

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

**AVALIAÇÃO DA RECARGA DO AQUÍFERO RASO DA REGIÃO DO CANAL  
JURUBATUBA (SÃO PAULO) PELOS MÉTODOS DE BALANÇO HÍDRICO E DE  
VARIAÇÃO DO NÍVEL DE ÁGUA.**

Vitor Lucas Sobottka Cavenaghi

Orientadora: Profa. Dra. Veridiana Teixeira de Souza Martins

Co-orientador: Prof. Dr. Reginaldo Antonio Bertolo

**MONOGRAFIA DE TRABALHO DE FORMATURA  
(TF- 13/50)**

SÃO PAULO

2013

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente aos meus pais, Vitório e Sueli, que me proporcionaram todas as condições necessárias para a realização deste trabalho.

À Professora Veridiana Teixeira de Souza Martins pelas preciosas sugestões

Ao Professor Reginaldo Antonio Bertolo pelas oportunidades oferecidas e pelos grandes conselhos

Ao Carlos Maldaner pelo companheirismo e conhecimento nos métodos de avaliação de recarga

Ao José Angelo pela paciência, acompanhamento dos trabalhos de campo, determinação e pelas importantes discussões

Ao José Luis pela assistência dada em campo

Aos integrantes deste projeto e do LAMO, Ricardo Hirata, Cláudia Varnier, Bruna Fiúme, Rafael Terada, Paulo Galvão, Marcos Barbosa, Dênis Kamio, Paulo Lojkasek Lima e Jonathan Batista por toda a ajuda

À Lúcia Helena do CEPAS pelas análises químicas

Ao Ronaldo da Geoklock, Ivan do SENAC, Artur do SPMarket, Izaías do Viena, Fernando e Gisele da MWM pela assistência dada em campo

Ao tio Cavenaghi e à tia Berna pelo imenso carinho e incentivo

A minhas irmãs Marcella, Monique e Michelle pelo intenso incentivo e fraternidade

Aos amigos e amigas Alice, Pituca, Mel, Cher, Chun Li, Bolovo, Lara, Carlinha, Cenorinha e outros, pela boa companhia e risadas

À minha namorada Bruna pelo amor, incentivo e grande amizade

E a todas as outras pessoas que participaram direta ou indiretamente deste trabalho.

## RESUMO

Este trabalho de formatura visou quantificar a recarga do aquífero raso do canal do Jurubatuba e determinar a influência de atividades antrópicas na recarga do mesmo. A área está localizada na zona sul da cidade de São Paulo, no bairro de Santo Amaro, sobre sedimentos arenosos e siltosos de idade paleógena do grupo Taubaté, pertencentes à bacia sedimentar de São Paulo. A metodologia utilizada foi a do balanço hídrico e variação do nível de água para a quantificação da recarga e técnicas hidroquímicas para a determinação da influência antrópica. Foram analisadas águas da chuva, poços de monitoramento, poços de produção, esgoto e água distribuída pela SABESP. O clima na região é dividido em duas estações: a úmida, de outubro a março, e a seca, de abril a setembro. A precipitação acumulada, entre outubro de 2012 e setembro de 2013, foi de 1807,8 mm. Pelo método do balanço hídrico, 9,24% deste total (167 mm) correspondem ao escoamento superficial, 48,93% (884,55 mm) voltam diretamente à atmosfera por evapotranspiração e 37,85% (684,25 mm) são incorporados ao aquífero raso como recarga. Através do método da variação do nível de água, monitorado em dezesseis poços de profundidades distintas, foi calculada a recarga para o período de outubro de 2012 a setembro de 2013. A recarga foi estimada em 22,08% (397 mm) da precipitação para o período considerado. Os dados mostraram também que a variação do nível de água nos poços monitorados ocorre analogamente em profundidades inferiores à 65 metros. A quantificação da recarga pelo método da variação do nível d'água apresenta maior confiabilidade nos resultados obtidos, pois a metodologia do balanço hídrico não leva em conta a impermeabilização do terreno, o que causa distorções nos valores estimados para o escoamento superficial. Através das concentrações dos cátions e ânions maiores dos poços monitorados, da água da chuva, do esgoto e da água da SABESP, elaborou-se diagramas de *piper*, correlações de *Pearson* e um balanço de massa do elemento conservativo  $\text{Cl}^-$  e constatou-se que há interferência antrópica nos eventos de recarga do aquífero local.

**Palavras-chave:** Recarga de aquíferos, balanço hídrico, variação do nível de água, diagramas de *piper*, correlação de *Pearson*, balanço de massa.

## ABSTRACT

This study aimed to quantify the recharge of the shallow aquifer of the channel Jurubatuba and determine the influence of human activities in the recharge. The area is located in the south of the city of São Paulo, in the district of Santo Amaro, on sandy and silty paleogene age sediments of Taubaté group, belonging to the sedimentary basin of São Paulo. The methodology used was the water balance and water table fluctuation to quantify the recharge and hydrochemical techniques for the determination of human influence. Were analyzed rainwater, monitoring wells, production wells, sewage and water distributed by

SABESP . The climate is divided into two seasons: the wet from October to March , and dry from April to September . The accumulated rainfall between October 2012 and September 2013 was 1807.8 mm . By water balance method , 9.24 % of this total ( 167 mm ) correspond to runoff , 48.93 % ( 884.55 mm ) return directly to the atmosphere by evapotranspiration and 37.85% ( 684.25 mm ) are incorporated to the shallow aquifer as recharge . Through the water table fluctuation method, monitored at sixteen wells at different depths, recharge was calculated for the period October 2012 to September 2013. The recharge was estimated at 22.08% ( 397 mm ) of precipitation for the period considered . The data also showed that the variation of water level in the wells monitored occurs similarly at depths below 65 meters. The quantification of recharge by the water table fluctuation method has higher reliability of the results obtained , because the methodology of water balance does not account for the waterproofing of the soil , which causes distortions in the estimated values for the runoff . Through the concentrations of major cations and anions of the monitored wells , rainwater , sewage and water of SABESP , drew up piper diagrams, Pearson correlations and mass balance of the conservative element  $\text{Cl}^-$  and concluded the existence of human interference in the events of recharge at the local aquifer.

**Keywords:** Aquifer recharge, water balance, water table fluctuation, piper diagrams, Pearson correlation, mass balance.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Localização das quatro áreas escolhidas (adaptado de GoogleEarth).....	9
Figura 2 – Mapa geológico da Região Metropolitana de São Paulo (extraído de Monteiro et al. 2012).....	10
Figura 3 - Cálculo do $\Delta h$ (traduzido de Healy e Cook 2002).....	17
Figura 4 - Transdutor de pressão utilizado na medição da variação do N.A. nos poços selecionados.....	19
Figura 5 - Localização geográfica dos poços selecionados no centro educacional SENAC. Poços: PM-D, PM-B, P. de Produção, PP-02, PM-23 e PM-21.....	21
Figura 6 - Localização geográfica dos poços selecionados no shopping SP-Market. Poços: PMN-4 <sup>a</sup> , PMN-4B, P-12(1204) e P-09 (255).....	21
Figura 7 - Localização geográfica do poço selecionado na indústria Viena. Poço: P. de Produção.....	22
Figura 8 - Localização dos poços selecionados na indústria MWM. Poços: PM-19, PM-19A, PM-39 e PM-39A.....	22
Figura 9 – Distribuição da precipitação e da temperatura média mensal no intervalo considerado.....	25
Figura 10: Relação entre as variáveis do método do balanço hídrico. ESC = escoamento superficial (mm); ETR = evapotranspiração real (mm); $\Delta ARM$ = diferença entre ARM de um mês e o ARM do mês anterior (mm); R = recarga (mm); P = precipitação (mm).....	28
Figura 11 - Comparaçāo da variação do N.A. dos poços monitorados em área impermeabilizada.....	30
Figura 12 - Comparaçāo da variação do N.A. dos poços monitorados em área parcialmente impermeabilizada.....	31
Figura 13 - Comparaçāo da variação do N.A. dos poços monitorados em área não impermeabilizada.....	32
Figura 14 – Dados de precipitação mensal da estação meteorológica da CGE-SP, Santo Amaro.....	33
Figura 15 - Determinação do $\Delta h$ , a partir dos dados registrados no poço PM-B, no período de outubro de 2012 a setembro de 2013.....	35

Figura 16 - Composição química dos poços amostrados na primeira (abril de 2013) e segunda (setembro de 2013) campanha de amostragem de água. Legenda: PM ou PP - número do poço - número da campanha de amostragem.....	37
Figura 17 – Composição química relativa dos pontos amostrados na primeira campanha de amostragem, incluindo análises de água da chuva, esgoto e da SABESP. Legenda: PR – Poço Raso; PI – Poço Intermediário; PP – Poço Profundo.....	38

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Valores de C e $\alpha$ em função do tipo de solo, declividade e estação do ano (traduzido de Thornthwaite & Mather, 1955).....	15
Tabela 2 - Água disponível presente na zona não saturada em função do solo (em mmH <sub>2</sub> O / metro de solo) (extraído de CETESB, 1985).....	16
Tabela 3 – Características construtivas dos poços selecionados, tipo de terreno e aquífero abrangente.....	23
Tabela 4 – Cálculo da evapotranspiração real (ETR) .....	26
Tabela 5: Valores utilizados para o cálculo do escoamento superficial.....	26
Tabela 6: Volume de água armazenado no solo.....	27
Tabela 7: Quantificação da recarga pelo método do balanço hídrico. .....	27
Tabela 8: Resultados do balanço hídrico para o período de outubro de 2012 a setembro de 2013.....	28
Tabela 9 - Vazão específica em % (Traduzido de Johnson, 1967 apud Fetter, 2001).....	34
Tabela 10- Correlação de Pearson entre as amostras dos poços da 1 <sup>a</sup> campanha.....	39
Tabela 11 - Correlação de Pearson entre as amostras dos poços da 1 <sup>a</sup> campanha, esgoto e SABESP.....	39

## SUMÁRIO

<b>AGRADECIMENTOS.....</b>	<b>1</b>
<b>RESUMO.....</b>	<b>2</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>2</b>
<b>LISTA DE FIGURAS.....</b>	<b>4</b>
<b>LISTA DE TABELAS.....</b>	<b>5</b>
<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>8</b>
<b>2. LOCALIZAÇÃO.....</b>	<b>8</b>
<b>3. HISTÓRICO DE OCUPAÇÃO DA ÁREA.....</b>	<b>9</b>
<b>4. FUNDAMENTAÇÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>10</b>
4.1. <b>Geologia regional.....</b>	<b>10</b>
4.2. <b>Geologia local.....</b>	<b>11</b>
4.3. <b>Hidrogeologia.....</b>	<b>11</b>
4.4. <b>Recarga de aquíferos.....</b>	<b>12</b>
4.5. <b>Recarga de aquíferos em áreas urbanas.....</b>	<b>13</b>
4.6. <b>Técnicas de avaliação de recarga.....</b>	<b>14</b>
4.6.1. <i>Método do balanço hídrico.....</i>	<b>14</b>
4.6.2. <i>Método da variação dos níveis d'água do aquífero.....</i>	<b>16</b>
4.7. <b>Hidroquímica.....</b>	<b>18</b>
<b>5. MATERIAIS E MÉTODOS.....</b>	<b>18</b>
5.1. <b>Pesquisa bibliográfica.....</b>	<b>18</b>
5.2. <b>Monitoramento do nível estático de água.....</b>	<b>18</b>
5.3. <b>Critérios de escolha dos poços.....</b>	<b>20</b>
5.4. <b>Poços selecionados e principais características.....</b>	<b>20</b>
5.5. <b>Obtenção dos dados meteorológicos.....</b>	<b>23</b>
5.6. <b>Coleta de amostras de água e parâmetros químicos utilizados.....</b>	<b>23</b>
<b>6. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>24</b>
6.1. <b>Método do balanço hídrico.....</b>	<b>24</b>
6.2. <b>Método da variação do nível d'água.....</b>	<b>29</b>
6.2.1. <i>Comparação da variação do nível d'água entre poços em área impermeabilizada, parcialmente impermeabilizada e não impermeabilizada.....</i>	<b>29</b>
6.2.1.1. <i>Poços em áreas impermeabilizadas.....</i>	<b>29</b>
6.2.1.2. <i>Poços em áreas parcialmente impermeabilizadas.....</i>	<b>30</b>
6.2.1.3. <i>Poços em áreas não impermeabilizadas.....</i>	<b>31</b>
6.2.2. <i>Comparação entre os dados de precipitação mensal e as variações de N.A.....</i>	<b>32</b>
6.2.3. <i>Quantificação da recarga pelo método da variação do nível d'água.....</i>	<b>33</b>

<b>6.3. Dados Hidroquímicos.....</b>	<b>36</b>
6.3.1. Caracterização e classificação hidrogeoquímica dos poços monitorado.....	36
6.3.2. Correlação de Pearson.....	38
6.3.3. Balanço de massa do elemento conservativo cloreto.....	39
<b>7. CONCLUSÕES.....</b>	<b>40</b>
<b>8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>41</b>

## **ANEXOS**

<b>I. Perfis construtivos e litológicos dos poços.....</b>	<b>43</b>
<b>II. Análises químicas realizadas.....</b>	<b>53</b>
<b>III. Planilhas de campo: estabilização dos parâmetros físico-químicos.....</b>	<b>58</b>
<b>IV. Planilhas do balanço hídrico e das medições manuais de N.A.....</b>	<b>71</b>
<b>V. Gráficos de variação do N.A.....</b>	<b>73</b>

## **1. INTRODUÇÃO**

Foi detectada a presença de solventes organoclorados alifáticos, compostos estes, altamente tóxicos em aquíferos fraturados de grande profundidade, na região do canal Jurubatuba. Esse fato representa um risco à saúde da população que utiliza a água subterrânea de poços cuja captação provém de rochas fraturadas profundas. Este cenário motivou a ação conjunta da Companhia de Tecnologia e Saneamento Ambiental (CETESB) e a Coordenação de Vigilância e Saúde (COVISA), que caracterizou a região do bairro de Jurubatuba (Santo Amaro – São Paulo) como zona de restrição do uso de água subterrânea. Além disso, a Região Metropolitana de São Paulo, com quase 20 milhões de habitantes, apresenta uma demanda de água que é quase o dobro da disponível, com balanços hídricos em níveis de atenção ou críticos (SMA, 2009).

O projeto em questão objetiva compreender os mecanismos de recarga da água subterrânea no aquífero raso na região do canal Jurubatuba, através dos métodos hidráulicos de variação do nível d'água e de balanço hídrico. Ainda é objetivo deste trabalho a utilização de análises químicas das águas para a detecção de possíveis fontes antrópicas de recarga, através dos contaminantes identificados. As perguntas que elucidam esse trabalho são:

- a) Como ocorre a recarga nessa área de estudo?
- b) Qual é a estimativa de recarga?
- c) Há influências antrópicas nessa recarga?

Através dos questionamentos propostos, pretende-se compreender de que maneira os contaminantes organoclorados chegam em aquíferos fraturados localizados em regiões tropicais e subtropicais, onde há espessa camada de sedimentos e saprolitos sobrejacentes à rocha cristalina. O estudo da recarga do aquífero raso do canal Jurubatuba se insere em um grande projeto cuja intenção é estabelecer um padrão de remediação para áreas contaminadas por organoclorados presentes em regiões com características geológicas semelhantes ao observado no canal Jurubatuba.

## **2. LOCALIZAÇÃO**

A área de estudo está localizada na região sul da cidade de São Paulo, nos bairros de Santo Amaro e Jurubatuba, e se estende em uma área de aproximadamente 725.000 m<sup>2</sup>.

Nessa área foram escolhidos quatro locais de acompanhamento e amostragem, até o momento, para a realização dos estudos propostos neste trabalho. Estes locais foram selecionados levando-se em conta a acessibilidade da área, a localização espacial privilegiada e também por estar contida na “zona de restrição e controle temporário para os usos dos recursos hídricos subterrâneos” (DAEE, portaria nº 1594), o que os torna

representativos da região de estudos como um todo. O acesso à área de estudos é feito pela Marginal Pinheiros, seguindo pela Avenida das Nações Unidas, próximo à estação de trem Jurubatuba da CPTM.

Os locais escolhidos para o acompanhamento e estudo dos mecanismos de recarga são: i) o shopping SPMarket, localizado na Avenida das Nações Unidas, nº 22.540, Jurubatuba, São Paulo – SP; ii) a instituição de ensino SENAC, localizada na Rua Doutor Antônio Bento, nº393, Santo Amaro, São Paulo – SP; iii) a indústria alimentícia Viena Delicatessen Ltda, localizada na Rua Agostinho Togneri, nº 421, Jurubatuba, São Paulo – SP; e iv) a indústria de automotores MWM, localizado na Avenida das Nações Unidas, nº 22.002, Jurubatuba, São Paulo – SP. A localização das quatro áreas escolhidas encontra-se sumarizada na imagem de satélite apresentada na figura 1.

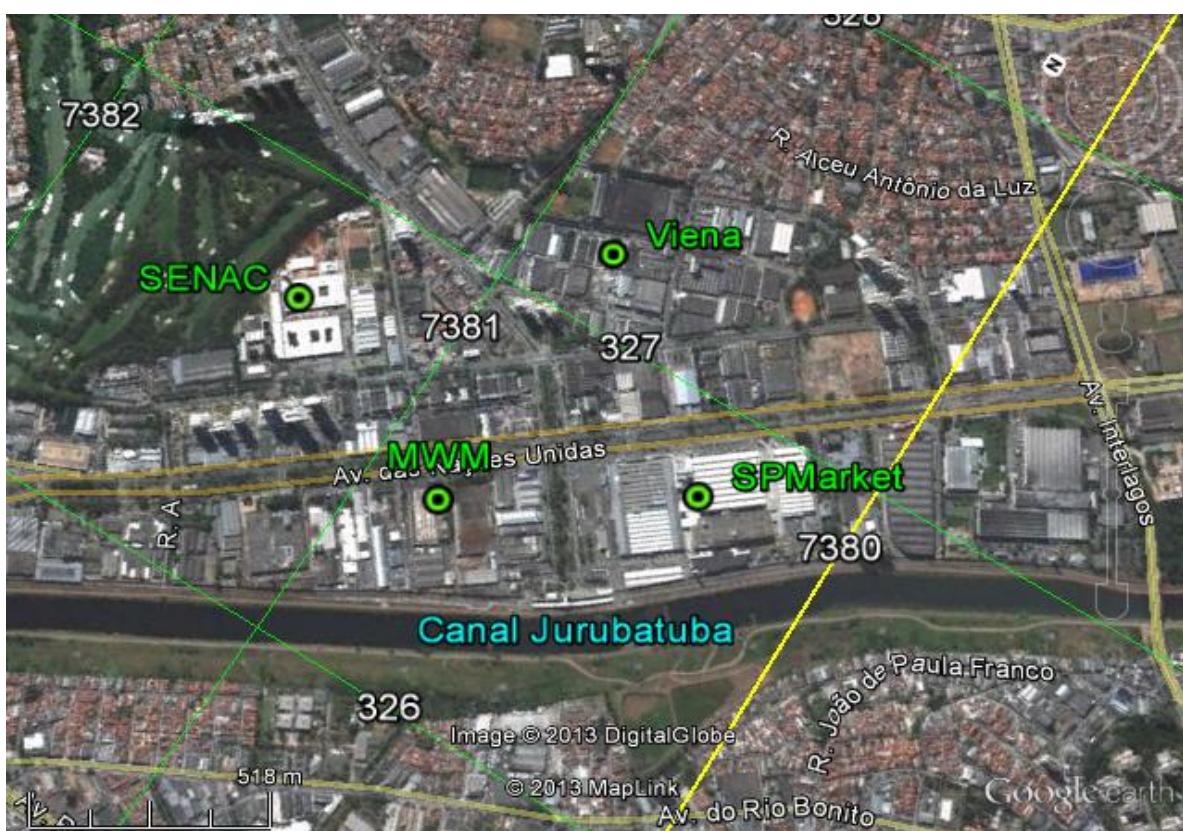


Figura 1 - Localização das quatro áreas escolhidas (adaptado de GoogleEarth).

### 3. HISTÓRICO DE OCUPAÇÃO DA ÁREA

A área escolhida para a realização deste projeto está localizada em uma região intensamente ocupada por indústrias da cidade de São Paulo, onde o uso dos recursos hídricos é intenso.

Segundo Servmar, DAEE, IG e Projeto Aquíferos (2012) a região sofreu intenso processo de industrialização nas décadas de 50 e 60, onde se instalaram indústrias de médio e grande porte, majoritariamente do setor químico e metalúrgico. As principais

matérias primas utilizadas pelas indústrias locais são materiais ferrosos, não ferrosos, termoplásticos, componentes elétricos e eletrônicos.

Em 2011, a área em questão foi classificada pela empresa de consultoria ambiental “Geoclock” como Zona de Uso Predominantemente Industrial – ZUPI 131. Atualmente, vários empreendimentos industriais encerraram suas operações na região, e inúmeras zonas residenciais de alto padrão e prestadoras de serviços e comércio estão se instalando nos locais ocupados anteriormente por indústrias.

## 4. FUNDAMENTAÇÃO BIBLIOGRÁFICA

### 4.1. Geologia regional

A geologia regional é representada por terrenos sedimentares de idade paleógena e neógena, pertencentes à bacia sedimentar de São Paulo. A bacia de São Paulo compõe o segmento central do Rift Continental do Sudeste do Brasil (Riccomini 1989).

Segundo Riccomini & Coimbra (1992), a bacia de São Paulo é considerada um *hemi-graben*, com basculamento para NNW e embasamento cristalino pré-cambriano; o embasamento cristalino é representado por granitos sin e pós-tectônicos e por rochas metamórficas, associando-se às rochas graníticas e aos Grupos Açuengui e São Roque.

Na figura 2, observa-se o mapa geológico da região metropolitana de São Paulo.

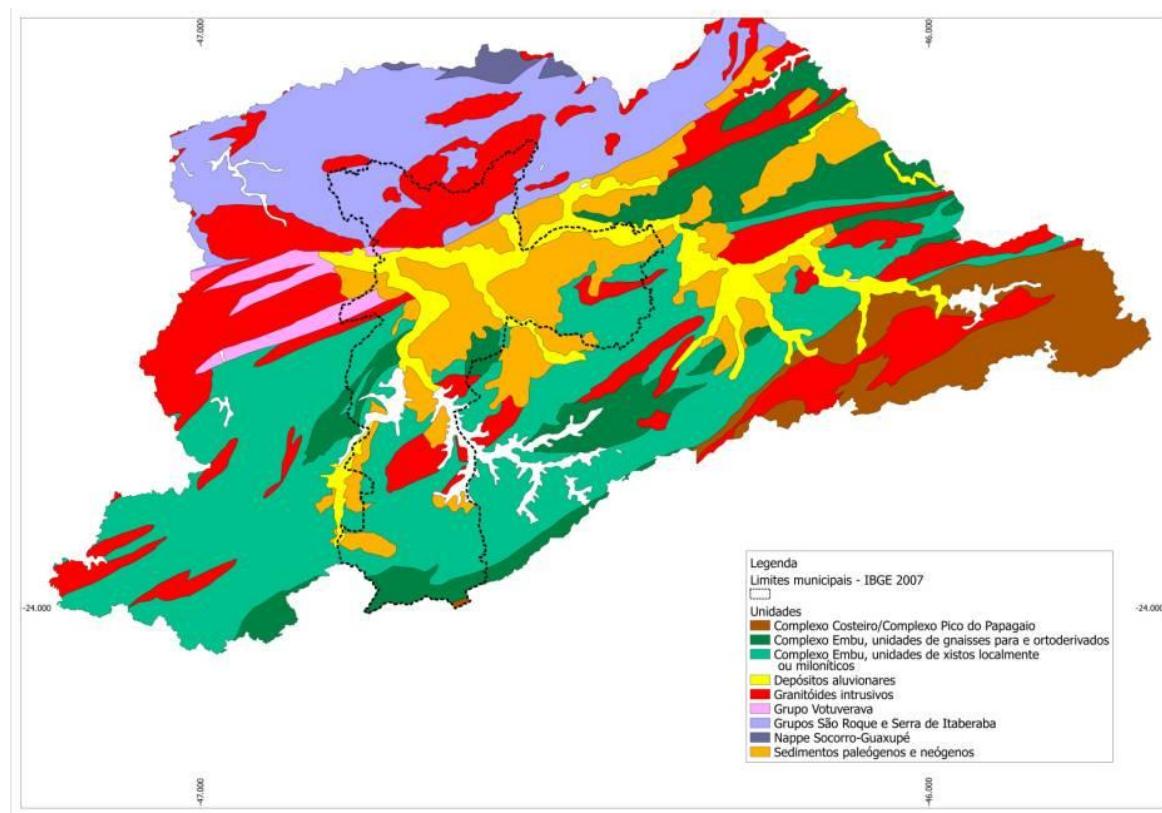


Figura 2 – Mapa geológico da Região Metropolitana de São Paulo (extraído de Monteiro *et al.* 2012).

## 4.2. Geologia local

De acordo com o mapa geológico da figura 2, na área de estudos afloram exclusivamente sedimentos aluvionares recentes.

Foram realizadas campanhas de sondagens na área de estudos, pela empresa de consultoria ambiental “Geoklock”, em 2011, o que possibilitou identificar a seguinte sequência de litologias, do topo para a base: 1 – Aterro argilo-arenoso: espessura média de 1,5m das camadas, de coloração vermelho-amarronzada, com ocorrências localizadas de brita e cascalho; 2 – argila Orgânica: espessura média de 1,5m das camadas, de coloração acinzentada, levemente arenosa; 3 – Areia fina: espessura média das camadas de 1m, de coloração esbranquiçada e amarelada; 4 – Areia média a grossa: intervalo de ocorrência entre 3,5 a 5,5m, de coloração bege escura, levemente argilosa e presença de cascalho; 5 – Argila siltosa e/ou arenosa: espessuras das camadas variam entre 1 e 7m, ocorrentes em limites descontínuos a partir de 5,5m, com alto grau de compactação, representando camada confinante; 6 – Areia fina a grossa: presente a até 25m de profundidade (sondagens mais profundas), intercalando-se com camadas de argila siltosa e/ou arenosa, de coloração bege escura e baixos teores de argila e presença de cascalho.

A geologia local da área de estudos também pode ser observada nos perfis dos poços utilizados, disponíveis em anexo.

## 4.3. Hidrogeologia

A hidrogeologia da Bacia do Alto Tietê é definida basicamente por dois sistemas aquíferos: o Sistema Aquífero Cristalino (SAC) e o Sistema Aquífero Sedimentar (SAS). O SAS, de porosidade primária, subdivide-se em aquíferos Quaternário, São Paulo e Resende (Hirata & Ferreira 2001). O SAC, de porosidade secundária, subdivide-se em aquíferos A e B, que são correspondentes à rocha intemperizada e à rocha cristalina respectivamente (Hirata e Ferreira 2001).

Segundo Rocha (2005), o Sistema Aquífero Sedimentar é composto por sedimentos que preenchem a bacia de São Paulo. Estes sedimentos ocupam uma área de aproximadamente 1000 Km<sup>2</sup>, localizando-se na porção central da bacia hidrográfica do alto do curso do rio Tietê. O SAS ocupa 25% da Bacia do Alto Tietê em área (Bertolo 1996), e apresenta grande importância regional devido ao fato de ser o aquífero mais explorado e por abrigar a maior parte da cidade de São Paulo e de sua região metropolitana.

O aquífero Quaternário, que compõe o Sistema Aquífero Sedimentar, aflora por toda a área de estudo escolhida. Geologicamente, este aquífero é composto por depósitos sedimentares aluviais, com a predominância de material areno-argiloso, e com espessuras inferiores a dez metros. (Hirata & Ferreira 2001).

O Aquífero São Paulo é composto predominantemente por cascalho, areia e silte, de origem fluvial meandrante. É considerado como um aquífero livre a semi-confinado, de extensão local e de baixa produtividade (Hirata & Ferreira 2001).

O Aquífero Resende é composto por intercalações entre lamitos arenosos e argilosos e lamitos seixosos, com gênese associada à planícies aluviais e leques aluviais. É um aquífero de pequena extensão, livre a semiconfinado, e com baixa produtividade média (Hirata & Ferreira 2001).

De acordo com estudos pretéritos realizados por empresas de consultoria ambiental, o aquífero raso da região investigada apresenta direção de fluxo preferencial para sudoeste, em direção ao canal Jurubatuba.

#### **4.4. Recarga de aquíferos**

O conceito de recarga, se tratando de aquíferos, pode ser definido, de maneira geral, como a água que atinge o aquífero, a partir de qualquer direção, sendo esta água adicionada ao reservatório de água subterrânea (Lerner 1997).

A recarga de um aquífero pode ocorrer através de processos naturais e através de processos antrópicos (Lerner 1990). Um aquífero pode sofrer recarga naturalmente através da precipitação, o que evidencia a influência direta do clima (entre outros fatores) no processo de recarga natural de um aquífero; além da precipitação, locais de escoamento de água como lagos, rios e canais fluviais exercem grande influência na recarga natural do aquífero. A recarga não natural é a recarga induzida pelo homem, que provém da irrigação de plantações e jardins, de vazamentos da rede de distribuição de água, de vazamentos da rede de coleta de esgoto e de fossas.

Três tipos de recarga foram definidos e conceituados por Lerner (2002):

- a. Recarga direta: é o volume de água que adentra o solo através da percolação vertical direta e que atinge a zona saturada de um aquífero.
- b. Recarga indireta: água adicionada ao aquífero através da percolação desta em áreas ocupadas por águas superficiais de feições mapeáveis.
- c. Recarga Localizada: resultante da concentração de água em superfícies horizontais, com carência de canais de escoamento bem definidos.

Segundo Lerner (1990), deve-se levar em conta a não linearidade dos fatores que influenciam a recarga para diferentes áreas e, que para o seu cálculo, a área de estudos deve ser dividida em subunidades com características (geologia, solo, vegetação, chuva, clima) semelhantes. A recarga deve ser calculada para cada subunidade.

#### 4.5. Recarga de aquíferos em áreas urbanas

A recarga de aquíferos em áreas urbanas ocorre de maneira distinta à recarga em áreas rurais. Em áreas não urbanizadas, as fontes de recarga são basicamente a precipitação, fluxos entre diferentes aquíferos, corpos de água superficiais e irrigação (Lerner *et al.* 1990). Em regiões urbanizadas, outras fontes de recarga apresentam grande influência, como o vazamento de redes de distribuição de água e coleta de esgoto, super-irrigação de jardins municipais e domésticos, recarga deliberada devido ao escoamento de tempestades, além das fontes que compõem o cenário de recarga em locais não urbanizados. Estes mecanismos de recarga de aquíferos em regiões urbanizadas, aliados à grande impermeabilização do terreno e a diversas obras de engenharia modificam e influenciam a dinâmica dos fluxos de águas subterrâneas (Foster *et al.* 1998, Lerner 2002).

A importação de água entre algumas bacias hidrográficas é também um importante fator modificador da recarga do aquífero em áreas urbanizadas, pois causa grande alteração no volume de água participante dos mecanismos de recarga locais. No caso de São Paulo, mais de 50% da água utilizada por este município provém de outra bacia hidrográfica, alterando o volume de água natural da bacia hidrográfica local.

Com a impermeabilização do solo, a hidrologia do aquífero presente na região impermeabilizada será modificada em relação aos padrões naturais. A infiltração e a recarga direta do aquífero irão decrescer, o que causará aumento do escoamento natural e, portanto, o aquífero passará a sofrer maior influência de recarga indireta (Lerner *et al.* 1990). De maneira geral, a recarga proveniente da precipitação é reduzida devido à impermeabilização do terreno, porém, a evapotranspiração também é reduzida (Vázquez-Suñe *et al.* 2005).

A redução da recarga direta devido à impermeabilização é compensada pelo aumento da recarga indireta, caso a água proveniente da precipitação em áreas urbanas seja escoada para bacias de infiltração, ao invés de ir para cursos de água como rios e córregos (Foster *et al.* 1998).

Segundo Foster *et al.* (1998), a recarga em áreas urbanas pode acarretar na contaminação do aquífero, pois os processos de recarga em regiões urbanizadas favorecem à contaminação difusa por compostos de nitrogênio, enxofre e aumento de salinidade. Outros contaminantes corriqueiros em ambientes urbanos como o petróleo, compostos organoclorados, compostos sintéticos, bactérias e vírus também oferecem riscos ao aquífero devido a possíveis vazamentos para o nível d'água subterrâneo.

## 4.6. Técnicas de avaliação de recarga

Existem diversas técnicas para se estimar a recarga do aquífero e cada uma apresenta um erro associado. Para que os resultados obtidos não fiquem atrelados a um método em particular, recomenda-se que sejam utilizados diferentes métodos, possibilitando que resultados mais próximos da realidade sejam obtidos (Lerner *et al.* 1990, Scanlon *et al.* 2002).

Para este trabalho será dado o enfoque aos métodos que se baseiam na hidráulica do aquífero, ou seja, nos métodos que fazem a estimativa de recarga através da medição direta e monitoramento das características hidrodinâmicas do aquífero.

### 4.6.1. Método do balanço hídrico

Este método estima o balanço de umidade na zona saturada do aquífero através do cálculo das entradas (precipitação) e saídas (escoamento superficial e evapotranspiração) de água ao longo do tempo (Rosenberg *et al.* 1983).

De acordo com Lerner *et al.* (1990), o método do balanço hídrico é conceitualmente simples, porém apresenta baixa precisão nos resultados obtidos. Ainda segundo o mesmo autor, o método possui muitos erros na estimativa de fluxos em tempestades e em fortes chuvas tropicais, na quantificação da evapotranspiração e no estabelecimento do escoamento superficial.

Thornthwaite e Mather (1955) definem o balanço hídrico como:

$$P = ESC + ETR + ARM + R$$

onde “P” é a precipitação; “ESC” são os escoamentos superficiais para fora da área de estudo; “ETR” é a evapotranspiração real; “ARM” é a variação no armazenamento de água na zona não saturada; “R” é a recarga. Todas as variáveis são estimadas em milímetros.

Os fluxos superficiais (ESC) são estimados através da fórmula:

$$ESC = C' \cdot P$$

onde “C” é o coeficiente de escoamento superficial e “P” é a precipitação.

O coeficiente de escoamento superficial (C') é obtido por:

$$C' = \alpha \cdot C$$

onde “C” é o coeficiente determinante do volume da precipitação que escorrerá em superfície, em função do solo. O “ $\alpha$ ” está associado à declividade e estação do ano (Tabela 1).

Tabela 2 - Valores de C e  $\alpha$  em função do tipo de solo, declividade e estação do ano (traduzido de Thornthwaite & Mather, 1955).

Tipo de solo	Declividade (%)	Coeficiente $\alpha$	
		Estação seca	Estação úmida
Arenoso C=0,30	0 a 2	0,17	0,34
	2 a 7	0,34	0,50
Argiloso C=0,40	0 a 2	0,33	0,43
	2 a 7	0,45	0,55

A evapotranspiração será calculada de acordo com o método de Thornthwaite (1948), pois segundo Camargo (1962) apresenta bom desempenho para o Estado de São Paulo:

$$ETP = 16 b (10 T/I)^a \quad (0 < T < 26,5^{\circ}C)$$

onde “ETP” é a evapotranspiração, em milímetros; “T” é a temperatura média mensal, em  $^{\circ}C$ ; “I” é o índice de calor disponível para a região; “a” é a função cúbica de “I” calculado a partir da soma dos índices de calor dos doze meses; “b” é o fator de correção referente ao período de insolação durante o dia que varia em função da latitude em que se localiza a estação meteorológica. Para se calcular “I” é usada a equação:

$$I = \sum i$$

onde “i” é:

$$i = (T/5)^{1,514}$$

O termo “a” é determinado pela função cúbica de “I”:

$$a = 6,75 \times 10^{-7} I^3 - 7,7 \times 10^{-5} I^2 + 0,018 I + 0,49$$

O termo “b” é determinado por:

$$b = (ND/30) \cdot (N/12)$$

onde “ND” é o número de dias no mês e “N” é o fotoperíodo em horas.

O fotoperíodo pode ser estimado pelo método de Brock (1981) usando as seguintes equações:

$$N=2H15 \quad (8)$$

$$H = \arcsin(-(\tan f \cdot \tan d)) \quad (9)$$

$$\delta = 23,45 \cdot \sin(360 \cdot 365 \cdot (284 + N)) \quad (10)$$

onde “H” é o ângulo do sol, “f” é a latitude em graus do local de estudo, “d” é o ângulo de declinação solar em graus e “N” o dia juliano, número de dias após o dia primeiro de janeiro.

A variação do armazenamento de água na zona não saturada (ARM) irá depender do valor de água inicialmente presente na zona não saturada, cujo valor máximo (capacidade de campo) e mínimo (ponto de murchamento) está diretamente relacionado com o tipo de solo (Tabela 2) e sua espessura (Embrapa, 1998).

Trata-se de um método no qual muitas variáveis acabam sendo superestimadas ou subestimadas pela falta de dados disponíveis e precisos dos aquíferos estudados, acarretando em grande imprecisão.

Tabela 2 - Água disponível presente na zona não saturada em função do solo (em mmH<sub>2</sub>O / metro de solo) (extraído de CETESB, 1985).

Tipo de solo	Capacidade de campo	Ponto de murchamento	Água disponível
Arenoso	200	50	150
Siltoso	300	100	200
Argiloso	375	125	250

#### 4.6.2. Método da variação dos níveis d'água do aquífero

Este método é baseado na premissa de que a elevação do nível de água em um aquífero provém da adição de um volume extra de água ao aquífero. O método da variação do nível de água é considerado simples e de fácil aplicação, pois este pode ser utilizado em qualquer tipo de poço. Dessa forma, este método possibilita a obtenção de resultados mais confiáveis da variação do nível de água do aquífero (Healy & Cook 2002). Levando-se em consideração esta premissa, a recarga do aquífero pode ser estimada pela equação:

$$R = S_y \cdot \Delta h / \Delta t$$

onde “S<sub>y</sub>” é a vazão específica; “h” é o nível de água; e “t” é o tempo. O “Δh” é a variação entre o ponto máximo na elevação do nível de água registrado no hidrograma e o ponto no mesmo tempo da curva extrapolada da última recessão (figura 3). O desenho da curva

extrapolada presente na figura abaixo corresponde ao traço que o hidrograma teria seguido se não tivesse ocorrido a elevação do nível de água registrado (Healy & Cook 2002).

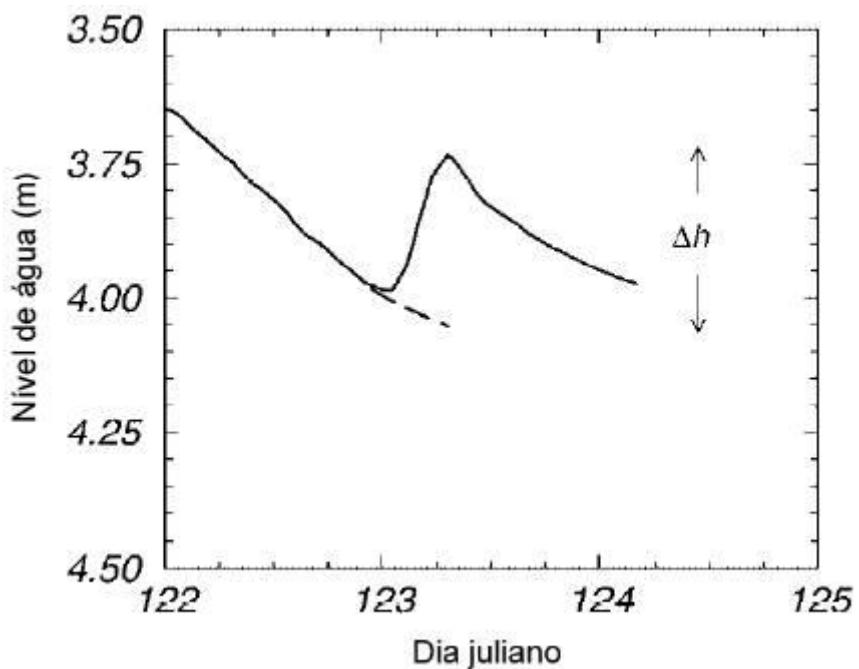


Figura 3 - Cálculo do  $\Delta h$  (traduzido de Healy e Cook 2002).

Para que se obtenha o máximo proveito deste método, recomenda-se que sejam usados poços representativos do aquífero livre, onde a resposta à recarga ocorra rapidamente, e que se escolham poços capazes de representar a área de estudos como um todo. Idealmente, os hidrogramas deverão mostrar fortes variações de subidas e descidas do nível de água do aquífero (Healy & Cook 2002).

A maior dificuldade apresentada por este método é a de determinar um valor representativo para a vazão específica (razão entre o volume de água drenada pela gravidade de uma rocha ou solo, após ser saturada e seu volume total) e a de separar a proporção correspondente a recarga e a fenômenos não representativos desta (evapotranspiração, aprisionamento de ar entre a frente de molhamento e o nível de água de um aquífero, interferência de taxas variáveis de bombeamentos), que alteram o nível de água do aquífero. Em poços onde ocorrem taxas variáveis de bombeamentos, a utilização do método em questão não irá gerar dados representativos da recarga do aquífero, pois, por exemplo, em um período de diminuição de bombeamento nos poços, espera-se o aumento do N.A. do aquífero monitorado, causando a superestimação da recarga (Cuthbert 2010).

Portanto, o método da variação do nível de água é amplamente recomendado devido à simplicidade de operação e confiabilidade dos resultados obtidos. Sempre que possível, a vazão específica deverá ser determinada por diversos métodos, pois dessa forma, a quantificação da recarga irá apresentar resultados mais sólidos e confiáveis.

#### **4.7. Hidroquímica**

A assinatura química é utilizada para o estudo da proveniência e identificação de águas, sendo esta definida pela concentração de solutos presentes na água (Lloyd & Heathcote 1985 *apud* Lerner 2002). Os marcadores inorgânicos potenciais para a assinatura geoquímica da água estão listados a seguir (Lerner 2002):

Inorgânicos: cátions maiores ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Na}^+$  e  $\text{NH}_4^+$ ), ânions ( $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ), metais ( $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{3+}$ ,  $\text{Mn}^{2+}$ , e metais traços), e outros íons menores ( $\text{B}^{3+}$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$ ,  $\text{Sr}^{2+}$ ,  $\text{F}^-$ ,  $\text{Br}^-$  e  $\text{CN}^-$ );

As concentrações dos elementos inorgânicos acima serão utilizadas para a elaboração de diagramas de *piper*, com o intuito de se classificar quimicamente a água analisada. Também serão feitas correlações de *Pearson* e um balanço de massa do elemento conservativo cloreto, para que seja determinada o grau de influência de atividades antrópicas na recarga do aquífero raso. O balanço de massa do cloreto é realizado através da metodologia apresentada por Bajjali (2004), onde:

$$\text{Recarga (mm)} = \text{Precipitação (mm)} \times \text{mg/L Cl}^- \text{ Água da chuva} / \text{mg/L Cl}^- \text{ Poço monitorado}$$

A utilização de diversos traçadores no estudo da proveniência de águas subterrâneas aumenta a confiabilidade do resultado alcançado, sendo, desta forma, recomendável.

### **5. MATERIAIS E MÉTODOS**

#### **5.1. Pesquisa bibliográfica**

Para a elaboração da pesquisa bibliográfica apresentada neste trabalho, foi realizado um levantamento dos principais trabalhos publicados sobre o tema em questão. Foi dada maior ênfase nos trabalhos cuja abordagem fosse referente aos métodos utilizados pelo discente. Alguns trabalhos referenciados nesta pesquisa não foram consultados diretamente, devido à indisponibilidade do material, sendo citados, desta forma, indiretamente.

#### **5.2. Monitoramento do nível estático de água**

Os níveis de água monitorados nos poços escolhidos neste trabalho são considerados estáticos devido a não interferência de bombeamento de água em poços próximos aos escolhidos. Dessa forma, a variação do nível de água registrado é representativa da recarga do aquífero.

Em cada poço escolhido para a realização do monitoramento do nível de água, instalou-se um transdutor de pressão, fabricado pela empresa canadense *Heron Instruments*<sup>®</sup>. O equipamento instalado é denominado pelo fabricante como “*dipperlog*”, porém neste trabalho, este foi denominado simplesmente de “transdutor de pressão”. Todos os transdutores de pressão instalados foram previamente programados em laboratório, para que realizassem medições constantes e ininterruptas no período de uma hora e, portanto, gerando vinte e quatro medidas diárias do nível d’água em cada poço monitorado, por até cinco anos (limite de duração da bateria interna do aparelho). Os transdutores adquiridos para este projeto podem ficar a uma profundidade de até dez metros de coluna d’água dentro do poço, devendo-se ter o cuidado de não permitir que o equipamento instalado fique, por um grande período de tempo, acima do nível d’água do poço.

## *dipperLog*



Figura 4 - Transdutor de pressão utilizado na medição da variação do N.A. nos poços selecionados.

Foram incorporados ao estudo da recarga, outros dois transdutores de pressão da marca *Schlumberger*<sup>®</sup> que estão em operação na área de estudos desde novembro de 2011, nos poços PM-B e PM-D do SENAC – Santo Amaro. Estes transdutores apresentam comportamento semelhante aos transdutores da *Heron Instruments*<sup>®</sup>, adquiridos para este projeto, e descritos no parágrafo anterior.

Os dados coletados pelos transdutores de pressão são armazenados em memória interna do aparelho (*datalogger*), que não possui limite de medição especificado pelo fabricante. Os dados armazenados serão baixados em um laptop, para que sejam posteriormente usados no cálculo da recarga do aquífero nos três tipos de terreno estudados (impermeável, parcialmente impermeável e permeável). A recarga em cada um

dos terrenos será calculada através do método de variação do nível d'água, no qual este se apoia na premissa de que a elevação do nível de água em um aquífero livre é motivada pela sua recarga.

Devido ao prazo de entrega deste relatório, nem todos os transdutores de pressão instalados nos poços selecionados irão fornecer informações referentes a um ciclo hidrológico completo, no término deste trabalho. Porém, os poços com registros de variação do N.A. insuficientes para o cálculo do  $\Delta h$ , também terão suas informações incorporadas neste trabalho, sendo estas, utilizadas na interpretação do padrão de variação do N.A. em terrenos impermeabilizados, parcialmente impermeabilizados e não impermeabilizados.

Para quantificar a recarga através do método da variação do nível de água, escolheu-se, até o momento, apenas o transdutor de pressão instalado no poço PM-B, pois este já possui registros de variação do N.A. superiores a um ciclo hidrológico completo. O transdutor de pressão do poço PM-D, posto em operação juntamente com o transdutor do poço PM-B, apresentou problemas e não pode ser utilizado para o cálculo da recarga.

### **5.3. Critérios de escolha dos poços**

Os critérios de escolha dos poços para a instalação dos transdutores de pressão são: o tipo de terreno (área impermeabilizada, área não impermeabilizada e área parcialmente impermeabilizada), a possibilidade de acesso à área de estudo, a máxima cobertura dos empreendimentos escolhidos (SpMarket, SENAC, Viena e MWM), e o tipo de poço. Os poços foram escolhidos a partir dos perfis geológicos e construtivos disponíveis (Anexo I), onde foram selecionados poços de profundidade rasa (3,5 a 5,75), intermediária (14,0 a 19,6m) e profunda (65,0m a 300,0m).

### **5.4. Localização dos poços selecionados e principais características**

Foram escolhidos dezesseis poços, respeitando-se os critérios estabelecidos no item anterior, para o acompanhamento da variação do nível de água. A localização geográfica dos poços selecionados está summarizada nas figuras 5, 6, 7 e 8.



Figura 5 - Localização geográfica dos poços selecionados no centro educacional SENAC. Poços: PM-D, PM-B, P. de Produção, PP-02, PM-23 e PM-21.



Figura 6 - Localização geográfica dos poços selecionados no shopping SP-Market. Poços: PMN-4<sup>a</sup>, PMN-4B, P-12(1204) e P-09 (255).



Figura 7 - Localização geográfica do poço selecionado na indústria Viena. Poço: P. de Produção.



Figura 8 - Localização dos poços selecionados na indústria MWM. Poços: PM-19, PM-19A, PM-39 e PM-39A.

Na tabela 3, estão sumarizadas as características construtivas dos poços selecionados, o tipo de terreno em que se encontram e o aquífero abrangente (raso, intermediário e profundo).

Tabela 3 – Características construtivas dos poços selecionados, tipo de terreno e aquífero abrangente.

Poço	Profundidade (m)	Posição do Filtro (m)	Tipo de Terreno	Aquífero
PM-23	3,8	2,8 - 3,5	Impermeabilizada	Raso
PP-02	65,0	63,0 - 65,0	Impermeabilizada	Profundo
P9 (255)	300,0	150,0	Impermeabilizada	Profundo
P12(1024)	260,0	198,0	Impermeabilizada	Profundo
PMN-2A	6,2	5,2 - 6,2	Impermeabilizada	Raso
PMN-4A	6,2	5,2 - 6,2	Impermeabilizada	Raso
PMN-4B	16,5	13,2 - 14,2	Impermeabilizada	Intermediário
PM-39	5,8	2,0 - 5,0	Impermeabilizada	Raso
PM-39A	14,0	13,0 - 14,0	Impermeabilizada	Intermediário
Poço de Produção Viena	184,0	156,0	Impermeabilizada	Profundo
PM-21	5,2	4,1 - 5,0	Parcialmente impermeabilizada	Raso
Poço de produção SENAC	142,0	90,0	Parcialmente impermeabilizada	Profundo
PM-D	3,5	0,5 - 3,5	Não impermeabilizada	Raso
PM-B	3,5	0,5 - 3,5	Não impermeabilizada	Raso
PM-19	3,5	2,0 - 3,5	Não impermeabilizada	Raso
PM-19A	19,6	16,0 - 19,6	Não impermeabilizada	Intermediário

## 5.5. Obtenção dos dados meteorológicos

Os dados meteorológicos da área de estudo foram obtidos através da estação meteorológica do CGE- SP (Central de Gerenciamento de Emergências – São Paulo), localizada na subprefeitura do distrito de Santo Amaro – SP. A precipitação e a temperatura média mensal serão utilizadas para o cálculo da recarga do aquífero raso pelo método do balanço hídrico. Posteriormente, os dados meteorológicos de outras estações próximas à área de interesse também serão requisitados, a fim de se definir a estação cujos dados meteorológicos apresentem maior confiabilidade.

Para o cálculo da recarga, também serão considerados o valor máximo de armazenamento de água no solo e o fotoperíodo local, para se calcular a evapotranspiração e o escoamento superficial, parâmetros esses presentes na fórmula definida por Thornthwaite & Mather (1955).

## 5.6. Coleta de amostras de água e parâmetros químicos utilizados

Para este projeto foram realizadas coletas de água da rede de distribuição da SABESP, de água da rede de esgoto, de água da chuva e de água subterrânea dos poços rasos monitorados. Análises químicas (cátions e ânions) foram realizadas no CEPAS (Anexo II), para que, juntamente com a utilização dos métodos hidráulicos descritos, forneça informações sobre a química da água e a existência de possíveis fontes antrópicas nessa recarga. Se for possível, também será feito um balanço de massa com o elemento conservativo cloro.

A frascaria para a amostragem de água foi selecionada de acordo com os parâmetros analisados, onde para os parâmetros cátions, ânions e alcalinidade foram

utilizados frascos de polipropileno de boca estreita de 100 ml. Nas amostras de cátions foi adicionado o preservante ácido nítrico ( $\text{HNO}_3$ ). As amostras de cátions e ânions foram previamente filtradas com filtros da marca Waterra®, com área de filtragem de 300 cm<sup>3</sup> e membrana de 0,45 µm.

A coleta de água em poços de monitoramento rasos foi feita através do método de baixa vazão, seguindo orientações da norma NBR 15.847 (ABNT 2010). Procedeu-se a purga controlada dos poços, com a utilização de uma bomba peristáltica, causando o mínimo de rebaixamento possível do nível d'água no poço. Durante este procedimento, diversos parâmetros físico-químicos foram monitorados, com a finalidade de se definir o momento da coleta. Nesse procedimento se fez o uso de uma célula de fluxo, para que não houvesse o contato da água com o ar atmosférico.

Para a coleta de água de chuva foram utilizados coletores de água feitos artesanalmente, com garrafões autoclaváveis de polipropileno. Os coletores utilizados foram montados de maneira a evitar o fracionamento isotópico da água da chuva coletada. Durante a coleta, foram realizadas diversas medições de parâmetros físico-químicos da água coletada.

A amostragem de água proveniente de esgoto e da rede de distribuição da SABESP foi feita diretamente na fossa e no cavalete do prédio do SENAC - Santo Amaro, sendo as amostras coletadas neste local, representativas da região de estudos como um todo (SENAC – Santo Amaro, SP-Market, Viena e MWM). Durante a coleta, foram realizadas as medições dos parâmetros físico-químicos das águas coletadas.

## 6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 6.1. Método do Balanço Hídrico

O cálculo da recarga realizado neste trabalho se baseou no método do balanço hídrico desenvolvido por Thornthwaite & Mather (1955), onde a recarga é o excedente da precipitação. Após a precipitação, a água sofre processos de escoamento superficial, evapotranspiração e armazenamento desta na zona insaturada do solo. Estes processos retiram parte do volume de água advinda da precipitação, sendo o restante da água disponível, a recarga do aquífero.

Os dados de precipitação e temperatura média mensal foram fornecidos pela estação meteorológica de Santo Amaro, do Centro de Gerenciamento de Emergências (CGE) de São Paulo, para que se pudesse aplicar a técnica aqui proposta.

Existem duas épocas climáticas bem definidas na cidade de São Paulo, uma chuvosa, de outubro a março, e outra seca, de abril a setembro. No período de outubro de

2012 a setembro de 2013, período este considerado para a quantificação da recarga pelos métodos propostos, a estação utilizada (Santo Amaro) registrou um volume de precipitação de 1807,8 mm de água. Neste período, o mês de fevereiro de 2013 correspondeu a 19,2% da precipitação total considerada, o que mostra que a precipitação não se distribui por igual em todos os meses, concentrando-se preferencialmente na estação úmida do ano.

Na figura 9, observa-se a distribuição da precipitação e da temperatura média mensal no período considerado:

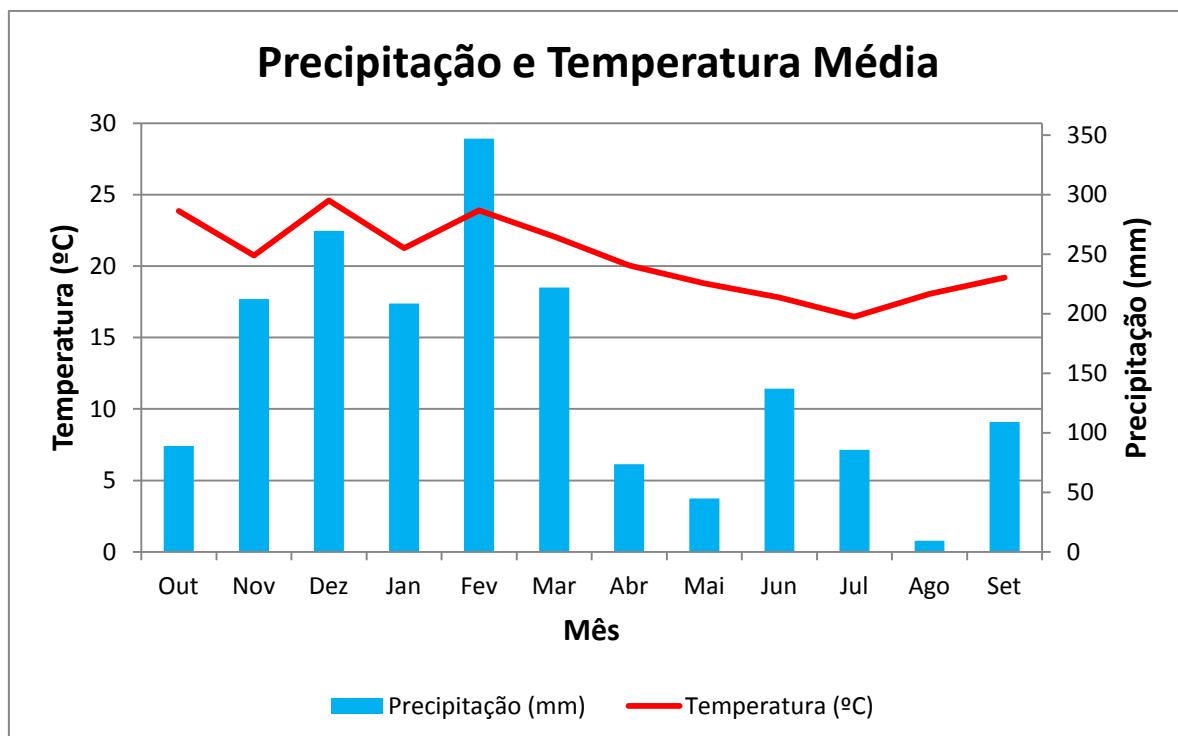


Figura 9 – Distribuição da precipitação e da temperatura média mensal no intervalo considerado.

Para o cálculo da evapotranspiração real, calculou-se o fotoperíodo mensal dos meses estudados para a cidade de São Paulo pelo método de Brock (1981) e os dados de precipitação e temperatura fornecidos pela estação meteorológica. A tabela 4 sumariza o cálculo da evapotranspiração pelo método de Thornthwaite & Mather (1955).

Tabela 4 – Cálculo da evapotranspiração real (ETR)

Mês	Nº de dias	T(°C)	Nº de horas	I	a	b	ETR	P
out-12	31	23,85	13	106,64	2,30	1,08	92,00	89,00
nov-12	30	20,75	13	107,08	2,30	1,08	79,56	212,20
dez-12	31	24,6	13	108,81	2,30	1,13	118,09	269,70
jan-13	31	21,25	13	108,13	2,30	1,10	83,27	208,50
fev-13	28	23,9	12	106,75	2,30	0,95	97,35	347,00
mar-13	31	22,05	12	105,79	2,30	0,99	86,23	222,00
abr-13	30	20,05	11	104,69	2,30	0,91	64,98	73,60
mai-13	31	18,80	10	104,96	2,30	0,90	54,31	44,80
jun-13	30	17,80	10	104,90	2,30	0,89	48,10	137,00
jul-13	31	16,45	11	104,10	2,30	0,92	42,04	85,60
ago-13	31	18,05	11	103,26	2,30	0,97	49,32	9,40
set-13	30	19,20	12	102,68	2,30	1,02	69,30	109,00

Nº de dias = número de dias do mês; T(°C) = temperatura média mensal; Nº de horas = fotoperíodo, em horas; I e a = índice de calor disponível para a região; b = fator de correção referente ao fotoperíodo; ETR = evapotranspiração real (mm); P = precipitação (mm).

Para o cálculo do escoamento superficial (ESC), foi considerada a declividade do terreno (menor que 2 %) e o tipo litológico predominante (solo arenoso) na área, além dos valores de precipitação. Dessa forma, os valores de “C” e “a” foram definidos de acordo com o método proposto, onde C = 0,30 e a = 0,17 para meses secos e 0,34 para meses chuvosos. A tabela 5 sumariza os valores utilizados para o cálculo do escoamento superficial.

Tabela 5: Valores utilizados para o cálculo do escoamento superficial.

Mês	a	C	C'	ESC	P
out-12	0,34	0,30	0,10	9,08	89,00
nov-12	0,34	0,30	0,10	21,64	212,20
dez-12	0,34	0,30	0,10	27,51	269,70
jan-13	0,34	0,30	0,10	21,27	208,50
fev-13	0,34	0,30	0,10	35,39	347,00
mar-13	0,34	0,30	0,10	22,64	222,00
abr-13	0,34	0,30	0,10	7,51	73,60
mai-13	0,34	0,30	0,10	4,57	44,80
jun-13	0,17	0,30	0,05	6,99	137,00
jul-13	0,17	0,30	0,05	4,37	85,60
ago-13	0,17	0,30	0,05	0,48	9,40
set-13	0,17	0,30	0,05	5,56	109,00

a = coeficiente em função da declividade do terreno e estação do ano; C = valor representativo do volume de precipitação que escorrerá em superfície, em função do solo; C' = coeficiente de escoamento superficial; ESC = escoamento superficial (mm); P = precipitação (mm).

O volume de água armazenado no solo (ARM) foi calculado em função do escoamento superficial, da evapotranspiração potencial, da capacidade de água disponível

de acordo com o tipo de solo (tabela 2) e do volume de precipitação. A tabela 6 sumariza os valores obtidos para o volume de água armazenada no solo.

Tabela 6: Volume de água armazenado no solo.

Mês	ESC	ETP	CAD	ARM	P
out-12	9,08	110,43	150,00	53,54	89,00
nov-12	21,64	79,56	150,00	150,00	212,20
dez-12	27,51	118,09	150,00	150,00	269,70
jan-13	21,27	83,27	150,00	150,00	208,50
fev-13	35,39	97,35	150,00	150,00	347,00
mar-13	22,64	86,23	150,00	150,00	222,00
abr-13	7,51	64,98	150,00	150,00	73,60
mai-13	4,57	55,01	150,00	135,92	44,80
jun-13	6,99	48,10	150,00	150,00	137,00
jul-13	4,37	42,04	150,00	150,00	85,60
ago-13	0,48	55,99	150,00	109,60	9,40
set-13	5,56	69,30	150,00	137,61	109,00

ESC = escoamento superficial (mm); ETP = evapotranspiração potencial (mm); CAD = capacidade de água disponível (mm); ARM = volume de água armazenado no solo (mm); P = precipitação (mm).

Para a quantificação da recarga pelo método de Thornthwaite & Mather (1955), considerou-se também o  $\Delta$ ARM ( $\Delta$ ARM = ARM<sub>n</sub> – ARM<sub>n-1</sub>, onde n = mês e n-1 = mês anterior). A tabela 7 apresenta os valores de recarga, calculados para o período estudado, de acordo com as variáveis da fórmula do balanço hídrico ( $R = P - ESC - ETR - \Delta ARM$  para  $\Delta ARM \geq 0$ ;  $R = 0$  para  $\Delta ARM < 0$ ).

Tabela 7: Quantificação da recarga pelo método do balanço hídrico.

Mês	P	ESC	ETR	$\Delta$ ARM	R
out-12	89,00	9,08	92,00	-12,08	0,000
nov-12	212,20	21,64	79,56	96,46	14,527
dez-12	269,70	27,51	118,09	0,00	124,102
jan-13	208,50	21,27	83,27	0,00	103,960
fev-13	347,00	35,39	97,35	0,00	214,254
mar-13	222,00	22,64	86,23	0,00	113,125
abr-13	73,60	7,51	64,98	0,00	1,118
mai-13	44,80	4,57	54,31	-14,075	0,000
jun-13	137,00	6,99	48,10	14,075	67,842
jul-13	85,60	4,37	42,04	0,000	39,194
ago-13	9,40	0,48	49,32	-40,399	0,000
set-13	109,00	5,56	69,30	28,009	6,128
<b>TOTAL</b>	<b>1807,80</b>	<b>167,00</b>	<b>884,55</b>	<b>72,00</b>	<b>684,25</b>

P = precipitação mensal (mm); ESC = escoamento superficial (mm); ETR = evapotranspiração real (mm);  $\Delta$ ARM = diferença entre ARM de um mês e o ARM do mês anterior (mm); R = recarga (mm).

Se os valores de  $\Delta\text{ARM}$  forem negativos, não ocorrerá excedente de água da precipitação, não ocasionando recarga. O excedente de água responsável pela recarga só ocorrerá quando o solo estiver totalmente saturado, de acordo com a sua capacidade de armazenamento de água ( $\Delta\text{ARM} \geq 0$ )

O gráfico da figura 10 mostra a relação entre as variáveis do método do balanço hídrico com o volume de água precipitado, no período estudado.

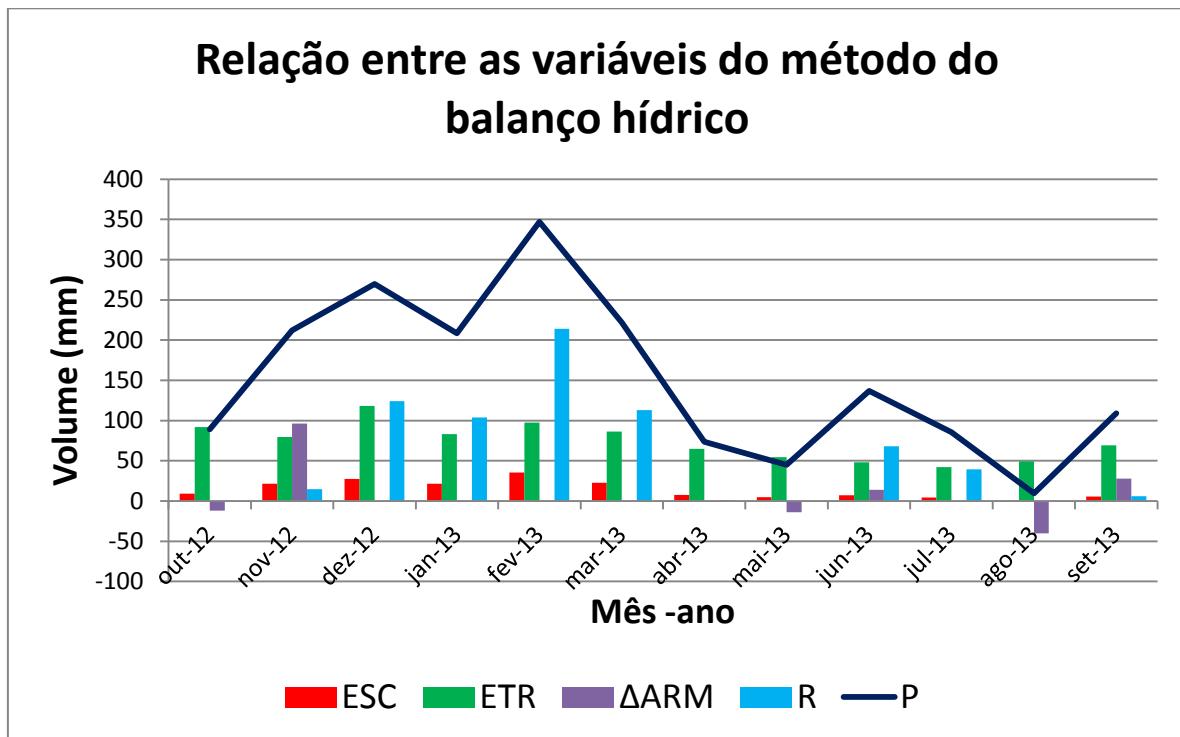


Figura 10: Relação entre as variáveis do método do balanço hídrico. ESC = escoamento superficial (mm); ETR = evapotranspiração real (mm);  $\Delta\text{ARM}$  = diferença entre ARM de um mês e o ARM do mês anterior (mm); R = recarga (mm); P = precipitação (mm).

No período de outubro de 2012 a setembro de 2013, a precipitação acumulada foi de 1807,80 mm (100%). De acordo com o balanço hídrico, 167,00 mm (9,24%) correspondem ao escoamento superficial, 884,55 mm (48,93%) de água retornaram à atmosfera por evapotranspiração, 72 mm foram adicionados ao armazenamento e 684,25 mm (37,85%) é adicionado ao aquífero como recarga.

Tabela 8: Resultados do balanço hídrico para o período de outubro de 2012 a setembro de 2013.

	Volume (mm)	% da precipitação
<b>Precipitação</b>	1807,80	100,00
<b>Evapotranspiração real</b>	884,55	48,93
<b>Escoamento superficial</b>	167,00	9,24
<b>Recarga</b>	684,25	37,85

O alto valor de recarga estimado pode estar ligado a subestimações do escoamento superficial, pelo método escolhido, uma vez que grande parte da região estudada é impermeabilizada, potencializando as taxas de escoamento superficial. O fato da precipitação ocorrer de maneira concentrada nos meses mais chuvosos também interfere na quantificação da recarga por este método, pois quando um grande volume de água precipita rapidamente, o escoamento superficial aumenta e o excedente de água disponível para a recarga do aquífero diminui, fato este, não demonstrado pelo método em questão.

## 6.2. Método da variação do nível d'água

### 6.2.1. Comparação da variação do nível d'água entre poços em área impermeabilizada, parcialmente impermeabilizada e não impermeabilizada

Foram feitos gráficos comparativos das variações registradas pelos transdutores instalados na área de estudo, nos três tipos de terrenos propostos, para que se pudesse compreender as relações de comportamento entre as variações do N.A. de poços do mesmo tipo de terreno e entre poços de terrenos diferentes.

O *datum* utilizado neste projeto, considerado o ponto zero (0 mm) para as medições de variação do N.A., foi a boca do tubo de cada poço monitorado. Alguns poços apresentaram valores de variação do N.A. negativos, indicando que o nível d'água transbordou a boca do tubo do poço (como nos poços PP-02 e Prod. SENAC).

#### 6.2.1.1. Poços em áreas impermeabilizadas

De acordo com os gráficos de variação do N.A. representados na figura 11, nota-se que o período de recarga efetiva do aquífero para os poços localizados em área impermeabilizada ocorreu predominantemente no mês de junho de 2013, seguido de um período de descarga do aquífero, retomando a recarga a partir de outubro de 2013.

Para a área impermeabilizada, a variação do N.A. comporta-se de maneira similar nos poços monitorados, com exceção do poço profundo de produção do SPMarket (Prod. SPMarket (avenida)). O comportamento análogo da variação do N.A. dos poços em área impermeável evidencia que as diversas profundidades representadas por estes poços sofrem as mesmas influências nas taxas de recarga e descarga do aquífero (figura 11).

A exceção no comportamento da variação do N.A. é vista nos valores registrados do poço profundo do SPMarket (Prod. SPMarket(avenida)), podendo ser observadas subidas e descidas do nível de água distintas do comportamento registrado em outros poços impermeabilizados. Pode-se dizer que o comportamento do aquífero observado neste poço se associa a características de confinamento ou semiconfinamento do mesmo.

Nota-se na mesma figura, que o poço PP-02 apresenta variações muito abruptas do nível d'água em um curto espaço de tempo, sofrendo oscilações frequentes para mais e para menos. Este comportamento pode estar associado a interferências de bombeamento de água em locais próximos a esses poços, o que, neste caso, não interfere na interpretação do comportamento do N.A para os poços impermeabilizados.

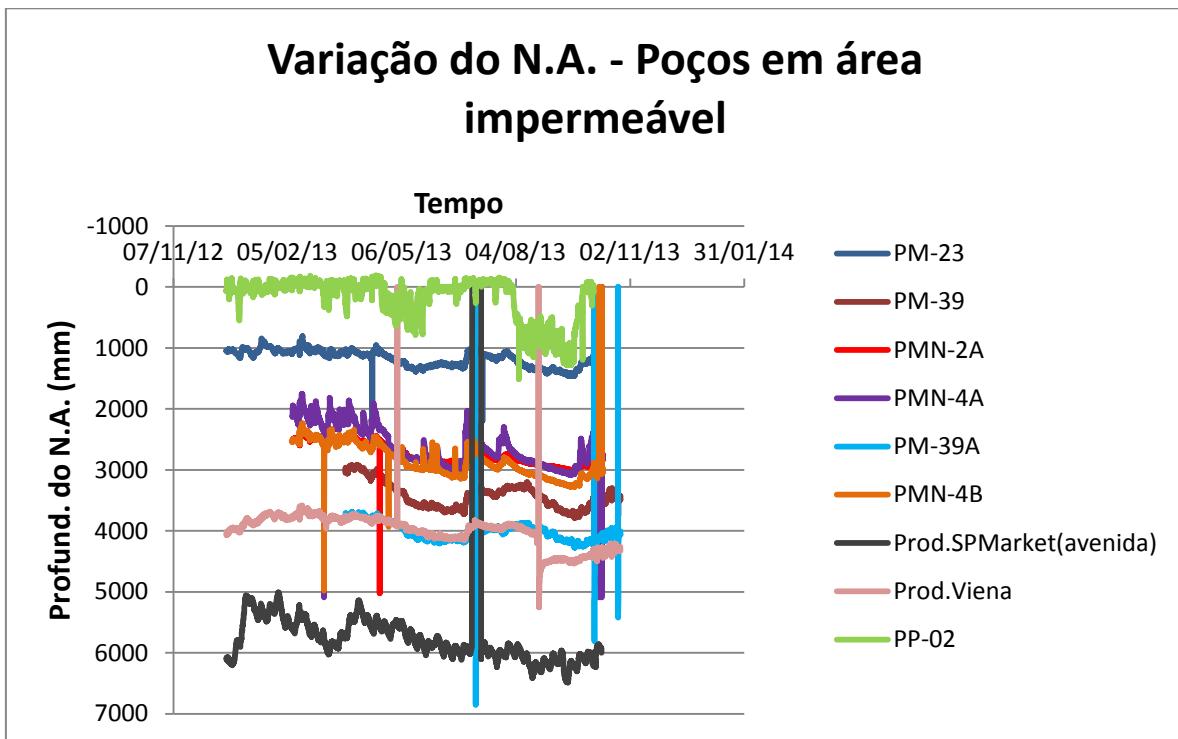


Figura 11 - Comparaçāo da variação do N.A. dos poços monitorados em área impermeabilizada.

#### 6.2.1.2. Poços em áreas parcialmente impermeabilizadas

Assim como nos gráficos representados na figura 11, a recarga efetiva do aquífero raso monitorado ocorreu em junho de 2013, seguida por um período de descarga e retomando a recarga do aquífero a partir do mês de outubro de 2013.

Apesar dos grandes picos de oscilação do N.A. registrados no poço de produção do SENAC, os poços PM-21 e de Produção do SENAC apresentam o mesmo padrão de variação do nível d'água, indicando comportamento análogo em todo o aquífero monitorado, para os eventos de subida e descida do nível d'água em diferentes profundidades.

O poço de produção do SENAC representado na figura 12 apresenta variações abruptas do N.A. em curto espaço de tempo, assim como observado anteriormente no poço PP-02, localizado em área impermeabilizada. Essas grandes variações do nível d'água, para mais e para menos, estão provavelmente relacionadas a eventos de bombeamentos realizados em locais próximos aos poços monitorados.

## Variação do N.A. - Poços em área parcialmente impermeável

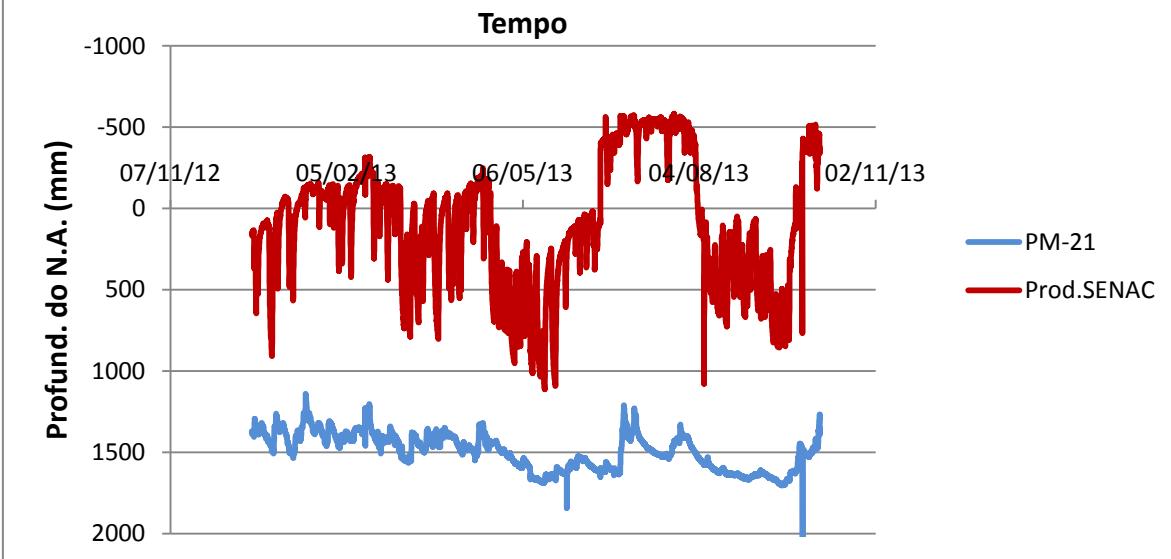


Figura 12 - Comparaçao da variação do N.A. dos poços monitorados em área parcialmente impermeabilizada.

### 6.2.1.3. Poços em áreas não impermeabilizadas

Os poços localizados em área não impermeabilizada apresentam comportamento análogo à variação do nível de água, a partir do início do registros dos transdutores instalados nos poços PM-19 e PM-19A. Devido ao grande volume de dados de variação do N.A. registrados para o poço PM-B (superior a um ciclo hidrogeológico completo) e ao comportamento análogo dos poços em área não impermeabilizada, pode-se afirmar que a unidade aquífera, representada pelos poços PM-19, PM-19A e PM-B, sofre recarga predominantemente nos meses de junho e outubro de cada ano. As variações de N.A. registradas pelos poços em áreas não impermeabilizadas estão summarizadas nos gráficos da figura 13:

## Variação do N.A. - Poços em área não impermeabilizada

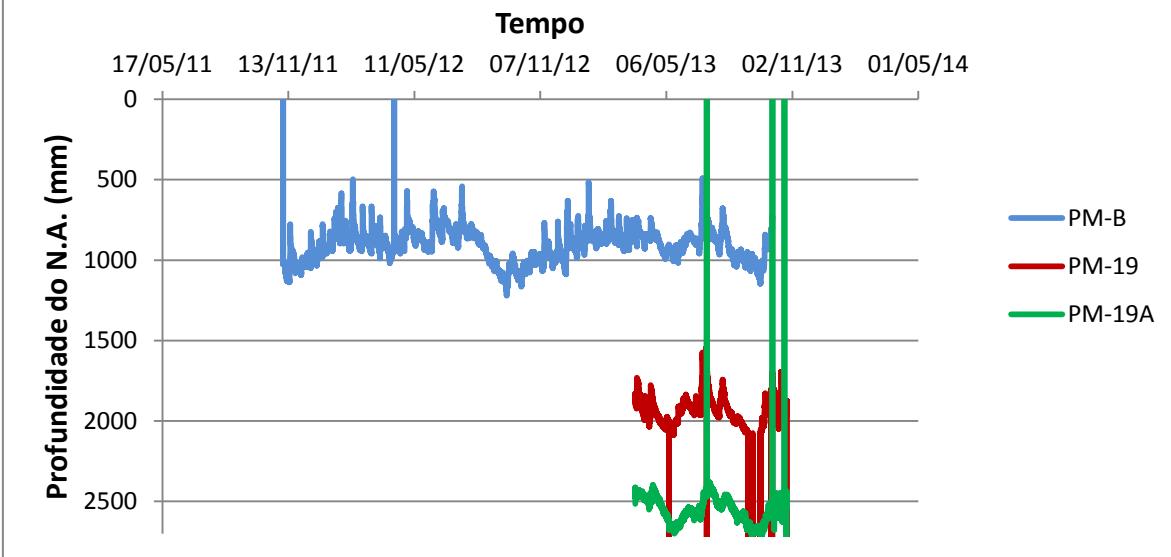


Figura 13 - Comparaçao da variação do N.A. dos poços monitorados em área não impermeabilizada.

### 6.2.2. Comparação entre os dados de precipitação mensal e as variações de N.A.

Os dados de precipitação mensal disponibilizados pela estação meteorológica do Centro de Gerenciamento de Emergências de São Paulo (CGE-SP) estão sumarizados na figura 14. Esses dados de precipitação mensal foram correlacionados com os valores de variação do N.A. registrados pelos transdutores, instalados nos poços monitorados. Os dados de precipitação mensal utilizados nesta correlação são do período de outubro de 2012 a setembro de 2013.

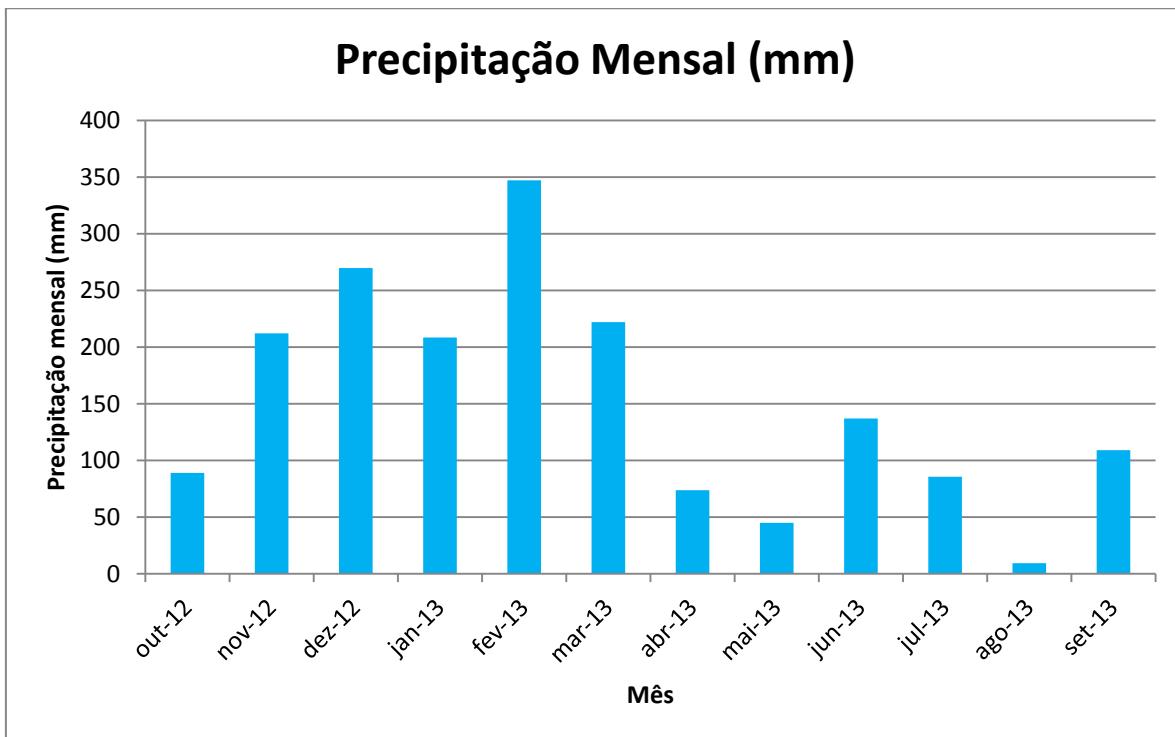


Figura 14 – Dados de precipitação mensal da estação meteorológica da CGE-SP, Santo Amaro.

De acordo com os dados de precipitação sumarizados na figura 14, nota-se que o volume mensal de precipitação registrado entre os meses de outubro de 2012 a setembro de 2013 variou entre 9,4 mm e 347 milímetros. Apesar do expressivo volume precipitado no mês de fevereiro, não ocorreram grandes mudanças do nível d'água nos poços monitorados, pois provavelmente grande parte deste volume de água se precipitou em poucas horas, proporcionando grande aumento da taxa de escoamento e grande diminuição da porcentagem de água infiltrada, se comparada a eventos dispersos. A partir da forte queda do volume de água precipitado, registrado na área nos meses de abril e maio de 2013, houve diminuição significativa do nível d'água nos poços monitorados, caracterizando um período de rebaixamento do nível de água do aquífero nestes dois meses. No mês de junho, o nível de água registrado nos poços sofreu um pequeno aumento devido ao maior volume de água precipitado neste mês. Portanto, nota-se que há boa correlação entre os dados registrados nos poços monitorados e os dados disponibilizados pela estação de monitoramento do CGE-SP.

#### 6.2.3. Quantificação da recarga pelo método da variação do nível d'água

Para quantificar a recarga através do método da variação do nível d'água, realizou-se o cálculo do  $\Delta h$  a partir dos dados registrados pelo transdutor instalado no poço PM-B, localizado no SENAC – Santo Amaro. Escolheu-se apenas esse poço para a determinação do  $\Delta h$  devido ao fato do volume de dados registrados nele superar um ciclo hidrológico

completo. Os outros poços que foram selecionados para o monitoramento do N.A. ainda não apresentam informações suficientes para a realização do cálculo do  $\Delta h$ .

O ciclo hidrológico considerado nesta pesquisa foi definido pelo período de outubro de 2012 a setembro de 2013, no qual se determinou três medidas de  $\Delta h$  neste intervalo de tempo (figura 15), conforme a metodologia apresentada por Healy & Cook (2002).

A variação do N.A. registrada pelo poço PM-B apresenta mudanças muito abruptas para um pequeno intervalo de tempo, o que pode ser um indício de interferência de bombeamentos próximos ao poço monitorado. Devido a essa variação abrupta, foi traçado uma curva média sobre os valores registrados, para que eventuais interferências no cálculo do  $\Delta h$  fossem minimizadas. Se os picos positivos de variação do N.A. (figura 15) fossem considerados para o cálculo do  $\Delta h$ , os dados de recarga obtidos estariam sendo superestimados.

O compensador de pressão do equipamento instalado no poço PM-B quebrou antes do download dos dados. Esse acontecimento não possibilitou a compensação isostática automática, que é feita pelo compensador de pressão, obrigando a realização da compensação manual, através dos valores de N.A. manuais medidos dos poços.

Para a determinação da vazão específica, considerou-se o tipo de solo predominante na área de estudos, de acordo com sua classificação granulométrica, sendo este solo classificado como predominantemente composto por areia fina a areia siltosa (tabela 9). Segundo Johnson (1967) apud Fetter (2001), a vazão específica média para este tipo de solo é 21% (ver tabela abaixo). Este valor foi utilizado no cálculo de recarga do aquífero raso, através do método sugerido neste item.

Tabela 9 - Vazão específica em % (Traduzido de Johnson, 1967 apud Fetter, 2001).

Material Geológico	Máximo	Mínimo	Média
Argila	5	0	2
Argila arenosa	12	3	7
Silte	19	3	18
Areia fina	28	10	21
Areia média	32	15	26
Areia grossa	35	20	27
Areia com pedregulho	35	20	25
Seixo fino	35	21	25
seixo médio	26	13	23
seixo grosso	26	12	22

De acordo com o gráfico da figura 15, o  $\Delta h$  para o período de outubro de 2012 a setembro de 2013 foi de 1890 mm. Utilizando-se este valor, juntamente com o valor de vazão específica determinado, a recarga foi quantificada pela equação a seguir:

$$R = S_y \cdot \Delta h / \Delta t$$

onde a vazão específica é 0,21(21%), o  $\Delta h$  é 1890 mm e o  $\Delta t$  é um ano.

Sendo assim,

$$R = 397 \text{ mm/ano}$$

O valor de recarga obtido através deste método representa 22,08% da precipitação total para o período considerado (outubro de 2012 a setembro de 2013).

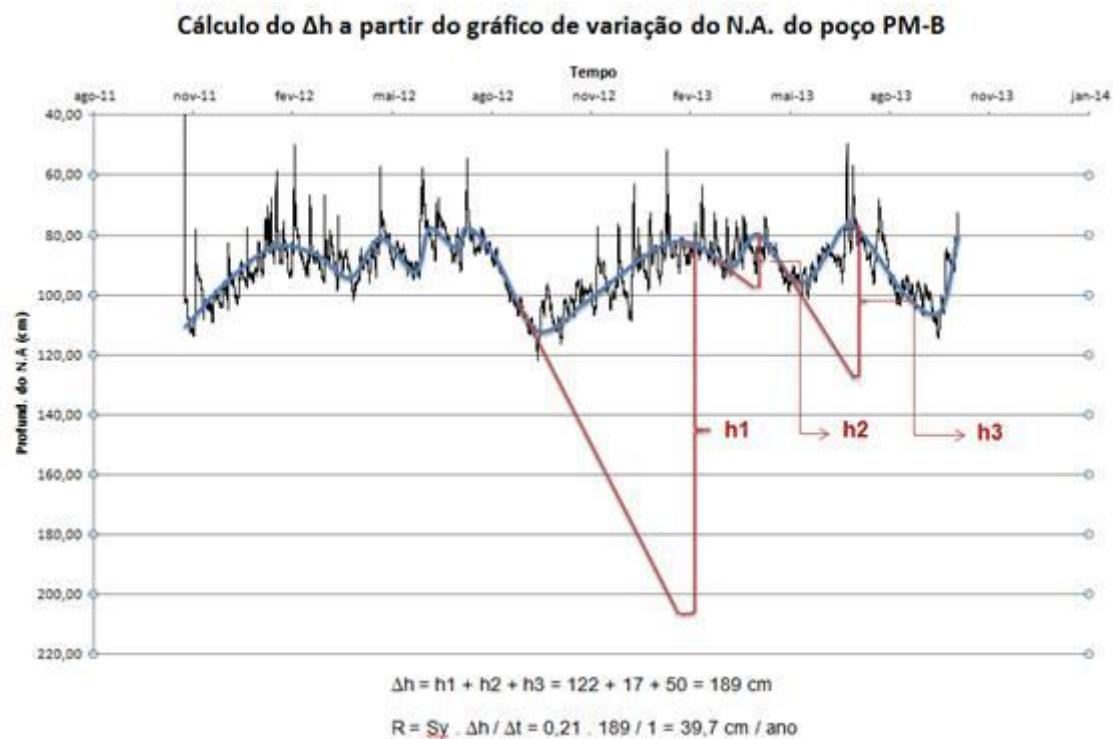


Figura 15 - Determinação do  $\Delta h$ , a partir dos dados registrados no poço PM-B, no período de outubro de 2012 a setembro de 2013.

O cálculo da recarga pelo método em questão foi feito por Viviani Lima (2007) nas dependências do campus central da Universidade de São Paulo, onde os resultados obtidos para a recarga equivalem a 17,5% (246 mm), no campus da USP, e 14,5% (183 mm), na Vila Eutália, do total de chuvas registrado para o período hidrológico considerado naquele trabalho. A quantificação da recarga na mesma bacia hidrográfica, também foi realizada por Lojkasek Lima (2002), que quantificou a recarga em 16% (244,5 mm) da precipitação total, no período de setembro de 2001 a outubro de 2002. O resultado parcial obtido para a recarga neste trabalho, através do método da variação do nível de água, condiz com os estudos realizados anteriormente na Bacia do Alto Tietê, apresentando pequena variação na proporção do volume total de chuvas.

## 6.3. Dados Hidroquímicos

### 6.3.1. Caracterização e classificação hidrogeoquímica dos poços monitorados

A caracterização hidrogeoquímica do aquífero raso do canal Jurubatuba foi realizada com base nos laudos químicos emitidos pelo CEPAS (Centro de Pesquisas de Águas Subterrâneas) da Universidade de São Paulo, onde foram analisadas amostras de água, referentes à onze poços amostrados na primeira campanha de coleta de água realizada e à quatro poços amostrados na segunda campanha realizada. Além dos poços, foram feitas análises de duas amostras de água da chuva, uma amostra de água da SABESP e uma amostra de esgoto, totalizando dezenove análises químicas, quando consideradas as duas campanhas de amostragem. Os laudos conclusivos das análises químicas foram emitidos pelo CEPAS no dia 29 de maio de 2013 (1<sup>a</sup> campanha de amostragem) e 17 de setembro de 2013 (2<sup>a</sup> campanha de amostragem) e, foram posteriormente utilizados para a elaboração de diagramas de *piper*, através do software “*Diagrammes*”. Amostrou-se poços utilizados na investigação do nível de água localizados no SENAC, no shopping SP-Market e na indústria MWM (figuras 5, 6, 7 e 8) com profundidades de instalação do filtro de captação de água até sessenta e cinco metros. As amostras da água da chuva, da SABESP e do esgoto foram coletadas nas dependências do SENAC.

Dentre as dezenove análises realizadas, dezoito apresentaram balanço iônico menor do que 10% (SABESP, PM-21 abril e setembro, PM-23 abril e setembro, PM-D abril e setembro, PP-02 abril e setembro, PMN-2A, PMN-4A, PMN-4B, PM-19, PM-19A, PM-39, PM-39A, Chuva abril e setembro) e uma análise apresentou valor de -34% (Esgoto). Nesse caso, há indicação da falta de cátions no balanço iônico, como o amônio, que não foi analisado e é esperado em amostras de esgoto.

Comparando-se as análises de água dos poços amostrados na primeira e na segunda campanha (poços do SENAC), pode-se afirmar que as águas dos poços PM-21 e PM-23 apresentaram composição química muito semelhantes nos resultados dos dois eventos de amostragem. Porém, este comportamento não foi observado nos poços PM-D e PP-02, onde a composição química é especialmente distinta no diagrama de ânions maiores (figura 16). O comportamento divergente destes poços pode estar associado a fontes variáveis de recarga atuantes nos aquíferos dos poços PM-D e PP-02.

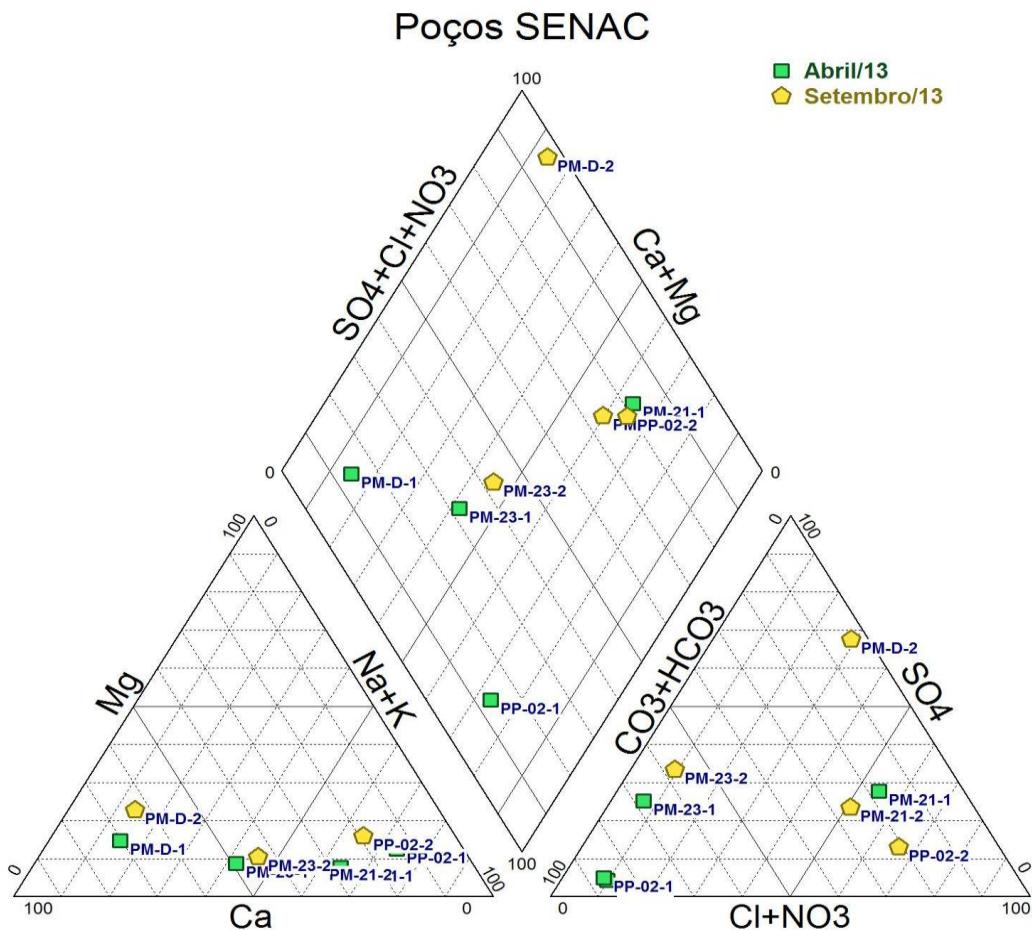


Figura 16 - Composição química dos poços amostrados na primeira (abril de 2013) e segunda (setembro de 2013) campanha de amostragem de água. Legenda: PM ou PP - número do poço - número da campanha de amostragem.

Para a classificação química da água, foi elaborado um diagrama de *piper* com todas as amostras analisadas da primeira campanha (figura 17). De acordo com o diagrama elaborado com os cátions maiores, nota-se concentrações relativas de sódio, potássio, cálcio e magnésio muito variáveis, não havendo aglomerações de pontos no diagrama. O diagrama elaborado com os ânions maiores demonstram que a grande maioria dos pontos amostrados apresentam composição química com predominância de bicarbonato. Portanto, de acordo com as concentrações relativas de cátions e ânions observadas no diagrama de *piper*, a água amostrada nos poços de monitoramento selecionados pode ser classificada como bicarbonatada. Ainda com relação ao mesmo diagrama (figura 17), nota-se que não há segregação da composição química com a profundidade dos poços amostrados, o que indica interconexão entre as unidades aquíferas de diferentes profundidades. A interconexão dos aquíferos da área estudada, de diferentes profundidades (profundidades de até 65m), também pode ser comprovada com os gráficos de variação do N.A. registrados pelos

transdutores de pressão, uma vez que a variação do N.A. apresenta padrão análogo em poços de diferentes profundidades.

Neste diagrama (figura 17) também é possível notar que grande parte dos poços analisados apresentam composição aniónica próxima à água amostrada do esgoto e distante às águas da SABESP e da chuva. Este fato pode estar associado à influências antrópicas na recarga dos aquíferos rasos da área estudada, modificando a composição natural da água proveniente da precipitação.

### Poços, chuva, esgoto e SABESP - 1<sup>a</sup> campanha

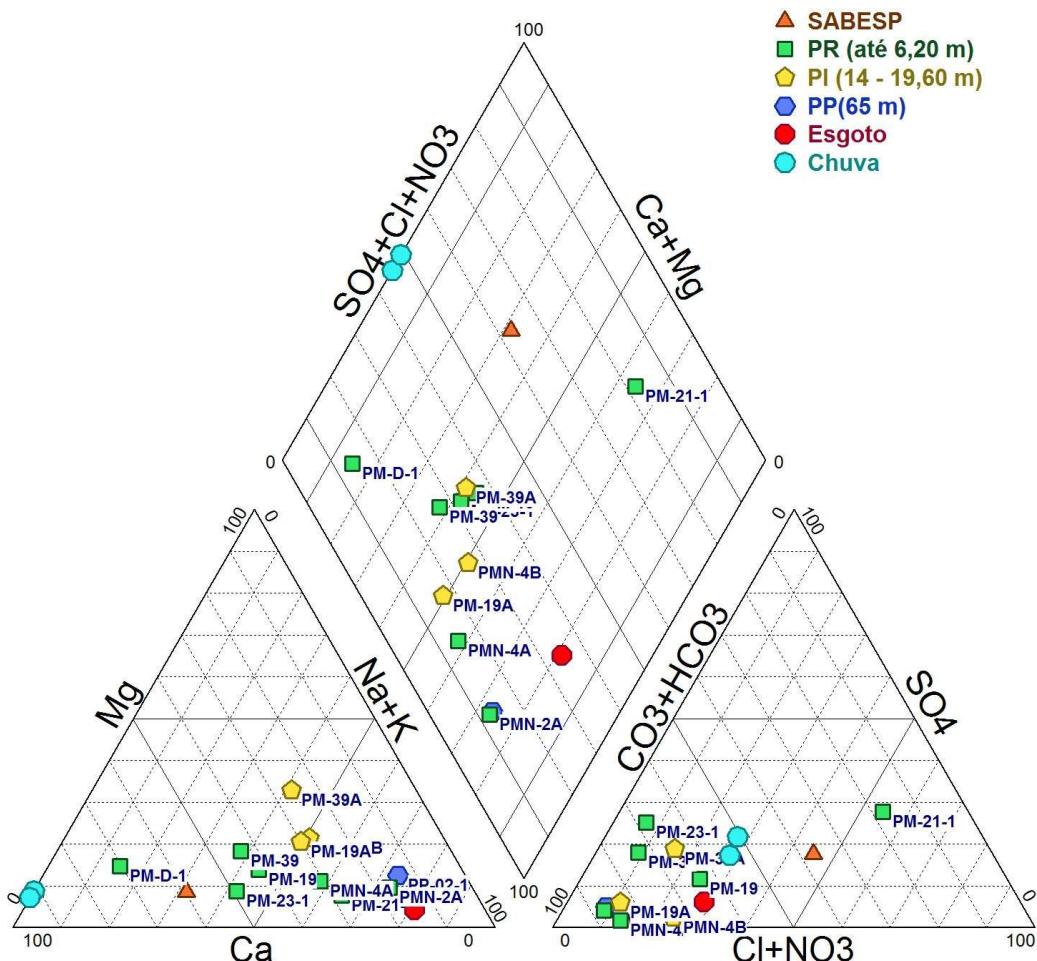


Figura 17 – Composição química relativa dos pontos amostrados na primeira campanha de amostragem, incluindo análises de água da chuva, esgoto e da SABESP. Legenda: PR – Poço Raso; PI – Poço Intermediário; PP – Poço Profundo.

#### 6.3.2. Correlação de Pearson

Através das concentrações absolutas dos elementos químicos analisados em cada ponto amostrado da primeira campanha de amostragem, foram feitas correlações de

Pearson, com o intuito de verificar a existência de correlações positivas, iguais ou superiores a 0,8, entre os elementos analisados.

Na tabela 10, foram correlacionadas apenas as informações químicas dos poços monitorados. Neste caso, não há boas correlações, não sendo possível tirar boas informações sobre a correlação de elementos e suas possíveis origens.

Tabela 10- Correlação de Pearson entre as amostras dos poços da 1<sup>a</sup> campanha

Correlação de Pearson - Amostras dos poços																
	Ca	Mg	Na	K	HCO3-	F	Cl	Br	SO4	HPO4	NO2	NO3	Fe(III)	Mn	Sr	Al
Ca	1,00	0,48	0,24	0,52	0,72	0,11	0,42	0,22	0,71	-0,55	0,14	-0,69	-0,27	0,37	0,53	#DIV/0!
Mg		1,00	0,67	0,27	0,75	0,38	0,80	0,67	0,68	-0,45	-0,03	-0,52	-0,20	0,67	0,68	#DIV/0!
Na			1,00	0,33	0,72	0,76	0,53	0,67	0,43	-0,57	0,09	-0,55	-0,42	0,72	0,51	#DIV/0!
K				1,00	0,45	0,67	0,08	0,33	0,76	-0,28	-0,21	-0,30	-0,12	0,01	0,44	#DIV/0!
HCO3-					1,00	0,52	0,55	0,47	0,66	-0,76	-0,07	-0,62	-0,25	0,64	0,73	#DIV/0!
F						1,00	0,14	0,42	0,36	-0,43	-0,31	-0,28	-0,13	0,37	0,39	#DIV/0!
Cl							1,00	0,47	0,51	-0,57	0,49	-0,43	0,06	0,52	0,61	#DIV/0!
Br								1,00	0,64	0,02	0,12	-0,57	-0,57	0,50	0,52	#DIV/0!
SO4									1,00	-0,30	0,03	-0,49	-0,31	0,24	0,70	#DIV/0!
HPO4										1,00	-0,22	0,40	-0,13	-0,40	-0,55	#DIV/0!
NO2											1,00	-0,32	-0,09	0,00	0,11	#DIV/0!
NO3												1,00	0,52	-0,64	-0,36	#DIV/0!
Fe(III)													1,00	-0,30	-0,22	#DIV/0!
Mn														1,00	0,17	#DIV/0!
Sr															1,00	#DIV/0!
Al																#DIV/0!

Na tabela a seguir (tabela 11), foram adicionadas à planilha de correlação de Pearson as análises realizadas nas amostras de esgoto e da SABESP. De acordo com os dados da planilha, notam-se boas correlações positivas envolvendo os elementos Cl<sup>-1</sup>, Br<sup>-1</sup>, HPO<sub>4</sub><sup>-2</sup>, NO<sub>2</sub><sup>-1</sup>, HCO<sub>3</sub><sup>-1</sup>, Al<sup>+3</sup>, Na<sup>+1</sup> e K<sup>+1</sup>. Essas correlações só foram possíveis quando as fontes esgoto e SABESP foram incluídas no conjunto amostral e indicam que essas fontes tem relação direta ou indireta com a composição química dessas águas.

Tabela 11 - Correlação de Pearson entre as amostras dos poços da 1<sup>a</sup> campanha, esgoto e SABESP.

Correlação de Pearson - Poços, esgoto e SABESP (1 <sup>a</sup> campanha)																
	Ca	Mg	Na	K	HCO3-	F	Cl	Br	SO4	HPO4	NO2	NO3	Fe(III)	Mn	Sr	Al
Ca	1,00	0,43	0,22	0,33	0,37	0,25	0,24	0,17	0,68	0,15	0,18	-0,23	-0,32	0,26	0,49	0,15
Mg		1,00	0,24	0,08	0,26	0,01	0,08	0,03	0,57	-0,04	-0,05	-0,39	-0,15	0,67	0,35	-0,03
Na			1,00	0,90	0,96	0,67	0,92	0,94	0,59	0,92	0,91	-0,38	-0,30	0,07	0,76	0,92
K				1,00	0,92	0,67	0,90	0,93	0,70	0,92	0,90	-0,31	-0,20	-0,20	0,75	0,92
HCO3-					1,00	0,59	0,92	0,94	0,65	0,92	0,91	-0,43	-0,22	0,03	0,79	0,92
F						1,00	0,72	0,66	0,45	0,66	0,69	0,34	-0,29	-0,18	0,76	0,66
Cl							1,00	0,98	0,56	0,98	0,99	-0,16	-0,19	-0,18	0,80	0,98
Br								1,00	0,54	1,00	0,99	-0,26	-0,22	-0,19	0,74	1,00
SO4									1,00	0,49	0,49	-0,31	-0,35	0,08	0,74	0,49
HPO4										1,00	0,99	-0,22	-0,18	-0,24	0,72	1,00
NO2											1,00	-0,18	-0,20	-0,25	0,74	0,99
NO3												1,00	0,12	-0,46	-0,03	-0,22
Fe(III)													1,00	-0,17	-0,32	-0,18
Mn														1,00	-0,15	-0,24
Sr															1,00	0,07
Al																1,00

### 6.3.3. Balanço de massa do elemento conservativo cloreto

Devido à propriedade conservativa da massa do íon cloreto em águas naturais, é possível verificar a sua influência através da fórmula a seguir:

Recarga (mm) = Precipitação (mm) x mg/L Cl<sup>-1</sup> Água da chuva / mg/L Cl<sup>-1</sup> Poço monitorado.

Utilizando-se um valor de recarga de 397 mm/ano (Método da variação do N.A.), valor este condizente com estudos pretéritos na cidade de São Paulo, um valor de precipitação de 1807,8 mm e concentração média de 0,315 mg/L de  $\text{Cl}^{-1}$  das amostras de chuva, tem-se que:

$$397 = 1807,8 \times 0,315 / \text{mg/L Cl}^{-1} \text{ Poço monitorado}$$

$$\text{mg/L Cl}^{-1} \text{ Poço monitorado} = 1,43 \text{ mg/L Cl}^{-1}$$

De acordo com o valor obtido, para que ocorra 397 mm de recarga para o período considerado, e para que esta recarga fosse exclusivamente proveniente de fontes não antrópicas (água da chuva), a concentração de cloreto nos poços monitorados seria de aproximadamente 1,43 mg/L. Porém, a média da concentração de cloreto nos poços monitorados é de 9,05 mg/L, o que evidencia um forte indício da participação de fontes antrópicas (vazamentos da rede pública de abastecimento e da rede de esgoto) na recarga dos aquíferos rasos da área estudada.

## 7. CONCLUSÕES

A variação do N.A. registrada nos poços monitorados em áreas impermeabilizadas, parcialmente impermeabilizadas e não impermeabilizadas se comporta de maneira análoga, independentemente da profundidade do poço monitorado (profundidades de até 65m). Este comportamento do nível d'água revela que há interconexão e proximidade entre as áreas de recarga e descarga do aquífero monitorado, de diferentes profundidades. A única exceção observada refere-se ao poço profundo monitorado no shopping SP-Market (260 m), onde a natureza cristalina do aquífero em que se encontra e as diversas influências de recarga (ainda desconhecidas) contribuíram para um comportamento distinto da variação do nível d'água neste poço, em relação aos outros poços monitorados.

A quantificação da recarga obtida pelo método da variação do nível de água foi de 22,08% (397 mm) da precipitação, para o período de outubro de 2012 a setembro de 2013. A quantificação feita através deste método condiz com os valores de recarga obtidos em trabalhos feitos anteriormente na bacia do alto Tietê, e portanto, o método apresenta alta confiabilidade em seus resultados.

Os valores de recarga quantificados pelo método do balanço hídrico representam 37,85% (684,25 mm) do total precipitado, para o mesmo período considerado no método da variação do nível de água. Este alto volume atribuído à recarga pelo balanço hídrico se deve a não consideração da impermeabilização da área investigada, pelo método escolhido, o que causou distorções nos valores reais de escoamento superficial. Outro fator determinante para o grande volume de recarga obtido por este método foram as fortes chuvas de verão registradas anualmente na cidade de São Paulo, responsáveis pela concentração da

precipitação mensal em curtos intervalos de tempo (algumas horas), favorecendo ao escoamento superficial (não determinado corretamente devido à grande impermeabilização da área). Portanto, a não relevância da impermeabilização do terreno e os eventos de chuva concentrados no verão causaram a superestimação dos valores de recarga calculados pelo balanço hídrico, o que torna o resultado obtido muito inexato para áreas com extensa impermeabilização do terreno.

Os dados de concentração de cátions e ânions medidos dos poços monitorados, água da chuva, esgoto e água da SABESP permitiram a elaboração e análise de diagramas de *piper*, correlações de *Pearson* e um balanço de massa do elemento conservativo cloreto, o que demonstrou a influência de atividade humana nos eventos de recarga dos aquíferos rasos estudados.

## 8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bajjali W. 2006. Recharge mechanism and hidrogeochemistry evaluation of groundwater in the Nuaimeh area, Jordan, using environmental isotope techniques. *Hydrogeology Journal*, 14: 180-191.
- Bertolo R. A. 1996. *Relações entre rios e o aquífero sedimentar da bacia de São Paulo em área de exploração intensiva de água subterrânea*. Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 108 p.
- Cuthbert M.O. 2002. An improved time series approach for estimating groundwater recharge from groundwater level fluctuations. *Water Resource Res*, 46:W09515.
- Diagrammes. 2013. *Laboratoire d'Hydrogéologie d'Avignon*. Roland Simler.
- Embrapa (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária). 1998. *Informações para a irrigação da videira na região de Jales/SP*, 8p.
- Fetter C. W. (4<sup>th</sup> ed.) 2001. *Applied hydrogeology*. Prentice Hall, 598p.
- Foster S., Lawrence A., Morris B. 1998. Groundwater in urban development – assessing management needs and formulating policy strategies. *World Bank Technical Paper*, p. 74.
- GOOGLE INC. 2013. Google Earth Pro, 2013.
- Healy R. W., Cook, P. G. 2002. Using ground-water levels to estimate recharge. *Hydrogeology Journal*, 10 (1): 91-109.

- Hirata R. C. A., Ferreira L. M. R. 2001. Os aquíferos da Bacia Hidrográfica do Alto Tietê: Disponibilidade hídrica e vulnerabilidade à poluição. *Revista Brasileira de Geociências*, 31(1): 43 – 50.
- Lerner D. N. 2002. Identifying and quantifying urban recharge: a review. *Hydrogeology Journal*, 10: 143-152.
- Lerner D.N. 1990. Groundwater recharge in urban áreas. *Atmospheric Environment*, 24B (1): 29-33.
- Monteiro M.D., Gurgueira M.D., Rocha H.C. 2012. Geologia da Região Metropolitana de São Paulo. In: ABMS – *Twin Cities – Solos das Regiões Metropolitana de São Paulo e Curitiba*, org. Negro Jr. A., Namba M., Dyminski A.S., Sanches V.L., Kormann A.C.M. ABMS. São Paulo, p. 15 – 44.
- Riccomini C. & Coimbra A.M. 1992. Geologia da Bacia de São Paulo. In: Mesa redonda sobre aspectos geológicos e geotécnicos da Bacia Sedimentar de São Paulo, ABMS, p. 59.
- Riccomini C. 1989. *O rift continental do sudeste do Brasil*. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 256 p.
- Rosenberg N. J., Blad B. L., Verna S. V. (2<sup>nd</sup> edn.) 1983. *Micro-climate: the biological environmental*, New York, A Wyley Interscience Publication, John Wiley & Sons, 495p.
- Scanlon B.R., Healy R. W., Cook, P.G. 2002. Choosing appropriate techniques for quantifying groundwater recharge. *Hydrogeology Journal*, 10: 18-39.
- Servmar, DAEE, IG, Projeto Aquíferos. 2009. Projeto Jurubatuba: Restrição e controle de uso de água subterrânea. São Paulo, Secretaria do Estado de São Paulo, Número 1, 110p.
- SMA (Secretaria do Meio Ambiente do Estado De São Paulo, Coordenadoria de Recursos Hídricos). 2009. *Situação dos recursos hídricos no Estado de São Paulo*. São Paulo, Secretaria do Meio Ambiente, 149 p.
- Thorntwaite C. W., Mather J.R. 1955. *The water balance*. Centerton, NJ: Drexel Institute of Technology – Laboratory of Climatology. Publications in Climatology, vol. VIII, n. 1, 104p.

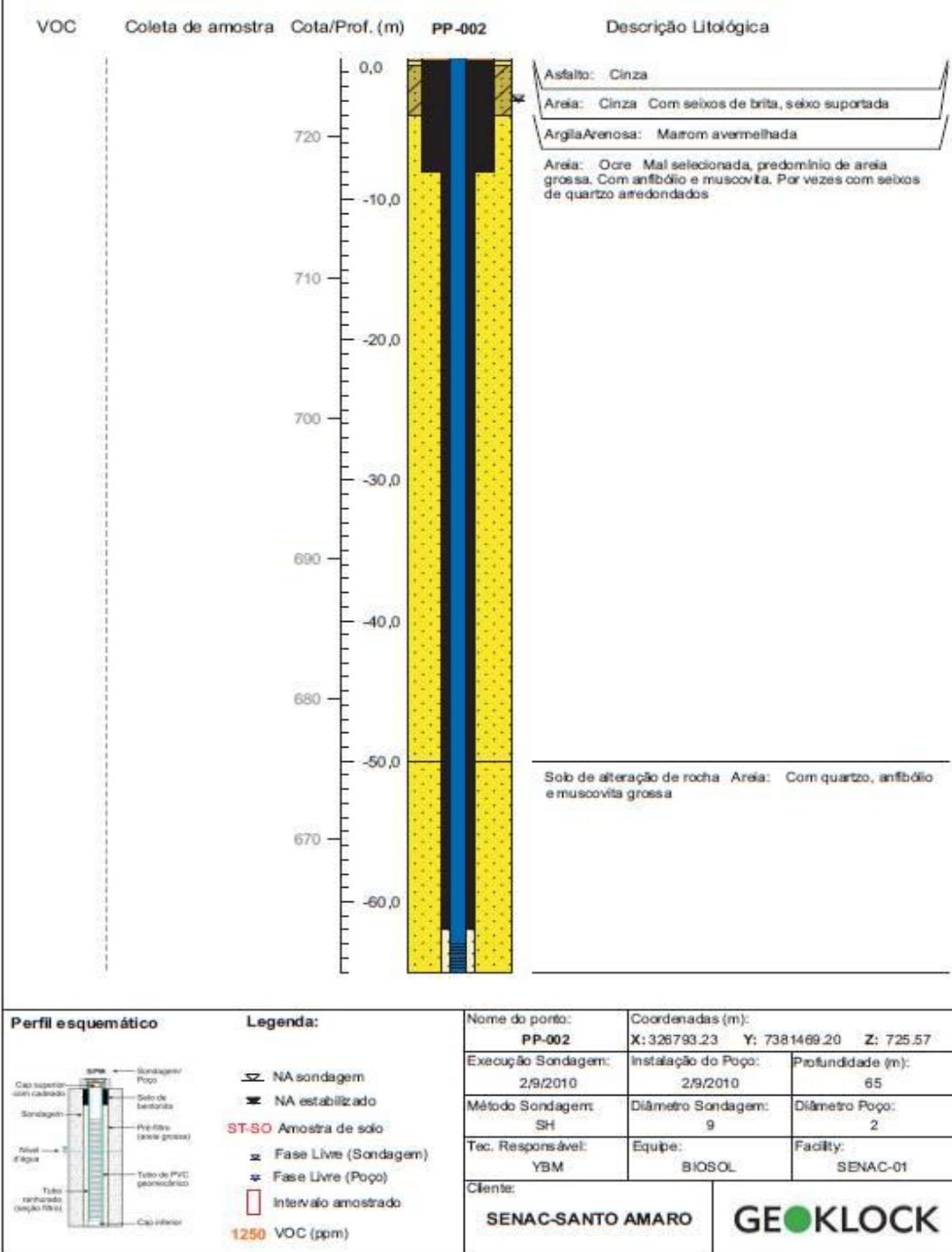
Vázquez-Suñe E., Sánchez-Vila A. X, Carrera J. 2005. Introductory review of specific factors influencing urban groundwater, an emerging branch of hydrogeology, with reference to Barcelona, Spain. *Hydrogeology Journal*, 13: 522-533.

Viviani-Lima J. B., Hirata R., Aravena R. 2007. Estimation of groundwater recharge in the Metropolitan Region of São Paulo, SP, Brasil. *In: XXXV IAH International Congress, Lisboa. Proceedings of IAH International Congress: International Association of Hydrogeologists.*

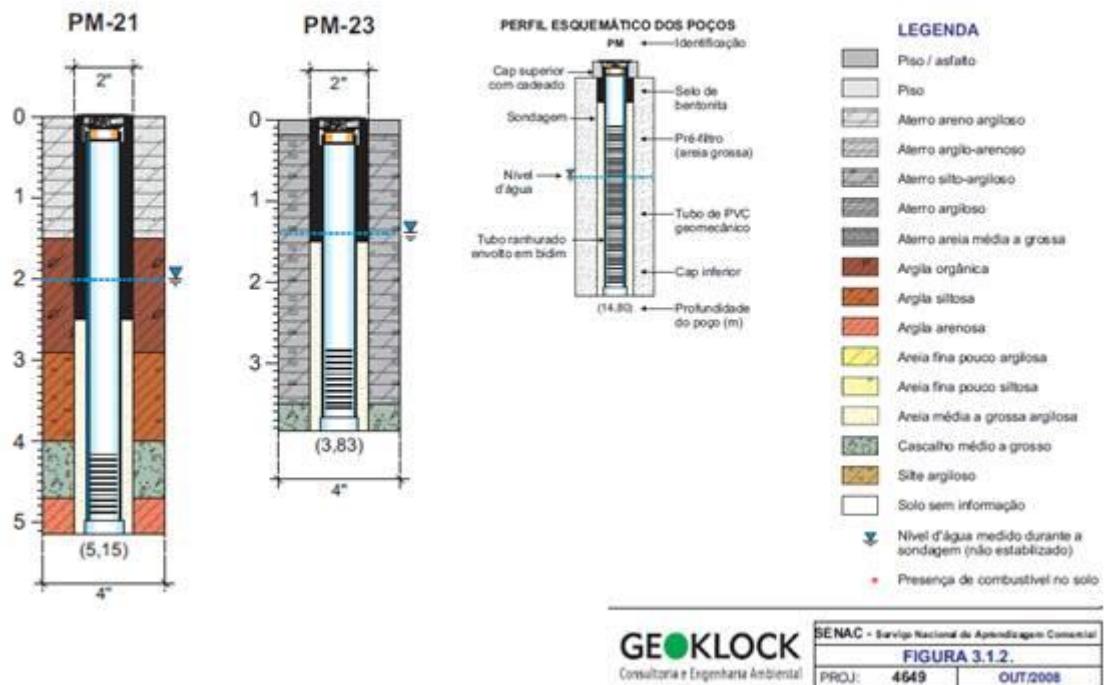
## **ANEXO I**

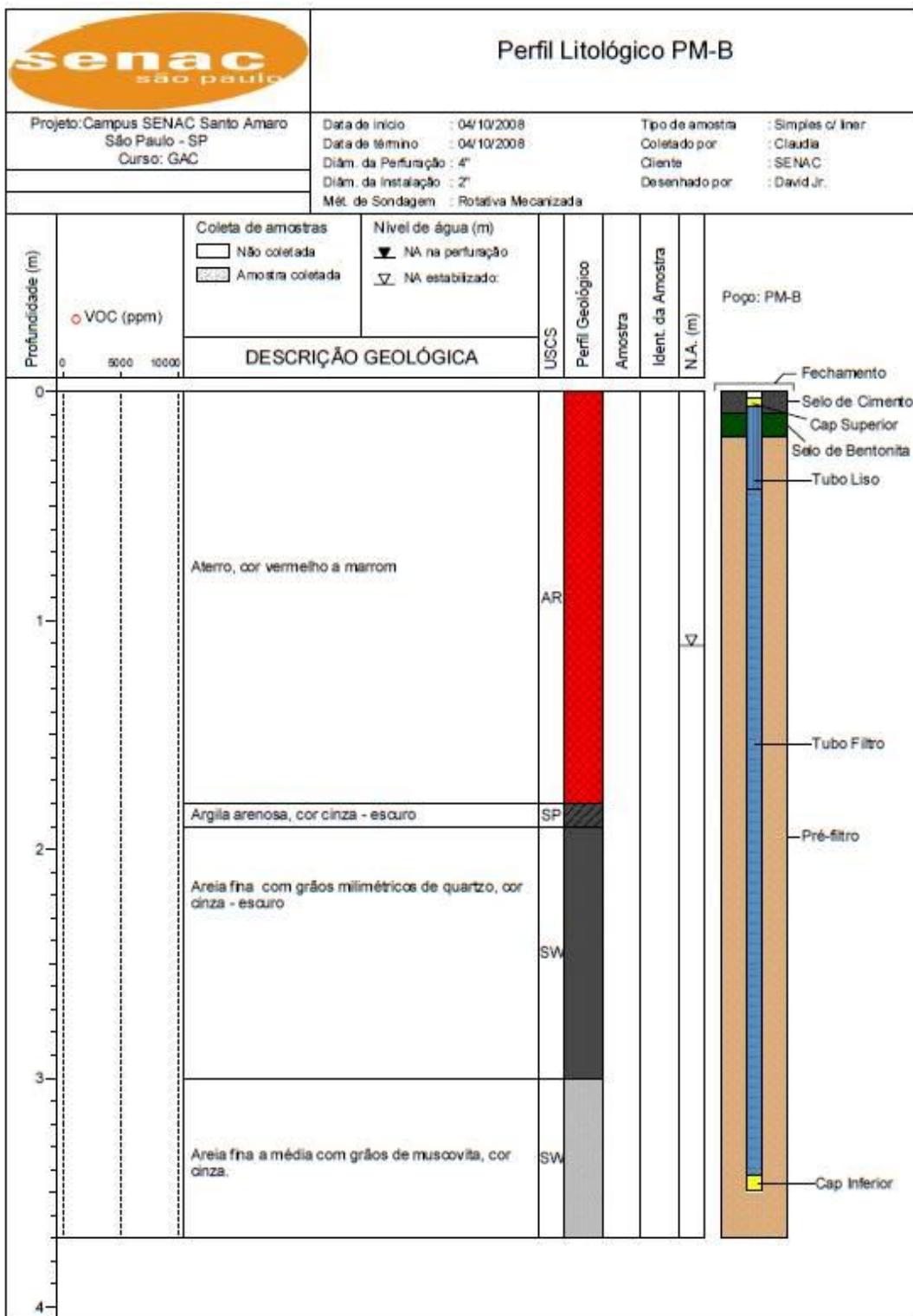
**Perfis construtivos e litológicos dos poços utilizados.**

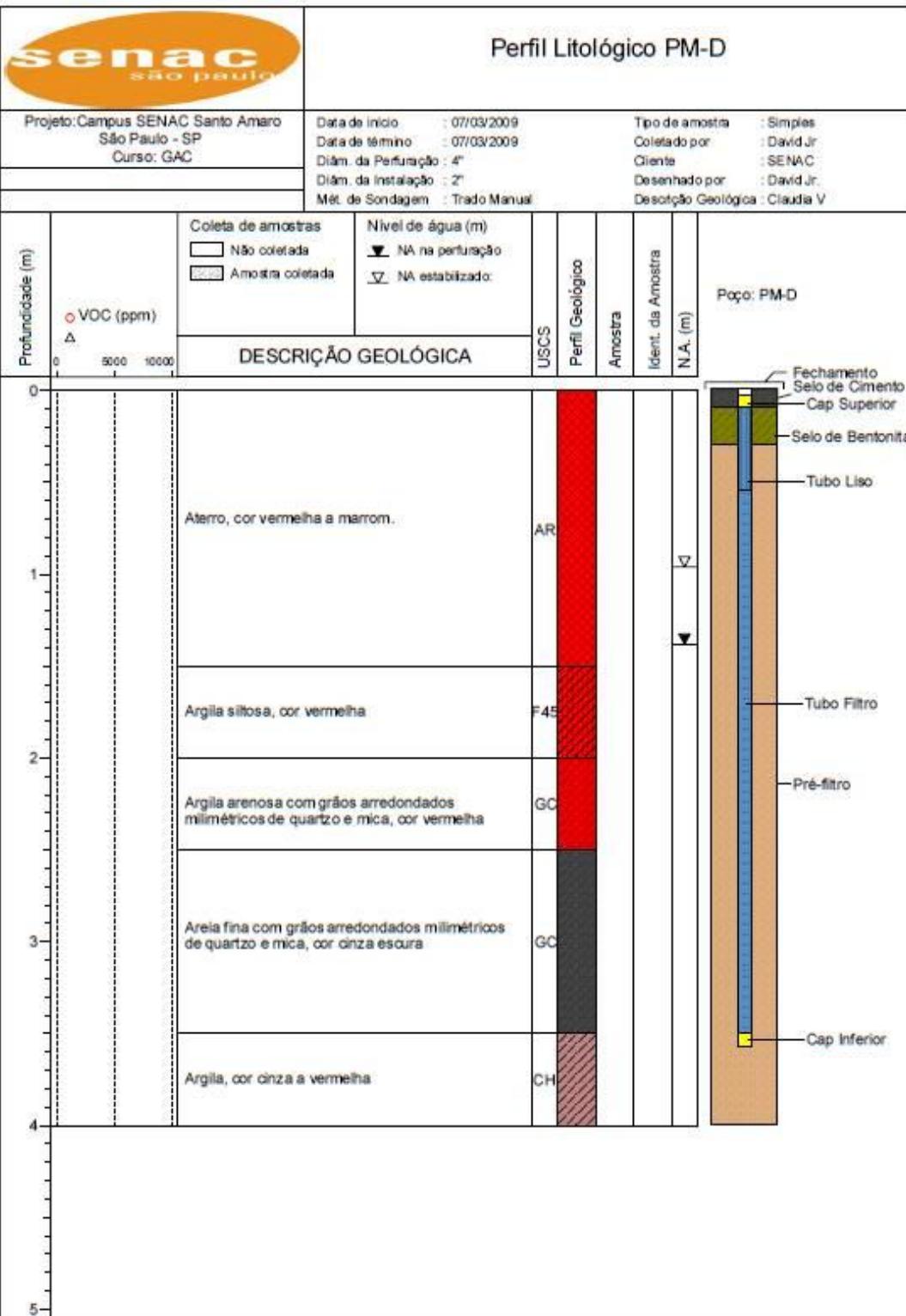
## PERFIL LITOLÓGICO DE SONDAGEM E CONSTRUTIVO DO POÇO DE MONITORAMENTO



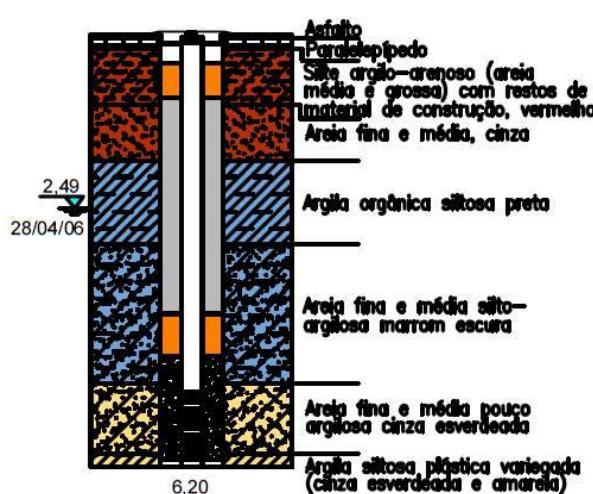
## PERFIS LITOLÓGICOS E CONSTRUTIVOS DOS POÇOS DE MONITORAMENTO



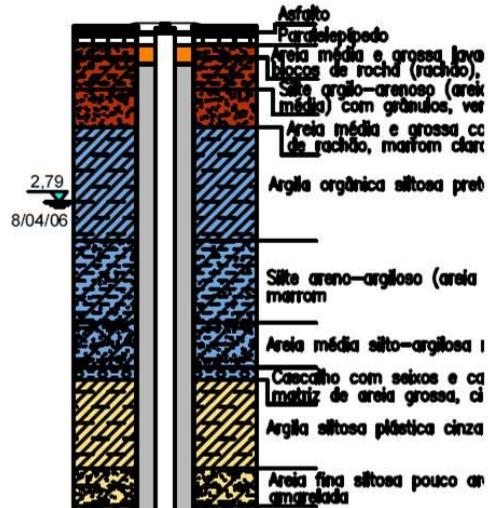




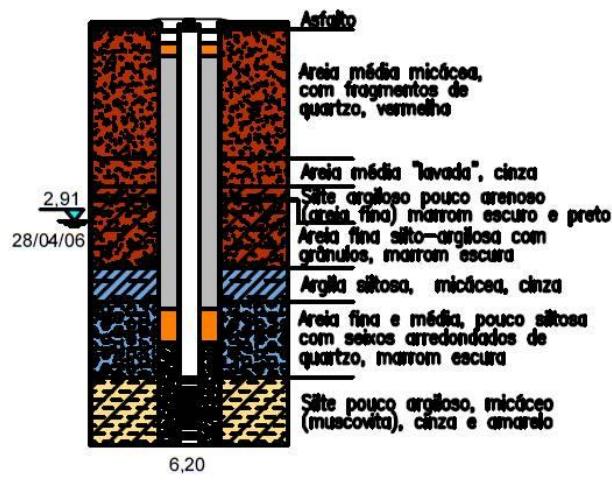
PMN4A



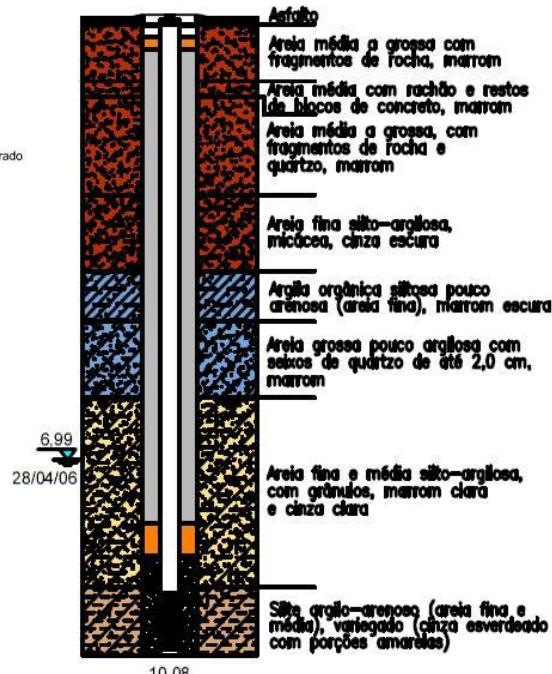
PMN4B



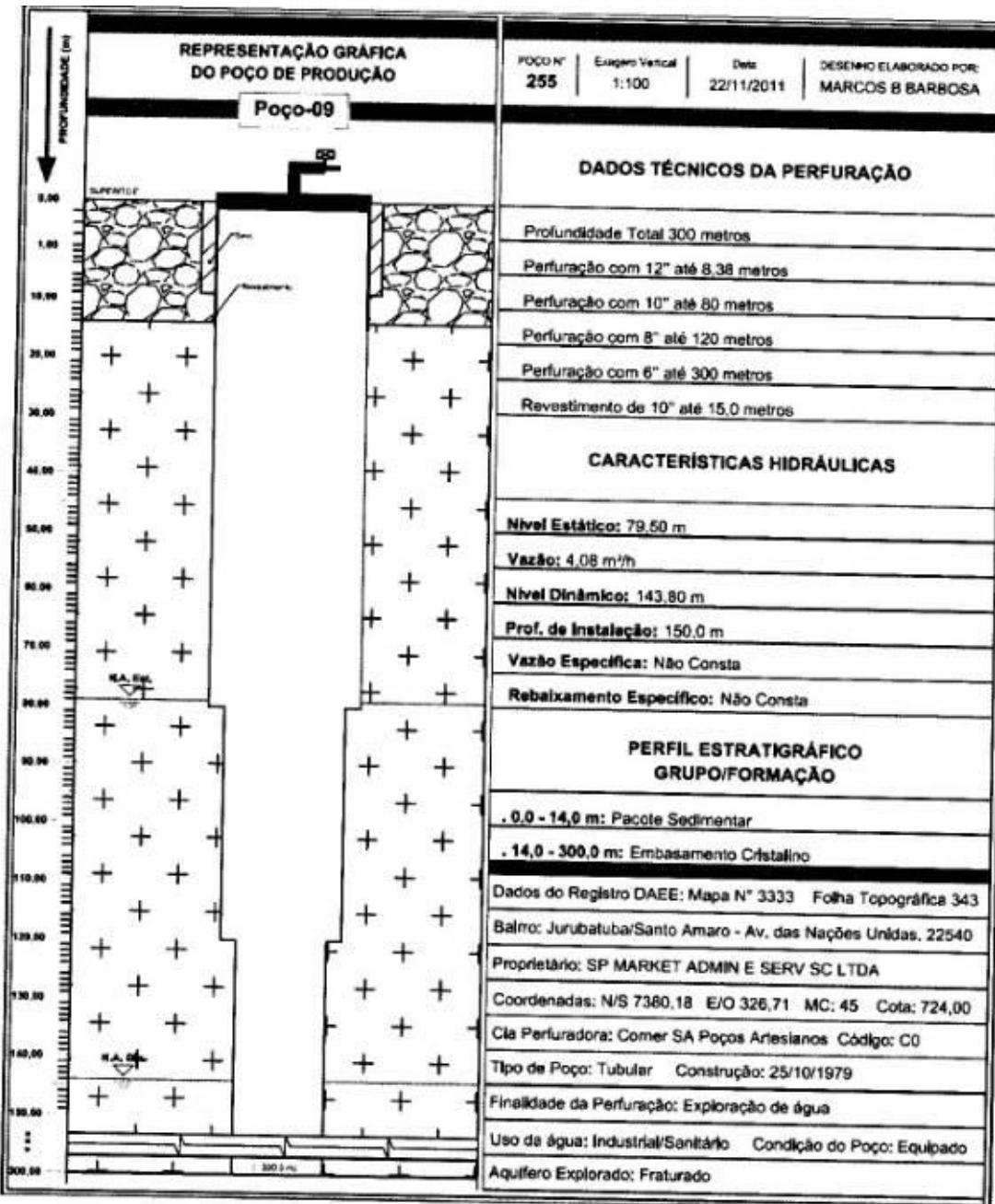
PMN2A



PMN2B



ELABORAÇÃO	CLIENTE	TÍTULO
<b>regea</b> GEOLOGIA E ESTUDOS AMBIENTAIS	Shopping SP Market Center	Perfis litológicos e construtivos dos poços de monitoramento
PROJETO		RESPONSÁVEL TÉCNICO DATA RELATÓRIO
Detalhamento de Investigação ambiental em solos e águas subterrâneas no Shopping SP Market	Carlos C. Alves CREA 5060824529	12/1/06 1247R06
	FINALIZAÇÃO VERIFICAÇÃO ESCALA ESSAHO	
	Mirna CFCA	1:150 2



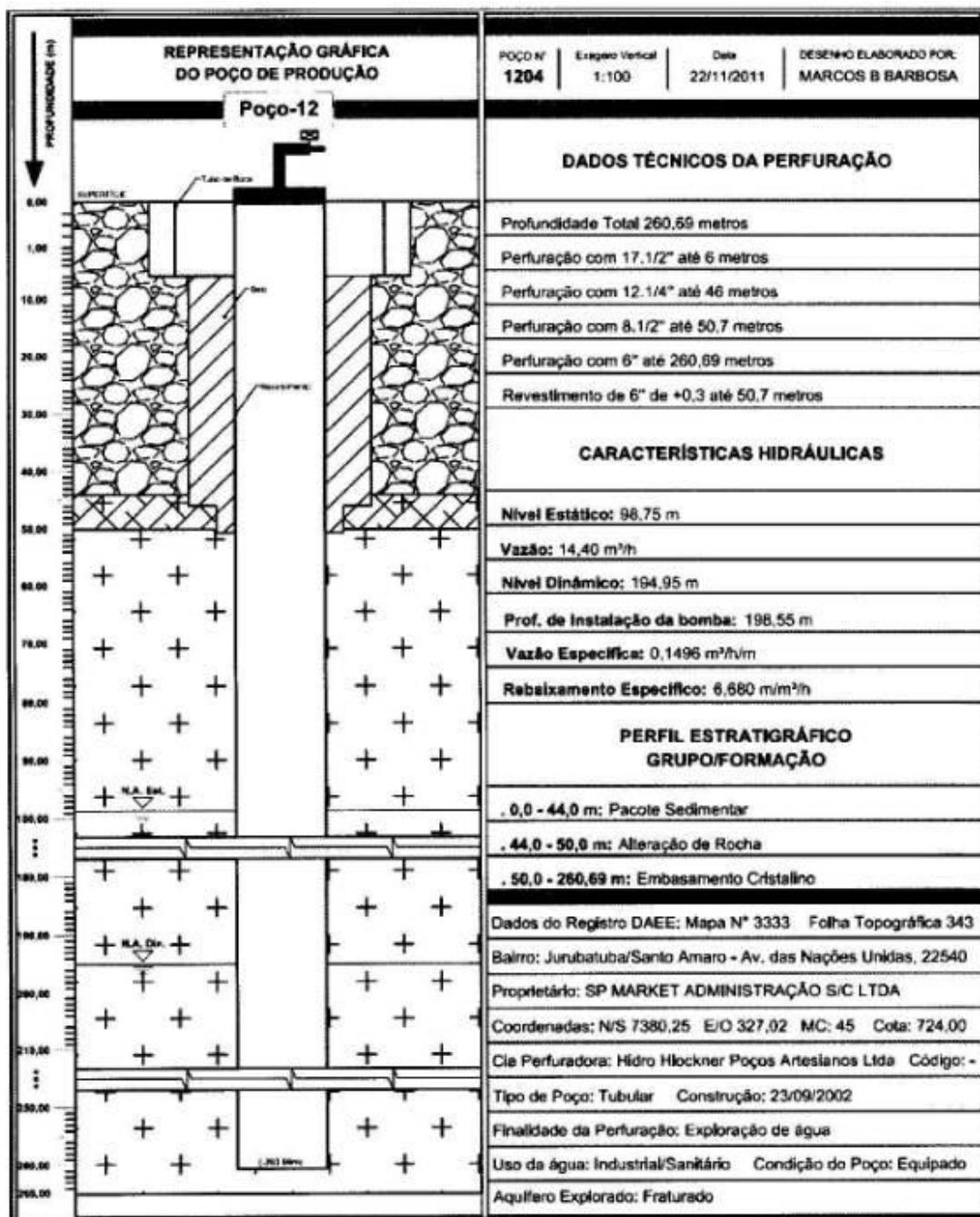
Arenitos, cascalho e arenitos concretais (Bc de São Paulo)



Saprolito (Embassamento)



Rocha Sá (Embassamento)



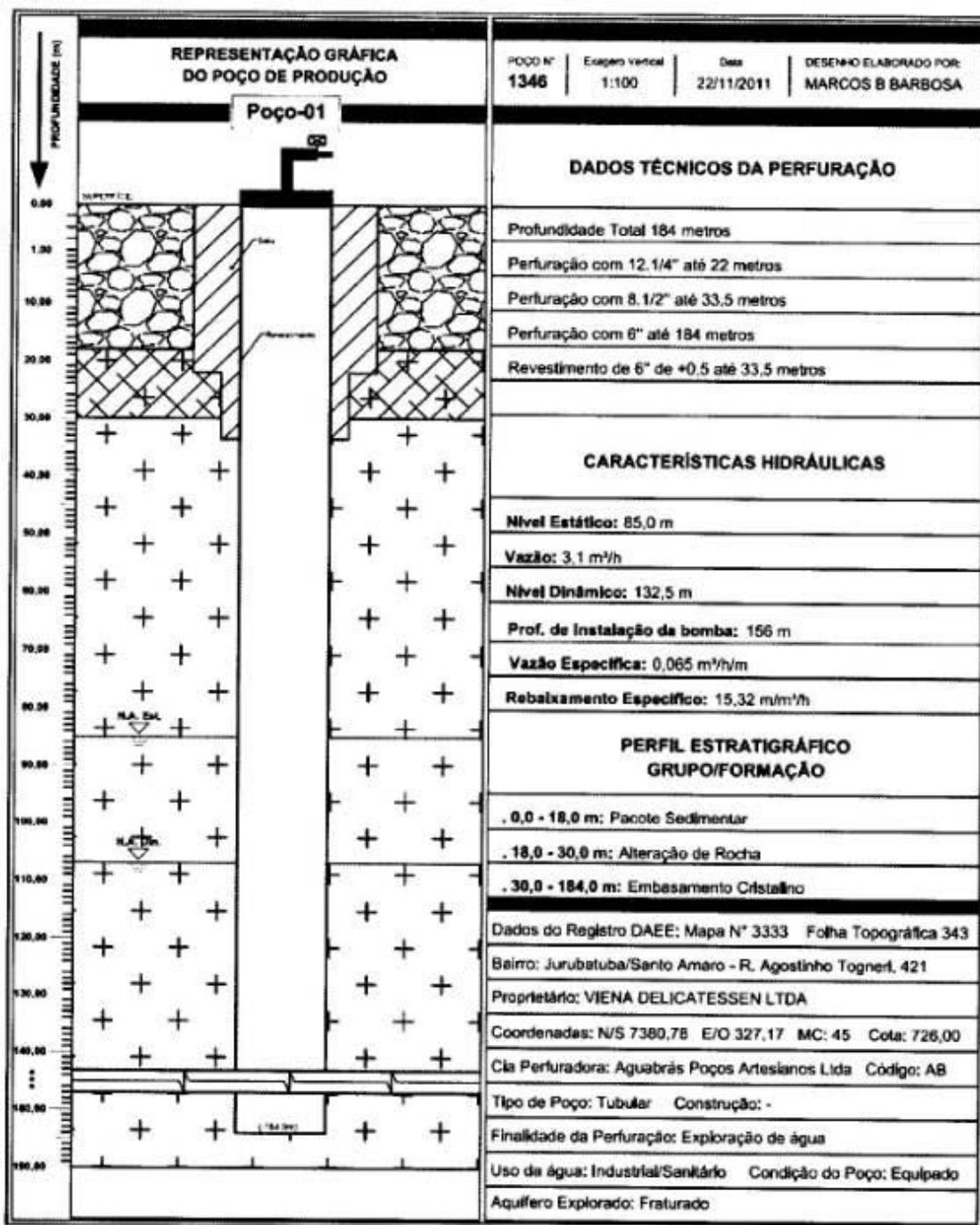
Arenitos, cascalho e arenitos concretorados (Bc de São Paulo)



Saprolito (Embassamento)



Rocha Sã (Embassamento)



Arenitos, cascalho e arenitos concretares (Bc de São Paulo)

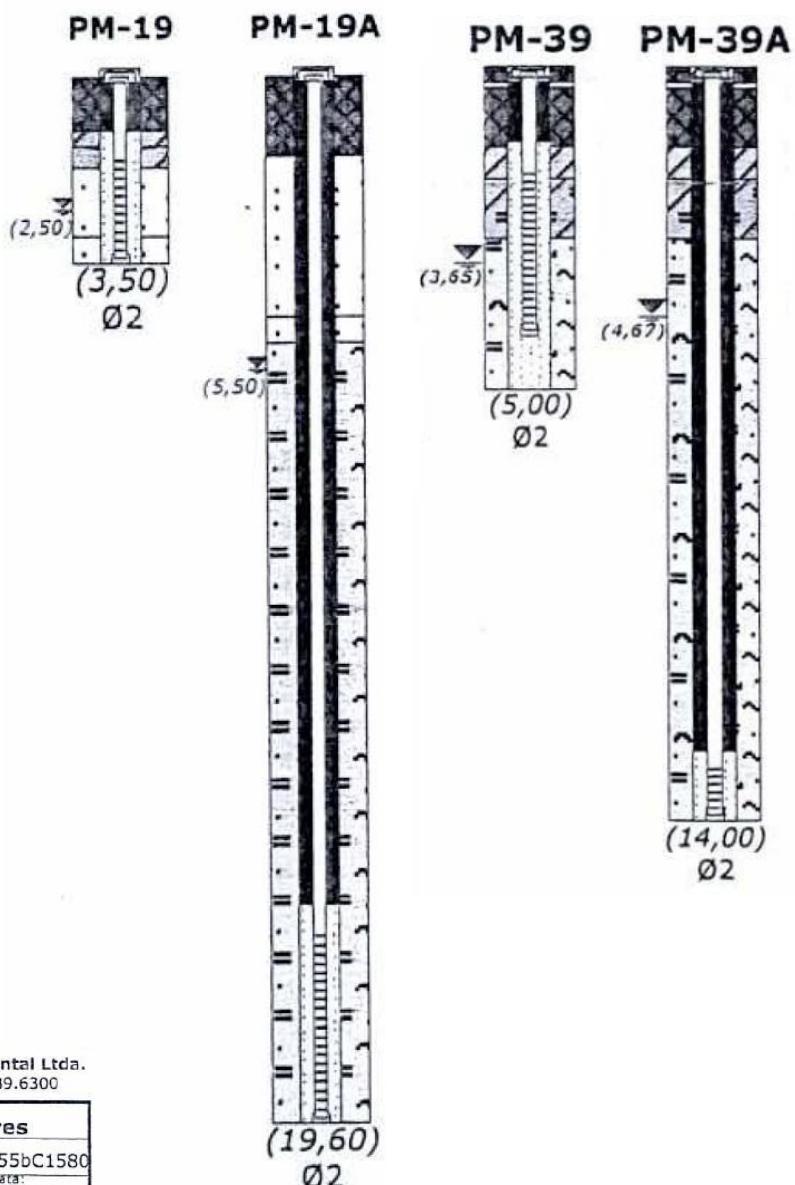
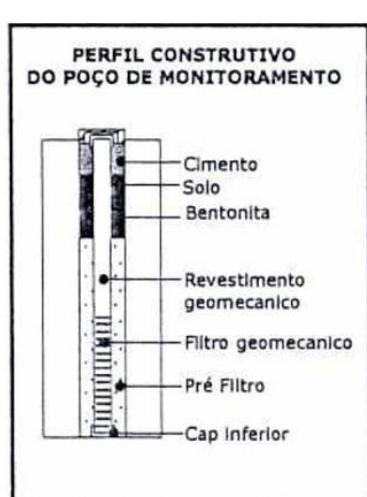


Saprolito (Embásamento)



Rocha Sá (Embásamento)

## Perfil litológico e construtivo dos poços PM-19, PM 19A, PM-39 e PM-39A.



**SGW Services Engenharia Ambiental Ltda.**  
**Serviços** Rua Felipe Gadelha, 125 - Tel. 11-2089.6300

Cliente:	<b>MWM INTERNATIONAL Motores</b>
Local:	São Paulo - SP
Aprovação:	PJ255bC1580
	Para:
	Mar/10

### LEGENDA

- |  |                                    |  |  |
|--|------------------------------------|--|--|
|  | Piso de concreto                   |  | Argila siltosa pouco arenosa cinza   |
|  | Piso de paralelepípedo             |  | Silte areno-argiloso, amarelo  |
|  | Piso de asfalto                    |  | Areia grossa cinza com seixos de quartzo arredondados                                |
|  | Solo vegetal                       |  | Argila silto-arenosa, marrom   |
|  | Aterro areno-argiloso              |  | Manto de intemperismo: silte argilo arenoso com fragmentos de rocha, cinza e amarelo |
|  | Argila orgânica                    |  | Nível d'água   |
|  | Areia fina cinza clara desagregada |  | Impenetrável a sondagem rotativa   |

## **ANEXO II**

### **Análises químicas realizadas**

**Solicitante:** José Luis

**Pesquisador Responsável:** Prof. Dr. Reginaldo Antônio

**Instituto ou Centro de Pesquisas:** CEPAS/IGC - USP

**Projeto de Pesquisa:** "GESOL - "

**Local de Coleta:** SENAC

**Absorção Atômica GBC 932B Plus e Fotômetro de Chamas da Micronal**
**Data de entrada:** 16/04/2013

**Número de amostras:** 06

Cátions	Ca <sup>2+</sup> mg/L	Mg <sup>2+</sup> mg/L	Al <sup>3+</sup> mg/L	Ba <sup>2+</sup> mg/L	Sr <sup>2+</sup> mg/L	Pb <sup>2+</sup> mg/L	Cd <sup>2+</sup> mg/L	Zn <sup>2+</sup> mg/L	Cu <sup>2+</sup> mg/L	Ni <sup>2+</sup> mg/L	Cr <sup>total</sup> mg/L	Mn <sup>2+</sup> mg/L	Fe <sup>total</sup> mg/L	Na <sup>+</sup> mg/L	K <sup>+</sup> mg/L
Limites de detecção (mg/L)	0,01	0,003	0,20	0,18	0,02	0,05	0,009	0,008	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01
SABESP - SENAC -	17,58	1,54	n.d.	n.d.	0,13	n.d.	<0,009	<0,008	<0,02	0,04	n.d.	<0,02	<0,02	8,8	3,3
PM-21 - SENAC - 12/04/2013	1,63	0,27	n.d.	n.d.	0,05	n.d.	<0,009	<0,008	<0,02	<0,02	n.d.	0,03	<0,02	3,4	1,5
PM-23 - SENAC - 12/04/2013	24,90	2,66	n.d.	n.d.	0,16	n.d.	<0,009	0,01	n.d.	<0,02	n.d.	0,40	5,37	14,5	16,5
PM-D - SENAC - 12/04/2013	23,43	2,95	n.d.	n.d.	0,07	n.d.	<0,009	<0,008	<0,02	<0,02	n.d.	0,50	6,20	4,3	2,3
PP-02 - SENAC - 12/04/2013	3,86	2,08	n.d.	n.d.	0,04	n.d.	<0,009	0,02	<0,02	<0,02	n.d.	0,49	0,06	21,0	3,9
ESGOTO - SENAC -	17,60	3,18	0,42	n.d.	0,21	n.d.	<0,009	0,03	0,03	0,05	n.d.	<0,02	0,19	89,0	41,0

Obs.: n.d. = não detectado

São Paulo, 29 de maio de 2013.

**Solicitante:** José Luis

**Pesquisador Responsável:** Prof. Dr. Reginaldo Antonio Bertolo

**Instituto ou Centro de Pesquisas:** CEPAS/IGC - USP

**Projeto de Pesquisa:** "GESOL - HIDROFRAT"

**Equipamento Utilizado:** Cromatógrafo de Íons DIONEX ICS-90

**Data de entrada:** 16/04/2013

**Número de amostras:** 06

Ânions	F <sup>-</sup> mg/L	Cl <sup>-</sup> mg/L	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> mg/L	Br <sup>-</sup> mg/L	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> mg/L	HPO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> mg/L	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> mg/L	[CaCO <sub>3</sub> ] mg/dm <sup>-3</sup>
Limites de detecção (mg/L)	0,01	0,01	0,005	0,005	0,011	0,01	0,02	alcalinidade total
SABESP - SENAC - 12/04/2013	0,66	21,58	0,018	0,03	3,38	0,019	12,42	27,27
SABESP - SENAC - 12/04/2013								não apresentou alcalinidade parcial
PM-21 - SENAC - 12/04/2013	0,06	3,76	0,006	0,05	1,35	0,018	3,12	2,10
PM-21 - SENAC - 12/04/2013								não apresentou alcalinidade parcial
PM-23 - SENAC - 12/04/2013	0,25	6,07	0,005	0,05	0,43	0,008	31,54	88,41
PM-23 - SENAC - 12/04/2013								não apresentou alcalinidade parcial
PM-D - SENAC - 12/04/2013	0,06	6,29	0,004	0,005	0,56	0,006	3,90	81,82
PM-D - SENAC - 12/04/2013								não apresentou alcalinidade parcial
Ânions	F <sup>-</sup> mg/L	Cl <sup>-</sup> mg/L	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> mg/L	Br <sup>-</sup> mg/L	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> mg/L	HPO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> mg/L	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> mg/L	[CaCO <sub>3</sub> ] mg/dm <sup>-3</sup>
Limites de detecção (mg/L)	0,01	0,01	0,005	0,005	0,011	0,01	0,02	alcalinidade total
PP-02 - SENAC - 12/04/2013	0,19	3,71	0,004	0,03	1,16	0,008	3,47	62,64
PP-02 - SENAC - 12/04/2013								não apresentou alcalinidade parcial
ESGOTO - SENAC - 12/04/2013	0,71	123,58	0,17	0,94	0,28	11,75	35,70	402,01
ESGOTO - SENAC - 12/04/2013								não apresentou alcalinidade parcial



Centro de Pesquisas de Águas Subterrâneas - CEPAS

USP

Solicitante: José Luis

Pesquisador Responsável: Prof. Dr. Reginaldo Antônio

Instituto ou Centro de Pesquisas: CEPAS/IGC - USP

Projeto de Pesquisa: "GESOL - HIDROFRAT"

Local de Coleta: SP Market

Absorção Atômica GBC 932B Plus e Fotômetro de Chamas da Micronal

Data de entrada: 16/04/2013

Número de amostras: 03

Cátions	Ca <sup>2+</sup> mg/L	Mg <sup>2+</sup> mg/L	Al <sup>3+</sup> mg/L	Ba <sup>2+</sup> mg/L	Sr <sup>2+</sup> mg/L	Pb <sup>2+</sup> mg/L	Cd <sup>2+</sup> mg/L	Zn <sup>2+</sup> mg/L	Cu <sup>2+</sup> mg/L	Ni <sup>2+</sup> mg/L	Cr <sup>total</sup> mg/L	Mn <sup>2+</sup> mg/L	Fe <sup>total</sup> mg/L	Na <sup>+</sup> mg/L	K <sup>+</sup> mg/L
Limites de detecção (mg/L)	0,01	0,003	0,20	0,18	0,02	0,05	0,009	0,008	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01
PMN2A - SP-Market - 05/03/2013	5,90	2,01	n.d.	n.d.	0,10	n.d.	n.d.	0,05	n.d.	<0,02	n.d.	0,28	3,33	24,3	8,1
PMN4A - SP-Market - 05/03/2013	1,96	0,43	n.d.	n.d.	0,03	n.d.	<0,009	<0,008	n.d.	<0,02	n.d.	0,03	13,09	3,3	1,6
PMN4B - SP-Market - 05/03/2013	4,98	2,30	n.d.	n.d.	0,07	n.d.	<0,009	0,03	<0,02	<0,02	n.d.	0,12	29,30	8,2	3,7
Obs.: n.d. = não detectado															
São Paulo, 29 de maio de 2013.															



Centro de Pesquisas de Águas Subterrâneas - CEPAS

USP

Solicitante: José Luis

Pesquisador Responsável: Prof. Dr. Reginaldo Antonio Bertolo

Instituto ou Centro de Pesquisas: CEPAS/IGC - USP

Projeto de Pesquisa: "GESOL - HIDROFRAT"

Equipamento Utilizado: Cromatógrafo de Íons DIONEX ICS-90

Data de entrada: 16/04/2013

Número de amostras: 03

Ânions	F <sup>-</sup> mg/L	Cl <sup>-</sup> mg/L	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> mg/L	Br <sup>-</sup> mg/L	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> mg/L	HPO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> mg/L	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> mg/L	[CaCO <sub>3</sub> ] mg/dm <sup>-3</sup>
Limites de detecção (mg/L)	0,01	0,01	0,005	0,005	0,011	0,01	0,02	alcalinidade total
PMN2A - SP-Market - 05/03/2013	0,33	4,95	0,005	0,05	0,66	0,006	3,46	77,02
PMN2A - SP-Market - 05/03/2013								não apresentou alcalinidade parcial
PMN4A - SP-Market - 05/03/2013	0,07	2,65	0,005	0,04	0,86	0,014	0,52	28,47
PMN4A - SP-Market - 05/03/2013								não apresentou alcalinidade parcial
PMN4B - SP-Market - 05/03/2013	0,15	12,16	0,006	0,007	1,66	0,005	1,76	57,24
PMN4B - SP-Market - 05/03/2013								não apresentou alcalinidade parcial

São Paulo, 27 de maio de 2013.

**Solicitante:** José Angelo Ferreira da Silva

**Pesquisador Responsável:** Prof. Dr. Reginaldo Antonio Bertolo

**Instituto ou Centro de Pesquisas:** CEPAS/IGc - USP

**Projeto de Pesquisa:** "GESOL/HIDROFRAT"

**Equipamento Utilizado:** Cromatógrafo de Íons DIONEX ICS-900

**Data de entrada:** 17/09/2013

**Número de amostras:** 04

Cátions maiores			Li <sup>+</sup> mg/L	Na <sup>+</sup> mg/L	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> mg/L	K <sup>+</sup> mg/L	Mg <sup>2+</sup> mg/L	Ca <sup>2+</sup> mg/L
Limites de detecção (mg/L)			0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
Amostra - PP.02	LH.134		0,007	9,73	0,008	2,49	1,44	2,90
Amostra - PM.D	LH.135		0,002	5,62	1,43	0,87	5,24	24,16
Amostra - PM.21	LH.136		0,002	2,77	0,54	1,18	0,24	1,64
Amostra - PM.21	LH.137		0,002	14,41	0,45	19,65	3,18	21,66

**São Paulo, 23 de Outubro de 2013.**
**Solicitante:** José Angelo Ferreira da Silva

**Pesquisador Responsável:** Prof. Dr. Reginaldo Antonio Bertolo

**Instituto ou Centro de Pesquisas:** CEPAS/IGc - USP

**Projeto de Pesquisa:** "GESOL/HIDROFRAT"

**Equipamento Utilizado:** Espectrômetro de Absorção Atômica GBC 932 PLUS

**Data de entrada:** 17/09/2013

**Número de amostras:** 04

Cátions (elementos traços)		Fe <sup>total</sup> mg/L	Cr <sup>total</sup> mg/L	Mn <sup>2+</sup> mg/L	Ni <sup>2+</sup> mg/L	Cu <sup>2+</sup> mg/L	Zn <sup>2+</sup> mg/L	Cd <sup>2+</sup> mg/L	Sr <sup>2+</sup> mg/L
Limites de detecção (mg/L)		0,05	0,01	0,01	0,04	0,002	0,008	0,009	0,04
Amostra - PP.02	LH.134	0,05	n.d.	0,26	n.d.	0,02	0,07	<0,009	0,07
Amostra - PM.D	LH.135	7,91	n.d.	0,11	n.d.	0,01	0,02	<0,009	0,09
Amostra - PM.21	LH.136	0,15	n.d.	0,02	n.d.	0,02	0,01	n.d.	0,07
Amostra - PM.21	LH.137	3,49	n.d.	0,85	n.d.	0,02	0,01	<0,009	0,07

**São Paulo, 23 de outubro de 2013.**

Análises de cátions e ânions maiores - 1 <sup>a</sup> campanha (jul/13) e 2 <sup>a</sup> campanha (set/13)																	
jul/13																	
	Ca+	Mg	Na	K	HCO3-	F	Cl	Br	SO4	HPO4	NO2	NO3	Fe(III)	Mn	Sr	Al	NH4
SABESP	17,58	1,54	8,80	3,30	33,26	0,66	21,58	0,03	12,42	0,02	0,02	3,38	0,00	0,00	0,13	0,00	-
PM-21	1,63	0,27	3,40	1,50	2,56	0,06	3,76	0,05	3,12	0,02	0,01	1,35	0,00	0,03	0,05	0,00	-
PM-23	24,90	2,66	14,50	16,50	107,82	0,25	6,07	0,05	31,54	0,01	0,01	0,43	5,37	0,40	0,07	0,00	-
PM-D	23,43	2,95	4,30	2,30	99,78	0,06	6,29	0,01	3,90	0,01	0,00	0,56	6,20	0,50	0,07	0,00	-
PP-02	3,86	2,08	21,00	3,90	76,39	0,19	3,71	0,03	3,47	0,01	0,00	1,16	0,06	0,49	0,04	0,00	-
ESGOTO	17,60	3,18	89,00	41,00	490,26	0,71	123,58	0,94	35,70	11,75	0,17	0,28	0,19	0,00	0,21	0,42	-
PMN-2A	5,90	2,01	24,30	8,10	93,93	0,33	4,95	0,05	3,46	0,01	0,01	0,66	3,33	0,28	0,10	0,00	-
PMN-4A	1,96	0,43	3,30	1,60	34,72	0,07	2,65	0,04	0,52	0,01	0,01	0,86	13,09	0,03	0,03	0,00	-
PMN-4B	4,98	2,30	8,20	3,70	69,80	0,15	12,16	0,01	1,76	0,01	0,01	1,66	29,30	0,12	0,07	0,00	-
PM-19	16,43	3,28	18,27	2,39	78,22	0,08	17,32	0,05	11,22	0,01	0,02	0,24	3,07	0,52	0,08	0,00	0,89
PM-19A	15,72	6,48	28,17	2,61	150,56	0,21	11,55	0,07	8,48	0,01	0,01	0,24	1,14	1,71	0,07	0,00	0,01
PM-39	20,20	5,19	15,76	7,68	146,20	0,13	9,80	0,06	28,18	0,01	0,01	0,82	0,06	0,02	0,14	0,00	0,01
PM-39A	18,59	14,44	29,17	8,63	151,32	0,25	21,26	0,09	34,36	0,01	0,01	0,29	3,35	1,17	0,13	0,00	0,42
Chuva 1	1,04	0,06	0,00	0,00	2,93	0,04	0,28	0,05	0,73	0,01	0,04	1,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,22
Chuva 2	1,47	0,07	0,00	0,00	2,93	0,05	0,35	0,06	0,99	0,01	0,07	0,99	0,00	0,00	0,00	0,00	0,15
set/13																	
PM-21	1,64	0,24	2,77	1,18	4,20	0,04	3,66	0,03	2,99	0,01	0,01	1,98	0,15	0,02	0,07	0,00	0,54
PM-23	21,66	3,18	14,41	19,65	82,12	0,15	7,60	0,16	37,57	0,01	0,00	0,37	3,49	0,85	0,07	0,00	0,45
PM-D	24,16	5,24	5,62	0,87	1,06	0,04	4,58	0,03	15,99	0,01	0,00	0,81	7,91	0,11	0,09	0,00	1,43
PP-02	2,90	1,44	9,73	2,49	3,03	0,12	3,71	0,02	1,50	0,01	0,03	3,28	0,05	0,26	0,07	0,00	0,01

### **ANEXO III**

**Planilhas de campo: estabilização dos parâmetros físico-químicos**

AMOSTRAGEM DOS POCOS PELO MÉTODO DE BAIXA VAZÃO

二三

- (1) A balsa será colocada no meio do pico ou a pelo menos 60 m em detrimento de qualquer sedimento acumulado no fundo do pico  
(2) A volume do pico será calculado a partir de 1,5 m de superfície do globo  
(3) A altura será medida a partir da extensão dos pedâmetros em si que levam sido parados 70 vezes o volume do pico  
(4) O volume que é dividido a área ainda apensando os resultados finais, aparecerão na largura, em quando os paramentos estão variando

AMOSTRAGEM DOS POCOS PELO MÉTODO DE RAIXA VÁZÃO

200

- 11) A bomba será conectada no meio do poço em um ângulo de qualquer sentido e assimedida no fundo do poço.

AMOSTRAGEM DOS POÇOS PELO MÉTODO DE BAIXA VAZÃO

卷之三

- 11) A bomba sera colorada no maior do poço ou a pelo menos 60 cm acima de qualquer nível quando acionada no fundo do poço.

12) O volume do poço sera de 40 litros a partir de 1,5 m da superfície das águas.

13) A poça sera mantida ali que ocorra estabilização das precipitações ou que tenham sido praguejadas 20 vezes o volume do poço (poço quando a agua ainda apresenta-se totalmente seca, 45%stando ser a largura, ou quando os patamares estao variando entre níveis de níveis de subida e subida e apagam-se estabilizados). Número de vezes que o volume total do poço foi parcialmente acionado.

AMOSTRAGEM DOS POCOS PELO MÉTODO DE BAIXA VAZÃO

234

- 1) A bancada seria criada no interior da praia ou a pelo menos 60 cm acima de qualquer sedimente acumulado no fundo do poço



AMOSTRAGEM DOS EÓCOS DE LIMO METÓDICO DE BAIXA VAZAÇO

AMOSTRAGEM DOS POCOS PELO MÉTODO DE BAIXA VAZÃO

Dados do Projeto:

Nome do Projeto \_\_\_\_\_  
Número do Projeto \_\_\_\_\_

Dados do Poço:

Identificação do Poço: 1m. 23  
Identificação da Amostra: \_\_\_\_\_  
Profundidade do Poço: \_\_\_\_\_  
Profundidade do sedimento: \_\_\_\_\_  
Parâmetros analisados: \_\_\_\_\_

Data: 14/04/13  
Técnico Responsável: José Luis  
Método: Low flow

Rebaixamento da coluna de água: \_\_\_\_\_  
Dâmetro do Foco: 2"  
Volume bombeado: \_\_\_\_\_  
Nível inicial da água antes da bomba: 1,12

Horário/minuto	Taxa de Bombeamento (mL/min)	Nível da Água (m)	Elevação do nível d'água em relação ao inicial (m)	pH	Temperatura °C	Condutividade (mS/cm)	ORP (mV)	DO (mg/L)	TDS	pHMV	Volume Purgado, V <sub>P</sub> (mL)
16:06	110	1,13	1,13	5,14	25,4	0,293	-51,9	2,56	106,9	-11,0	
16:09	110	1,13	1,13	5,16	25,3	0,281	-50,7	2,56	104,2	33,0	
16:12	110	1,13	1,13	5,17	25,3	0,277	-50,3	2,55	105,5	33,0	
16:15	110	1,13	1,13	5,16	25,3	0,277	-51,6	2,55	103,7	33,0	
16:18	110	1,13	1,19	5,19	25,3	0,276	-50,6	2,56	103,8	33,0	

(1) A bomba será colocada no fundo do poço ou a pelo menos 0,5 cm acima de qualquer sedimento acumulado no fundo do poço  
 (2) O volume do poço será calculado a partir de 1,5 m da superfície da água  
 (3) A purga será mantida até que tenham sido purgados 20 vezes o volume do poço  
 (4) A purga será mantida até que ocorra a estabilização dos parâmetros ou até que haja variação de 10% no nível da água a 1000 s-1 de purgação  
 (5) A purga é realizada para aprimorar a estabilidade da água, ou quando os parâmetros tenham variado em relação aos critérios individuais e aparentem estabilidade  
 (6) Puração é a remoção de resíduos que o volume total do poço em purgação = V<sub>P</sub> / V<sub>0</sub>

72

- 103 A bonita se coloca na praia ou a praia manda o bonita para a praia. O volume do solo é sempre menor que o volume do solo que é sempre maior que o volume do solo.



ANALOGUE PROCESSING OF IMAGE DATA

**Dados do Projeto:** \_\_\_\_\_ Nome do Projeto \_\_\_\_\_ Número do Projeto \_\_\_\_\_

<i>Dados do Poco:</i>	<i>Identificação do Poco:</i>	<i>pp - 02</i>
	<i>Identificação da Amostra:</i>	
	<i>Profundidade do Poco:</i>	
	<i>Profundidade do sedimento:</i>	
	<i>Parâmetros analisados:</i>	

Horas/minuto	Taxa de Bombreamento (ml/min)	Nível da Água (m)	Elevação do nível d'água em relação ao inicial (m)
10:29	100	2,03	
10:32	100	2,08	
10:35	100	2,08	
10:38	100	2,09	
10:41	100	2,09	

Técnico Responsável:	<u>PS (Luis)</u>	Data:	<u>12/04/12</u>	Local:	<u>Boa Vista</u>
Método:	<u>Flame</u>				
Espessura do filtro:					
Altura da coluna de água:					
Diâmetro do Poco:					
Volume bombordo:					
Altura da água antes da bomba:					

Temperatura °C	Conductividade (mS/cm)	ORP (mV)	DO (mg/L)	TDS	pHMV	Volume Mergulhado, V <sub>P</sub> (mL)
22,4	9,129		3,39		167,3	100
22,4	0,128		2,32		166,3	300
22,4	0,127		3,37		174,4	300
22,4	0,126		3,40		177,0	300
22,4	0,125		3,44		177,8	

卷之三

- 1) A bermuda será calculada no ponto em que o fluxo é zero, ou seja, no ponto em que a velocidade é zero. 2) A profundidade da bermuda é calculada a partir da profundidade da estrutura de drenagem.

## AMOSTRAGEM DOS POCOS PELO MÉTODO DE FAIXA VAZÁO

GESOL - SP Market

## Datos del Proyecto:

Nome do projeto

Dados da Base

Identificação da poça PMLN - 024

Identificação da amostra  
Profundidade do poço

#### Parâmetros analisados

REFUGIUM BE BURG

Tempo (minutos)	Vazão (m³/min)	Nível da Água (m)
0	0	1000

Temperatura (°C)	Conductividad ( $\mu\text{S/cm}$ )	ORP ( $\text{mV}$ )	ECO (mT)	Partículas ( $\text{NTU}$ )	PHmV	Volume (ml)	Paragüero, Vp
25	1200	200	0.5	10	7.0	100	100

Turbidity: 62 (20 final as when the alt.  
mo. frace, 2 Turbidity 3  
all salinity 0 313)





#### **ANEXO IV**

**Planilhas do balanço hídrico e das medições manuais de N.A.**

Mês	T.Mín. (°C)	T. Max. (°C)	T. Média (°C)	i	I parcial	I	a	b	N	α	C	P-ESC-ETP
out-12	17,90	29,80	23,85	10,65	10,65	106,64	2,30	1,08	12,54	0,34	0,30	-30,51
nov-12	16,90	24,60	20,75	8,62	8,62	107,08	2,30	1,08	12,99	0,34	0,30	110,99
dez-12	20,50	28,70	24,60	11,16	11,16	108,81	2,30	1,13	13,08	0,34	0,30	124,10
jan-13	18,50	24,00	21,25	8,94	8,94	108,13	2,30	1,10	12,74	0,34	0,30	103,96
fev-13	19,40	28,40	23,90	10,68	10,68	106,75	2,30	0,95	12,21	0,34	0,30	214,25
mar-13	18,40	25,70	22,05	9,46	9,46	105,79	2,30	0,99	11,52	0,34	0,30	113,13
abr-13	16,20	23,90	20,05	8,19	8,19	104,69	2,30	0,91	10,90	0,34	0,30	1,12
mai-13	14,90	22,70	18,80	7,43	7,43	104,96	2,30	0,90	10,42	0,34	0,30	-14,78
jun-13	14,30	21,30	17,80	6,84	6,84	104,90	2,30	0,89	10,32	0,17	0,30	81,92
jul-13	12,00	20,90	16,45	6,07	6,07	104,10	2,30	0,92	10,63	0,17	0,30	39,19
ago-13	12,60	23,50	18,05	6,98	6,98	103,26	2,30	0,97	11,22	0,17	0,30	-47,07
set-13	14,50	23,90	19,20	7,67	7,67	102,68	2,30	1,02	11,89	0,17	0,30	34,14

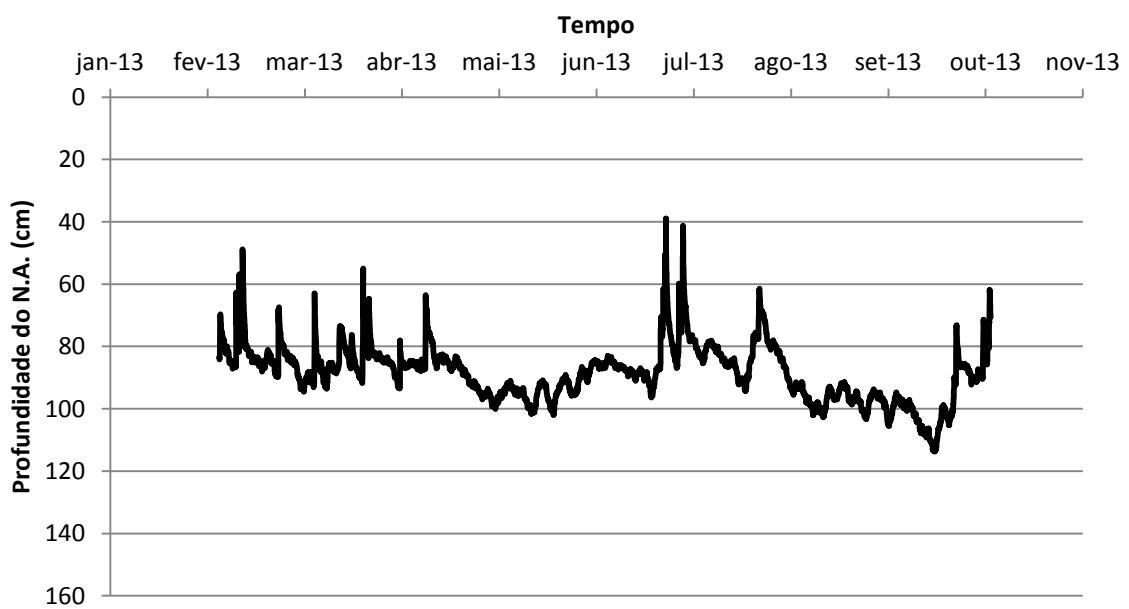
Mês	P	ETP	C'	ESC	INF	ARM	DARM	ETR	REC
out-12	89,00	110,43	0,10	9,08	79,92	53,54	-12,08	92,00	0,00
nov-12	212,20	79,56	0,10	21,64	190,56	150,00	96,46	79,56	14,53
dez-12	269,70	118,09	0,10	27,51	242,19	150,00	0,00	118,09	124,10
jan-13	208,50	83,27	0,10	21,27	187,23	150,00	0,00	83,27	103,96
fev-13	347,00	97,35	0,10	35,39	311,61	150,00	0,00	97,35	214,25
mar-13	222,00	86,23	0,10	22,64	199,36	150,00	0,00	86,23	113,13
abr-13	73,60	64,98	0,10	7,51	66,09	150,00	0,00	64,98	1,12
mai-13	44,80	55,01	0,10	4,57	40,23	135,92	-14,08	54,31	0,00
jun-13	137,00	48,10	0,05	6,99	130,01	150,00	14,08	48,10	67,84
jul-13	85,60	42,04	0,05	4,37	81,23	150,00	0,00	42,04	39,19
ago-13	9,40	55,99	0,05	0,48	8,92	109,60	-40,40	49,32	0,00
set-13	109,00	69,30	0,05	5,56	103,44	137,61	28,01	69,30	6,13
SOMA	1807,80	910,36	-	167,00	1640,80	1636,67	72,00	884,55	684,25

<b>SPMarket - 18/12/12</b> Poço de Produção (fundos, próximo à linha férrea) - N.A. = 5,04m (36,00cm) Poço de Produção (frente, próximo à avenida) - N.A. = 6,09m (32,00cm)	<b>SENAc - 03/11/11</b> PM-B - N.A. = 1,02m (boca do tubo)	<b>VIENa - 18/12/12 (Instalação do transdutor)</b> Poço de Produção - N.A. = 4,04m PM-B - N.A. = 0,97m (boca do tubo)
<b>SPMarket - 08/02/13 (Instalação dos transdutores)</b> PMN4A - N.A. = 2,10m PMN-4B - N.A. = 2,58m PMN-2A - N.A. = 2,58m	<b>SENAc - 18/12/12</b> PM-23 - N.A = 1,04m (-8,00cm) PM-21 - N.A = 1,37m (-6,00cm) PP-02 - N.A = 0,10m (-12,00cm) Poço de Produção - N.A. = 0,15m	<b>VIENa</b>
<b>SPMarket - 05/03/13</b> PMN-4A - N.A. = 2,30m PMN-4B - N.A. = 2,60m PMN-2A - N.A. = 2,64m	<b>SENAc - 09/02/13</b> PM-B - N.A. = 0,90m	<b>MWM - 22/03/13 (Instalação dos transdutores)</b> PM-13 - N.A. = 1,86m PM-19A - N.A. = 2,52m PM-39 - N.A. = 3,05m PM-39A - N.A. = 3,79m
<b>SPMarket - 21/06/13</b> PMN-4A - N.A. = 2,83m (Hora: 11:20) PMN-4B - N.A. = 3,14m (Hora: 11:20) PMN-2A - N.A. = 2,91m (Hora: 10:30) Poço de Produção (fundos, próximo à linha férrea) - N.A. = 5,87m (36,00cm)(Hora: 12:05) Poço de Produção (frente, próximo à avenida) - N.A. = 5,98m (32,00cm)(Hora: 10:50)	<b>SENAc - 18/04/13</b> PM-23 - N.A = 1,18m (-8,00cm) PM-21 - N.A = 1,55m (-6,00cm) PP-02 - N.A = 0,03m (-12,00cm)	<b>VIENa - 14/06/13</b> Poço de Produção - N.A. = 1,175m <b>MWM - 18/06/13</b> PM-13 - N.A. = 1,89m (Hora: 14:20) PM-19A - N.A. = 2,58m (Hora: 14:27)
	<b>SENAc - 14/06/13</b> PM-23 - N.A = 1,32m (-8,00cm) PM-21 - N.A = 1,65m (-6,00cm) PP-02 - N.A = 0,05m (-12,00cm) Poço de Produção - N.A = 0,46m	<b>VIENa</b> Poço de Produção - N.A. = 3,67m (Hora: 09:30) <b>MWM - 21/06/13</b> PM-13 - N.A. = 1,91m (Hora: 08:50) PM-19A - N.A. = 2,58m (Hora: 08:54) PM-39 - N.A. = 3,67m (Hora: 09:30) PM-39A - N.A. = 4,16m (Hora: 09:23)

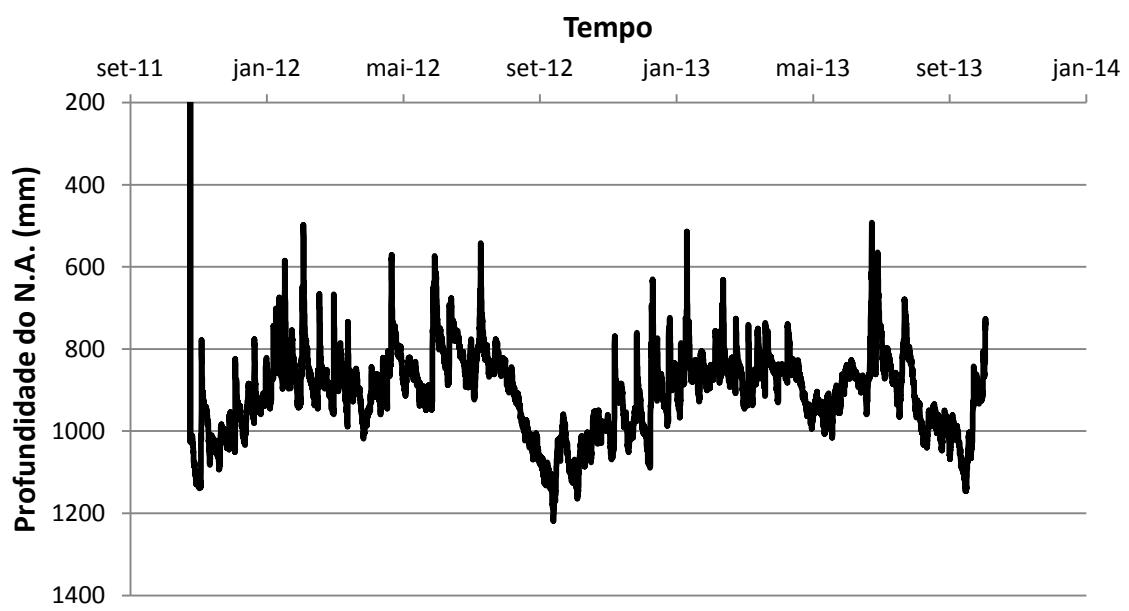
## **ANEXO V**

### **Gráficos de variação do N.A.**

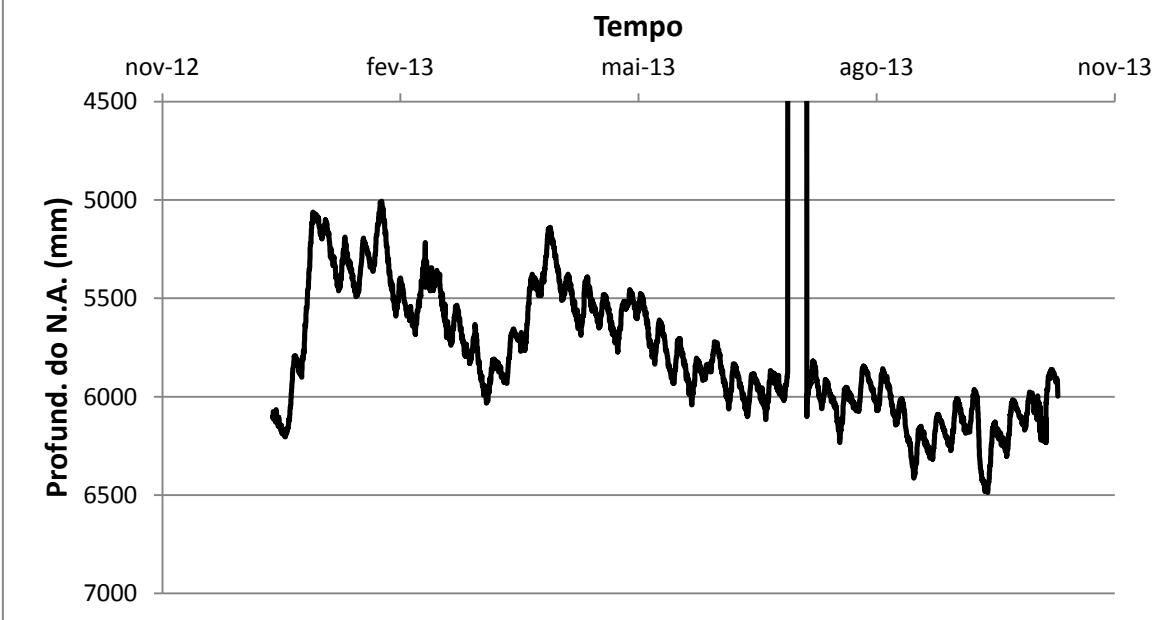
### Var. do N.A - PM-D (raso)



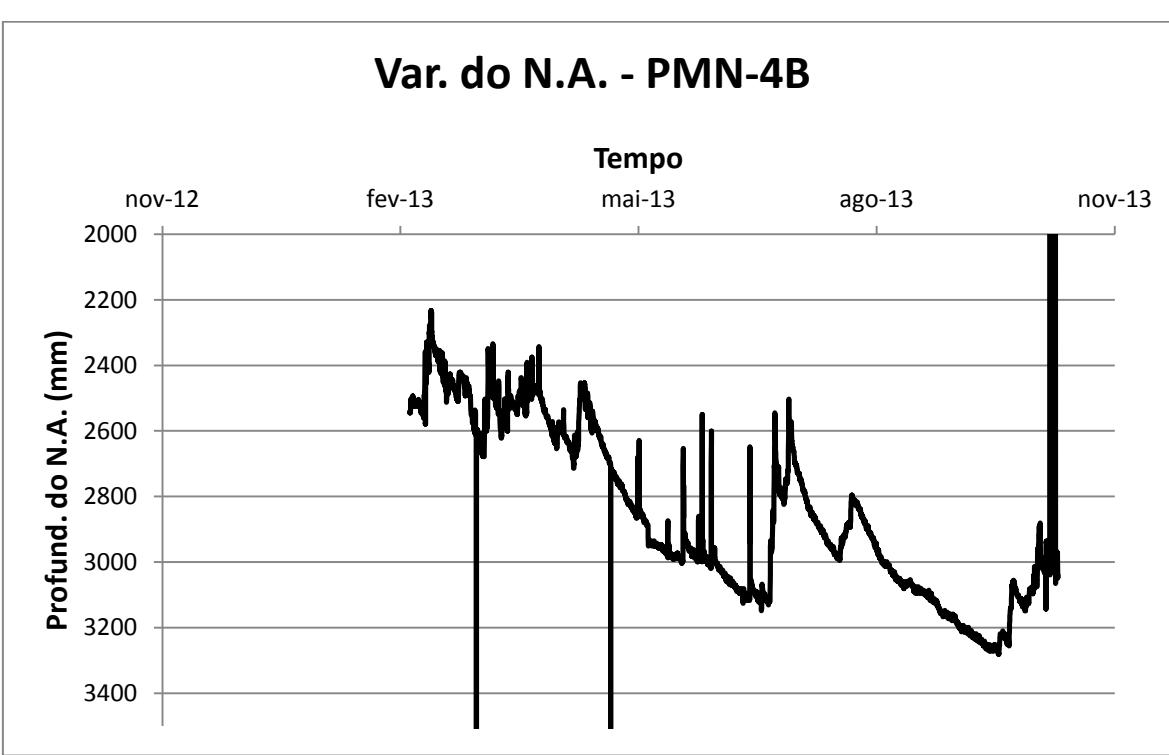
### Var. do N.A. - Poço PM-B (raso)



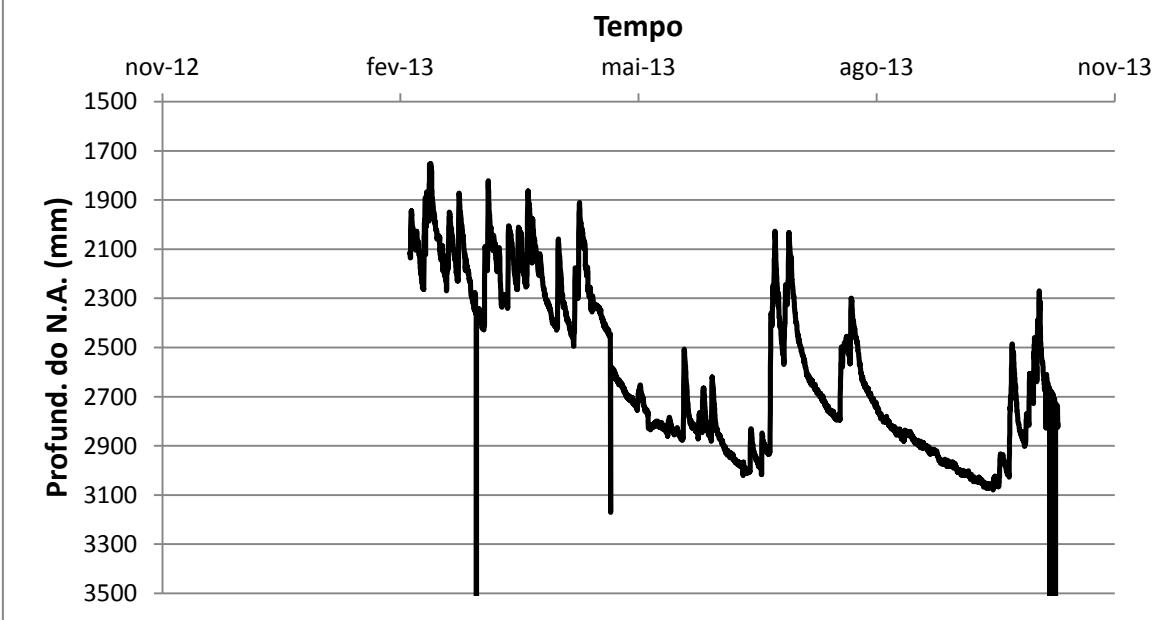
### Var. do N.A. - Prod. SPMarket (avenida)



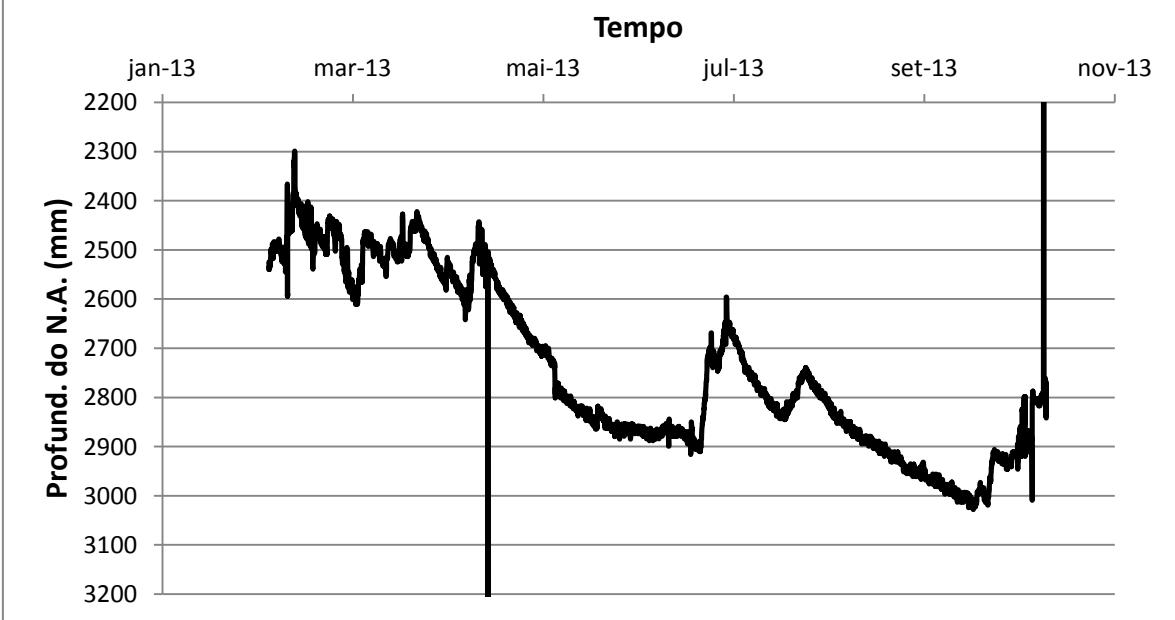
### Var. do N.A. - PMN-4B



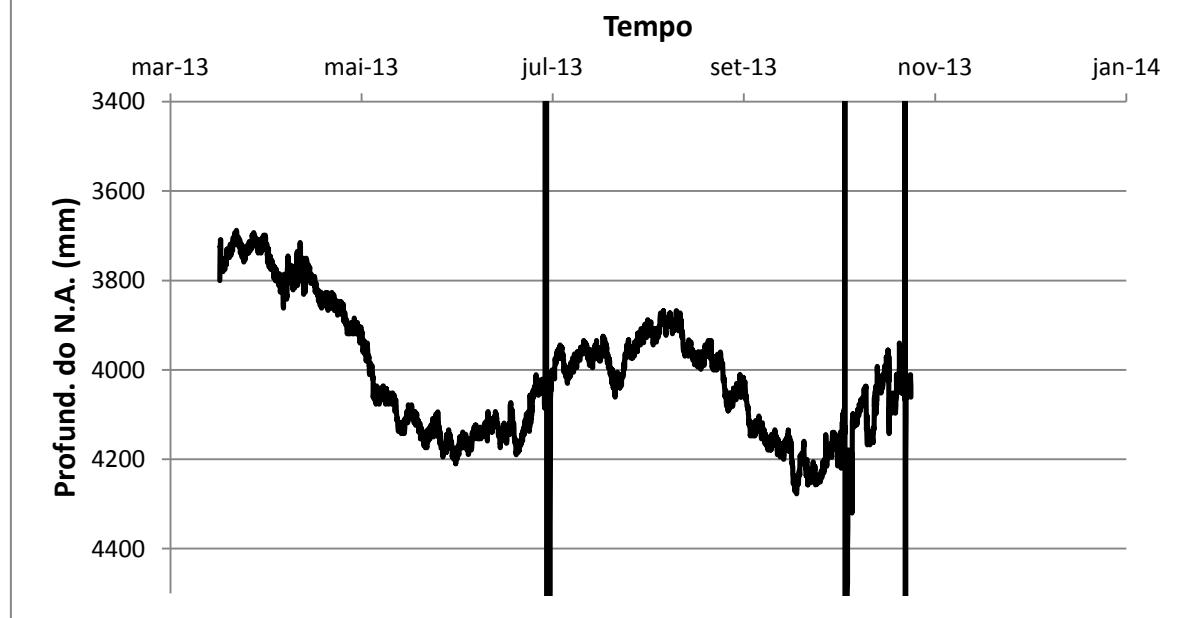
### Var. do N.A. - PMN-4A



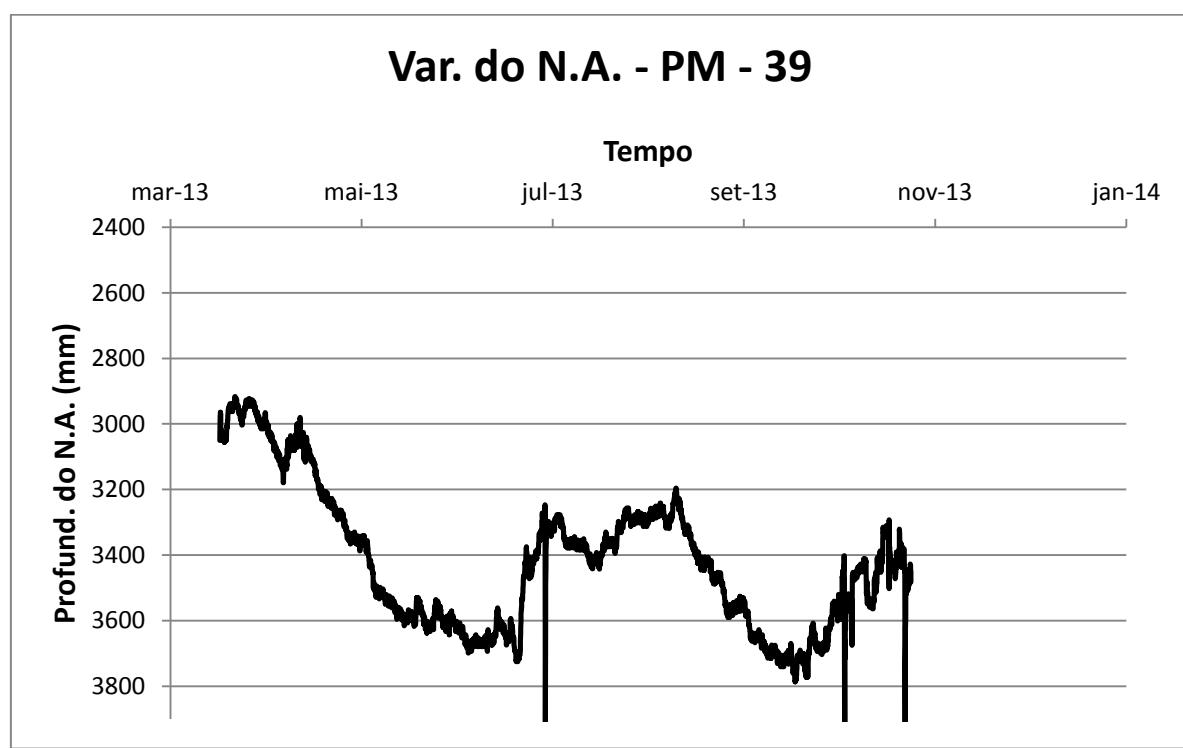
### Var. do N.A. - PMN-2A



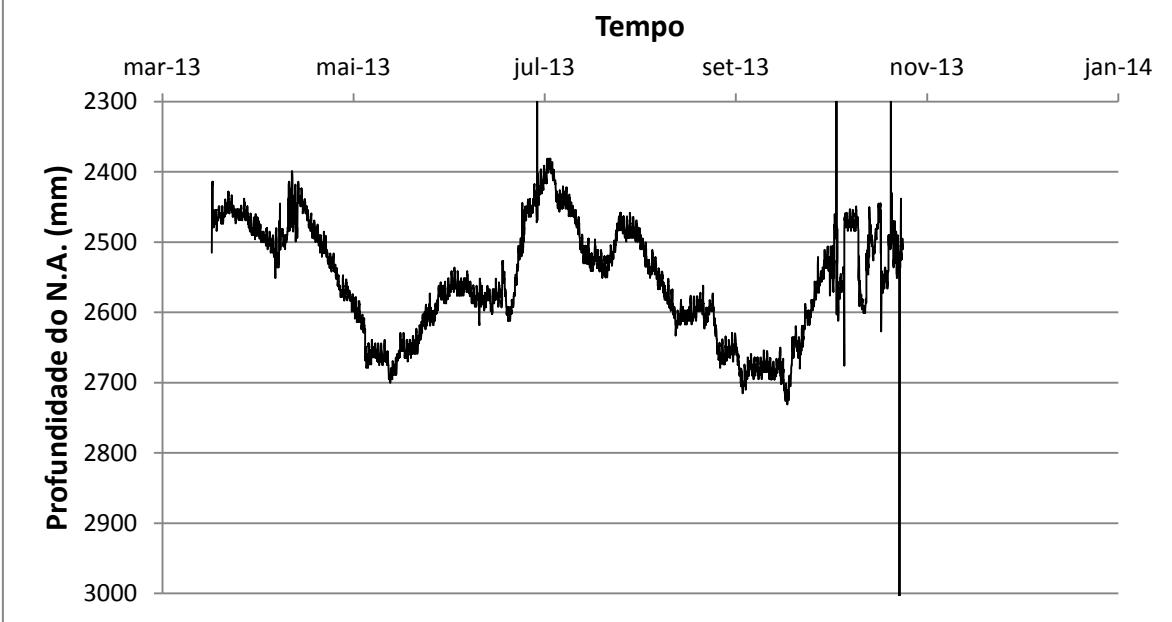
### Var. do N.A. - PM-39A



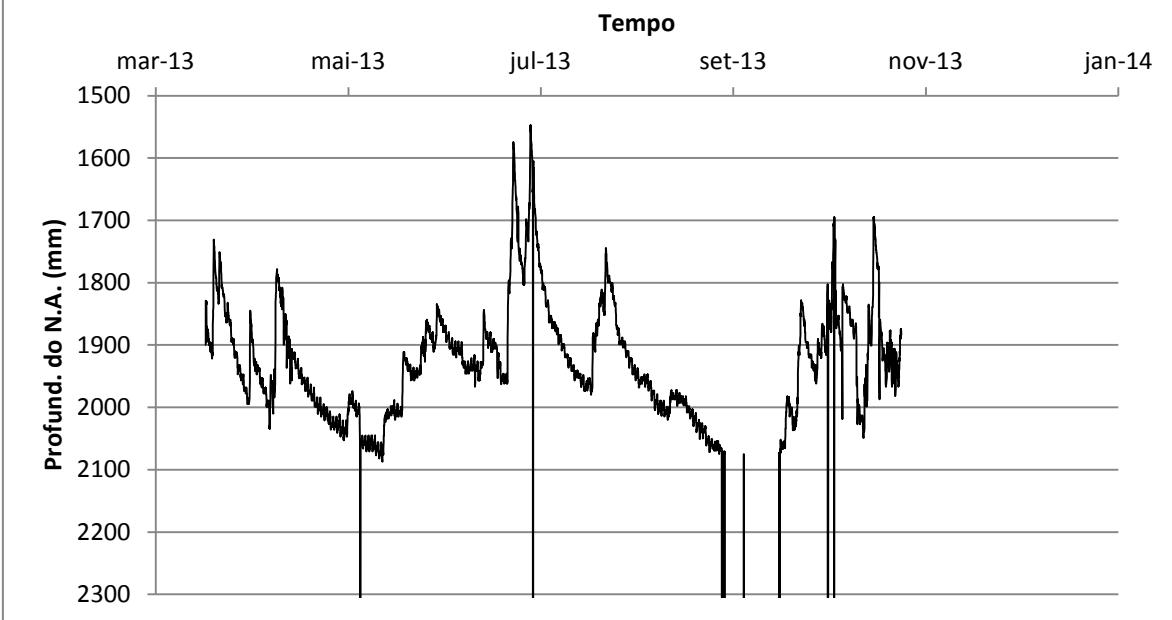
### Var. do N.A. - PM - 39



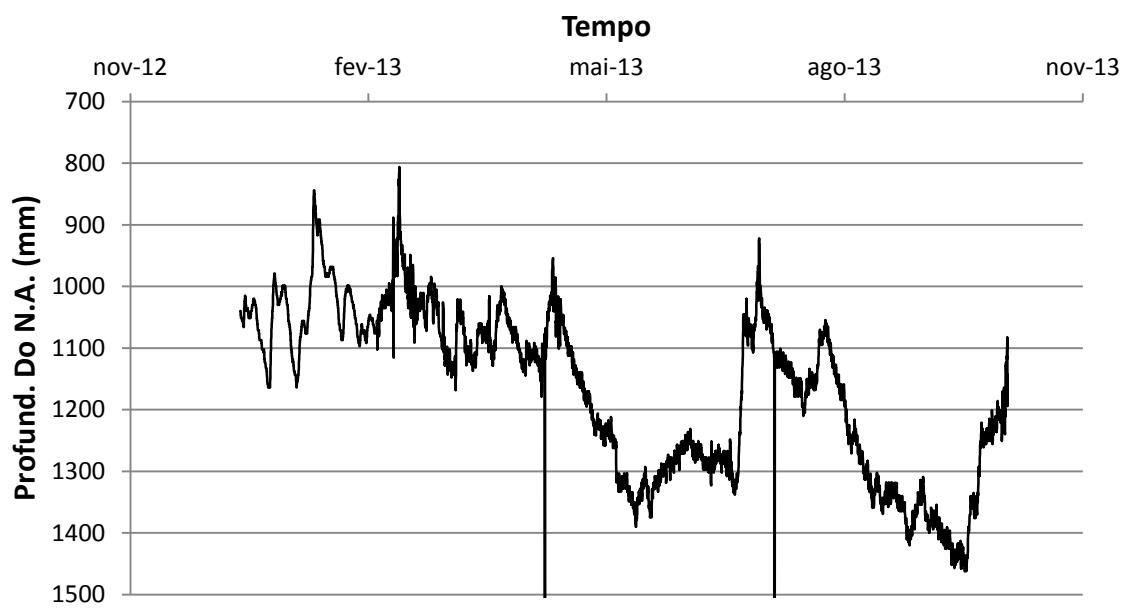
### Var. do N.A. - PM-19A



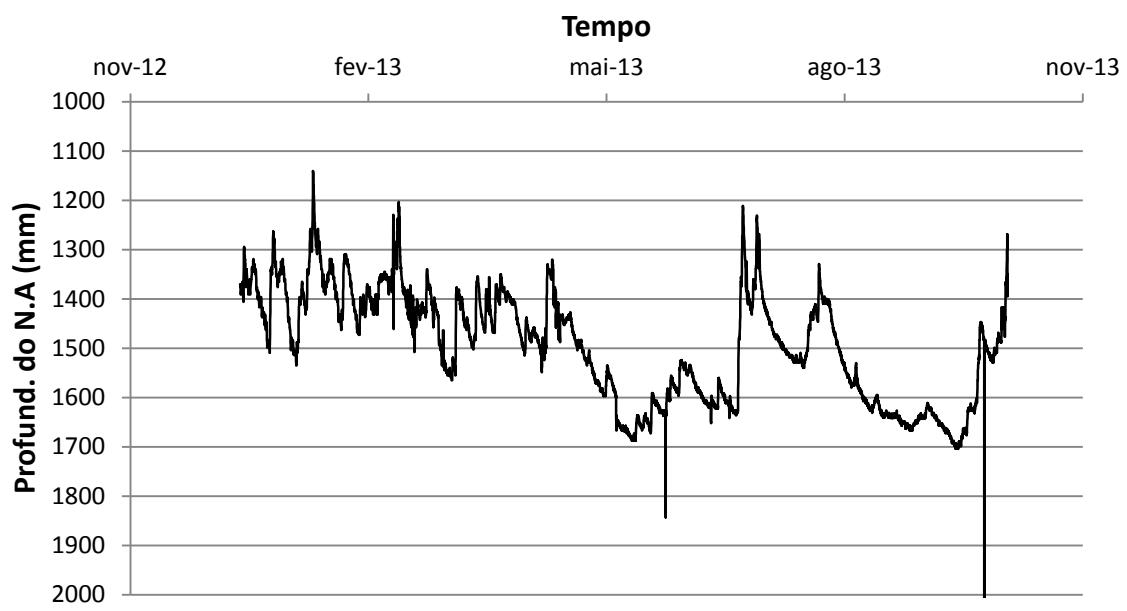
### Var. do N.A. - PM-19 (raso)

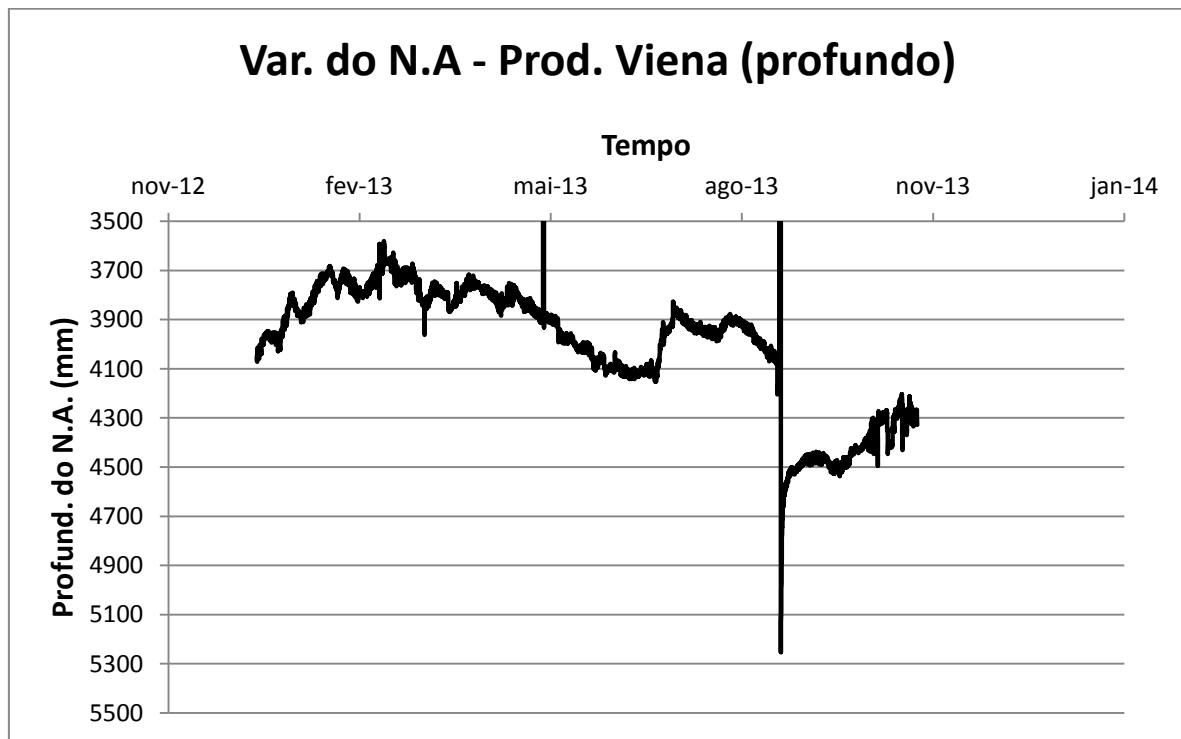
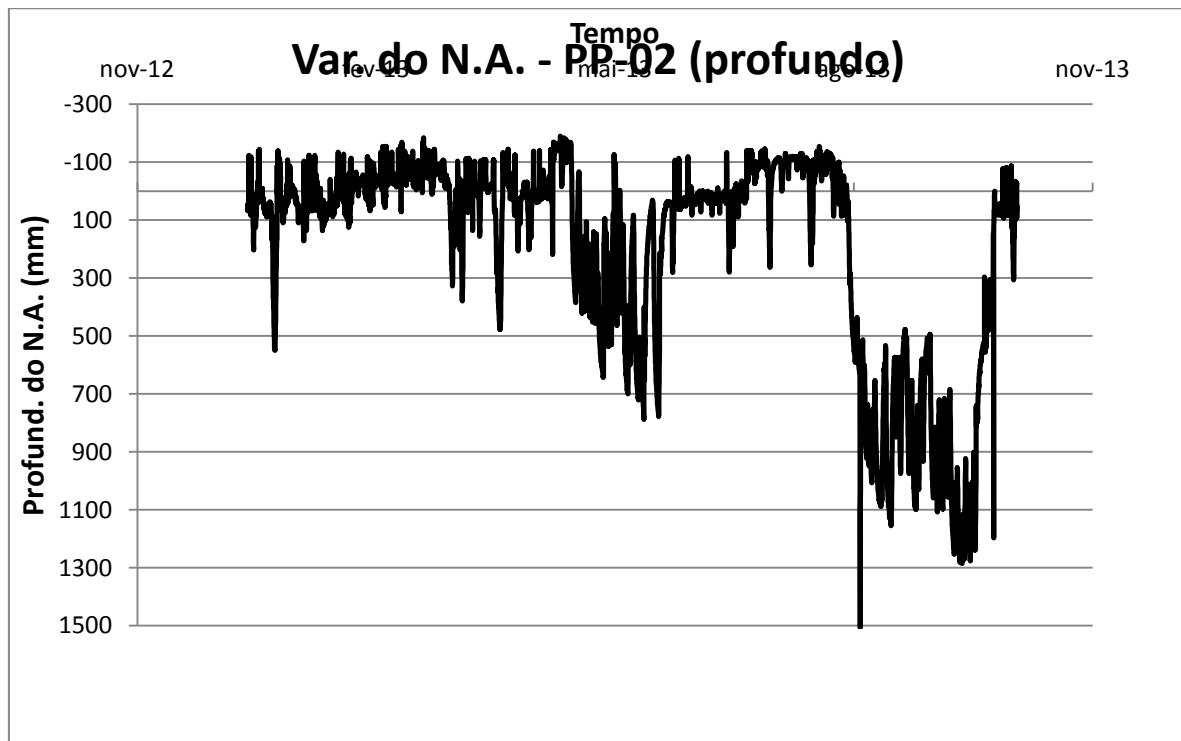


### Var. do N.A. - PM-23 (raso)



### Var. do N.A. - PM-21 (raso)





## Var. do N.A. - Prod. SENAC (profundo)

