

APLICAÇÃO DE ENSAIO DE BOMBEAMENTO PARA AVALIAR O POTENCIAL DE MIGRAÇÃO DE BENZENO DE UM AQÜÍFERO LIVRE E RASO PARA UM AQÜÍFERO CONFINADO, QUANDO DO BOMBEAMENTO DE POÇOS PROFUNDOS.

Rodrigo Brandão Bunevich¹, Pablo Sierra Yoshikawa¹, Flavio de Sousa Lima¹, José Roberto Marquis², Gustavo A. Queiroz², Ana Paula Spolidoro Queiroz¹, Paulo Henrique Pereira dos Santos¹, Robert W. Cleary³.

Resumo

A área de estudo é uma indústria petroquímica localizada no município de Cubatão – SP e às margens do Rio Cubatão. O aquífero livre da área encontra-se impactado por benzeno em altas concentrações. A empresa utiliza 3 (três) poços profundos para abastecimento industrial todos com 30 metros de profundidade em média, cujas seções filtrantes estão posicionadas num aquífero confinado por uma camada de argila marinha, o que impede o contato com a zona contaminada da área. Este estudo apresenta os resultados da avaliação hidrogeológica realizada para verificar o potencial de migração do benzeno, para o aquífero confinado, em função da operação dos poços de abastecimento.

Abstract

The study area is a petrochemical industry located in the city of Cubatão - SP at the edge of the Cubatão River. The shallow groundwater at the site is impacted with benzene in high concentrations. The company operates 3 deep Wells for supplying industrial water, whose screen sections are located in a confined aquifer by a continuous clay layer, which avoid the contact with the contaminated zone. These Wells have an average depth of 30 meters each. This study presents the results of the hydrogeological evaluation performed to evaluate the potential of benzene migration, to the deeper confined aquifer, when operating the supply Wells.

Palavras Chaves: Migração Vertical, Benzeno, Bombeamento, Poços Profundos

¹ Waterloo Brasil Ltda., R. Deputado Lacerda Franco 300, cj 121 São Paulo – SP CEP 05418-000, Fone 11 3030 9344, whs@waterloo.com.br.

² Companhia Brasileira de Estireno

³ PhD. Princeton Groundwater Inc.

1. INTRODUÇÃO

A área de estudo é uma indústria petroquímica localizada no município de Cubatão – SP e às margens do Rio Cubatão. O aquífero livre da área encontra-se impactado por benzeno em altas concentrações. A empresa bombeia 3 (três) poços profundos para abastecimento industrial todos com 30 metros de profundidade em média.

A concepção do estudo teve início em inúmeras dúvidas relacionadas ao comportamento e interação entre os sistemas aquíferos existentes na área, um superior, intensamente impactado pelos passivos ambientais existentes e outro inferior, cujo contato com o superior é limitado por uma espessa camada de argila marinha, e que é utilizado pela unidade como fonte de recurso hídrico para operação da unidade.

2. OBJETIVOS

O objetivo do estudo foi avaliar, sob o ponto de vista hidrogeológico, a zona de influência vertical e horizontal dos poços de captação PT-01, 05 e 06 existentes na planta industrial, de modo a fornecer informações para verificação da influência desses poços, quando em regime de bombeamento, nas unidades geológicas que compõe o aquífero abaixo da camada de argila marinha existente na área e qual o reflexo desta influência no aquífero superior, cujos impactos já são de conhecimento.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. Ensaio de Bombeamento

O ensaio de bombeamento possibilita determinar os parâmetros hidráulicos do aquífero bem como a qualidade da construção da obra de captação de água subterrânea (ABNT – NB1290 e NBR 12244 – Construção de poços para captação da Água subterrânea).

Em uma classificação ampla, os testes de bombeamento podem ser divididos em:

- Testes de aquífero, e
- Testes de produção.

Embora existam diversas aplicações e métodos sofisticados, o estudo contemplou a realização de um ensaio de bombeamento para avaliar a intercomunicação dos poços de monitoramento situados no aquífero superior com aqueles de produção, (locados no aquífero inferior), bem como a determinação do raio de influência do bombeamento dos poços no aquífero confinado, podendo assim avaliar possíveis inversões de gradiente hidráulico entre os 2 aquíferos.

Para a realização do ensaio foi parado o bombeamento de cada poço de bombeamento por um intervalo mínimo de 12 horas. Este procedimento tem como finalidade estabilizar as condições locais do aquífero antes de cada ensaio.

Antes do início do teste foi realizado um bombeamento inicial por 1 ou 2 horas, o qual teve as seguintes finalidades:

1. Definição da vazão do teste;
2. Definição do local de descarga da água bombeada. Muitas vezes é necessário canalizar a água bombeada para uma distância segura, para que não ocorra infiltração local, promovendo o retorno da água bombeada ao aquífero e mascarando o resultado do teste.

Após essa etapa o poço foi mantido por um período de recuperação, onde as condições hidrogeológicas foram restabelecidas.

O ensaio foi realizado por meio de um bombeamento contínuo por um período de no mínimo 24 horas, mantendo-se uma vazão constante Q e acompanhamento da evolução dos rebaixamentos produzidos por meio de medidores automáticos do tipo *data loggers*, instalados nos poços de observação.

Para a realização do teste foram utilizadas as bombas já existentes nos poços.

As medições de variação do nível da água (NA) e vazões da bomba foram obtidas em função do tempo de bombeamento proposto com os seguintes intervalos:

- uma medida a cada minuto no intervalo de 0 a 10 minutos;
- uma medida a cada dois minutos no intervalo de 10 a 20 minutos;
- uma medida a cada cinco minutos no intervalo de 20 a 100 minutos;
- uma medida a cada vinte minutos no intervalo de 100 a 300 minutos;
- uma medida a cada trinta minutos no intervalo de 300 a 600 minutos;
- uma medida a cada hora para períodos maiores que 600 minutos;

3.2 Atividades de campo

Os trabalhos de campo consistiram na instalação de medidores de nível d'água *data loggers* nos poços de observação, medições do nível da água nos poços profundos, monitoramento das vazões durante o ensaio e a instalação de 04 (quatro) poços de monitoramento profundos. Durante o ensaio de bombeamento foram feitas coletas de água nos poços de produção para a avaliação das concentrações de compostos de interesse (compostos orgânicos voláteis e semi-voláteis) dissolvidos na água subterrânea.

Para a realização do ensaio, os poços foram divididos em poços de observação e em poços de bombeamento. Dessa forma é realizado o bombeamento em um poço (poço

de bombeamento) e é observada a variação dos níveis d'água nos demais poços do entorno (poços de observação).

Na Tabela 1 são apresentados os conjuntos de poços avaliados por ensaio e a data de execução do experimento.

Para avaliar o comportamento do aquífero confinado (profundo) durante o ensaio do poço PT-01, foram instalados 04 poços profundos em seu entorno: DW-01, DW-02, DW-03 e DW-04.

Os métodos utilizados para execução desta investigação seguem as referências da norma ABNT – NBR 15495-1 de Julho/2007 (Poços de Monitoramento de Águas Subterrâneas em Aquíferos Granulares)..

Durante a instalação dos poços foram feitas coletas de 03 amostras indeformadas de 0,5 m de comprimento e 04 pol. de diâmetro do topo da camada de argila marinha (selo). Essas amostras foram enviadas ao Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT), para a realização dos ensaios de permeabilidade.

Os perfis construtivos dos poços profundos são apresentados na Figura 1.

A amostragem de água a partir dos poços de monitoramento instalados foi realizada com base nas recomendações constantes no “Guia de Coleta e Preservação de Amostras de Água - CETESB, 1988”.

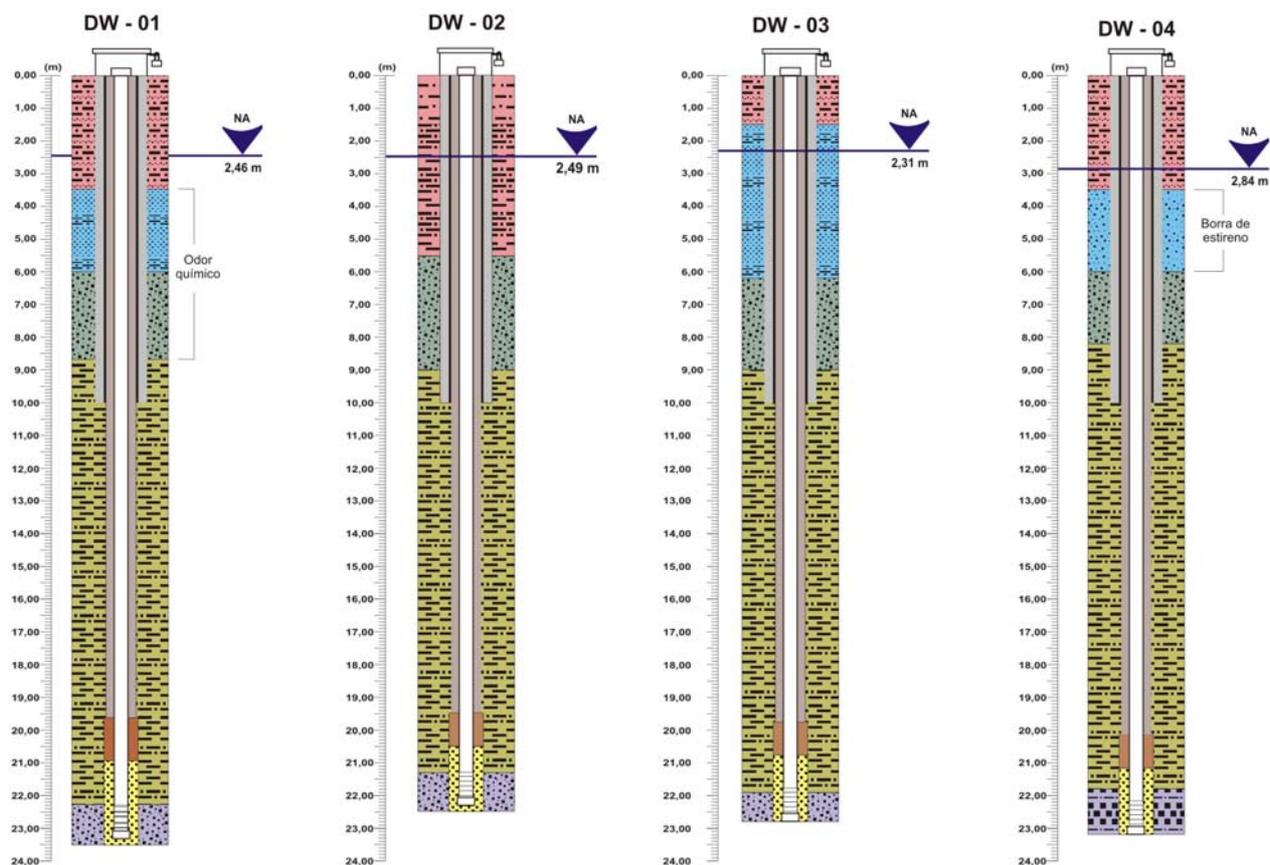
Durante o ensaio de bombeamento foram feitas coletas de água subterrânea do poço bombeado.

Conforme o histórico da área de estudo, foram analisados os compostos orgânicos voláteis (VOC's) e compostos orgânicos semivoláteis (SVOC's).

Para análise de VOC's, o laboratório utilizou a metodologia EPA 8260 e para os SVOC's, a EPA 8270.

Tabela 1: Sistemática implantada durante os ensaios de bombeamento

Denominação	Condição de uso do poço durante o ensaio	de 26 a 28/11/08	de 03 a 05/12/08	de 09 a 11/12/08	de 11 a 18/02/09
PZ-05	Poços de observação porção aquífero superior	-	X	-	-
MW-10		X	X	-	-
MW-12		X	X	X	-
MW-25		-	-	X	-
MW-35		-	-	X	-
MW-36		-	X	X	-
OW-04A		X	X	X	-
OW-04B		X	X	X	-
OW-04C		X	X	X	-
OW-08B		X	-	-	-
OW-15A		-	-	-	-
OW-15B		-	-	X	-
OW-9		-	-	-	X
OW-11A		-	-	-	X
OW-11C		-	-	-	X
OW-25A		-	-	-	X
OW-25C		-	-	-	X
DW-01	Poços de observação porção inferior do aquífero	-	-	-	X
DW-02		-	-	-	X
DW-03		-	-	-	X
DW-04		-	-	-	X
P-5	Poços de bombeamento	-	X	-	-
P-6		-	-	X	-
P-6		-	X	-	-
P-5		-	-	X	-
P-1		-	-	-	X



Legenda	
	A - Aterro de silte-arenoso, marrom e cinza ou marrom-avermelhado, com blocos, brita ou entulho.
	A - Aterro de silte, marrom e cinza, com blocos.
	A - Aterro de silte-argiloso, marrom-avermelhado.
	B - Areia fina siltsosa, cinza.
	B - Areia fina média, cinza.
	C - Areia de granulação variada (siltsosa no DW-02), cinza, com cascalhos.
	D - Argila siltsosa, plástica, cinza escura.
	E - Areia grossa siltsosa, cinza.
	E - Areia grossa de granulometria variada, cinza.

Perfil esquemático dos Poços de Monitoramento DW

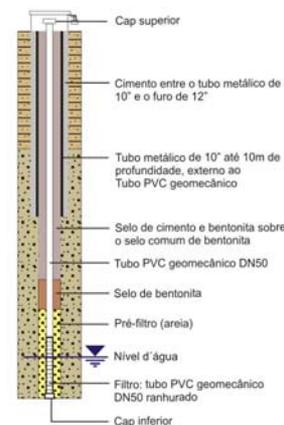


Figura 1: Perfis dos poços instalados

4. PADRÕES AMBIENTAIS APLICÁVEIS

Para discussão dos resultados utilizou-se como referência, a lista de Valores Orientadores para Solos e Águas Subterrâneas, publicada no Diário Oficial do Estado de São Paulo de 03/12/2005, conforme decisão de Diretoria Plena No 195-2005-E de

23/11/2005 que aprovou o relatório “Estabelecimento de Valores Orientadores para Solos e Águas Subterrâneas no Estado de São Paulo” elaborado pela CETESB.

Para determinados parâmetros que a CETESB não apresenta valores orientadores utilizou-se as referências internacionais como a chamada “Lista Holandesa” (Dutch Reference Framework - DRF) e aos PRG’s (Premilinary Remedial Goals) da EPA/Região IX, no entanto este procedimento só foi adotado para parâmetros que não constam na lista de valores estabelecida pela CETESB.

5. ÁREA DE TRABALHO

A área de estudo, localiza-se no município de Cubatão (SP) e os poços objeto do ensaio estão ilustrados na figura 2.

A área apresenta um aquífero livre e raso com aproximadamente 10 metros de profundidade da superfície do terreno limitado na base por uma camada de argila marinha (considerada como camada selante), cuja permeabilidade é da ordem de 10^{-8} cm/s, apresenta continuidade lateral e espessura da ordem de metros. Essas características conferem ao aquífero inferior uma condição de aquífero confinado não drenante, considerando-se que esta zona aquífera estende-se até o embasamento da bacia e sendo esta outra zona impermeável ou com permeabilidade muito baixa.

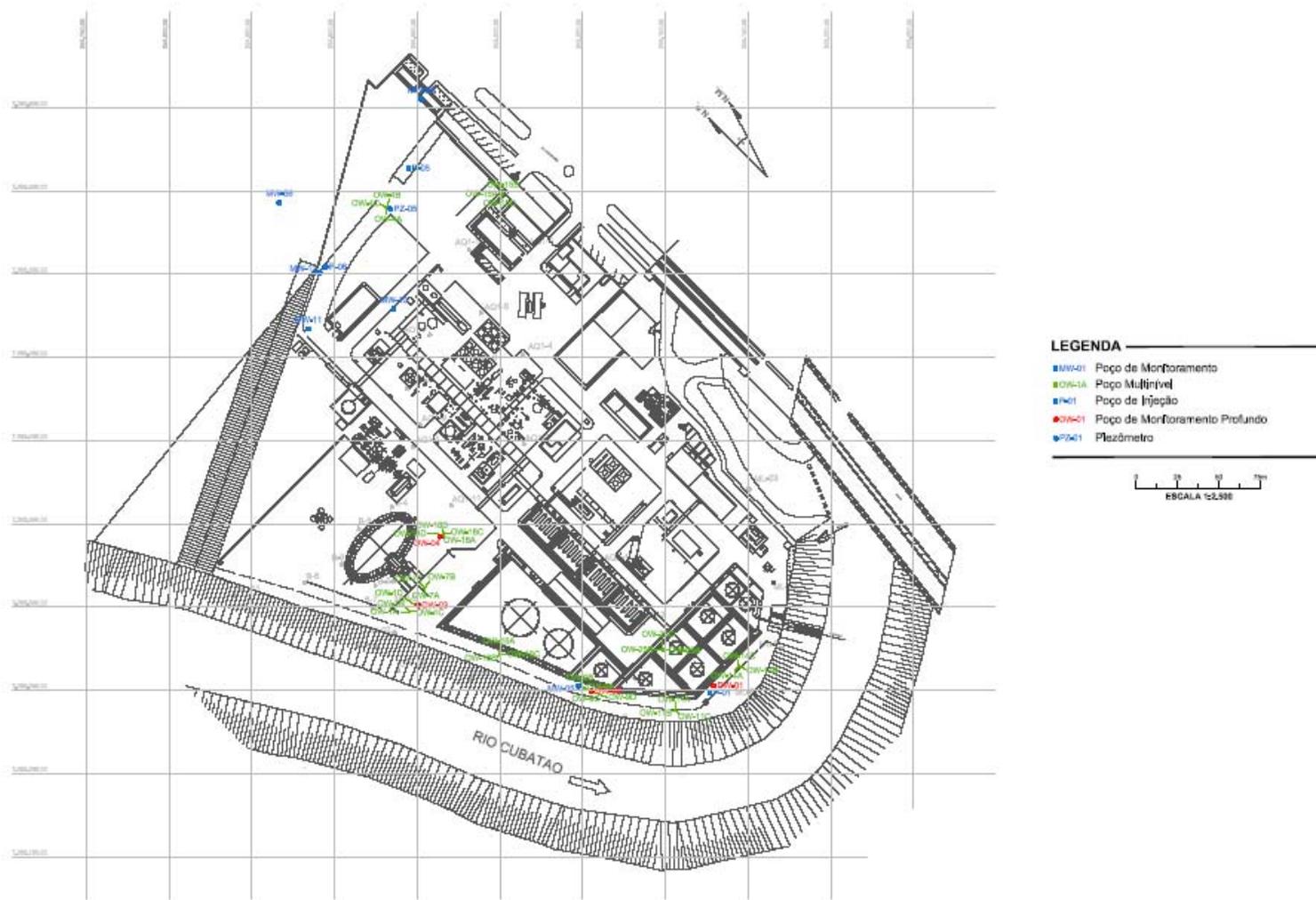


Figura 2: Localização da área e dos poços

6. RESULTADOS

6.1. Ensaio de Bombeamento

Dentre os ensaios realizados nos três poços de bombeamento foi possível quantificar a interferência gerada pela perda de carga apenas nos ensaios dos poços PT-06 e PT-01.

No ensaio realizado no PT-05 devido à baixa vazão obtida com esse poço (0,7 m³/h) não foi possível quantificar efeito de rebaixamento no poço PT-06 (utilizado no ensaio do PT-05 como poço de observação).

Os ensaios realizados nos poços PT-06 e PT-01 foram efetivos quanto à perda de carga hidráulica nos poços profundos de observação e serão detalhados nos itens subsequentes.

6.1.1. Ensaio do poço de abastecimento PT-06

A vazão média obtida durante o ensaio foi de 24 m³/h e foi realizado durante um período de 48 horas ininterruptas. Foram observados os níveis d'água em 07 poços de observação rasos e 01 poço de observação profundo.

Os poços de observação situados na porção superior do aquífero apresentaram curvas de variação dos níveis d'água com tendências semelhantes às curvas de variação do nível do mar, este padrão pode-se refletir no padrão de distribuição de frequências dessas variações devido à maré.

Os poços de observação rasos apresentaram-se muito susceptíveis às variações do nível do mar, com padrão de distribuição de frequências semelhantes aos verificados para a condição da oscilação da maré.

Durante o ensaio o poço PT-05 teve uma perda de carga de 3,25 m indicando um forte condicionamento pelo ensaio de bombeamento.

Na figura 3 está representada a curva de variações de nível d'água em função do tempo para os poços de bombeamento e de observação (ambos situados no aquífero confinado).

Como pode ser observado existe uma perda de carga gradual influenciada pelo bombeamento do PT-06. Nas condições normais as cargas hidráulicas do aquífero confinado são superiores aquelas observadas nos poços rasos. Como consequência o fluxo apresenta forte componente ascendente.

Com o efeito da perda de carga ocorre uma diferença de carga hidráulica que possibilita a alteração do sentido de fluxo da água entre os aquíferos. Na figura 4 está ilustrado o perfil geológico proposto e as condições de carga hidráulicas dos poços

profundos no momento inicial e final do ensaio e as cargas hidráulicas médias dos poços de observação rasos. Considerando se um efeito uniforme do cone de perda de carga pode-se determinar para a área um mapa das áreas afetadas pelo fenômeno, como está apresentado na Figura 6.

Sob esta condição o PZ-05 apresenta carga hidráulica de 4,63 m e o prolongamento do cone de perda de carga indica uma condição de 1,56 m (carga hidráulica do aquífero confinado abaixo do PZ-05). Em um aquífero confinado drenante o selo é considerado semipermeável, sendo sua permeabilidade muito baixa, porém diferente de zero. Considerando essa diferença de cargas hidráulicas e uma condutividade hidráulica de $1,11E-08$ cm/s (obtida pela média aritmética do logaritmo natural dos valores de condutividade hidráulica, como forma de normalização do resultado, dado o padrão de distribuição log normal verificado para o fenômeno da condutividade hidráulica (K) em Kitanidis, 1997).

Com base nesses dados, a taxa de infiltração vertical I_v , segundo Feitosa (1997) pode ser dado por:

1.

$$I_v = K' (H_1 - H) / b' \quad (1.1)$$

Onde:

K' = condutividade hidráulica da camada semipermeável.

H_1 = Carga hidráulica constante acima da camada semipermeável.

H = Carga hidráulica da camada aquífera confinada.

b' = espessura da camada confinante.

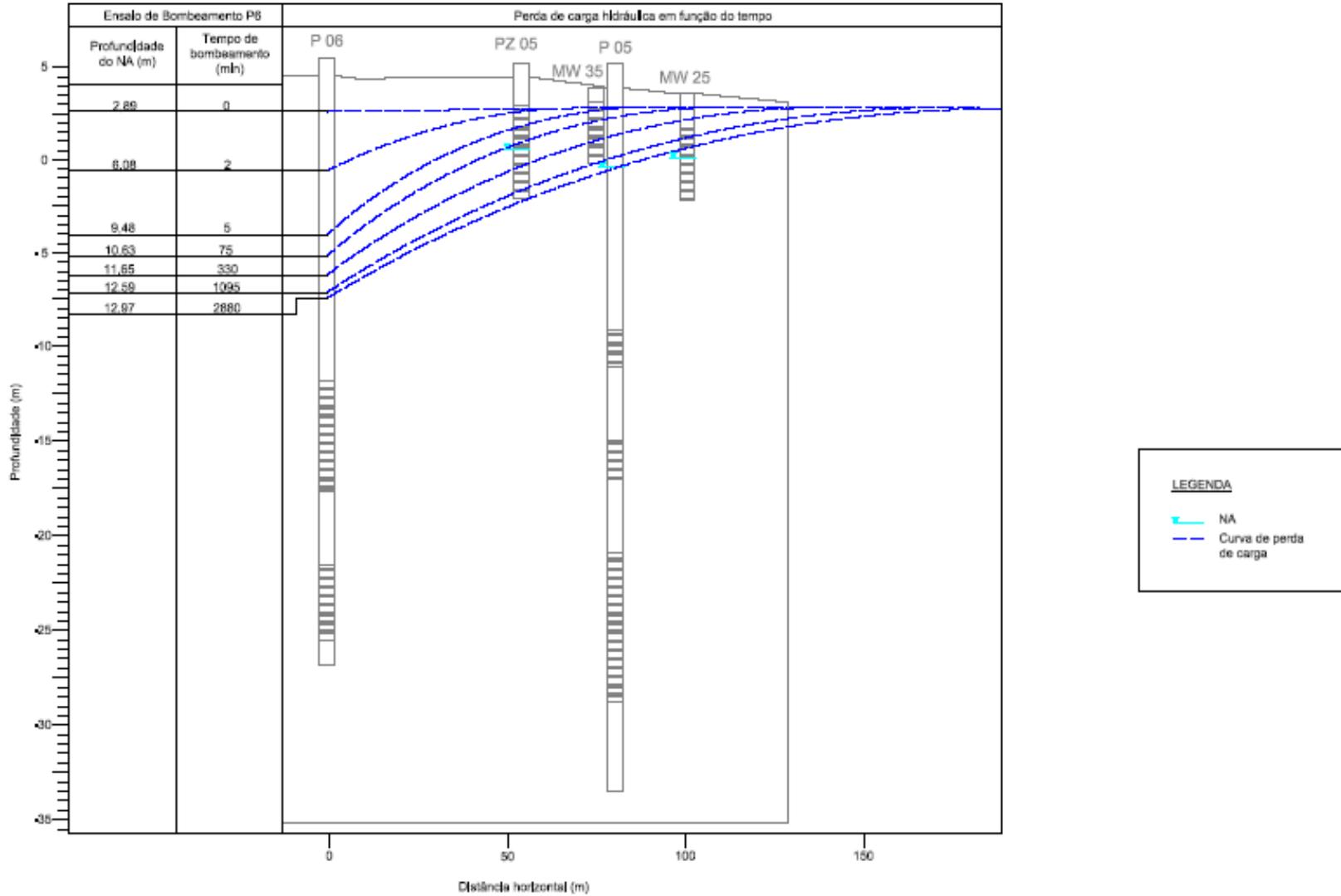


Figura 3: Avaliação da perda de carga hidráulica – ensaio P6

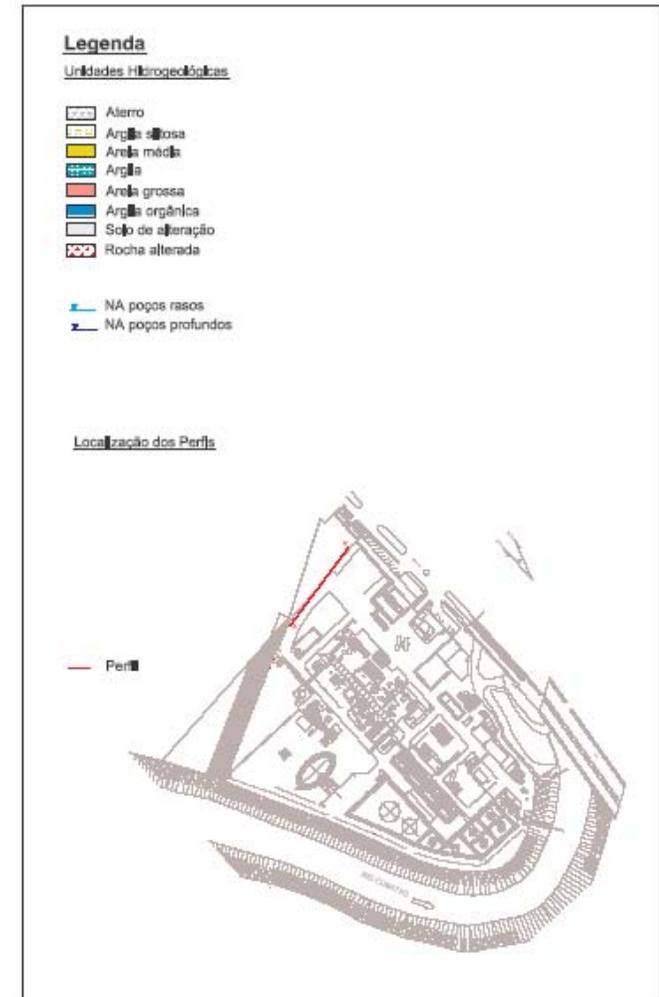
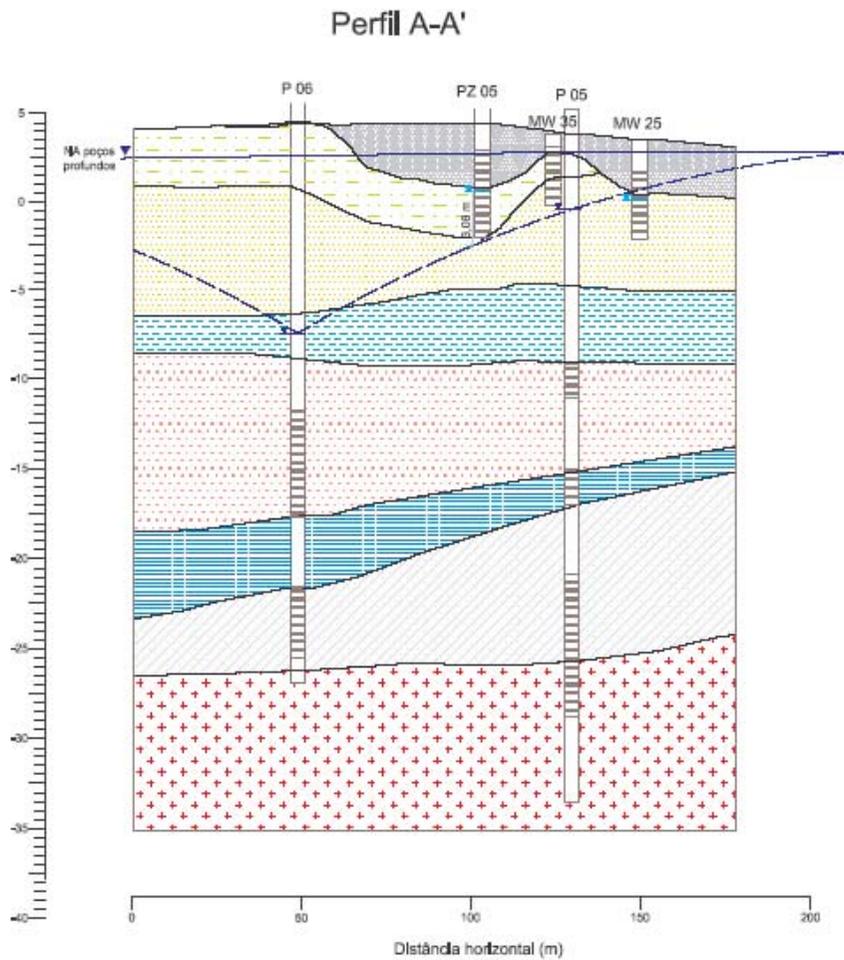


Figura 4. Perfil Geológico e Condições Hidrogeológicas

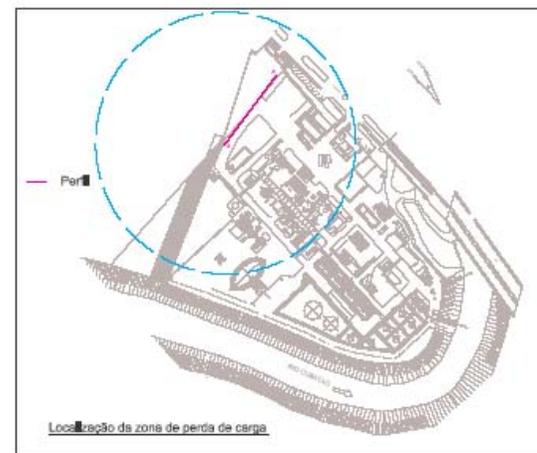
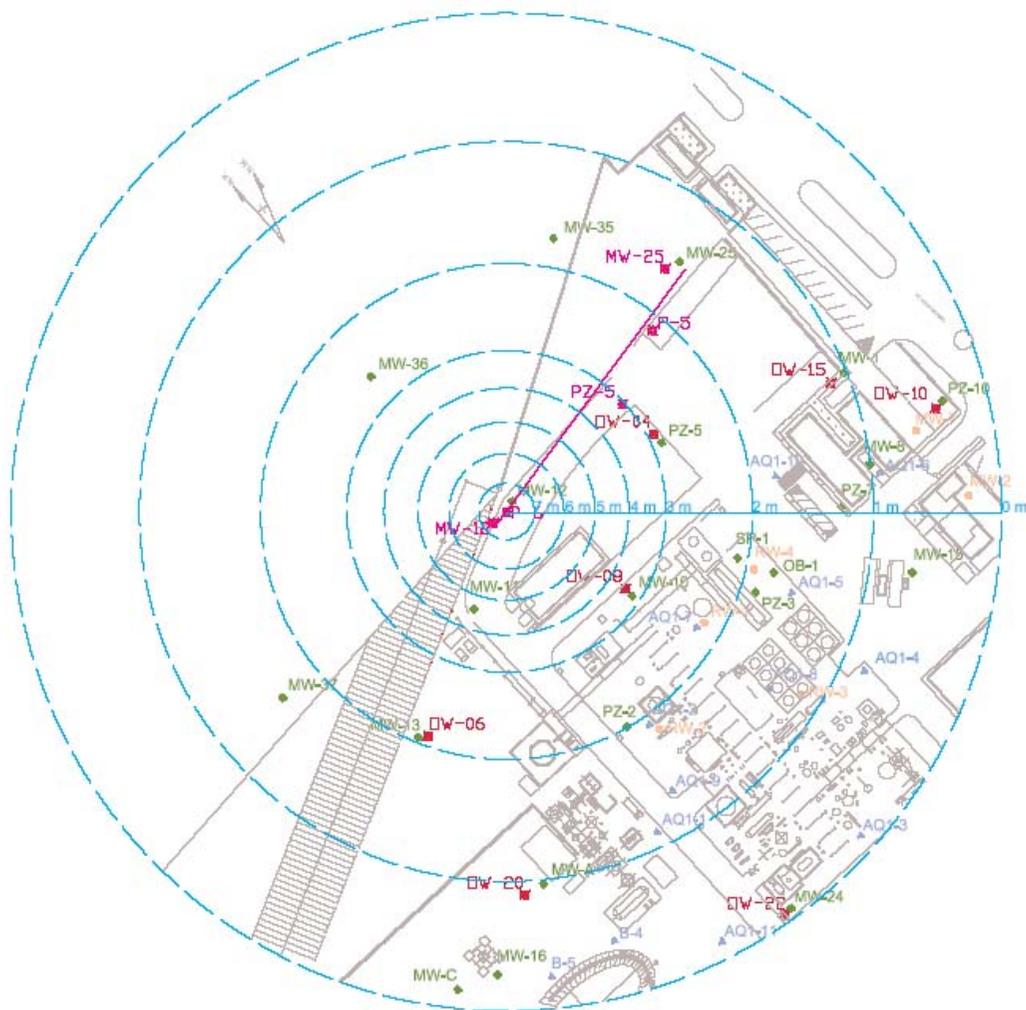


Figura 5. Zona de Influência do Ensaio de Bombeamento no PT-06

Com base nas informações apresentadas na figura 3 pode se calcular a taxa de infiltração de $8,095E-11$ m/s, considerando neste ponto a espessura de 4,23 m da camada de argila.

Considera-se também que o inverso da relação K'/b' como resistência da camada confinante (c):

2.

$$c = b'/K'$$

A resistência da camada confinante expressa o tempo que uma partícula situada acima da camada confinante levaria para chegar à base. Utilizando-se os mesmo dados pode-se calcular um valor de 1198,65 anos.

6.1.2. Ensaio do poço de abastecimento PT-01

A vazão média obtida durante o ensaio foi de $24 \text{ m}^3/\text{h}$ e foi realizado durante um período de 50,1 horas ininterruptas. Foram observados os níveis d'água em 05 poços de observação rasos e 04 poços de observação profundos.

Os poços de observação situados na porção superior do aquífero apresentaram curvas de variação dos níveis d'água fortemente influenciadas pela curvas de variação do nível do mar.

Conforme as curvas apresentadas na figura 6, é possível verificar os efeitos do fenômeno da maré e a sua interferência nos poços de monitoramento rasos, com exceção do OW-25C, que além de não apresentar uma resposta concordante com os demais poços, as cargas hidráulicas nesse ponto são as mais elevadas em comparação aos demais poços.

Esse fato possivelmente é condicionado pela localização do poço dentro de uma barreira de contenção, nesse caso a infiltração da água da chuva que pode se acumular na barreira ocasionaria a modificação das condições hidrogeológicas desse poço, outro fator que poderia gerar alteração do NA pode estar relacionado ao grau de compactação do solo.

Dentre os poços de observação, a maior amplitude verificada foi de 0,98 m (OW 11C) e a menor de 0,50 m (DW 03). Os dados dos demais pontos são apresentados nas Tabelas 2, 3 e 4.

Com base nesses resultados pode-se verificar que a influência da maré diminui com a profundidade e o afastamento de corpos aquosos que sofrem a efeitos de maré, no caso deste estudo trata-se do Rio Cubatão.

Vale ressaltar que além do efeito de maré o Rio Cubatão recebe um grande aporte de água vinda das comportas da usina de Henry Borden, sendo esse processo mais uma variante que pode causar modificações das vazões e variações de nível d'água no rio.

Na figura 6 são apresentadas as curvas de variação de nível d'água nos poços. Os poços de observação situados na porção superior indicam a influencia preponderante do efeito da maré e relativa ausência dos efeitos do ensaio de bombeamento sendo esses efeitos verificados apenas nos poços de observação profundos DW-01, DW-02, DW-03 e DW-04.

Durante o ensaio o poço DW-01 teve 0,9 m de variação máxima de amplitude, e o DW-03 teve a menor variação de amplitude (0,5 m) em comparação aos demais pontos de observação. Essa diferença pode ser explicada pela proximidade do poço DW-01 ao poço bombeado (PT-01) e a gradativa redução da influencia do ensaio de bombeamento nos poços mais distantes do poço bombeado.

Após o término do ensaio de bombeamento os *data loggers* permaneceram ativos o que possibilitou verificar as perdas de carga hidráulica no aquífero confinado não drenante para o abastecimento industrial.

Na figura 7 é apresentado um mapa de isolinhas representando as variações de carga hidráulica durante o período de maior perda de carga hidráulica registrada e a sua distribuição no plano horizontal.

Como pode ser verificado, as cargas hidráulicas, nos poços profundos, permaneceram maiores se comparadas às cargas hidráulicas dos poços rasos durante todo ensaio inclusive durante o período mais crítico (de maior perda de carga hidráulica). Desta forma são mantidas as condições da componente vertical de fluxo com sentido ascendente.

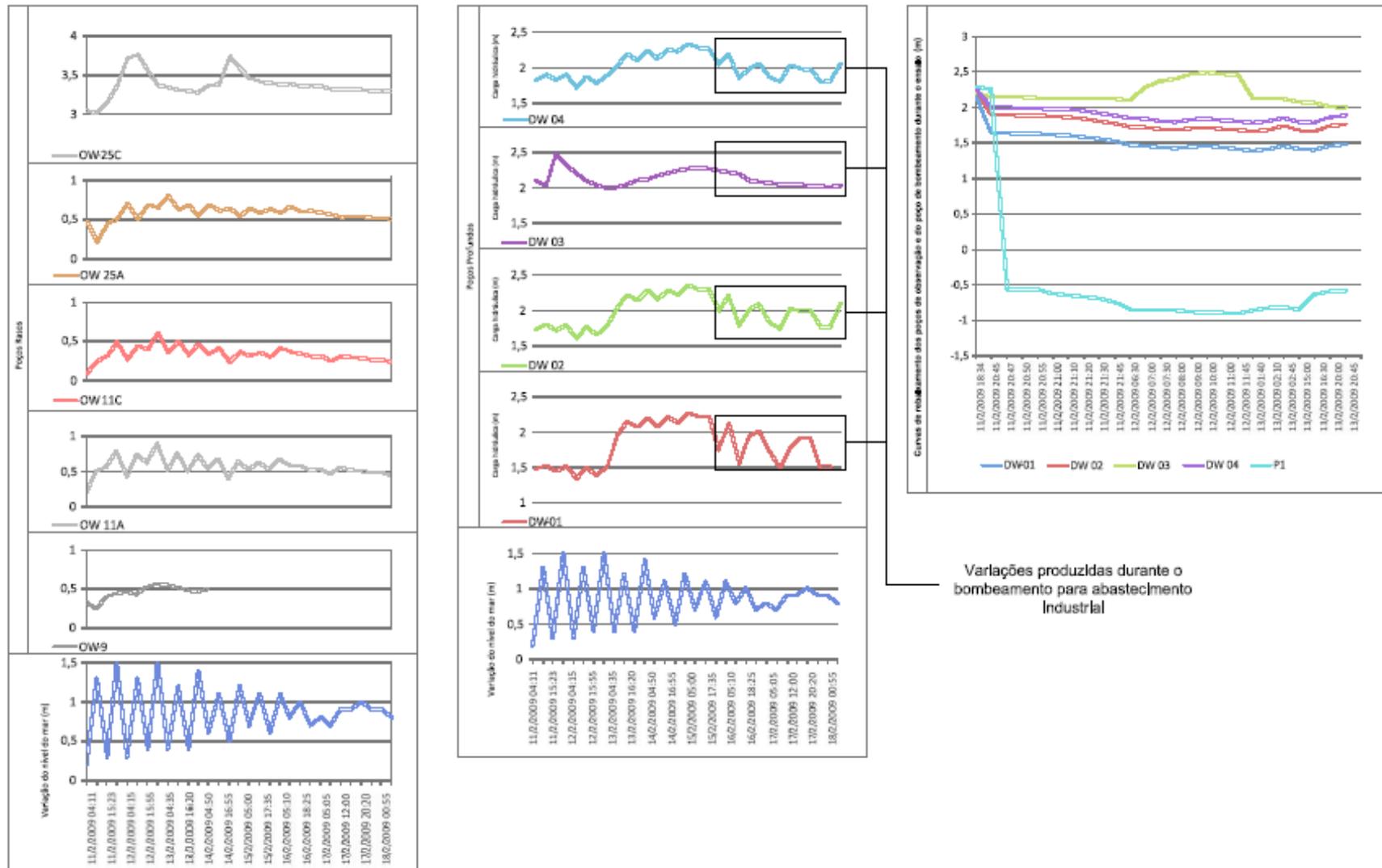
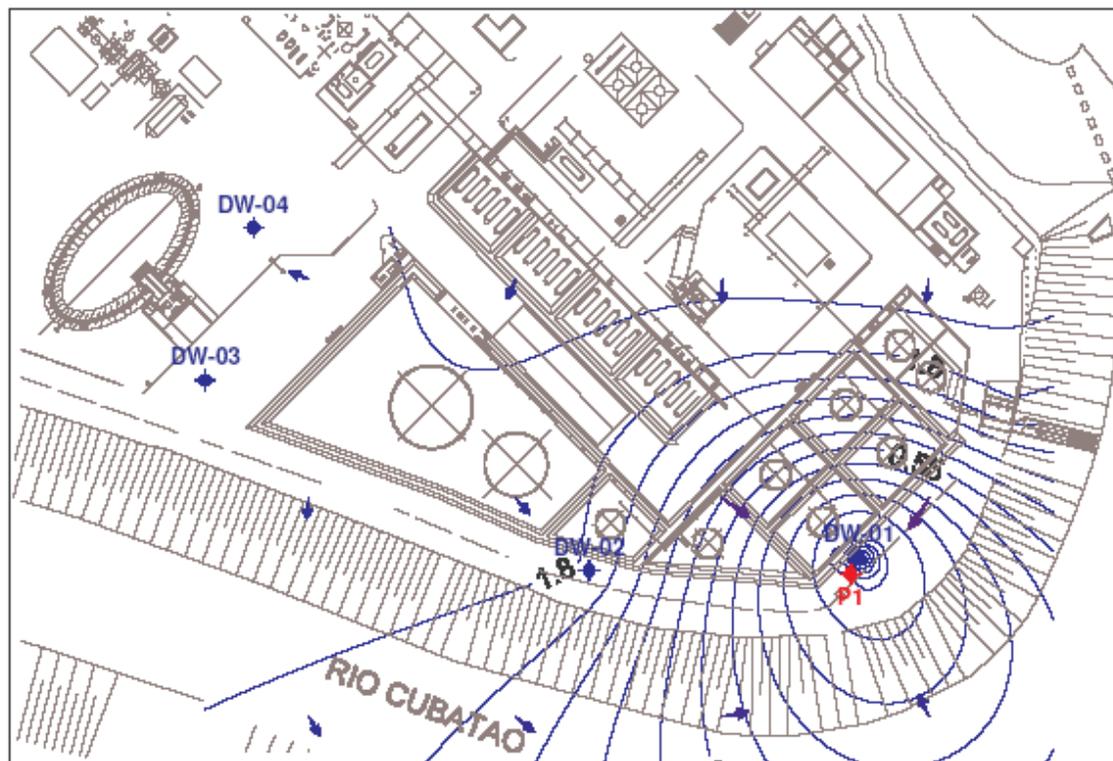


Figura 6. Curvas de variação da carga hidráulica durante o ensaio PT-01



Legenda:

-  Sentido de Fluxo da água subterrânea
-  Poço de Bombeamento
-  Poço de Observação
-  Linha Equipotencial Estimada

Escala Gráfica (m)

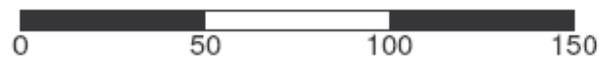


Figura 7: Perda máxima de carga hidráulica, aquífero confinado, ensaio do PT-01

6.2. Análises Químicas

Apenas o composto benzeno apresentou concentração superior ao limite de intervenção da Cetesb na amostra P-5 (no tempo 0), cujo valor foi de 12,38 ug/L. Nas demais amostras os compostos de interesse analisados foram quantificados em valores inferiores aos valores de intervenção da Cetesb e ou inferiores ao limite de quantificação do laboratório.

6.3. Ensaio de Condutividade hidráulica vertical

Os ensaios de permeabilidade nas amostras de argila marinha (DW-02, DW-03 e DW-04) foram realizados pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT) – Centro de Tecnologia de obras de Infra-Estrutura Seção de Geotecnia. Os coeficientes de permeabilidade obtidos para o topo da camada de argila marinha apresentam valores muito baixos condizentes com o tipo de sedimento verificado no local, $1,1 \times 10^{-8}$ a $9,1 \times 10^{-9}$ cm/s.

7. CONCLUSÕES E DISCUSSÕES

As conclusões referentes ao ensaio de bombeamento e dos resultados analíticos foram as seguintes:

- A área de estudo apresenta um aquífero livre e raso com aproximadamente 10 m de profundidade da superfície do terreno limitado na base por uma camada de argila marinha (considerada como camada selante), cuja permeabilidade é da ordem de 10^{-8} cm/s, apresenta continuidade lateral e espessura métrica. Essas características conferem ao aquífero inferior uma condição de aquífero confinado não drenante, considerando se que esta zona aquífera estende-se até o embasamento da bacia e sendo esta outra zona impermeável ou com permeabilidade muito baixa.
- As cargas hidráulicas observadas nos poços instalados no aquífero confinado não drenante apresentaram valores superiores em comparação com aqueles verificados nos poços rasos e por conseqüência a componente vertical do fluxo no aquífero confinado apresenta sentido ascendente quando as condições naturais são mantidas.
- Sob regime de bombeamento os poços PT-06 e PT-01 apresentaram vazões de 24 m³/h, sendo esta vazão suficiente para produzir perda de carga hidráulica nos demais poços instalados nessa mesma unidade aquífera. Sendo os efeitos do ensaio de bombeamento não perceptíveis nos poços do aquífero livre e raso.

- Durante o ensaio do PT-06 a perda de carga hidráulica verificada no P5 possibilitou estimar a distribuição das condições de carga hidráulica entre esses dois pontos. O rebaixamento máximo produzido no poço de observação (P5) foi de 3,25 m.
- Esta condição possibilita a inversão do sentido da componente vertical de fluxo entre as duas unidades hidroestratigráficas, sendo calculada uma taxa de infiltração do aquífero livre raso para o aquífero confinado não drenante no valor de $8,09E-11$ m/s, e a resistência da camada de argila foi estimada em 1198,65 anos.
- Ressalta-se que a resistência da camada de argila, mesmo sendo uma grandeza dependente apenas do coeficiente de armazenamento e da espessura da camada de argila, esse período de tempo poderia ser maior que o calculado devido a necessidade de inversão do sentido da componente de fluxo vertical. A qual ocorre de forma descontínua, ou seja, é dependente do efeito produzido pelo bombeamento.
- Além da baixa taxa de infiltração pela camada de argila o fato dessa camada ser rica em matéria orgânica possibilita a adsorção, pela fração de carbono orgânico, dos compostos orgânicos que são encontrados no aquífero livre e raso.
- O ensaio efetuado no PT-01 apesar de apresentar uma vazão de $24 \text{ m}^3/\text{h}$, não foi suficiente para produzir uma perda de carga nos poços profundos do entorno de forma que ocorresse o fenômeno de inversão do sentido da componente de fluxo vertical.
- Os poços instalados no aquífero livre e raso apresentaram-se muito susceptíveis às variações do nível do mar, com padrão de distribuição de frequências semelhantes aos verificados para a condição da oscilação da maré.
- Os poços de observação, situados mais distantes do Rio Cubatão, apresentaram tendência de atenuação dos efeitos da maré em comparação aos locais próximos ao rio e respondem com elevação dos valores de carga hidráulica nos períodos de menores variações do nível do mar, sendo nesses períodos aqueles cujo nível do mar é constantemente mais elevado. Nos poços de observação instalados nas proximidades do rio os maiores valores de carga hidráulica são verificados em fase com os ciclos de maior variação do nível do mar.
- A componente de fluxo ascendente indica baixa probabilidade de contaminação do aquífero inferior pelas concentrações de benzeno encontradas no aquífero superior, mesmo quando os poços de bombeamento encontram-se em produção.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT. NB-1290. Construção de Poço para Captação de Água Subterrânea. Março de 1990.

Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT. NBR-12212. Projeto de Poço para Captação de Água Subterrânea. Abril de 1992.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. Poços de Monitoramento de Águas Subterrâneas em Aqüíferos Granulares, Parte 1 – Projeto e Construção: NBR 15495-1. Rio de Janeiro: ABNT, 2007, 25 p.

CETESB - Companhia de Tecnologia e Saneamento Ambiental. Guia de coleta e preservação de amostras de água. São Paulo, 1988. 150p.

CETESB, 2001 (Companhia de Tecnologia e Saneamento Ambiental do Estado de São Paulo) – Relatório de Estabelecimento de Valores Orientadores para Solo e Águas Subterrâneas no Estado de São Paulo. Série Relatórios Ambientais.

FEITOSA, F.A.C e FILHO, J.M. (coord) – Hidrogeologia: Conceitos e Aplicações. Fortaleza: Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais, LABHID-UFPE, 1997. 412p.

KITANIDIS, P.K. - Introduction to Geostatistics – Applications in Hydrogeology. Cambridge University Press, 1997. 249 p.