DE SÃO PAULO - METRÔ E NÃO PODE SER COPIADO OU REVELADO A TERCEIROS

### ESQUEMA DE INSTALAÇÃO

### LEITURAS DE NÍVEL D'ÁGUA

DATA	HORA	PROF.	COTA	DATA	HORA	PROF.	COTA
25/07/2015	12:59	2,38	760,718				
26/07/2015	12:58	2,62	760,478				
27/07/2015	12:54	2,39	760,708				
27/07/2015	13:05	0,00	763,098				
27/07/2015	13:06	1,05	762,048				
27/07/2015	13:07	1,51	761,588				
27/07/2015	13:08	1,82	761,278				
27/07/2015	13:11	2,18	760,918				
27/07/2015	13:14	2,27	760,828				
27/07/2015	13:17	2,32	760,778				
27/07/2015	13:20	2,34	760,758				
27/07/2015	13:25	2,35	760,748				
27/07/2015	13:30	2,35	760,748				
27/07/2015	13:35	2,35	760,748				
27/07/2015	13:45	2,35	760,738				
27/07/2015	13:55	2,36	760,738				
27/07/2015	14:05	2,36	760,738				
27/07/2015	14:20	2,36	760,738				
27/07/2015	14:35	2,36	760,738				
27/07/2015	14:50	2,36	760,738				
27/07/2015	15:20	2,36	760,738				
27/07/2015	15:50	2,36	760,738				

LEITURA DE N.A

INICIAL: 2,38

DATA: 24/06/2015

ESTABILIZADO: 2,36

### GRÁFICO DE ESTABILIZAÇÃO (COTAS X DATA/HORA)

DATA	REV	POR	DATA	REV	POR

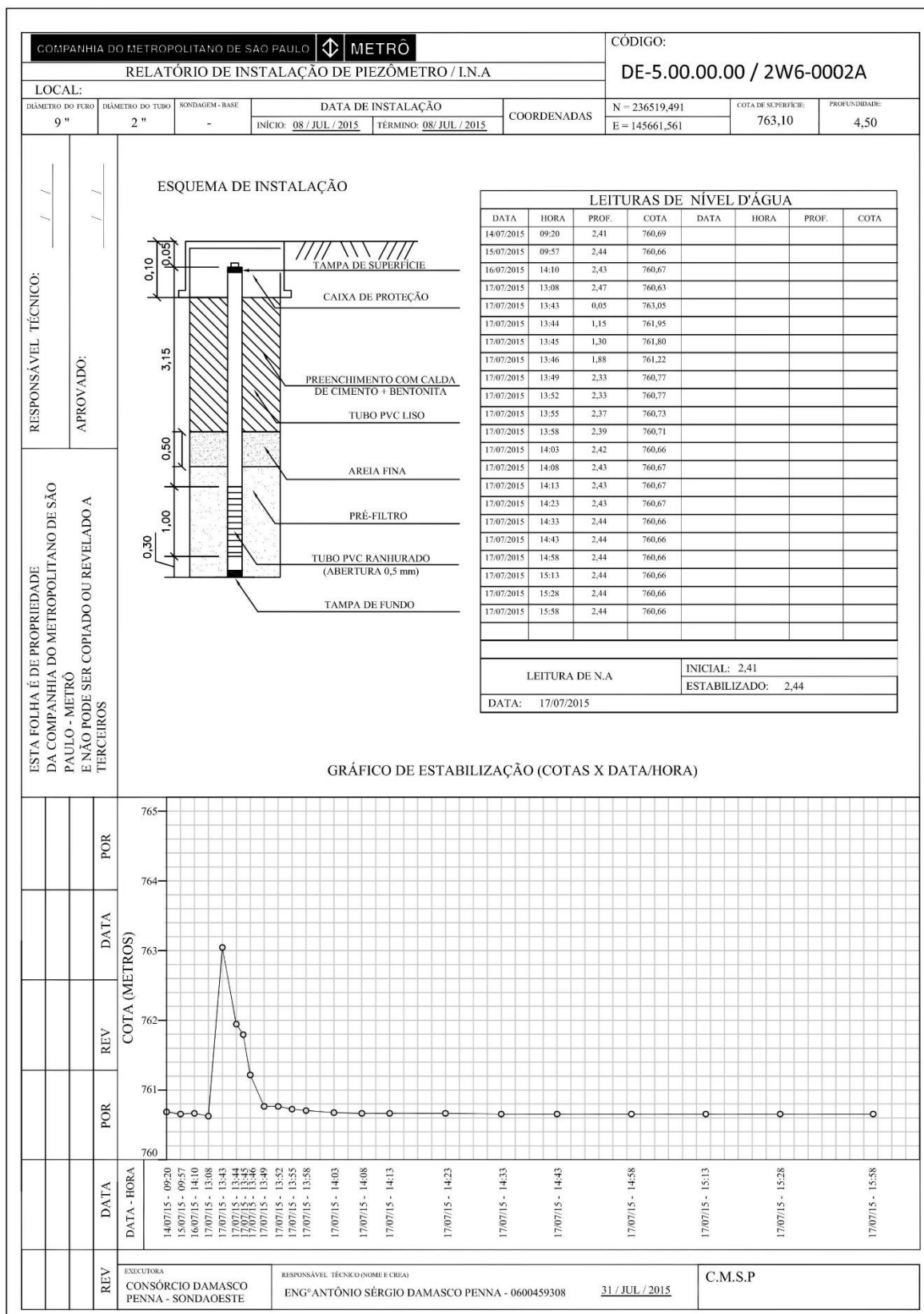
DATA - HORA
25/07/15 - 12:59
26/07/15 - 12:58
27/07/15 - 12:54
27/07/15 - 13:05
27/07/15 - 13:06
27/07/15 - 13:07
27/07/15 - 13:08
27/07/15 - 13:11
27/07/15 - 13:14
27/07/15 - 13:17
27/07/15 - 13:20
27/07/15 - 13:25
27/07/15 - 13:30
27/07/15 - 13:35
27/07/15 - 13:45
27/07/15 - 13:55
27/07/15 - 14:05
27/07/15 - 14:20
27/07/15 - 14:35
27/07/15 - 14:50
27/07/15 - 15:20
27/07/15 - 15:50

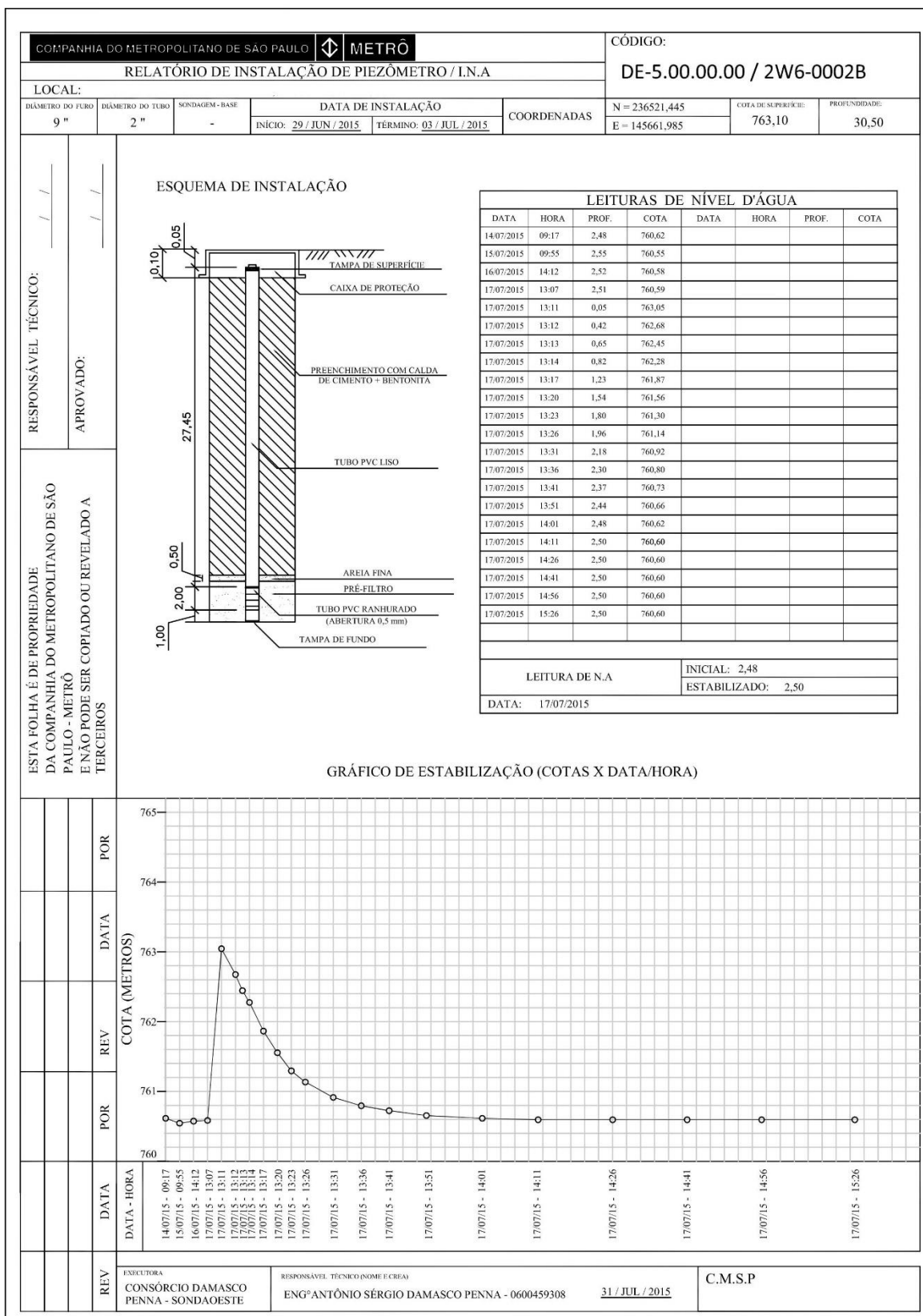
EXECUTORA  
 CONSÓRCIO DAMASCO PENNA - SONDAOESTE

RESPONSÁVEL TÉCNICO (NOME E CREA)  
 ENGº ANTONIO SÉRGIO DAMASCO PENNA - 0600459308

07 / AGO / 2015

C.M.S.P





<div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;"> <div> COMPANHIA DO METROPOLITANO DE SÃO PAULO <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin: 0 5px;"> </div> </div> <div> CÓDIGO:  DE-5.00.00.00 / 2W6-0003A </div> </div>				
<b>RELATÓRIO DE INSTALAÇÃO DE PIEZÔMETRO / I.N.A</b>				
<b>LOCAL:</b>				
DIÂMETRO DO FURO	DIÂMETRO DO TUBO	SONDAGEM - BASE	DATA DE INSTALAÇÃO	COORDENADAS
9"	2"	-	INÍCIO: 06/JUL/2015    TÉRMINO: 07/JUL/2015	N = 236523,296 E = 145646,805
				COTA DE SUPERFÍCIE: 763,09 PROFUNDIDADE: 6,09

RESPONSÁVEL TÉCNICO: \_\_\_\_\_  
  
APROVADO: \_\_\_\_\_

ESQUEMA DE INSTALAÇÃO

LEITURAS DE NÍVEL D'ÁGUA							
DATA	HORA	PROF.	COTA	DATA	HORA	PROF.	COTA
14/07/2015	09:16	3,03	760,06	17/07/2015	14:35	3,01	760,08
15/07/2015	09:52	3,05	760,04				
16/07/2015	14:00	3,04	760,05				
16/07/2015	14:32	0,05	763,04				
16/07/2015	14:33	0,55	762,54				
16/07/2015	14:34	0,95	762,14				
16/07/2015	14:35	1,30	761,79				
16/07/2015	14:38	1,80	761,29				
16/07/2015	14:41	2,25	760,84				
16/07/2015	14:44	2,63	760,46				
16/07/2015	14:47	2,77	760,32				
16/07/2015	14:52	2,90	760,19				
16/07/2015	14:57	2,95	760,14				
16/07/2015	15:02	2,97	760,12				
16/07/2015	15:12	2,98	760,11				
16/07/2015	15:22	2,99	760,10				
16/07/2015	15:32	2,99	760,10				
16/07/2015	15:47	3,00	760,09				
16/07/2015	16:02	3,00	760,09				
16/07/2015	16:17	3,00	760,09				
16/07/2015	16:47	3,01	760,08				
16/07/2015	17:17	3,01	760,08				
16/07/2015	17:47	3,01	760,08				

LEITURA DE N.A

INICIAL: 3,03

ESTABILIZADO: 3,01

DATA: 17/07/2015

**GRÁFICO DE ESTABILIZAÇÃO (COTAS X DATA/HORA)**

REV	DATA	POR	REV	DATA	POR



<div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;"> <div> COMPANHIA DO METROPOLITANO DE SÃO PAULO <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; font-weight: bold;">METRÔ</div> </div> <div>CÓDIGO:</div> </div>							
RELATÓRIO DE INSTALAÇÃO DE PIEZÔMETRO / I.N.A				DE-5.00.00.00 / 2W6-0003B			
LOCAL:		DATA DE INSTALAÇÃO		COORDENADAS		COTA DE SUPERFÍCIE:	
DIÂMETRO DO FURO	DIÂMETRO DO TUBO	SONDAGEM - BASE	INÍCIO: 23 / JUN / 2015	TÉRMINO: 26 / JUN / 2015		N = 236525,250	PROFUNDIDADE:
9"	2"	-				E = 145647,230	763,090 / 30,75

RESPONSÁVEL TÉCNICO: \_\_\_\_\_

APROVADO: \_\_\_\_\_

ESQUEMA DE INSTALAÇÃO

LEITURAS DE NÍVEL D'ÁGUA

DATA	HORA	PROF.	COTA	DATA	HORA	PROF.	COTA
14/07/2015	09:15	2,20	760,89	17/07/2015	14:35	2,17	760,92
15/07/2015	09:30	2,21	760,88				
16/07/2015	14:00	2,19	760,90				
16/07/2015	14:01	0,05	763,04				
16/07/2015	14:02	0,96	762,13				
16/07/2015	14:03	1,42	761,67				
16/07/2015	14:04	1,80	761,29				
16/07/2015	14:07	2,06	761,03				
16/07/2015	14:10	2,12	760,97				
16/07/2015	14:13	2,14	760,95				
16/07/2015	14:16	2,16	760,93				
16/07/2015	14:21	2,17	760,92				
16/07/2015	14:26	2,18	760,91				
16/07/2015	14:31	2,18	760,91				
16/07/2015	14:41	2,18	760,91				
16/07/2015	14:51	2,18	760,91				
16/07/2015	15:01	2,18	760,91				
16/07/2015	15:16	2,18	760,91				
16/07/2015	15:31	2,18	760,91				
16/07/2015	15:46	2,18	760,91				
16/07/2015	16:16	2,18	760,91				
16/07/2015	16:46	2,18	760,91				
16/07/2015	17:16	2,18	760,91				

LEITURA DE N.A

INICIAL: 2,20

DATA: 17/07/2015

ESTABILIZADO: 2,17

GRÁFICO DE ESTABILIZAÇÃO (COTAS X DATA/HORA)

REV	DATA - HORA	POR	REV	DATA	POR
	14/07/15 - 09:15				
	15/07/15 - 09:30				
	16/07/15 - 14:00				
	16/07/15 - 14:01				
	16/07/15 - 14:02				
	16/07/15 - 14:03				
	16/07/15 - 14:04				
	16/07/15 - 14:07				
	16/07/15 - 14:10				
	16/07/15 - 14:13				
	16/07/15 - 14:16				
	16/07/15 - 14:21				
	16/07/15 - 14:26				
	16/07/15 - 14:31				
	16/07/15 - 14:41				
	16/07/15 - 14:51				
	16/07/15 - 15:01				
	16/07/15 - 15:16				
	16/07/15 - 15:31				
	16/07/15 - 15:46				
	16/07/15 - 16:16				
	16/07/15 - 16:46				
	16/07/15 - 17:16				
	17/07/15 - 14:35				

EXECUTORA	RESPONSÁVEL TÉCNICO (NOME E CREA)	DATA	C.M.S.P
CONSÓRCIO DAMASCO PENNA - SONDAOESTE	ENGº ANTÔNIO SÉRGIO DAMASCO PENNA - 0600459308	31 / JUL / 2015	

<div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;"> <div>COMPANHIA DO METROPOLITANO DE SÃO PAULO</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; font-weight: bold;">METRÔ</div> </div>				CÓDIGO:				
RELATÓRIO DE INSTALAÇÃO DE PIEZÔMETRO / I.N.A				DE-5.00.00.00 / 2W6 - PZ 4A				
LOCAL:								
DIÂMETRO DO FURO	DIÂMETRO DO TUBO	SONDAGEM - BASE	DATA DE INSTALAÇÃO		COORDENADAS	N = 236.530,766 E = 145.617,735	COTA DE SUPERFÍCIE 762,200	PROFUNDIDADE 5,50
9 "	2 "		INÍCIO: 26 / JUL / 2015    TÉRMINO: 28 / JUL / 2015					

RESPONSÁVEL TÉCNICO: / /

APROVADO: / /

ESTA FOLHA É DE PROPRIEDADE DA COMPANHIA DO METROPOLITANO DE SÃO PAULO - METRÔ E NÃO PODE SER COPIADO OU REVELADO A TERCEIROS

### ESQUEMA DE INSTALAÇÃO

### LEITURAS DE NÍVEL D'ÁGUA

DATA	HORA	PROF.	COTA	DATA	HORA	PROF.	COTA
26/07/2015	09:40	0,98	761,220				
27/07/2015	09:40	1,28	760,920				
28/07/2015	09:40	1,38	760,820				
28/07/2015	09:40	0,00	762,200				
28/07/2015	09:41	0,60	761,600				
28/07/2015	09:42	0,69	761,510				
28/07/2015	09:43	0,81	761,390				
28/07/2015	09:46	0,99	761,210				
28/07/2015	09:49	1,10	761,100				
28/07/2015	09:52	1,17	761,030				
28/07/2015	09:55	1,22	760,980				
28/07/2015	10:00	1,26	760,940				
28/07/2015	10:05	1,29	760,910				
28/07/2015	10:15	1,31	760,890				
28/07/2015	10:25	1,32	760,880				
28/07/2015	10:35	1,34	760,860				
28/07/2015	10:45	1,36	760,840				
28/07/2015	11:00	1,36	760,840				
28/07/2015	11:15	1,36	760,840				
28/07/2015	11:30	1,36	760,840				
28/07/2015	11:45	1,36	760,840				
28/07/2015	12:15	1,36	760,840				

LEITURA DE N.A

INICIAL: 0,98

DATA: 24/06/2015

ESTABILIZADO: 1,36

### GRÁFICO DE ESTABILIZAÇÃO (COTAS X DATA/HORA)

DATA	REV	POR

DATA - HORA
26/07/15 - 09:40
27/07/15 - 09:40
28/07/15 - 09:40
28/07/15 - 09:41
28/07/15 - 09:42
28/07/15 - 09:43
28/07/15 - 09:44
28/07/15 - 09:45
28/07/15 - 09:46
28/07/15 - 09:47
28/07/15 - 09:48
28/07/15 - 09:49
28/07/15 - 09:50
28/07/15 - 09:51
28/07/15 - 09:52
28/07/15 - 09:53
28/07/15 - 09:54
28/07/15 - 09:55
28/07/15 - 10:00
28/07/15 - 10:05
28/07/15 - 10:10
28/07/15 - 10:15
28/07/15 - 10:20
28/07/15 - 10:25
28/07/15 - 10:30
28/07/15 - 10:35
28/07/15 - 10:40
28/07/15 - 10:45
28/07/15 - 11:00
28/07/15 - 11:15
28/07/15 - 11:30
28/07/15 - 11:45
28/07/15 - 12:15

EXECUTORA

CONSORCIO DAMASCO PENNA - SONDAOESTE

RESPONSÁVEL TÉCNICO (NOME E CREA)

ENGºANTÔNIO SÉRGIO DAMASCO PENNA - 0600459308

07 /AGO / 2015

C.M.S.P

COMPANHIA DO METROPOLITANO DE SÃO PAULO				CÓDIGO:			
RELATÓRIO DE INSTALAÇÃO DE PIEZÔMETRO / I.N.A				DE-5.00.00.00 / 2W6 - PZ 4B			
LOCAL:							
DIÂMETRO DO FUBO	DIÂMETRO DO TUBO	SONDAGEM - BASE	DATA DE INSTALAÇÃO		COORDENADAS	N = 236.532,720 E = 145.618,160	COTA DE SUPERFÍCIE 762,200
9 "	2 "		INÍCIO: 26 / JUL / 2015    TÉRMINO: 28 / JUL / 2015				PROFUNDIDADE: 21,10

RESPONSÁVEL TÉCNICO: / /

APROVADO: / /

**ESQUEMA DE INSTALAÇÃO**

**LEITURAS DE NÍVEL D'ÁGUA**

DATA	HORA	PROF.	COTA	DATA	HORA	PROF.	COTA
26/07/2015	08:55	0,91	761,290				
27/07/2015	09:00	1,02	761,180				
28/07/2015	08:58	1,03	761,170				
28/07/2015	09:11	0,00	762,200				
28/07/2015	09:12	0,26	761,940				
28/07/2015	09:13	0,52	761,680				
28/07/2015	09:14	0,59	761,610				
28/07/2015	09:17	0,82	761,380				
28/07/2015	09:20	0,91	761,290				
28/07/2015	09:23	0,97	761,230				
28/07/2015	09:26	1,00	761,200				
28/07/2015	09:31	1,02	761,180				
28/07/2015	09:36	1,02	761,180				
28/07/2015	09:41	1,02	761,180				
28/07/2015	09:51	1,02	761,180				
28/07/2015	10:01	1,02	761,180				
28/07/2015	10:11	1,02	761,180				
28/07/2015	10:26	1,02	761,180				
28/07/2015	10:41	1,02	761,180				
28/07/2015	10:56	1,02	761,180				
28/07/2015	11:26	1,02	761,180				
28/07/2015	11:56	1,02	761,180				

LEITURA DE N.A

INICIAL: 0,91  
ESTABILIZADO: 1,02

DATA: 24/06/2015

**GRÁFICO DE ESTABILIZAÇÃO (COTAS X DATA/HORA)**

REV

DATA

DATA - HORA

POR

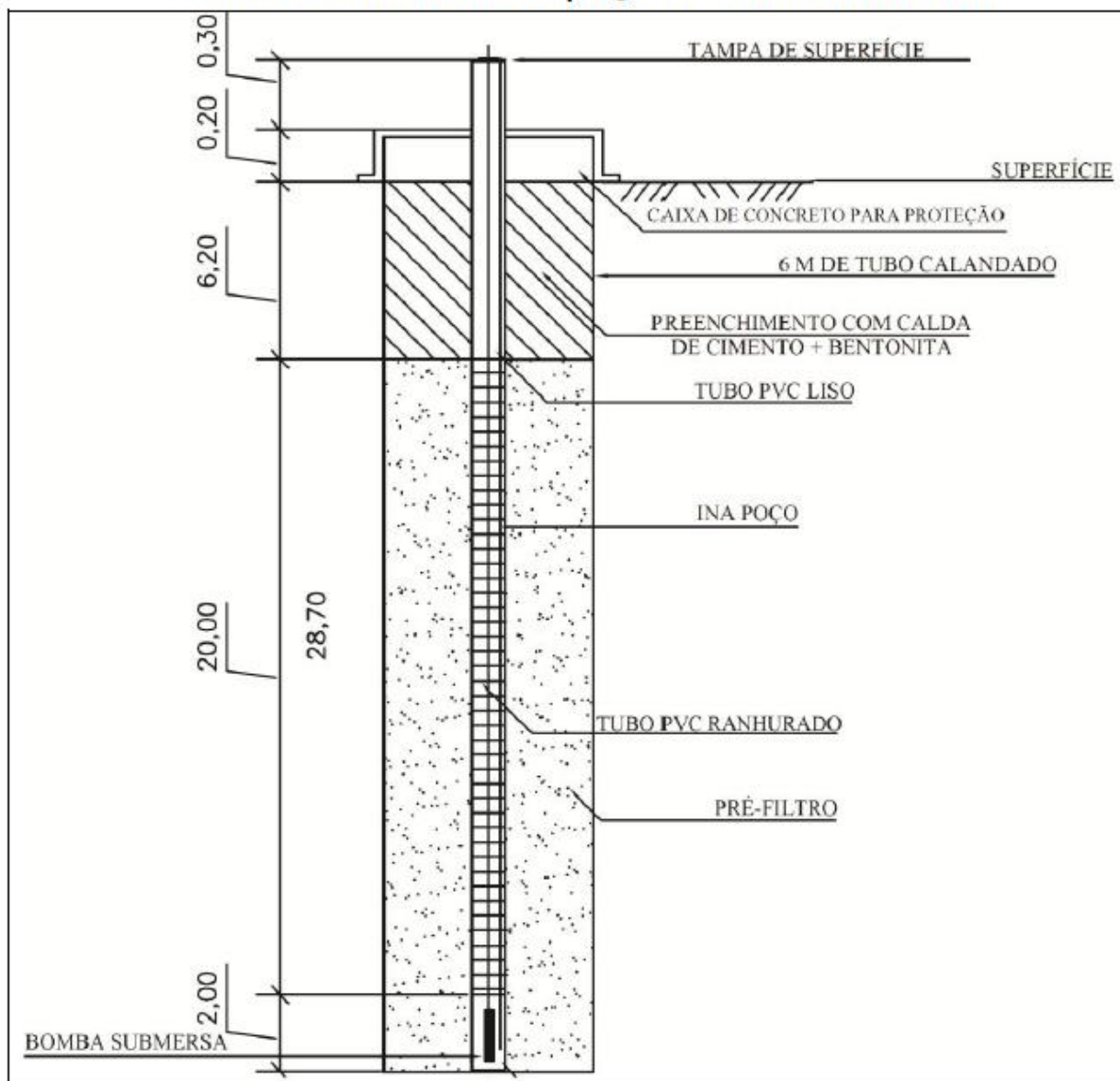
REV

DATA

POR

## ANEXO III – ENSAIO DE BOMBEAMENTO

Perfil construtivo do poço de bombeamento



Dados da Perfuração										
Executor	SONDAOESTE			Início	03/07/2015		Término	04/07/2015		
Sonda	A 28			Método	Rotopneumática		Sondador	Edegar Gnoatto		
Formação Geológica	Sedimentar				Aquífero	Poroso				
Profund.	28,20		Cobertura	0,00		Rocha	0,00		Cota	763,1
Latitude			Longitude			E	145.676,510		N	236.517,700
Cimentação					Materiais					
Cimentação		DE 0,00 ATÉ 6,20			Tubo Sanitário		6.00 M			
Laje de Proteção		1.00x1.00x0.20			Tubo de Recarga					
Desenvolvimento					Tampa de Segurança		1.00			
Método	Air Lift		Tempo (h)	04:00:00		Tampa de Fundo		1.00		
Desinfecção / Remoção de Lama de Perfuração					Guia Centralizadora					
Produto	Easy Clean		Quant.	20 Litros		Lama de Perfuração				
Teste de Bombeamento										
Data	Equipamento				Duração (h)	Profundidade (m)		Vazão		
29/07/2015	Bomba Submersa				24:00:00	28,20		2,21 m3/h		
N.E.(m)		2,19		N.D.(m)		27,37				

## POÇO DE BOMBEAMENTO

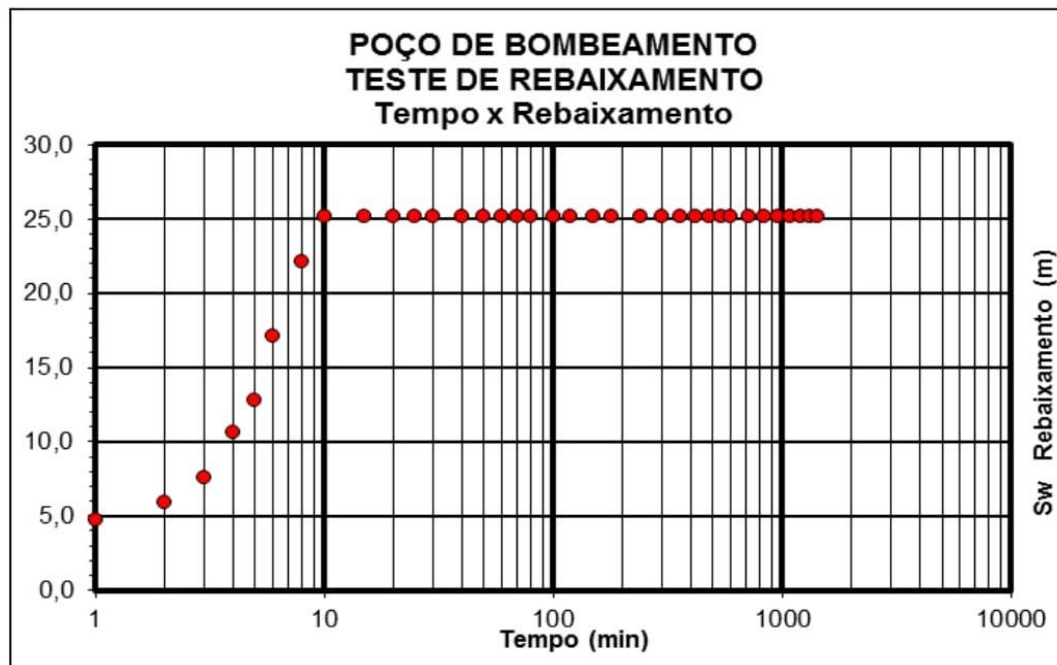


Figura 1 - Nível estático exposto no gráfico 0,00 m = Cota real do nível estático, 760,91 metros.

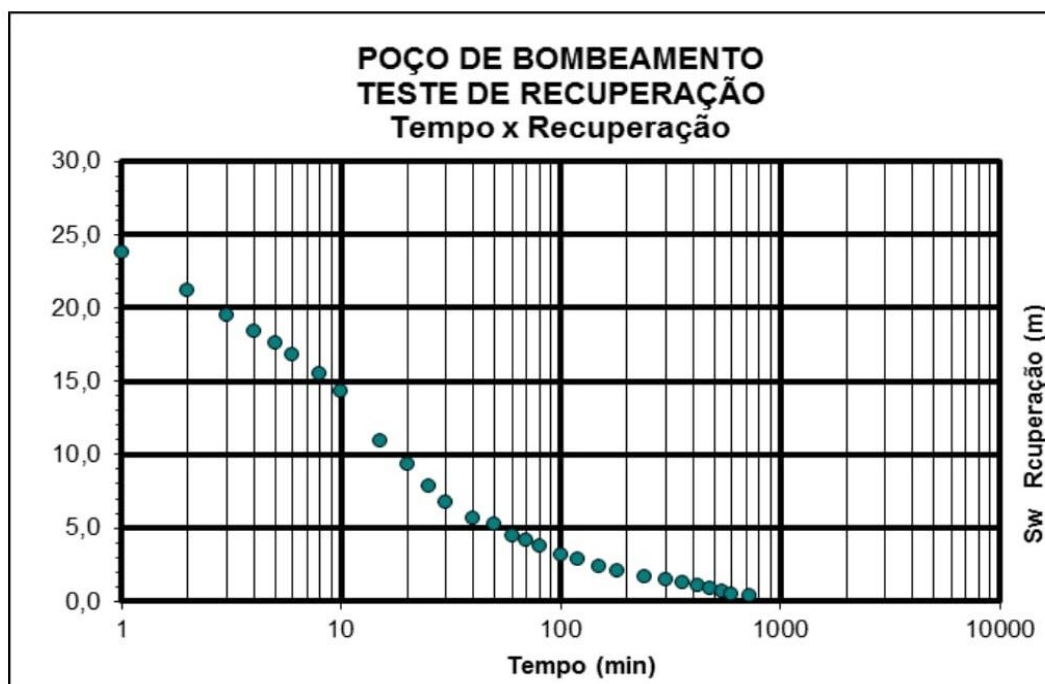


Figura 2 - Recuperação final, em 12 horas, corresponde a 24,80 m.

## PIEZÔMETRO 1 A

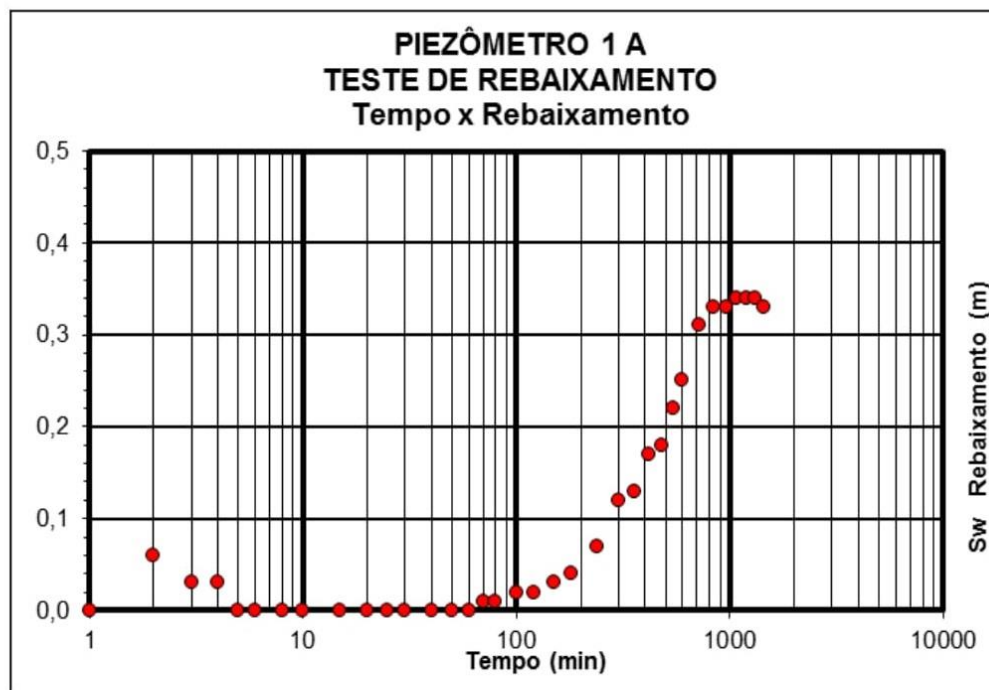


Figura 3 - Nível estático exposto no gráfico 0,00 m = Cota real do nível estático, 760,818 metros. Rebaixamento final, em 24 horas, corresponde a 0,33 m.

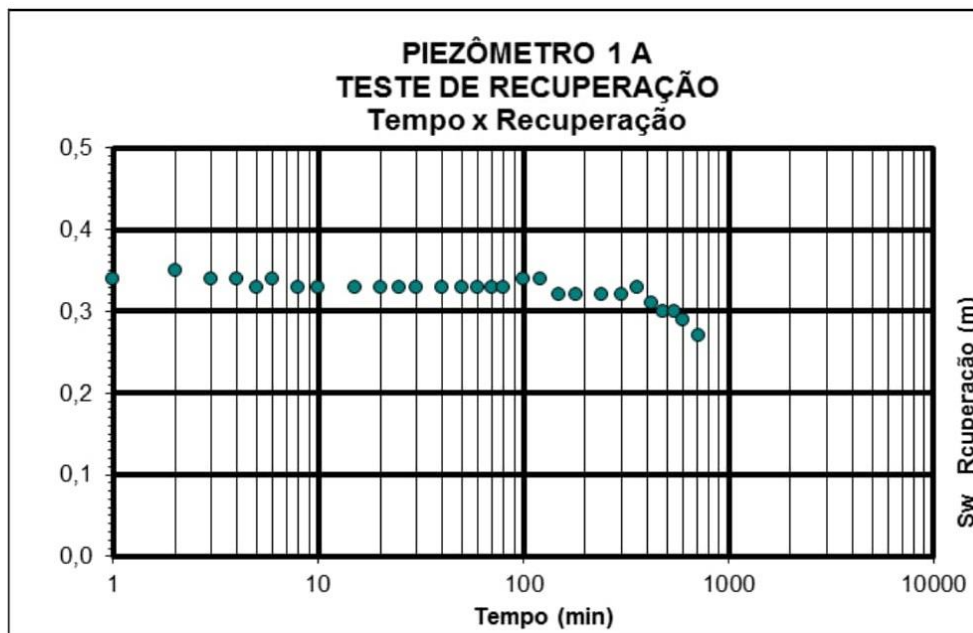


Figura 4 - Recuperação final, em 12 horas, corresponde a 0,06 m.



## PIEZÔMETRO 1 B

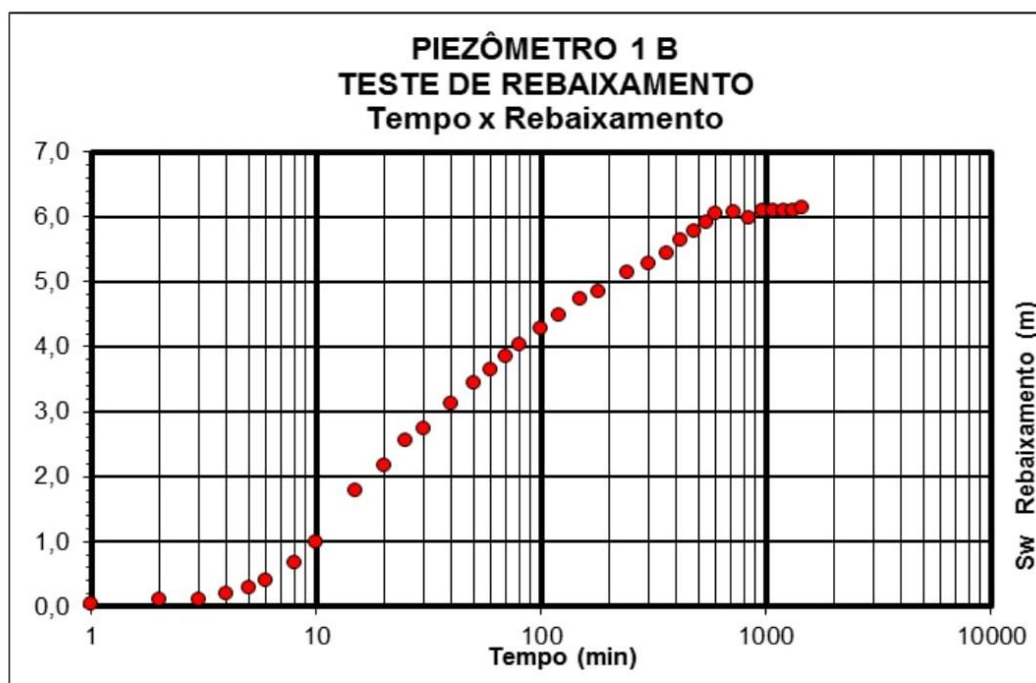


Figura 5 - Nível estático exposto no gráfico 0,00 m = Cota real do nível estático, 760,688 metros. Rebaixamento final, em 24 horas, corresponde a 6,15 m.

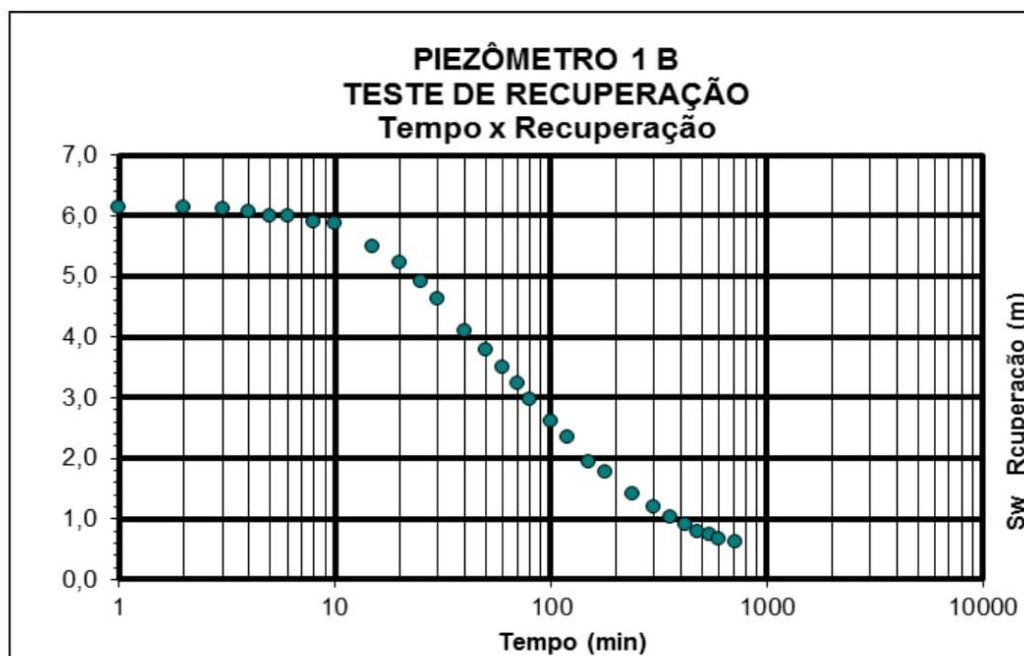


Figura 6 - Recuperação final, em 12 horas, corresponde a 5,53 m



## PIEZÔMETRO 2 A

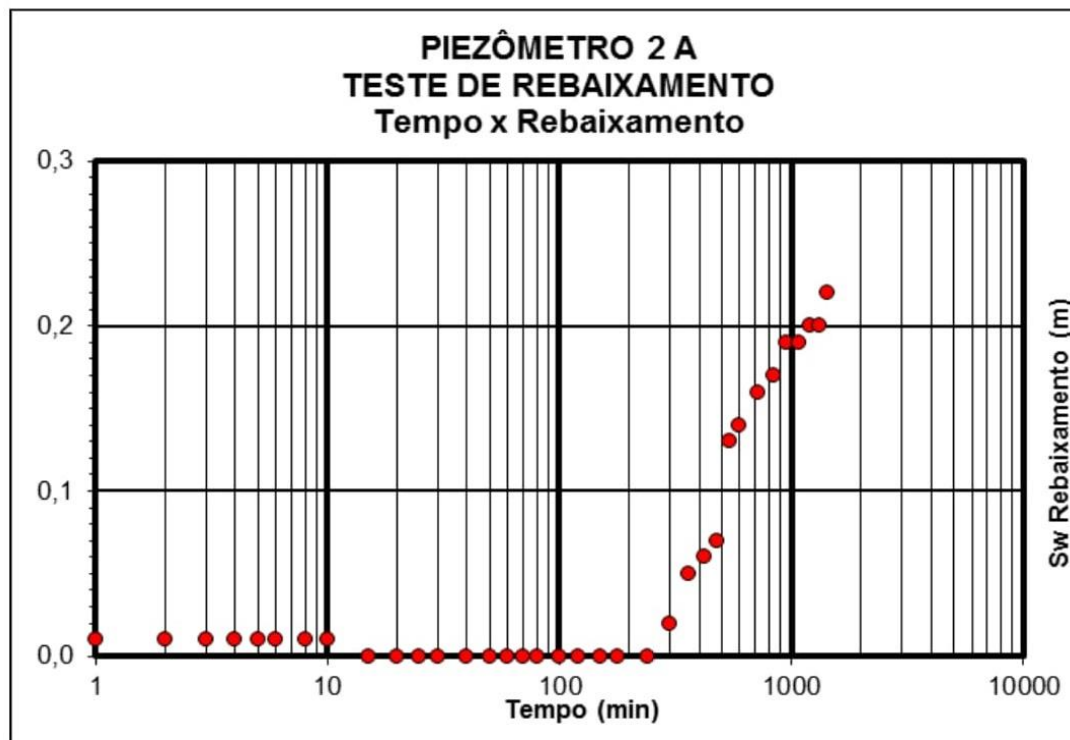


Figura 7 - Nível estático exposto no gráfico 0,00 m = Cota real do nível estático, 760,625 metros. Rebaixamento final, em 24 horas, corresponde a 0,22 m.

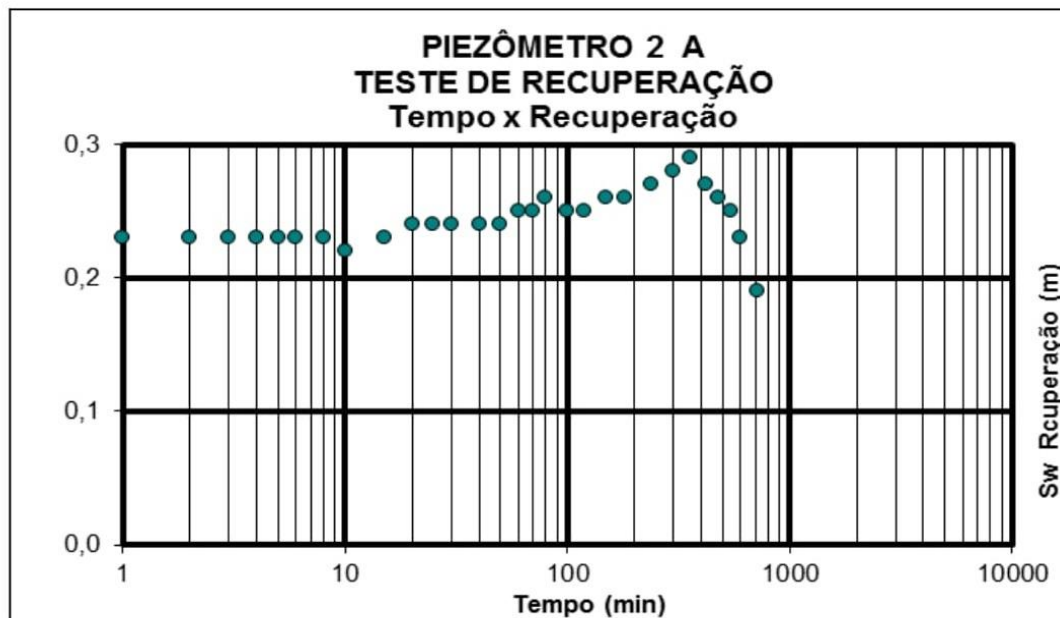


Figura 8 - Recuperação final, em 12 horas, corresponde a 0,03 m.

## PIEZÔMETRO 2 B

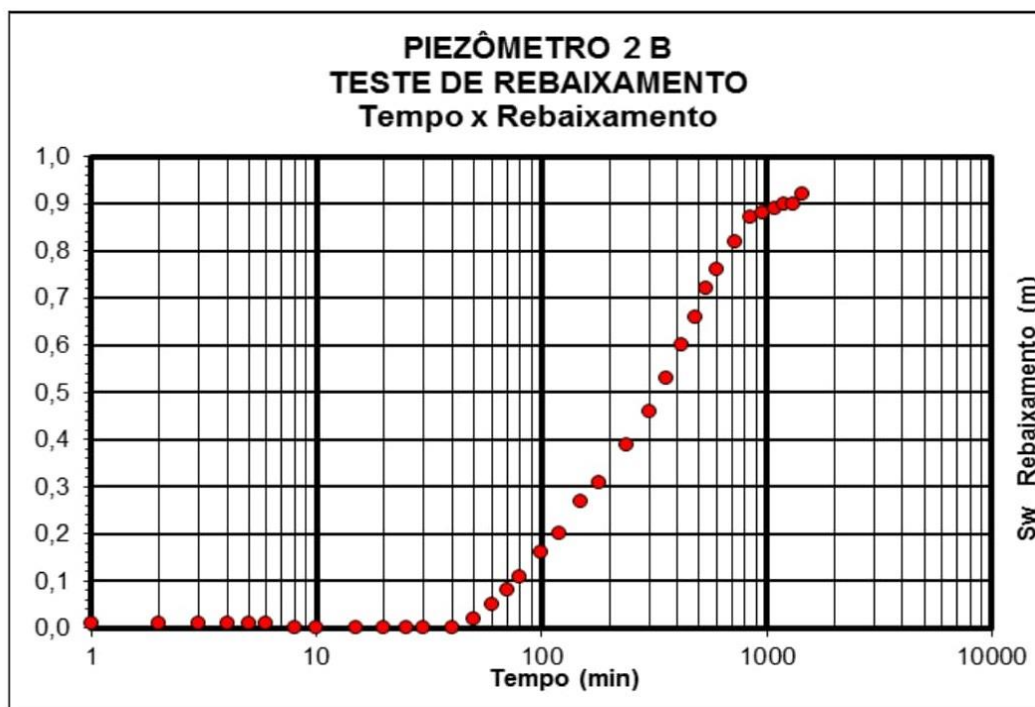


Figura 9 - Nível estático exposto no gráfico 0,00 m = Cota real do nível estático, 760,565 metros. Rebaixamento final, em 24 horas, corresponde a 0,92 m.

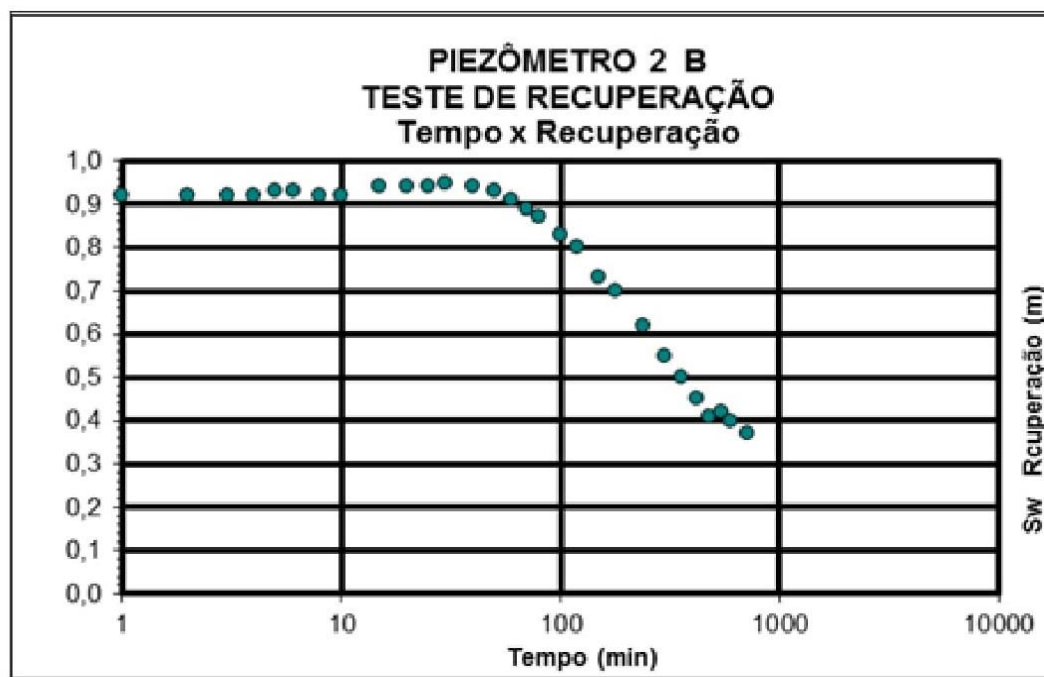


Figura 10 - Recuperação final, em 12 horas, corresponde a 0,55 m.

## PIEZÔMETRO 3 A

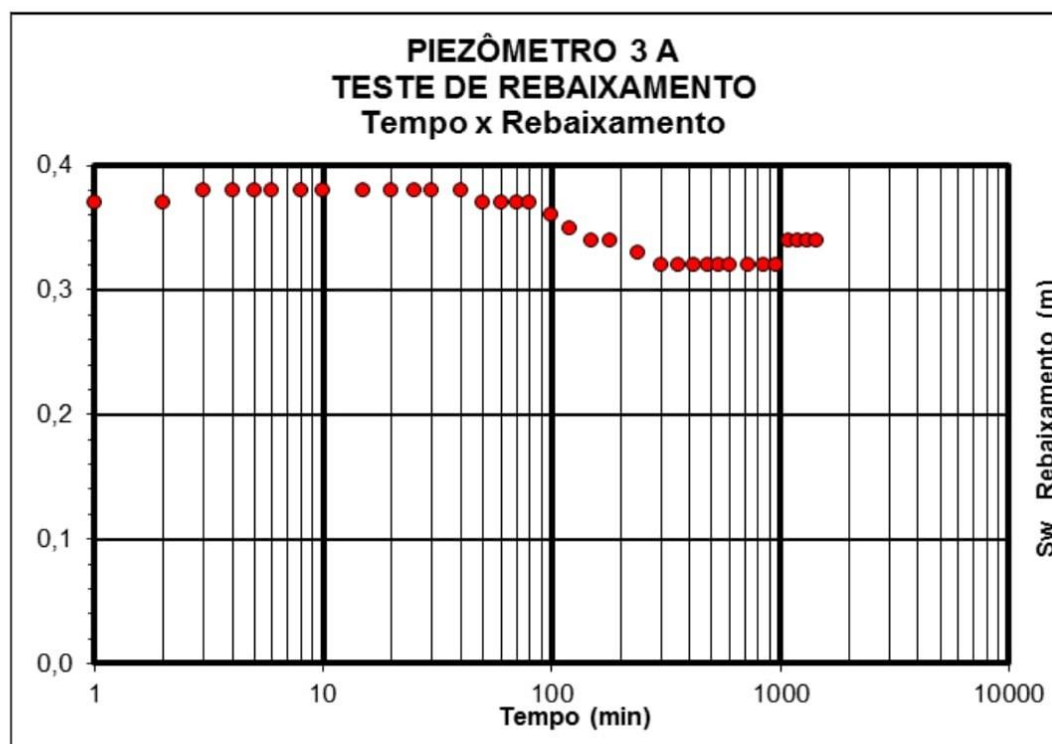


Figura 11 - Nível estático exposto no gráfico 0,00 m = Cota real do nível estático, 760,060 metros. Rebaixamento final, em 24 horas, corresponde a 0,34 m.

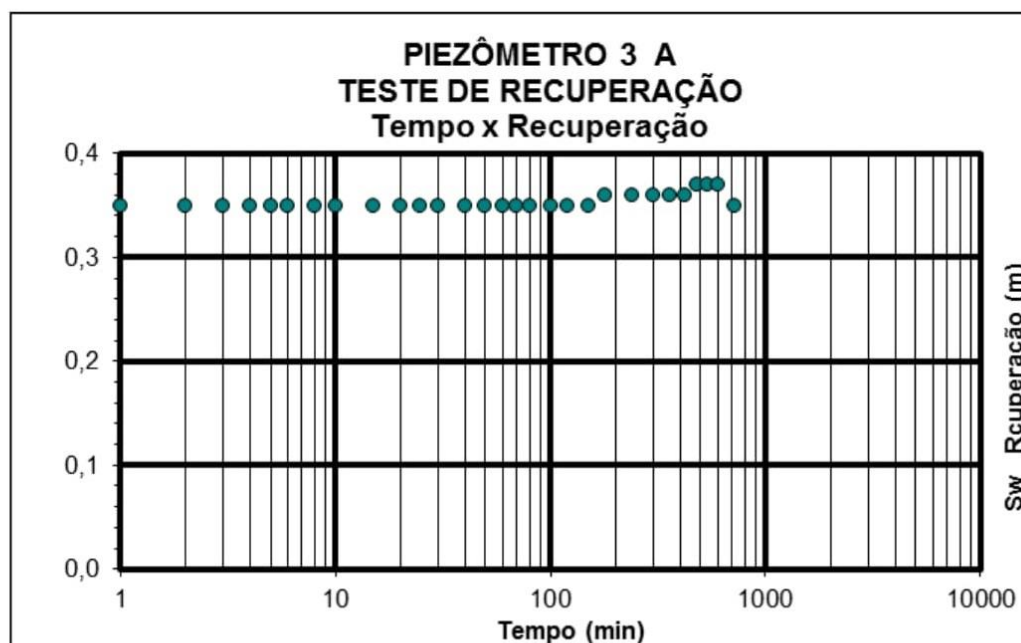


Figura 12 - Recuperação final, em 12 horas, corresponde a -0,01 m.

## PIEZÔMETRO 3 B

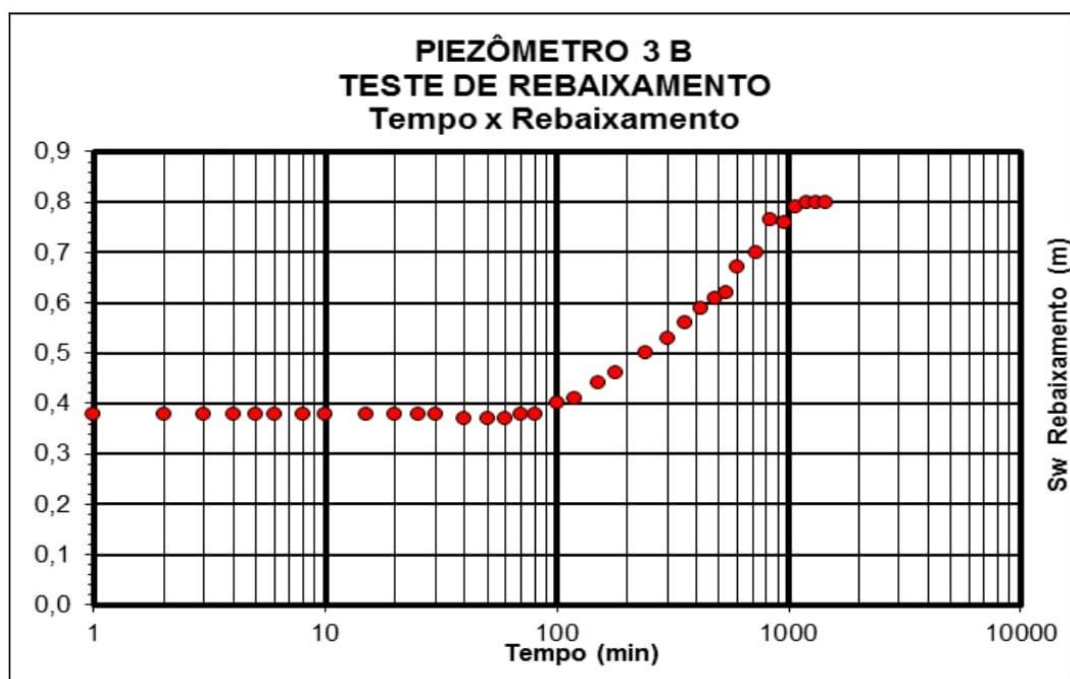


Figura 13 - Nível estático exposto no gráfico 0,00 m = Cota real do nível estático, 760,860 metros. Rebaixamento final, em 24 horas, corresponde a 0,80 m.

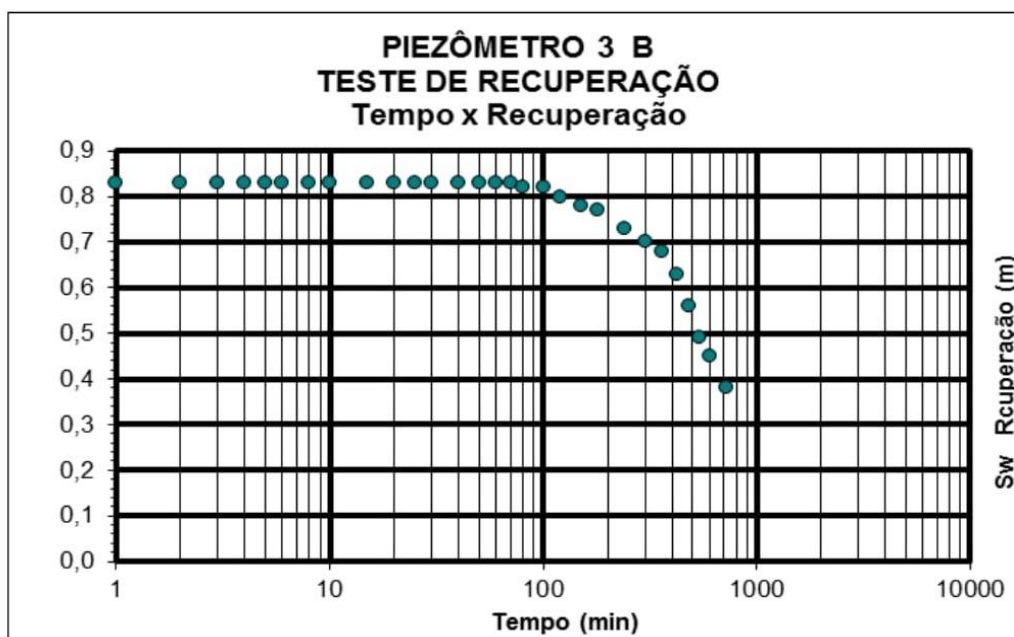


Figura 14 - Recuperação final, em 12 horas, corresponde a 0,42 m.

## PIEZÔMETRO 4 A

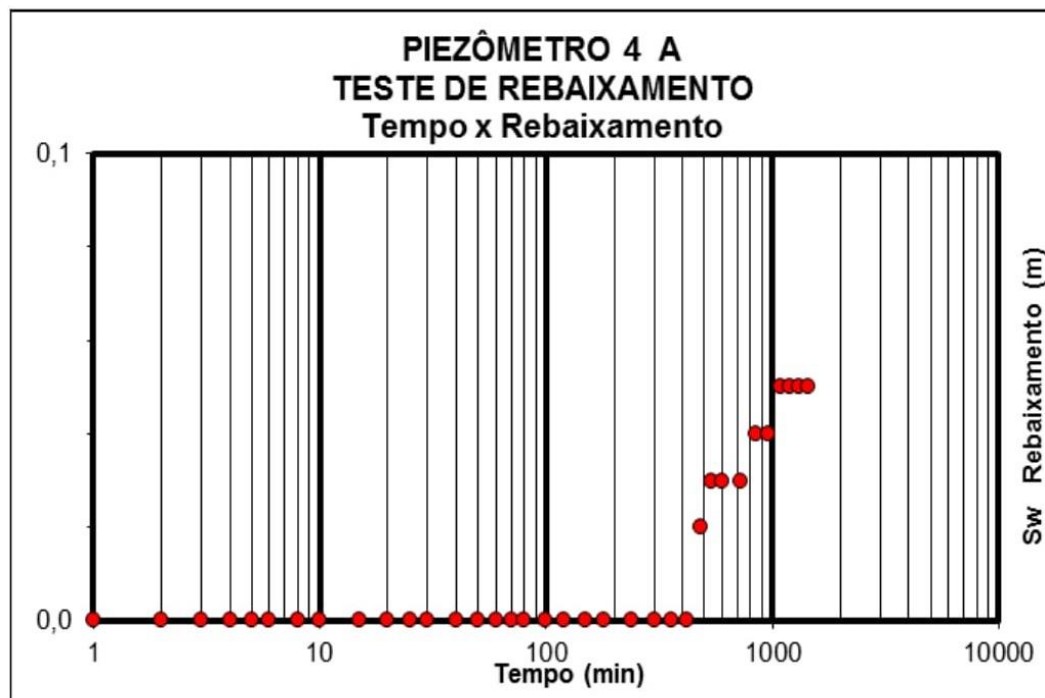


Figura 15 - Nível estático exposto no gráfico 0,00 m = Cota real do nível estático, 760,830 metros.

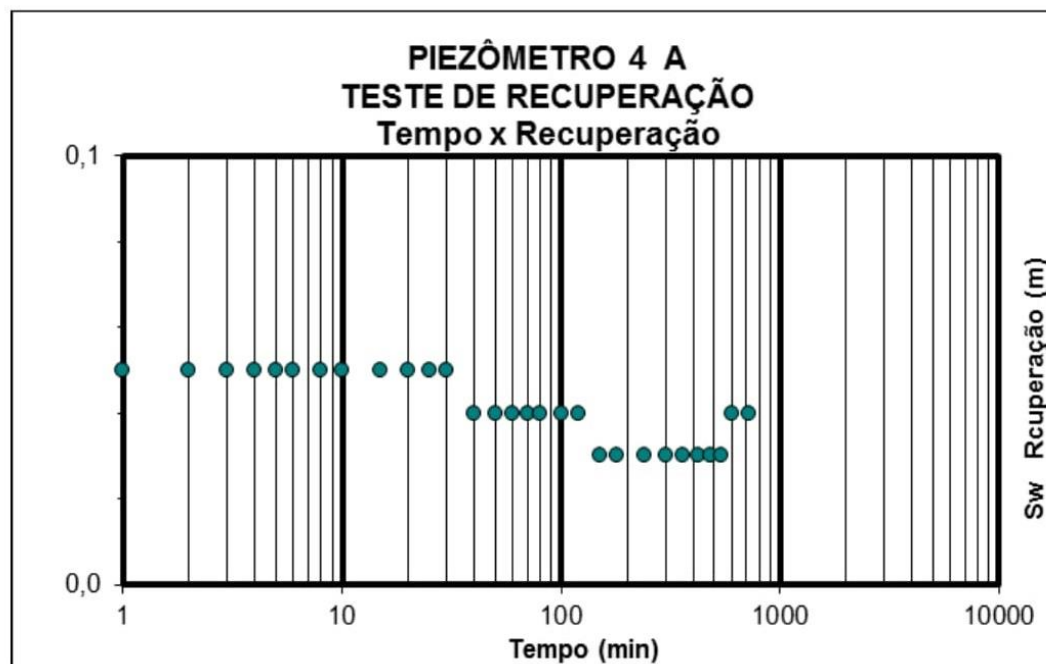


Figura 16 - Recuperação final, em 12 horas, corresponde a 0,01 m.

## PIEZÔMETRO 4 B

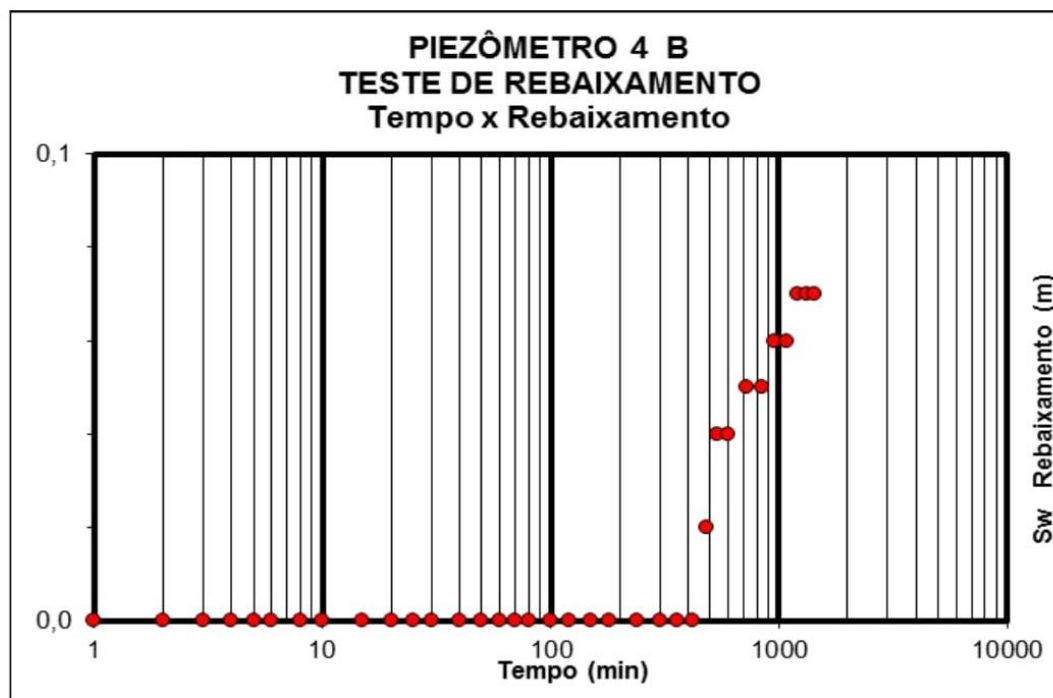


Figura 17 - Nível estático exposto no gráfico 0,00 m = Cota real do nível estático, 761,170 metros. Rebaixamento final, em 24 horas, corresponde a 0,07 m.

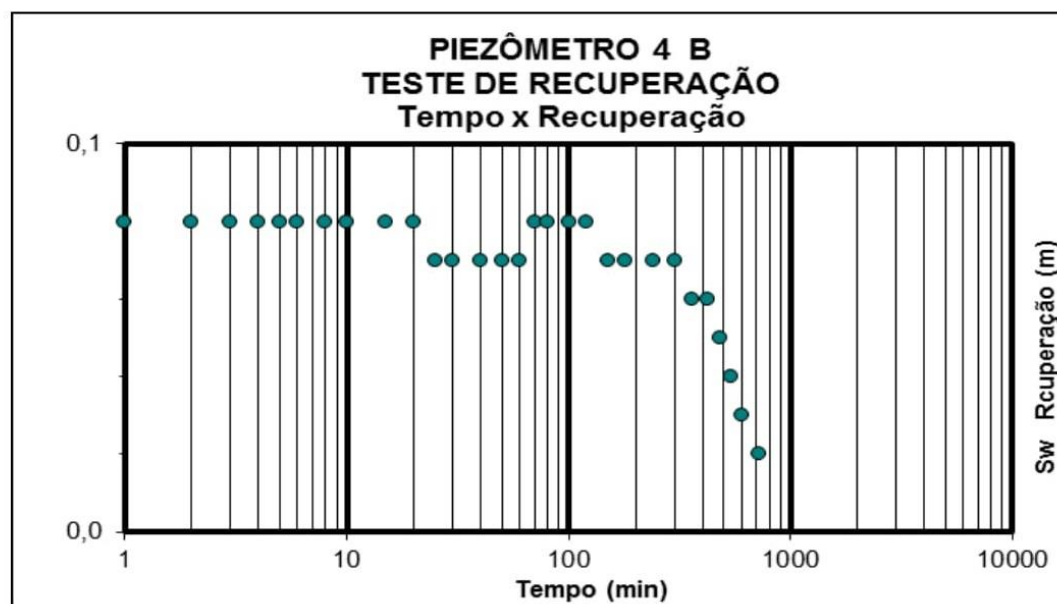



Figura 18 - Recuperação final, em 12 horas, corresponde a 0,05 m.

## ANEXO IV – CARACTERIZAÇÃO DO SOLO

	INTERESSADO				FOLHA Nº	
	COMPANHIA DO METROPOLITANO DE SÃO PAULO				Anexo 01/01	
	OBRA					
	EXTENSÃO LINHA 5 LILÁS					
LOCAL						
CAPÃO REDONDO - JD. ÂNGELA						
NORMA	O.S. Nº	FUO/CAMADA/AMOSTRA	PROFUNDIDADE	ESTACA/LADO		
NBR 7181/84		SM 599	5,00 à 7,00			
RELATÓRIO DE ENSAIO Nº	LABORATORISTA	DATA	LIBERADO POR	DATA		
4989-RT-00-ENS-GER-005	Vitor/ Marcio	23/09/2015	PENNA	05 / 10 / 2015		
<b>DADOS GERAIS</b>				<b>MASSA ESPECÍFICA DOS SÓLIDOS</b>		
MASSA INICIAL DA AMOSTRA				PICNÔMETRO		
PEN. FINO E SEDIMENTAÇÃO	g	75,67	PICN. + ÁGUA	g		
PENEIRAMENTO GROSSO	g	987,29	PICN. + ÁGUA + SOLO	g		
			SOLO SECO	g		
PROVETA	01		TEMPERATURA	°C		
DENSÍMETRO	3031/93		MASSA ESPECÍFICA	g/cm³		
DEFLOCULANTE	Hexametáfosfato de Sódio		MÉDIA	g/cm³	2,864	
<b>PARÂMETROS DO DENSÍMETRO</b>				<b>TEOR DE UMIDADE</b>		
	A	cm	24,5	CÁPSULA	1	334
	B	cm	23,6	TARA	g	30,34
	C	cm	0,9	PESO ÚMIDO	g	138,83
				PESO SECO	g	138,42
				TEOR DE UMIDADE	%	0,38
			MÉDIA	%	0,37	
<b>SEDIMENTAÇÃO</b>						
TEMPO DECORRIDO	TEMPERATURA °C	LEITURA SUSPENSÃO	LEITURA SOLUÇÃO	ALTURA DE Queda	DIÂMETRO mm	PORCENTAGEM QUE PASSA
30 s *	0,5 min	23,0	18,0	18,0	2,00	16,3
1 m *	1 min	23,0	16,0	16,0	2,00	17,2
2 m *	2 min	23,0	14,0	14,0	2,00	18,1
4 m	4 min	23,0	13,0		2,00	17,7
8 m	8 min	23,0	11,0		2,00	18,6
15 m	15 min	23,0	10,0		2,00	19,1
30 m	30 min	23,0	9,0		2,00	19,5
1 h	60 min	23,0	9,0		2,00	19,5
2 h	120 min	23,0	8,0		2,00	20,0
4 h	240 min	23,0	7,0		2,00	20,4
8 h	480 min	23,0	6,0		2,00	20,9
24 h	1440 min	22,0	6,0		2,00	20,9
<b>PENEIRAMENTO FINO</b>				<b>PENEIRAMENTO GROSSO</b>		
PENEIRA	ABERTURA mm	MASSA RETIDA g	PORCENTAGEM QUE PASSA	PENEIRA	ABERTURA mm	MASSA RETIDA g
#16	1,200	5,43	84,33	2"	50,000	
#30	0,600	16,37	71,14	1½"	38,000	
#40	0,420	21,18	65,34	1"	25,400	
#60	0,250	32,20	52,06	¾"	19,100	0,00
#100	0,150	41,65	40,67	3/8"	9,510	15,45
#200	0,075	52,60	27,47	#4	4,800	34,34
				#10	2,000	89,80
<p><b>NOTA:</b> Os resultados apresentados no presente documento referem-se exclusivamente à amostra ensaiada. A reprodução deste documento somente poderá ser feita na íntegra e a sua utilização para fins promocionais depende de aprovação prévia.</p>						



	INTERESSADO			FOLHA Nº
	COMPANHIA DO METROPOLITANO DE SÃO PAULO			01/01
	OBRA			
EXTENSÃO LINHA 5 LILÁS				
LOCAL				
CAPÃO REDONDO - JD. ÂNGELA				
NORMA	O.S. Nº	FURO/CAMADA/AMOSTRA	PROFUNDIDADE	ESTACALILADO
NBR 7181/84		SM 599	5,00 à 7,00	
RELATÓRIO DE ENSAIO Nº	LABORATORISTA	DATA	LIBERADO POR	DATA
4989-RT-00-ENS-GER-005	Vitor/ Marcio	23/09/2015	PENNA	05 / 10 / 2015

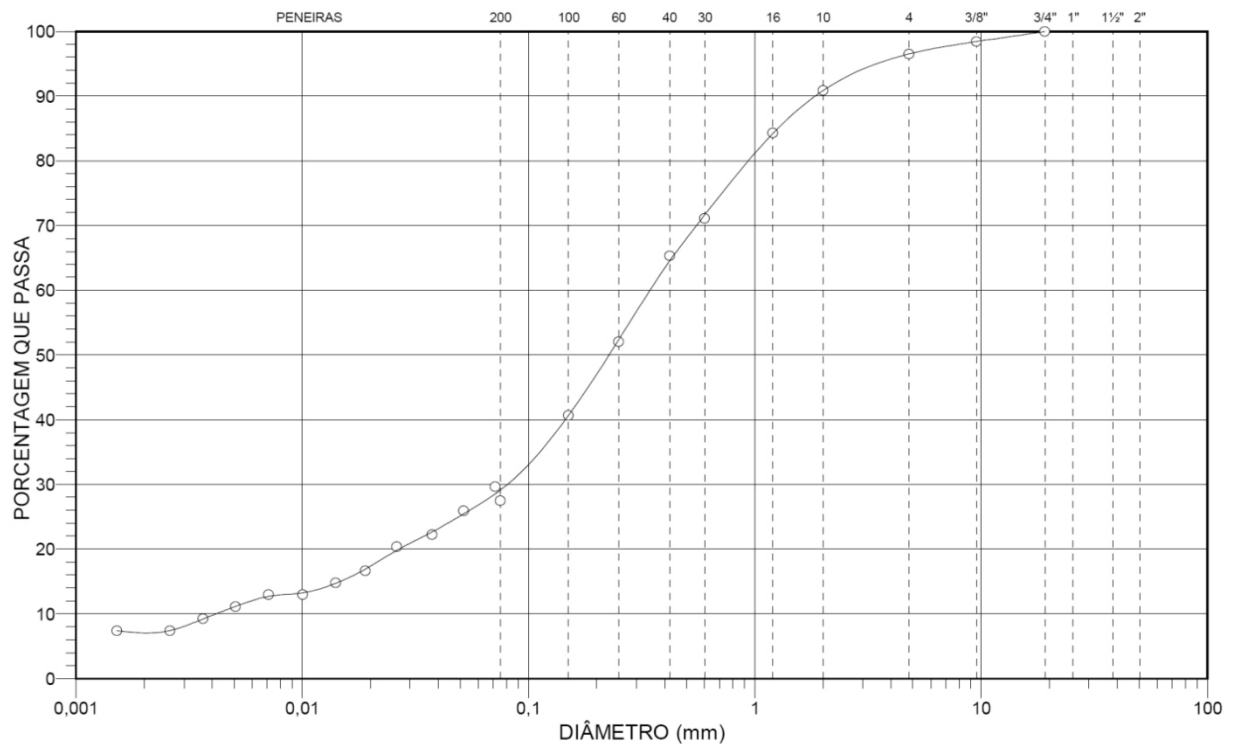
EQUIPAMENTO UTILIZADO:

peneiras, densímetro, balança

OBSERVAÇÕES:

a) preparação da amostra de acordo com NBR 6457/86

### DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA




### CLASSIFICAÇÃO - NBR 6502/95

ARGILA	SILTE	AREIA			PEDREGULHO		
		FINA	MÉDIA	GROSSA	FINO	MÉDIO	GROSSO
7,1%	19,8%	20,2%	24,6%	19,2%	6,4%	2,7%	0,0%
0,002		0,06			2		
		0,2			6		
		0,6			20		
					60		

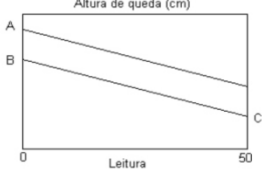
DÍAMETRO DAS PARTÍCULAS (mm)

**NOTA:** Os resultados apresentados no presente documento referem-se exclusivamente à amostra ensaiada. A reprodução deste documento somente poderá ser feita na íntegra e a sua utilização para fins promocionais depende de aprovação prévia.



	INTERESSADO				FOLHA Nº	
	COMPANHIA DO METROPOLITANO DE SÃO PAULO				Anexo 01/01	
	OBRA					
	EXTENSÃO LINHA 5 LILÁS					
LOCAL						
CAPÃO REDONDO - JD. ÂNGELA						
NORMA NBR 7181/84	O.S. Nº		FURO/CAMADA/AMOSTRA SM 599		PROFUNDIDADE 19,00 à 20,00	
RELATÓRIO DE ENSAIO Nº 4989-RT-00-ENS-GER-005	LABORATORISTA Vitor/ Marcio		DATA 23/09/2015		LIBERADO POR PENNA	
				DATA 05 / 10 / 2015		


DADOS GERAIS				MASSA ESPECÍFICA DOS SÓLIDOS			
MASSA INICIAL DA AMOSTRA				PICNÔMETRO			
PEN. FINO E SEDIMENTAÇÃO	g	90,09		PICN. + ÁGUA	g		
PENEIRAMENTO GROSSO	g	1005,99		PICN. + ÁGUA + SOLO	g		
				SOLO SECO	g		
PROVETA	01			TEMPERATURA	°C		
DENSÍMETRO	3031/93			MASSA ESPECÍFICA	g/cm³		
DEFLOCULANTE	Hexametáfosfato de Sódio			MÉDIA	g/cm³	2,701	

PARÂMETROS DO DENSÍMETRO				TEOR DE UMIDADE			
<p>Altura de queda (cm)</p>  <p>Leitura</p>				A	cm	24,5	
				B	cm	23,6	
				C	cm	0,9	
				CÁPSULA		240	327
				TARA	g	29,90	28,50
				PESO ÚMIDO	g	134,36	126,83
				PESO SECO	g	133,91	126,40
				TEOR DE UMIDADE	%	0,43	0,44
				MÉDIA	%	0,44	

SEDIMENTAÇÃO								
TEMPO DECORRIDO		TEMPERATURA °C	LEITURA SUSPENSÃO		LEITURA SOLUÇÃO	ALTURA DE QUEDA	DIÂMETRO mm	PORCENTAGEM QUE PASSA
30 s *	0,5 min	23,0	30,0	30,0	2,00	10,9	0,0608	47,72
1 m *	1 min	23,0	27,0	27,0	2,00	12,2	0,0456	42,60
2 m *	2 min	23,0	24,0	24,0	2,00	13,6	0,0340	37,49
4 m	4 min	23,0	21,0		2,00	14,1	0,0244	32,38
8 m	8 min	23,0	18,0		2,00	15,4	0,0181	27,27
15 m	15 min	23,0	16,0		2,00	16,3	0,0136	23,86
30 m	30 min	23,0	14,0		2,00	17,2	0,0099	20,45
1 h	60 min	23,0	11,0		2,00	18,6	0,0073	15,34
2 h	120 min	23,0	9,0		2,00	19,5	0,0053	11,93
4 h	240 min	23,0	8,0		2,00	20,0	0,0038	10,22
8 h	480 min	23,0	6,0		2,00	20,9	0,0027	6,82
24 h	1440 min	22,0	6,0		2,00	20,9	0,0016	6,82

PENEIRAMENTO FINO				PENEIRAMENTO GROSSO			
PENEIRA	ABERTURA mm	MASSA RETIDA g	PORCENTAGEM QUE PASSA	PENEIRA	ABERTURA mm	MASSA RETIDA g	PORCENTAGEM QUE PASSA
#16	1,200	0,04	96,22	2"	50,000		
#30	0,600	2,95	93,10	1½"	38,000		
#40	0,420	8,23	87,43	1"	25,400		
#60	0,250	20,18	74,61	¾"	19,100	0,00	100,00
#100	0,150	31,18	62,80	3/8"	9,510	5,21	99,48
#200	0,075	46,00	46,90	#4	4,800	13,62	98,64
				#10	2,000	37,41	96,27

**NOTA:** Os resultados apresentados no presente documento referem-se exclusivamente à amostra ensaiada. A reprodução deste documento somente poderá ser feita na íntegra e a sua utilização para fins promocionais depende de aprovação prévia.

	INTERESSADO			FOLHA Nº
	COMPANHIA DO METROPOLITANO DE SÃO PAULO			01/01
	OBRA			
EXTENSÃO LINHA 5 LILÁS				
LOCAL				
CAPÃO REDONDO - JD. ÂNGELA				
NORMA	O.S. Nº	FURO/CAMADA/AMOSTRA	PROFUNDIDADE	ESTACA/LADO
NBR 7181/84		SM 599	19,00 à 20,00	
RELATÓRIO DE ENSAIO Nº	LABORATORISTA	DATA	LIBERADO POR	DATA
4989-RT-00-ENS-GER-005	Vitor/ Marcio	23/09/2015	PENNA	05 / 10 / 2015

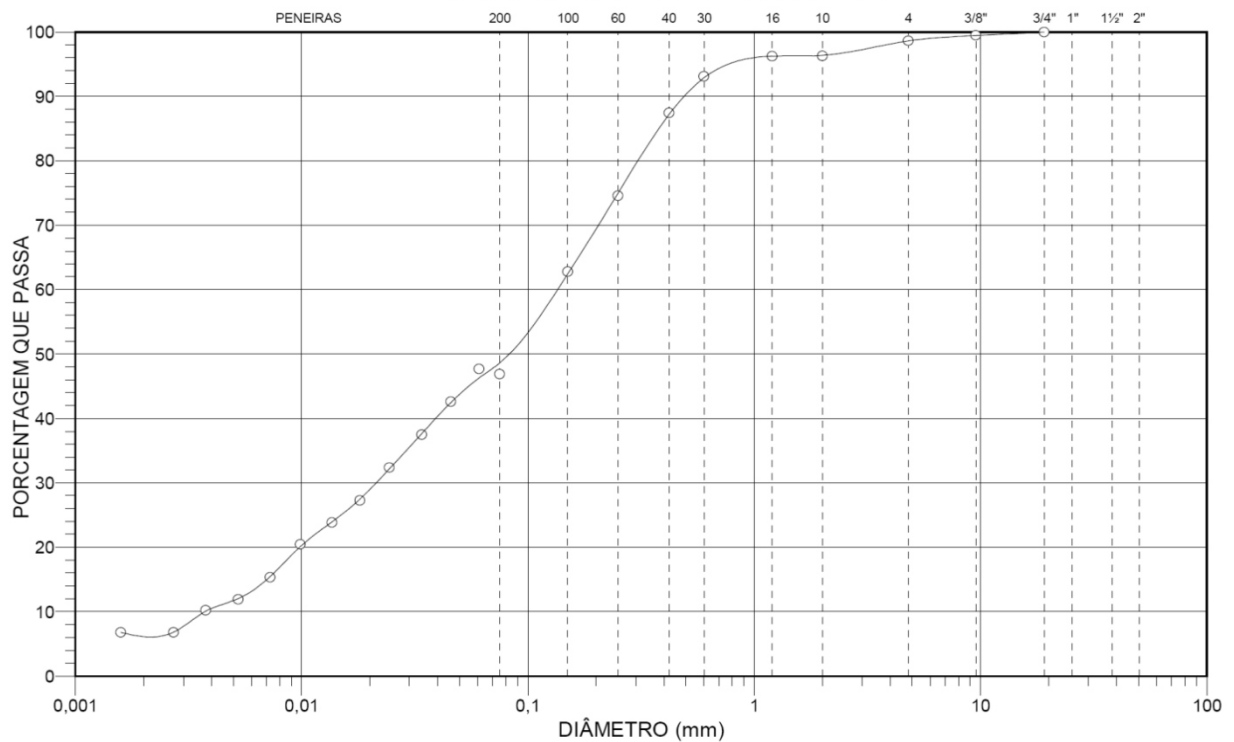
EQUIPAMENTO UTILIZADO:

peneiras, densímetro, balança

OBSERVAÇÕES:

a) preparação da amostra de acordo com NBR 6457/86


### DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA



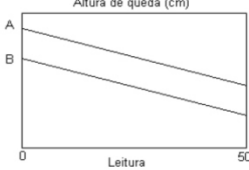
### CLASSIFICAÇÃO - NBR 6502/95

ARGILA	SILTE	AREIA			PEDREGULHO		
		FINA	MÉDIA	GROSSA	FINO	MÉDIO	GROSSO
6,1%	40,0%	23,3%	23,4%	3,5%	2,7%	1,0%	0,0%
0,002	0,06	0,2	0,6	2	6	20	60
DIÂMETRO DAS PARTÍCULAS (mm)							

**NOTA:** Os resultados apresentados no presente documento referem-se exclusivamente à amostra ensaiada. A reprodução deste documento somente poderá ser feita na íntegra e a sua utilização para fins promocionais depende de aprovação prévia.

	INTERESSADO				FOLHA Nº	
	COMPANHIA DO METROPOLITANO DE SÃO PAULO				Anexo 01/01	
	OBRA					
	EXTENSÃO LINHA 5 LILÁS					
LOCAL						
CAPÃO REDONDO - JD. ÂNGELA						
NORMA NBR 7181/84	O.S. Nº		FURO/CAMADA/AMOSTRA SM 600		PROFUNDIDADE 4,00 à 6,00	
RELATÓRIO DE ENSAIO Nº 4989-RT-00-ENS-GER-005	LABORATORISTA Vitor/ Marcio		DATA 24/09/2015		LIBERADO POR PENNA	
				DATA 05 / 10 / 2015		

DADOS GERAIS				MASSA ESPECÍFICA DOS SÓLIDOS			
MASSA INICIAL DA AMOSTRA				PICNÔMETRO			
PEN. FINO E SEDIMENTAÇÃO	g	90,23		PICN. + ÁGUA	g		
PENEIRAMENTO GROSSO	g	704,90		PICN. + ÁGUA + SOLO	g		
				SOLO SECO	g		
PROVETA	01			TEMPERATURA	°C		
DENSÍMETRO	3031/93			MASSA ESPECÍFICA	g/cm³		
DEFLOCULANTE	Hexametáfosfato de Sódio			MÉDIA	g/cm³	2,735	

PARÂMETROS DO DENSÍMETRO				TEOR DE UMIDADE			
<p>Altura de queda (cm)</p>  <p>Leitura</p>				A	cm	24,5	
				B	cm	23,6	
				C	cm	0,9	
				CÁPSULA		309	251
				TARA	g	26,13	28,64
				PESO ÚMIDO	g	120,95	128,04
				PESO SECO	g	120,12	127,19
				TEOR DE UMIDADE	%	0,88	0,86
				MÉDIA	%	0,87	

SEDIMENTAÇÃO								
TEMPO DECORRIDO		TEMPERATURA °C	LEITURA SUSPENSÃO		LEITURA SOLUÇÃO	ALTURA DE QUEDA	DIÂMETRO mm	PORCENTAGEM QUE PASSA
30 s *	0,5 min	23,0	26,0	26,0	2,00	12,7	0,0650	40,61
1 m *	1 min	23,0	25,0	25,0	2,00	13,1	0,0468	38,91
2 m *	2 min	23,0	23,0	23,0	2,00	14,1	0,0342	35,53
4 m	4 min	23,0	22,0		2,00	13,6	0,0238	33,84
8 m	8 min	23,0	21,0		2,00	14,1	0,0171	32,15
15 m	15 min	23,0	20,0		2,00	14,5	0,0127	30,45
30 m	30 min	23,0	19,0		2,00	15,0	0,0091	28,76
1 h	60 min	23,0	18,0		2,00	15,4	0,0065	27,07
2 h	120 min	23,0	17,0		2,00	15,9	0,0047	25,38
4 h	240 min	23,0	16,0		2,00	16,3	0,0034	23,69
8 h	480 min	23,0	15,0		2,00	16,8	0,0024	21,99
24 h	1440 min	22,0	14,0		2,00	17,2	0,0014	20,30

PENEIRAMENTO FINO				PENEIRAMENTO GROSSO			
PENEIRA	ABERTURA mm	MASSA RETIDA g	PORCENTAGEM QUE PASSA	PENEIRA	ABERTURA mm	MASSA RETIDA g	PORCENTAGEM QUE PASSA
#16	1,200	4,03	91,68	2"	50,000		
#30	0,600	15,49	79,38	1½"	38,000		
#40	0,420	22,72	71,62	1"	25,400		
#60	0,250	34,88	58,57	¾"	19,100		
#100	0,150	45,55	47,12	3/8"	9,510	0,00	100,00
#200	0,075	51,54	40,69	#4	4,800	9,40	98,66
				#10	2,000	27,92	96,01

**NOTA:** Os resultados apresentados no presente documento referem-se exclusivamente à amostra ensaiada. A reprodução deste documento somente poderá ser feita na íntegra e a sua utilização para fins promocionais depende de aprovação prévia.

	INTERESSADO			FOLHA Nº
	COMPANHIA DO METROPOLITANO DE SÃO PAULO			01/01
	OBRA			
EXTENSÃO LINHA 5 LILÁS				
LOCAL				
CAPÃO REDONDO - JD. ÂNGELA				
NORMA NBR 7181/84	O.S. Nº	FURO/CAMADA/AMOSTRA SM 600	PROFUNDIDADE 4,00 à 6,00	ESTACA/LADO
RELATÓRIO DE ENSAIO Nº 4989-RT-00-ENS-GER-005	LABORATORISTA Vitor/ Marcio	DATA 24/09/2015	LIBERADO POR PENNA	DATA 05 / 10 / 2015

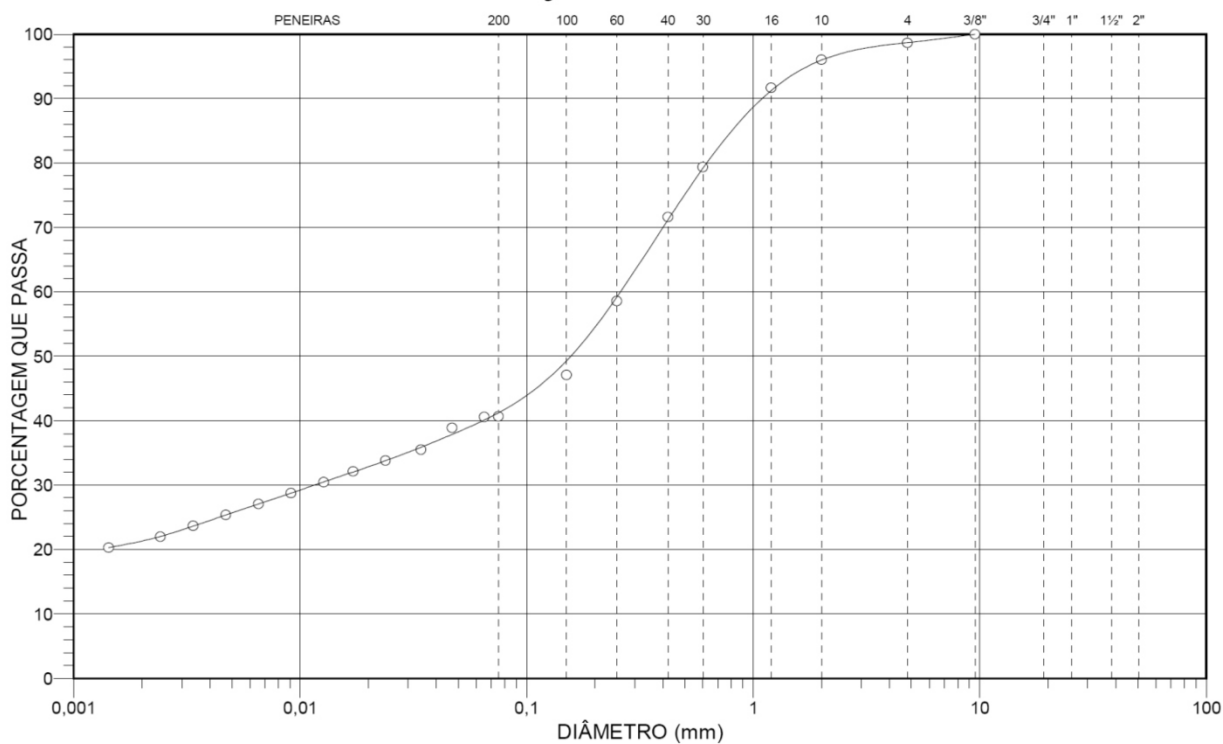
EQUIPAMENTO UTILIZADO:

peneiras, densímetro, balança

OBSERVAÇÕES:

a) preparação da amostra de acordo com NBR 6457/86

### DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA




### CLASSIFICAÇÃO - NBR 6502/95

ARGILA	SILTE	AREIA			PEDREGULHO		
		FINA	MÉDIA	GROSSA	FINO	MÉDIO	GROSSO
21,3%	18,2%	14,9%	24,7%	16,8%	3,1%	0,9%	0,0%
0,002	0,06	0,2	0,6	2	6	20	60

DÍAMETRO DAS PARTÍCULAS (mm)

**NOTA:** Os resultados apresentados no presente documento referem-se exclusivamente à amostra ensaiada. A reprodução deste documento somente poderá ser feita na íntegra e a sua utilização para fins promocionais depende de aprovação prévia.

	Interessado: COMPANHIA DO METROPOLITANO DE SÃO PAULO			Folha: 1/1	
	Obra: EXTENSÃO LINHA 5 LILÁS				
	Local: CAPÃO REDONDO - JD. ÂNGELA				
Norma: NBR 6459-7180/84	O.S. Nº:	Furo/Cam./Am.:	Prof.: 4,00 à 6,00	Estaca/Lado: SM 600	
Relatório de Ensaio. Nº: 4989-RT-00-ENS-GER-005	Laboratorista: Orlando	Data: 28/09/2015	Liberado por: PENNA	Data: 05 / 10 / 2015	

**LIMITE DE LIQUIDEZ E LIMITE DE PLASTICIDADE**

**Limite de Liquidez (LL)**

Cápsula Nº	Tara e Solo Úmido (g)	Tara e Solo Seco (g)	Tara (g)	Massa da Água (g)	Massa do Solo Seco (g)	Teor de Umidade (%)	Número de Golpes (Un.)
28	20,27	18,01	9,21	2,26	8,79	25,7	53
37	19,59	17,33	9,27	2,26	8,06	28,1	45
54	17,37	15,38	8,79	1,99	6,59	30,2	35
56	23,40	21,26	14,55	2,13	6,72	31,8	24
64	18,77	16,35	9,05	2,42	7,30	33,1	15

**Limite de Plasticidade (LP)**

Cápsula Nº	Tara e Solo Úmido (g)	Tara e Solo Seco (g)	Tara (g)	Massa da Água (g)	Massa do Solo Seco (g)	Teor de Umidade (%)	Observações
82	19,59	17,90	9,00	1,69	8,90	19,0	
85	18,57	16,80	7,73	1,77	9,07	19,5	
96	14,80	14,59	13,53	0,21	1,06	20,3	
280	15,19	14,97	13,88	0,23	1,08	20,8	
	16,18	15,94	14,79	0,23	1,15	20,4	

**Massa Específica Real**

Número do Picnômetro			Massa da Água (g)	0,00	0,00
Massa do Picnômetro (g)			Mas. Picnôm. + Solo + Água (g)		
Massa do Picnôm. + Solo (g)			Vol. de Água Não Desloc. (cm³)	0,00	0,00
Massa do Solo (g)	0,00	0,00	Vol. Água Desloc. (cm³)	0,00	0,00
Massa do Picnôm. + Água (g)			Mas. Específica Real (g/cm³)		

**Resultados**

LL (%)

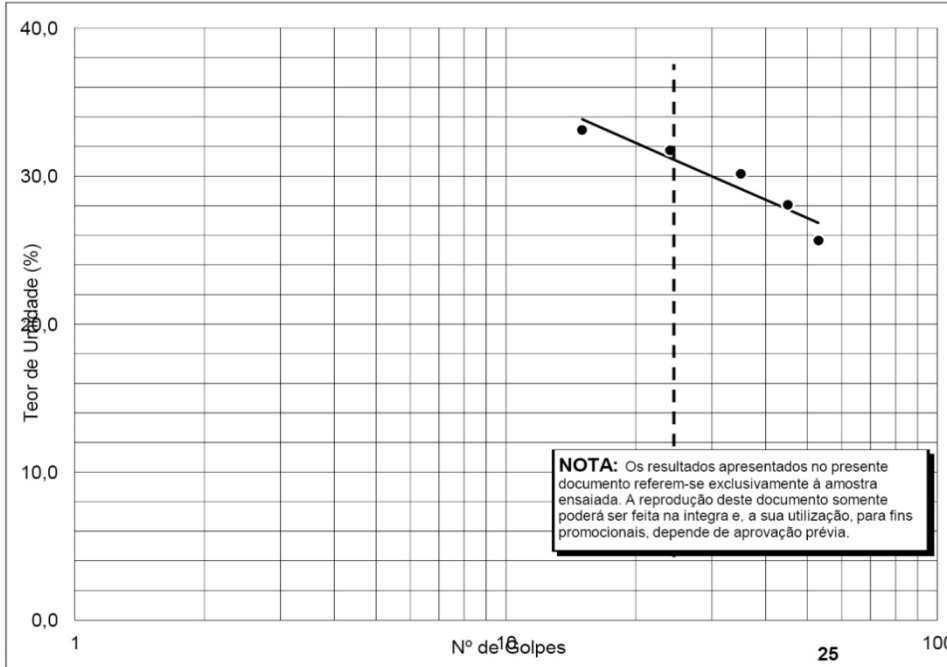
31

LP (%)

20

IP (%)

11



**NOTA:** Os resultados apresentados no presente documento referem-se exclusivamente à amostra ensaiada. A reprodução deste documento somente poderá ser feita na íntegra e, a sua utilização, para fins promocionais, depende de aprovação prévia.

**SUCS**

SC


Classificação H.R.B.

A-6

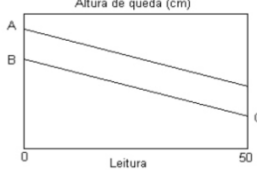
**Índice de Grupo**

1,0

Apar. Casagrande nº 108
Estufa nº 95
Termômetro nº 385
Balança nº 581

	INTERESSADO				FOLHA Nº	
	COMPANHIA DO METROPOLITANO DE SÃO PAULO				Anexo 01/01	
	OBRA					
	EXTENSÃO LINHA 5 LILÁS					
LOCAL						
CAPÃO REDONDO - JD. ÂNGELA						
NORMA NBR 7181/84	O.S. Nº		FUOI/CAMADA/AMOSTRA SM 603		PROFUNDIDADE 21,00 à 23,00	
RELATÓRIO DE ENSAIO Nº 4989-RT-00-ENS-GER-005	LABORATORISTA Vitor/ Marcio		DATA 24/09/2015		LIBERADO POR PENNA	
						DATA 05 / 10 / 2015

DADOS GERAIS				MASSA ESPECÍFICA DOS SÓLIDOS			
MASSA INICIAL DA AMOSTRA				PICNÔMETRO			
PEN. FINO E SEDIMENTAÇÃO	g	75,29		PICN. + ÁGUA	g		
PENEIRAMENTO GROSSO	g	1004,13		PICN. + ÁGUA + SOLO	g		
				SOLO SECO	g		
PROVETA	01			TEMPERATURA	°C		
DENSÍMETRO	3031/93			MASSA ESPECÍFICA	g/cm³		
DEFLOCULANTE	Hexametáfosfato de Sódio			MÉDIA	g/cm³	2,706	

PARÂMETROS DO DENSÍMETRO				TEOR DE UMIDADE			
<p>Altura de queda (cm)</p> 				A	cm	24,5	
				B	cm	23,6	
				C	cm	0,9	
				CÁPSULA		335	220
				TARA	g	26,61	30,04
				PESO ÚMIDO	g	133,08	131,00
				PESO SECO	g	132,06	130,05
				TEOR DE UMIDADE	%	0,97	0,95
				MÉDIA	%	0,96	

SEDIMENTAÇÃO								
TEMPO DECORRIDO		TEMPERATURA °C	LEITURA SUSPENSÃO		LEITURA SOLUÇÃO	ALTURA DE QUEDA	DIÂMETRO mm	PORCENTAGEM QUE PASSA
30 s *	0,5 min	23,0	26,0	26,0	2,00	12,7	0,0655	47,30
1 m *	1 min	23,0	25,0	25,0	2,00	13,1	0,0472	45,33
2 m *	2 min	23,0	24,0	24,0	2,00	13,6	0,0339	43,36
4 m	4 min	23,0	22,0		2,00	13,6	0,0240	39,42
8 m	8 min	23,0	20,0		2,00	14,5	0,0175	35,48
15 m	15 min	23,0	19,0		2,00	15,0	0,0130	33,51
30 m	30 min	23,0	18,0		2,00	15,4	0,0093	31,54
1 h	60 min	23,0	17,0		2,00	15,9	0,0067	29,57
2 h	120 min	23,0	16,0		2,00	16,3	0,0048	27,59
4 h	240 min	23,0	15,0		2,00	16,8	0,0034	25,62
8 h	480 min	23,0	13,0		2,00	17,7	0,0025	21,68
24 h	1440 min	22,0	11,0		2,00	18,6	0,0015	17,74

PENEIRAMENTO FINO				PENEIRAMENTO GROSSO			
PENEIRA	ABERTURA mm	MASSA RETIDA g	PORCENTAGEM QUE PASSA	PENEIRA	ABERTURA mm	MASSA RETIDA g	PORCENTAGEM QUE PASSA
#16	1,200	8,91	81,60	2"	50,000		
#30	0,600	17,30	71,17	1½"	38,000		
#40	0,420	23,17	63,88	1"	25,400		
#60	0,250	29,21	56,37	¾"	19,100	0,00	100,00
#100	0,150	30,33	54,98	3/8"	9,510	10,97	98,90
#200	0,075	32,35	52,47	#4	4,800	18,48	98,14
				#10	2,000	72,96	92,67

**NOTA:** Os resultados apresentados no presente documento referem-se exclusivamente à amostra ensaiada. A reprodução deste documento somente poderá ser feita na íntegra e a sua utilização para fins promocionais depende de aprovação prévia.

	INTERESSADO			FOLHA Nº
	COMPANHIA DO METROPOLITANO DE SÃO PAULO			01/01
	OBRA			
EXTENSÃO LINHA 5 LILÁS				
LOCAL				
CAPÃO REDONDO - JD. ÂNGELA				
NORMA NBR 7181/84	O.S. Nº	FURO/CAMADA/AMOSTRA SM 603	PROFUNDIDADE 21,00 à 23,00	ESTACA/LADO
RELATÓRIO DE ENSAIO Nº 4989-RT-00-ENS-GER-005	LABORATORISTA Vitor/ Marcio	DATA 24/09/2015	LIBERADO POR PENNA	DATA 05 / 10 / 2015

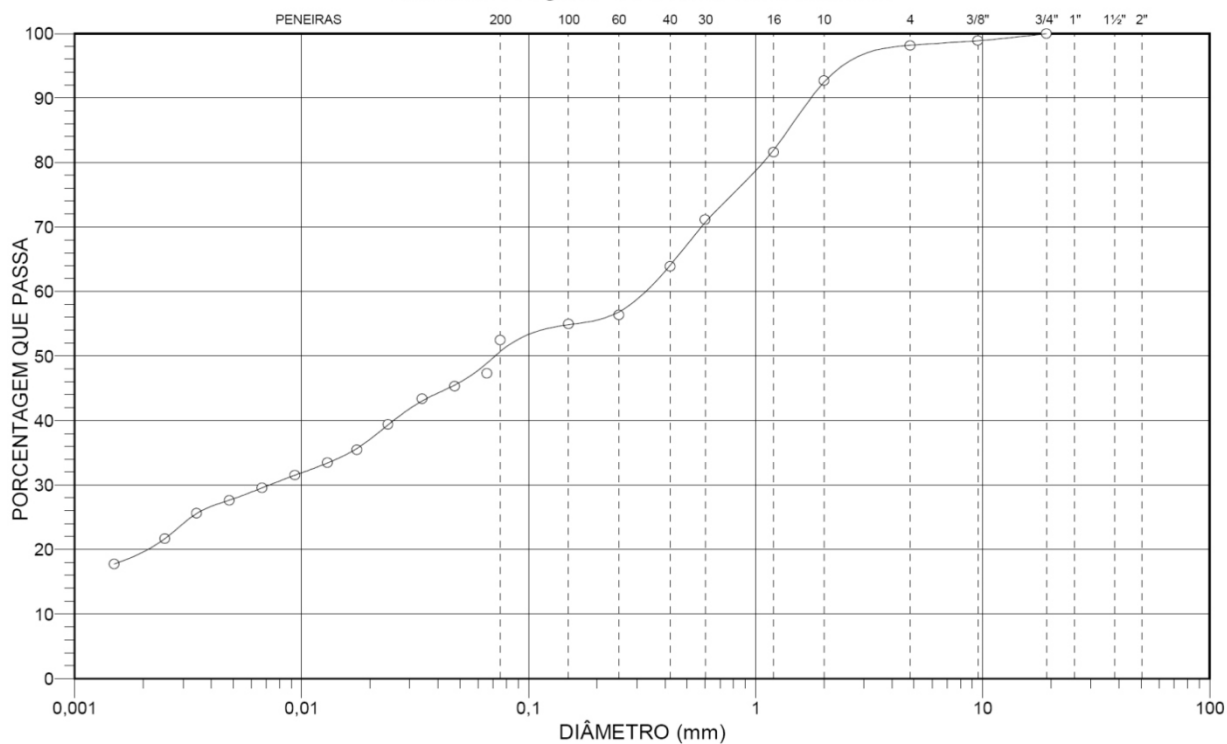
EQUIPAMENTO UTILIZADO:

peneiras, densímetro, balança

OBSERVAÇÕES:

a) preparação da amostra de acordo com NBR 6457/86

### DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA




### CLASSIFICAÇÃO - NBR 6502/95

ARGILA	SILTE	AREIA			PEDREGULHO		
		FINA	MÉDIA	GROSSA	FINO	MÉDIO	GROSSO
19,6%	28,2%	7,8%	15,2%	21,7%	6,0%	1,6%	0,0%
0,002	0,06	0,2	0,6	2	6	20	60

DIÂMETRO DAS PARTÍCULAS (mm)

**NOTA:** Os resultados apresentados no presente documento referem-se exclusivamente à amostra ensaiada. A reprodução deste documento somente poderá ser feita na íntegra e a sua utilização para fins promocionais depende de aprovação prévia.



	Interessado: COMPANHIA DO METROPOLITANO DE SÃO PAULO			Folha: 1/1	
	Obra: EXTENSÃO LINHA 5 LILÁS				
	Local: CAPÃO REDONDO - JD. ÂNGELA				
Norma: NBR 6459-7180/84	O.S. Nº:	Furo/Cam./Am.:	Prof.: 21,00 à 23,00	Estaca/Lado: SM 603	
Relatório de Ensaio. Nº: 4989-RT-00-ENS-GER-005	Laboratorista: Orlando	Data: 28/09/2015	Liberado por: PENNA	Data: 05 / 10 / 2015	

LIMITE DE LIQUIDEZ E LIMITE DE PLASTICIDADE							
Limite de Liquidez (LL)							
Cápsula Nº	Tara e Solo Úmido (g)	Tara e Solo Seco (g)	Tara (g)	Massa da Água (g)	Massa do Solo Seco (g)	Teor de Umidade (%)	Número de Golpes (Un.)
32	18,57	15,97	8,82	2,60	7,15	36,3	55
33	16,94	14,67	8,98	2,27	5,69	39,9	44
40	19,05	16,37	9,85	2,68	6,52	41,0	34
57	18,21	16,19	11,34	2,02	4,86	41,5	25
66	24,21	20,92	13,60	3,29	7,32	44,9	15

Limite de Plasticidade (LP)							
Cápsula Nº	Tara e Solo Úmido (g)	Tara e Solo Seco (g)	Tara (g)	Massa da Água (g)	Massa do Solo Seco (g)	Teor de Umidade (%)	Observações
89	16,20	15,93	14,91	0,27	1,01	26,9	
201	18,01	17,65	16,37	0,36	1,28	28,2	
218	15,03	14,75	13,79	0,28	0,96	29,7	
295	15,08	14,74	13,60	0,33	1,15	29,1	
301	15,90	15,66	14,73	0,24	0,92	26,4	

Massa Específica Real					
Número do Picnômetro			Massa da Água (g)	0,00	0,00
Massa do Picnômetro (g)			Mas. Picnôm. + Solo + Água (g)		
Massa do Picnôm. + Solo (g)			Vol. de Água Não Desloc. (cm³)	0,00	0,00
Massa do Solo (g)	0,00	0,00	Vol. Água Desloc. (cm³)	0,00	0,00
Massa do Picnôm. + Água (g)			Mas. Específica Real (g/cm³)		

Resultados	
LL (%)	42
LP (%)	28
IP (%)	14

SUCS
SM
Classificação H.R.B.
A-7-6

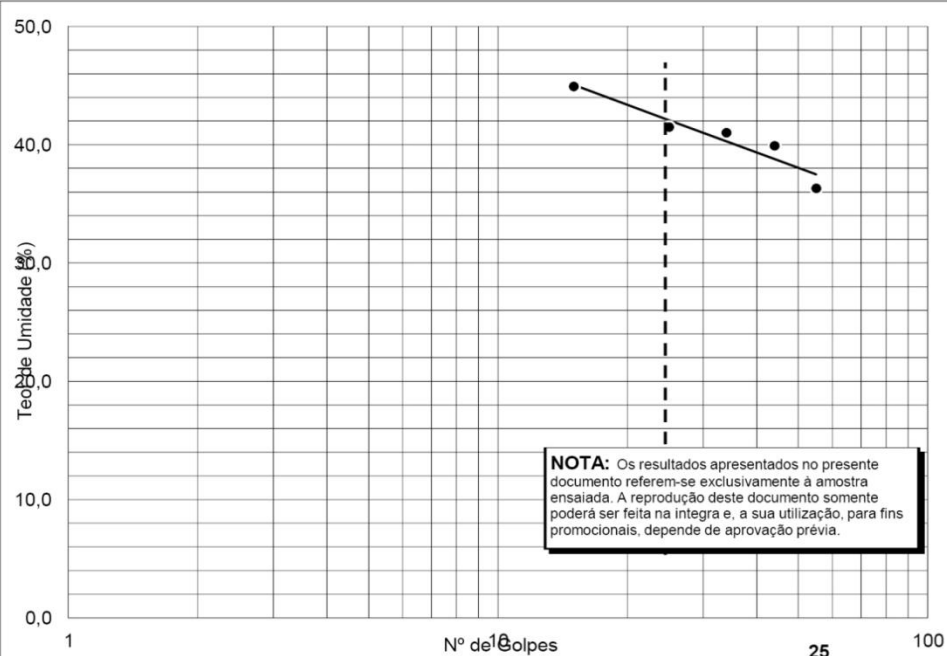
  

Índice de Grupo
4,0

Apar. Casagrande nº 108
Estufa nº 95
Termômetro nº 385
Balança nº 581




Teor de Umidade (%)

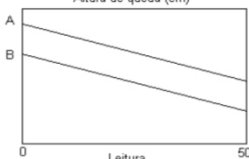
Nº de Golpes

NOTA: Os resultados apresentados no presente documento referem-se exclusivamente à amostra ensaiada. A reprodução deste documento somente poderá ser feita na íntegra e, a sua utilização, para fins promocionais, depende de aprovação prévia.



	INTERESSADO				FOLHA Nº	
	COMPANHIA DO METROPOLITANO DE SÃO PAULO				Anexo 01/01	
	OBRA					
EXTENSÃO LINHA 5 LILÁS						
LOCAL						
CAPÃO REDONDO - JD. ÂNGELA						
NORMA NBR 7181/84	O.S. Nº	FURO/CAMADA/AMOSTRA SM 604	PROFUNDIDADE 2,50 à 3,50	ESTACA/LADO		
RELATÓRIO DE ENSAIO Nº 4989-RT-00-ENS-GER-005	LABORATORISTA Vitor/ Marcio	DATA 24/09/2015	LIBERADO POR PENNA	DATA 05 / 10 / 2015		

DADOS GERAIS				MASSA ESPECÍFICA DOS SÓLIDOS			
MASSA INICIAL DA AMOSTRA				PICNÔMETRO			
PEN. FINO E SEDIMENTAÇÃO	g	75,09		PICN. + ÁGUA	g		
PENEIRAMENTO GROSSO	g	1008,63		PICN. + ÁGUA + SOLO	g		
				SOLO SECO	g		
PROVETA	01			TEMPERATURA	°C		
DENSÍMETRO	3031/93			MASSA ESPECÍFICA	g/cm³		
DEFLOCULANTE	Hexametáfosfato de Sódio			MÉDIA	g/cm³	2,685	

PARÂMETROS DO DENSÍMETRO				TEOR DE UMIDADE			
<p>Altura de queda (cm)</p> 				A	cm	24,5	
				B	cm	23,6	
				C	cm	0,9	
				CÁPSULA		249	32
				TARA	g	27,33	20,71
				PESO ÚMIDO	g	135,30	119,36
				PESO SECO	g	128,19	112,98
				TEOR DE UMIDADE	%	7,05	6,91
				MÉDIA	%	6,98	

SEDIMENTAÇÃO								
TEMPO DECORRIDO		TEMPERATURA °C	LEITURA SUSPENSÃO		LEITURA SOLUÇÃO	ALTURA DE QUEDA	DIÂMETRO mm	PORCENTAGEM QUE PASSA
30 s *	0,5 min	23,0	28,0	28,0	2,00	11,8	0,0636	57,87
1 m *	1 min	23,0	26,0	26,0	2,00	12,7	0,0466	53,42
2 m *	2 min	23,0	26,0	26,0	2,00	12,7	0,0330	53,42
4 m	4 min	23,0	25,0		2,00	12,3	0,0229	51,20
8 m	8 min	23,0	25,0		2,00	12,3	0,0162	51,20
15 m	15 min	23,0	24,0		2,00	12,7	0,0120	48,97
30 m	30 min	23,0	23,0		2,00	13,2	0,0087	46,74
1 h	60 min	23,0	22,0		2,00	13,6	0,0062	44,52
2 h	120 min	23,0	22,0		2,00	13,6	0,0044	44,52
4 h	240 min	23,0	21,0		2,00	14,1	0,0032	42,29
8 h	480 min	23,0	21,0		2,00	14,1	0,0022	42,29
24 h	1440 min	22,0	21,0		2,00	14,1	0,0013	42,29

PENEIRAMENTO FINO				PENEIRAMENTO GROSSO			
PENEIRA	ABERTURA mm	MASSA RETIDA g	PORCENTAGEM QUE PASSA	PENEIRA	ABERTURA mm	MASSA RETIDA g	PORCENTAGEM QUE PASSA
#16	1,200	1,07	96,55	2"	50,000		
#30	0,600	4,78	91,37	1½"	38,000		
#40	0,420	7,46	87,62	1"	25,400		
#60	0,250	13,28	79,50	¾"	19,100	0,00	100,00
#100	0,150	18,67	71,97	3/8"	9,510	3,03	99,68
#200	0,075	30,00	56,14	#4	4,800	8,80	99,07
				#10	2,000	18,45	98,05

**NOTA:** Os resultados apresentados no presente documento referem-se exclusivamente à amostra ensaiada. A reprodução deste documento somente poderá ser feita na íntegra e a sua utilização para fins promocionais depende de aprovação prévia.

	INTERESSADO			FOLHA Nº
	COMPANHIA DO METROPOLITANO DE SÃO PAULO			01/01
	OBRA			
EXTENSÃO LINHA 5 LILÁS				
LOCAL				
CAPÃO REDONDO - JD. ÂNGELA				
NORMA NBR 7181/84	O.S. Nº	FURO/CAMADA/AMOSTRA SM 604	PROFUNDIDADE 2,50 à 3,50	ESTACA/LADO
RELATÓRIO DE ENSAIO Nº 4989-RT-00-ENS-GER-005	LABORATORISTA Vitor/ Marcio	DATA 24/09/2015	LIBERADO POR PENNA	DATA 05 / 10 / 2015

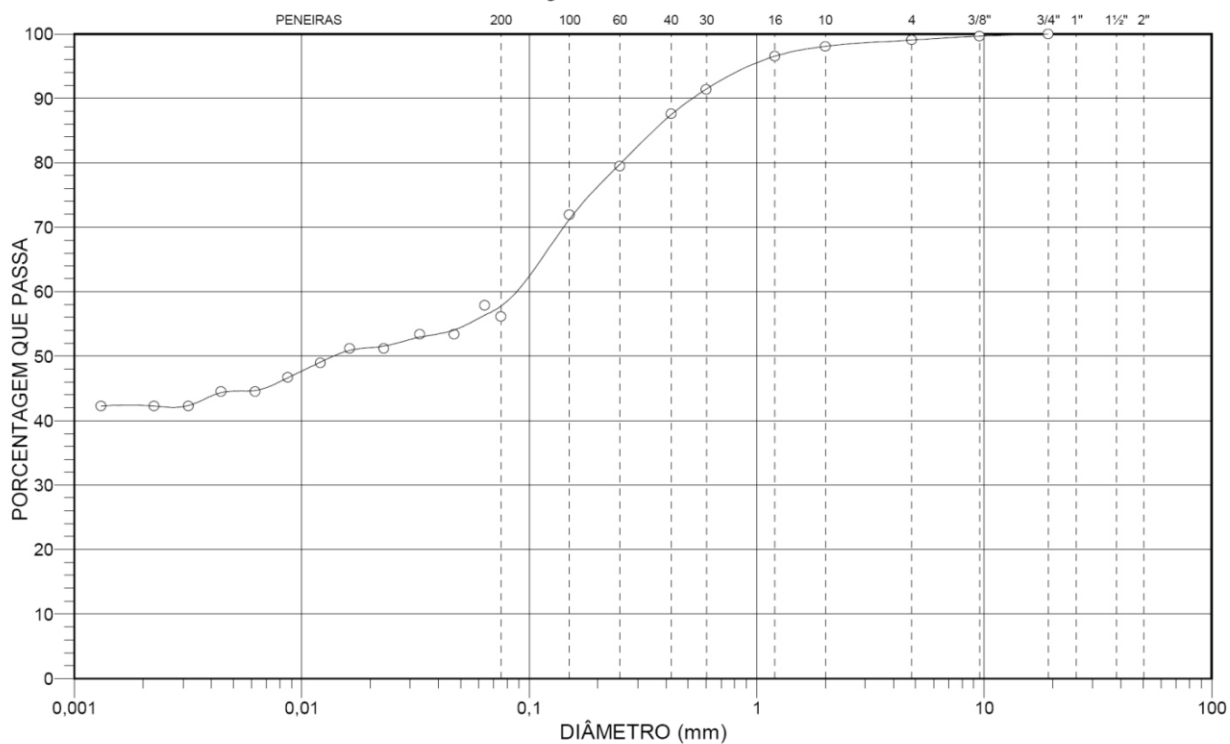
EQUIPAMENTO UTILIZADO:

peneiras, densímetro, balança

OBSERVAÇÕES:

a) preparação da amostra de acordo com NBR 6457/86

### DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA



### CLASSIFICAÇÃO - NBR 6502/95

ARGILA	SILTE	AREIA			PEDREGULHO		
		FINA	MÉDIA	GROSSA	FINO	MÉDIO	GROSSO
42,4%	13,5%	20,5%	15,1%	6,6%	1,2%	0,7%	0,0%
0,002		0,06			2		
		0,2			6		
		0,6			20		
		2			60		

DIÂMETRO DAS PARTÍCULAS (mm)

**NOTA:** Os resultados apresentados no presente documento referem-se exclusivamente à amostra ensaiada. A reprodução deste documento somente poderá ser feita na íntegra e a sua utilização para fins promocionais depende de aprovação prévia.