

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

**HIDROGEOLOGIA URBANA: UM ESTUDO DA
RECARGA EM UM AQUÍFERO LIVRE E RASO**

Paulo Lojkasek Lima

Orientador: Prof. Dr. Ricardo César Aoki Hirata

Co-orientador: Dr. Reginaldo A. Bertolo

MONOGRAFIA DE TRABALHO DE FORMATURA
(TF-27/2002)

SÃO PAULO
2002

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

HIDROGEOLOGIA URBANA: UM ESTUDO DA RECARGA EM
UM AQÜÍFERO LIVRE E RASO

Paulo Lojkasek Lima



Orientador: Prof. Dr. Ricardo C. A. Hirata
Co-orientador: Dr. Reginaldo A. Bertolo

Monografia de Trabalho de Formatura

(TF2002/27)

DEDALUS - Acervo - IGC



30900011653

SÃO PAULO
2002

TF
L732
PL. h

DOAÇÃO IEL - USP
Data: 20 / 03 / 03

**Aos meus avós
Getúlio & Noemia
Antonin & Lilly**

ÍNDICE

Agradecimentos	i
Resumo	ii
Abstract	iii
I. INTRODUÇÃO	1
II. ASPECTOS TEÓRICOS	2
II.1. RECARGA	2
II.2. LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	4
II.3. HIDROGEOLOGIA REGIONAL	4
III. MATERIAIS E MÉTODOS	9
III.1. ZONIFICAÇÃO DAS ÁREAS DE RECARGA DO AQUÍFERO LOCAL	9
III.2. INSTALAÇÃO DE POÇOS DE MONITORAMENTO E TESTES HIDRÁULICOS	9
III.3. AMOSTRAGEM DE ÁGUA SUBTERRÂNEA	10
III.4. TRATAMENTO DOS DADOS E CONFIABILIDADE DOS RESULTADOS ANALÍTICOS	11
III.5. PIEZOMETRIA	11
IV. APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	12
IV.1. GEOLOGIA E HIDROGEOLOGIA LOCAL	12
IV.2. ZONIFICAÇÃO DE ÁREAS LIVRES E ESTRUTURAS	22
IV.3. VARIAÇÕES DOS NÍVEIS POTENCIOMÉTRICOS X PLUVIOMETRIA	24
IV.4. MAPAS POTENCIOMÉTRICOS	28
IV.5. ESTUDO DOS PADRÕES DE FLUXO DA ÁGUA SUBTERRÂNEA	37
IV.6. QUANTIFICAÇÃO DA RECARGA PELO MÉTODO DA VARIAÇÃO DOS NÍVEIS POTENCIOMÉTRICOS	44
IV.7. QUANTIFICAÇÃO DA RECARGA PELO MÉTODO DO BALANÇO HÍDRICO	45
IV.8. MÉTODO DO BALANÇO HÍDRICO X MÉTODO DA VARIAÇÃO DOS NÍVEIS POTENCIOMÉTRICOS	46
IV.9. HIDROGEOQUÍMICA	47
V. CONCLUSÕES	51
VI. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	52

AGRADECIMENTOS

Primeiramente gostaria de agradecer a Deus por tudo.

Agradeço a meus pais pela minha educação e por terem me criado com muito amor e carinho; a meus irmãos Edu e Cacá pela grande amizade e convivência ao longo destes anos; a toda minha família pelo grande suporte que ela representa.

A meus orientadores Prof. Ricardo Hirata e Reginaldo Bertolo, pela orientação e discussões essenciais para realização deste projeto.

Ao geólogo Duane Wanty, por permitir a realização deste trabalho na área de estudo.

Ao geólogo Paulo Valle, pela confiança em meu trabalho e pelo grande incentivo profissional que representa; a geóloga Fabíola Rossato, pelas discussões construtivas e pela grande boa vontade e apoio demonstrado, e ao Paulo Casado pela sempre boa vontade demonstrada e grande ajuda na confecção das figuras.

A empresa ERM BRASIL LTDA pela disponibilização de recursos e suporte, a toda equipe de trabalho (Pedrão, Alaine, Sasha, Miguelito, Jason, João, Maurício, Ricardo, Susanne, Sander, Diego, Miguel, Vanessa, Fabiana, Juliana, Aldérico, Ferlin e Ademar) e Samara pelo apoio e pela boa convivência diária, aos desenhistas Enrico e Rodrigo e ao Fernandinho pela boa vontade e ajuda na edição das figuras.

Aos meus amigos de infância: Dani, Pops, Elasticon, Mato, Ricardinho, Tronos, Enrico, Tiago e Victor, pela grande amizade e pelas inúmeras risadas.

Aos amigos da Geo: 2B, Tracejo, Klein, Dentão, Macaco, Mocozado, Hinfeliz, KiKi, Kagohara, Máfia Lee (Severa, Cheng e Monge), Balboa, Timão, Mórtis, 5-Minutos; pelas risadas e pelas baladas geológicas.

A toda turma de 1998 e aos demais, pelos campos memoráveis e pela convivência ao longo destes anos.

Aos pesquisadores do Laboratório de Modelos Físicos, pelas discussões e boa vontade demonstrada.

Agradeço a Juliana Baitz Viviani, minha namorada, pelo grande foco que representa em minha vida, pelo respeito, confiança e carinho demonstrado, pela grande paciência demonstrada nos momentos difíceis e; à sua família pela amizade, confiança e carinho demonstrado.

E a todas pessoas, que de alguma forma contribuíram para meu desenvolvimento pessoal e profissional.

RESUMO

Uma unidade industrial desativada, com área de 3.313 m², localizada na Região Metropolitana de São Paulo, tem sido monitorada à raiz de um problema de contaminação de solo e água subterrânea. Este monitoramento tem demonstrado que o fluxo regional da água subterrânea identificado na área é de leste para oeste. Localmente, observa-se que a porção superior do aquífero poroso, apresenta uma inversão no sentido de fluxo em relação ao padrão regional, devido à presença de vazamentos da rede de água e esgoto como fontes pontuais de recarga induzida associadas. As unidades hidrogeológicas subjacentes, que compõem este aquífero, por sua vez, obedecem o sentido esperado de fluxo, associado aos padrões regionais.

A recarga natural calculada pelos métodos da variação dos níveis potenciométricos e o balanço hídrico representaram valores de recarga equivalentes a 16% e 30% do total de chuvas, respectivamente. Esta diferença de valores deve-se ao fato de que o método de balanço hídrico não considera as taxas de escoamento superficial, sendo estas amplamente presentes em áreas urbanizadas. Considerando-se o cálculo de escoamento superficial, os valores dos dois métodos se aproximam.

A criação do modelo conceitual consistente de fluxo da água subterrânea só foi possível com o estudo em escala de detalhe, permitindo o entendimento dos processos hidrodinâmicos atuantes e dos fluxos advectivos do contaminante na área de estudo.

ABSTRACT

An inactive industrial facility, with an area of 3.313 m², located in the Metropolitan Region of São Paulo, has been monitored due to a soil and water contamination problem. This survey has shown that the regional groundwater flow identified in the area is from east to west. Locally, there is an inversion on the sense of flow, compared to the regional pattern, due to leakage of the sewage and stormwater system as associated punctual sources of artificial recharge. The underlying hydrogeological units follow the expected sense of flow, related to the regional patterns.

The natural recharge calculated by methods based on the variation of potentiometric levels and the water balance show values of recharge about 16% and 30% of the total of rainwater, respectively. This difference on the values calculated is because the method of water balance does not consider the runoff, which is very important on urbanized areas. Considering the runoff, the difference of values obtained for both methods are extremely diminished.

The construction of a consistent conceptual model for the groundwater flow was only possible because of the detailed-scale study, providing the understanding of the active hydrodynamic processes and the advective fluxes of the contaminant on the studied area.

I. INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, principalmente em áreas urbanizadas e industrializadas vem se desenvolvendo no campo da hidrogeologia uma série de estudos voltados ao monitoramento da qualidade da água subterrânea. Este trabalho, na maioria das vezes, está vinculado a problemas de contaminação de aquíferos. Na Região Metropolitana de São Paulo, por exemplo, são vários os casos de contaminação das águas subterrâneas causados por atividades industriais. Grande parte das indústrias estão situadas em áreas de baixo relevo, em antigas áreas de várzea e planícies de inundação, geralmente associadas a aquíferos livres, caracterizados por espessura reduzida da zona não saturada, apresentando, desta maneira, grande vulnerabilidade à contaminação.

Os estudos realizados para o monitoramento da qualidade da água, envolvem a criação de um modelo hidrogeológico conceitual da área impactada, como ferramenta principal para o entendimento do padrão de comportamento da pluma de contaminação presente. Tal processo nem sempre é tão simples, principalmente em áreas onde a interferência urbana causa modificações nos padrões naturais de circulação da água subterrânea.

Um problema de contaminação de solo e água subterrânea em uma área industrial desativada de 3.313 m², localizada na Região Metropolitana de São Paulo, tem sido monitorada. Esse monitoramento, conforme a interpretação dos mapas potenciométricos indicou uma rápida variação das cargas hidráulicas dos poços rasos ao longo dos meses. Acreditava-se que esta variação estivesse relacionada a recarga natural diferenciada (áreas com diferentes potenciais de infiltração) e induzida do aquífero freático local. Neste contexto, foi proposto inicialmente neste projeto, a realização de testes de infiltração (para obtenção de valores de condutividade hidráulica da zona não saturada) e a quantificação da recarga natural em escala de detalhe. O desenvolvimento do projeto, com a instalação de novos poços de monitoramento, mostrou que, tais fatores estão basicamente relacionados a particularidades geológicas que, somados a interferência urbana (recarga induzida), geram variações nos níveis potenciométricos registrados nos poços.

O objetivo deste projeto é a criação de um modelo conceitual de fluxo da água subterrânea, considerando os efeitos da interferência urbana nos processos naturais de circulação da água subterrânea e verificar a aplicabilidade de diferentes métodos de quantificação de recarga para a área de estudo.

O estudo adquire importância também, uma vez que há deficiência em trabalhos correlatos ao tema disponíveis na literatura brasileira.

Este projeto foi realizado com o apoio da ERM BRASIL LTDA, tendo como restrição a divulgação de nomes de localidades e clientes envolvidos, devido à questão contratual de confidencialidade.

II. ASPECTOS TEÓRICOS

II.1. Recarga

Em áreas urbanizadas, a impermeabilização de terrenos e o aumento de áreas cobertas, associados à presença de redes de drenagem artificiais, modificam os padrões naturais de recarga da água subterrânea.

Sabe-se que a recarga em uma área urbanizada tende a ser maior que em uma área equivalente agrícola, devido às perdas de água pela rede de água e esgoto, irrigação de jardins, entre outros (Foster *et al.* 1999).

Segundo Lerner (2002), para a quantificação da recarga em ambiente urbano em escala de detalhe é necessário o mapeamento de canais de água e esgoto, redes de coleta de águas pluviais, tanques sépticos, áreas de irrigação e superfícies impermeáveis, visando identificar pontos de recarga associados a estas estruturas. Nesta escala de estudo, o autor recomenda a utilização de assinaturas químicas para detecção das taxas de recarga.

? ↳ hidrologia química

O autor ainda afirma que fontes pontuais de recarga contínua, como vazamentos de canos de água e esgoto, causam, localmente, aumentos constantes dos níveis piezométricos. Fontes de recarga intermitentes, como redes de coleta de águas pluviais, causam respostas transientes aos níveis piezométricos. Neste contexto, é recomendável uma densidade suficiente de medições dos níveis piezométricos para identificação da resposta do aquífero às fontes de recarga citadas acima.

Para um estudo de estimativa da recarga de um aquífero devem ser utilizadas técnicas diferentes e independentes, comparando os resultados para uma checagem e confiabilidade dos dados.

Neste trabalho os métodos utilizados para estimativa da recarga para área de estudo foram:

Flutuação dos níveis de água do aquífero: baseia-se na relação entre a variação do nível de água em um aquífero não confinado motivada pela recarga (Healy & Cook, 2002). A recarga (R), portanto, é estimada pela equação:

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

Onde:

S_y = vazão específica;

Δh = variação no nível d'água;

Δt = tempo

O método é aplicado de melhor forma quando a resposta à recarga é rápida e o nível de água próximo à superfície. A dificuldade deste método é a de determinar um valor representativo para a vazão específica e de separar a proporção que se deve à recarga e a de outras origens (flutuações devido à pressão atmosférica, presença de trapeamento de ar pela frente de molhamento ou interferência de poços em bombeamento) (Scanlon *et al.* 2002). Lerner (2002) alerta quanto à aplicação do método em áreas urbanas, pois sua sensibilidade é baixa para identificar as recargas contínuas (como de fuga da rede de água e esgoto).

Balanço hídrico: parte da estimação do balanço de umidade na zona não saturada, através do cálculo das entradas (precipitação) e saídas (evapotranspiração, escoamento superficial) de água ao longo do tempo (Hillel 1980, Rosenberg *et al.* 1983, Pinto & Zullo Jr s/d). É um dos métodos mais utilizados na América Latina, sobretudo devido aos trabalhos e simplificações adotados por Thornthwaite (1955). É um método fácil de utilizar, porém tem diversos erros associados, como pela estimativa de fluxos em tempestades ou em fortes chuvas tropicais, na avaliação da evapotranspiração e no estabelecimento do escoamento superficial (Lerner *et al.* 1990).

Método Baseado em Assinatura Química: as assinaturas químicas das águas subterrâneas são usadas no campo da hidrogeologia para identificar a natureza e origem das águas, e como traçadores de fontes secundárias de recarga. Tais assinaturas são definidas pela concentração de diversos solutos nas águas subterrâneas (Lerner, 2002):

- Inorgânicos: cátions maiores (Ca^{+2} , Mg^{+2} , K^+ e Na^+), ânions (HCO_3^- , SO_4^{-2} e Cl^-), NO_3^- , NH_4^+ , metais (Fe^{2+} , Mn^{2+} , e metais traços), e outros íons menores (PO_4^{-3} , Sr^{+2} , F^- , Br^-);
- Orgânicos: os mais importantes são os clorofluorocarbonos (CFCs), trihalometanos (THMs), componentes fecais (coprostanol e 1-aminopropanona), compostos relacionados a detergentes, compostos químicos industriais (incluindo solventes clorados e hidrocarbonetos);
- Particulados: espécies microbiológicas fecais e várias partículas coloidais;

O uso de diversos traçadores combinados pode aumentar a confiabilidade do resultado, sendo, deste modo, recomendável.

II.2. Localização e caracterização da área de estudo

A área selecionada para o desenvolvimento do trabalho (Figura 01) situa-se à rua Armando Baitz (nome fictício), número 2.605, cidade de São Paulo, possuindo um total de 3.313 m², constituída por um galpão central (área coberta) com cerca de 1.890 m² metros e por corredores externos (área livre).

A área está geograficamente localizada em uma planície de inundação, caracterizada por superfícies planas e áreas de várzea, com altitude média de 726 msnm (Figura 02), estando regionalmente situada a dois quilômetros a sudoeste do divisor de drenagem de águas superficiais, cerca de um quilômetro a leste de um rio de grande porte e a meio quilômetro seus afluentes (Figura 03).

II.3. Hidrogeologia Regional

A área de estudo situa-se na Região Metropolitana de São Paulo, abrangendo principalmente coberturas colúvio-aluvionares de idade quaternária, terrenos sedimentares terciários da Bacia de São Paulo e significativa extensão de terrenos cristalinos pré-cambrianos (DAEE, 1975).

O embasamento cristalino é composto basicamente por rochas metamórficas (granito-gnaise, migmatito, milonito, xistos e quartzitos) relacionadas ao Complexo Embu e aos grupos São Roque e Serra do Itaberaba (Juliani, 1992) e granitos sin-pós tectônicos (Riccomini, 1989).

A Bacia Sedimentar de São Paulo integra o Rift Continental do Sudeste do Brasil – RCSB, em conjunto com outras bacias tafrogênicas continentais. Os depósitos sedimentares terciários da Bacia de São Paulo compreendem, do ponto de vista litoestratigráfico, a uma seqüência constituída pelas Formações Resende, Tremembé e São Paulo, reunidas no Grupo Taubaté, superposto pela Formação Itaquaquetuba (Riccomini, 1989).

A Formação Resende corresponde a depósitos de leques aluviais proximais que gradam a depósitos de rios entrelaçados. A Formação Tremembé compreende os depósitos lacustres representados pela interdigitação de argilas, enquanto a Formação São Paulo corresponde a depósitos de sistema fluvial meandrante, constituídos por arenitos grossos, conglomeráticos, e arenitos de granulação média a grossa. A Formação Itaquaquetuba apresenta depósitos típicos de sistema fluvial entrelaçado (Riccomini *et al.*, 1992).

As coberturas neocenozóicas abrangem um conjunto de depósitos colúvio-aluviais, de pequena espessura e distribuição restrita. Tais coberturas têm ocorrência significativa

na Região Metropolitana, onde se destacam os depósitos aluviais situados em planícies dos rios Tiête, Pinheiros, Tamanduateí, Aricanduva, Cabuçu e seus principais tributários, cobertos por camadas de aterro (Takyia, 1997).

Segundo Melo *et al.* (1987), as coberturas pleistocênicas são caracterizadas por depósitos coluvionares argilo-arenosos, com lentes mais argilosas e aluviões predominantemente arenosos, de granulação fina a grossa, com porções argilosas. As coberturas holocênicas são representadas por coluviões e aluviões em áreas de várzea e baixos terraços, caracterizadas predominantemente por conglomerados.

Este contexto geológico suporta a Bacia Hidrogeológica do Alto Tiête, a qual possui duas unidades distintas (Hirata & Ferreira, 2001):

- *Sistema Aquífero Cristalino (SAC)*, desenvolvido no embasamento cristalino proterozóico. Este sistema é definido por duas unidades aquíferas: o Aquífero de Rochas Granitóides e o Aquífero de Rochas Metassedimentares.

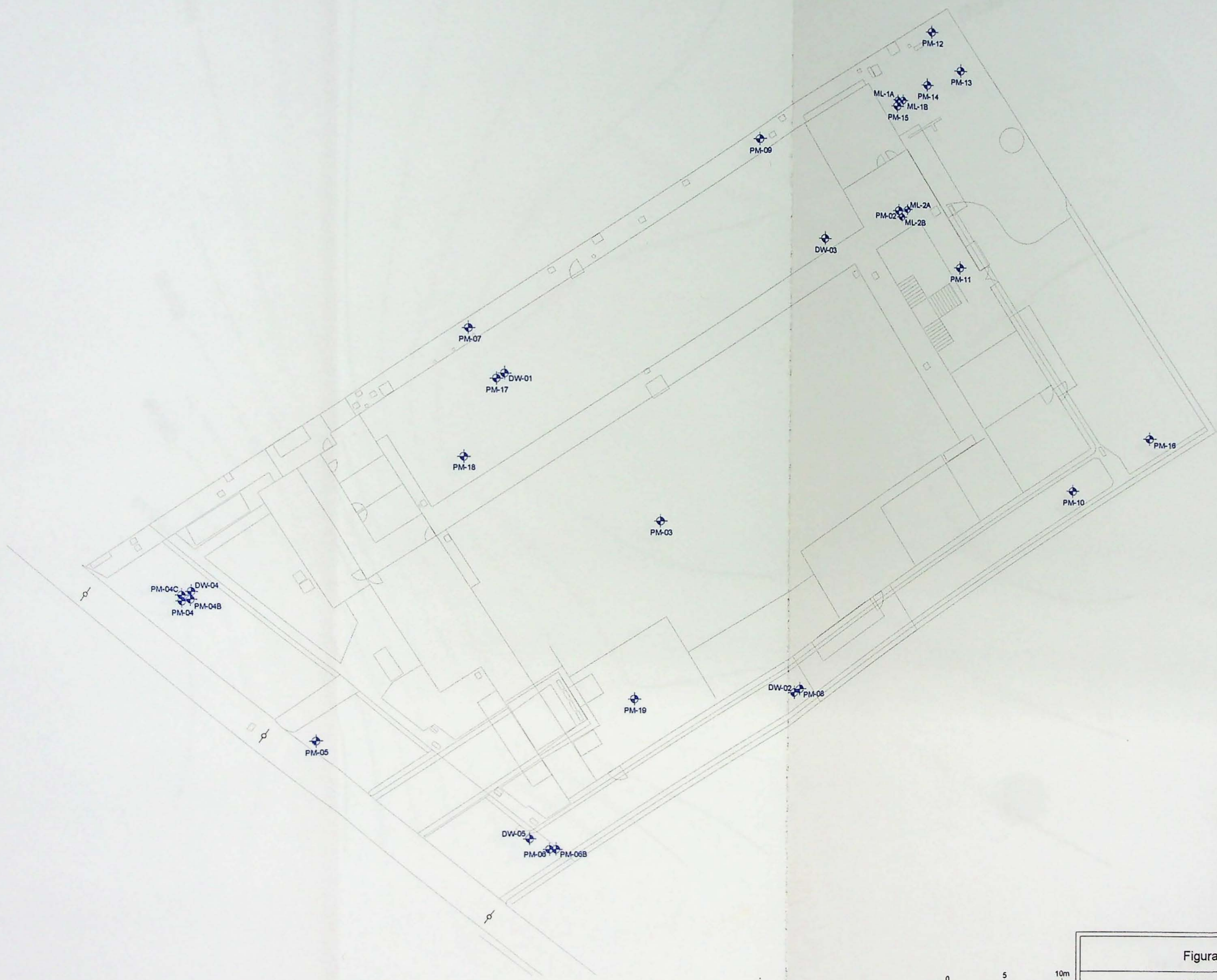
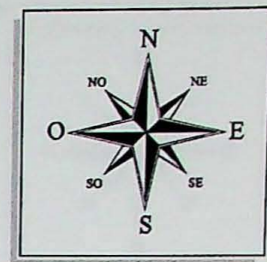
Os limites do SAC coincidem aproximadamente com os divisores de drenagem superficial, nas cotas de 800 a 1.000 metros sobre o nível do mar (msnm), possuindo distribuição em área de 4.238 km².

Pode ser subdividido, segundo seu comportamento hidráulico, em duas unidades. A primeira delas está relacionada a rochas saprolíticas, conformando um aquífero de porosidade primária intergranular e localmente com porosidade de fraturas, sendo bastante heterogêneo, com espessura média de 50 m. Sob o manto de intemperismo, ocorre o aquífero cristalino propriamente dito, caracterizado por porosidade de fraturas, de caráter heterogêneo e anisotrópico. Tais unidades apresentam-se por vezes conectadas hidraulicamente.

- *Sistema Aquífero Sedimentar (SAS)*, formado pelos sedimentos terciários das formações São Paulo e Resende (Riccomini, 1989) e pelos depósitos aluvionares quaternários constituintes da áreas de várzeas do rio Tietê e seus tributários. Este sistema é definido por duas unidades aquíferas: o Aquífero Resende e o Aquífero São Paulo.

O SAS possui distribuição em área de 1.452 km², com espessura média de 100 m, fortemente heterogêneo e anisotrópico, com porosidade intergranular, de caráter livre a semi-confinado.

A recarga dos sistemas aquíferos se dá pelo mecanismo natural, correspondendo a águas provenientes da precipitação que infiltram e atingem o aquífero; e o induzido, representado pela infiltração proveniente das fugas da rede de água e esgoto e dos drenos pluviais.



LEGENDA	
	POÇO DE MONITORAMENTO RASO
	POÇO DE MONITORAMENTO PROFUNDO
	POÇO MULTINIVEL

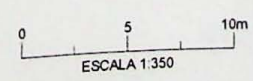
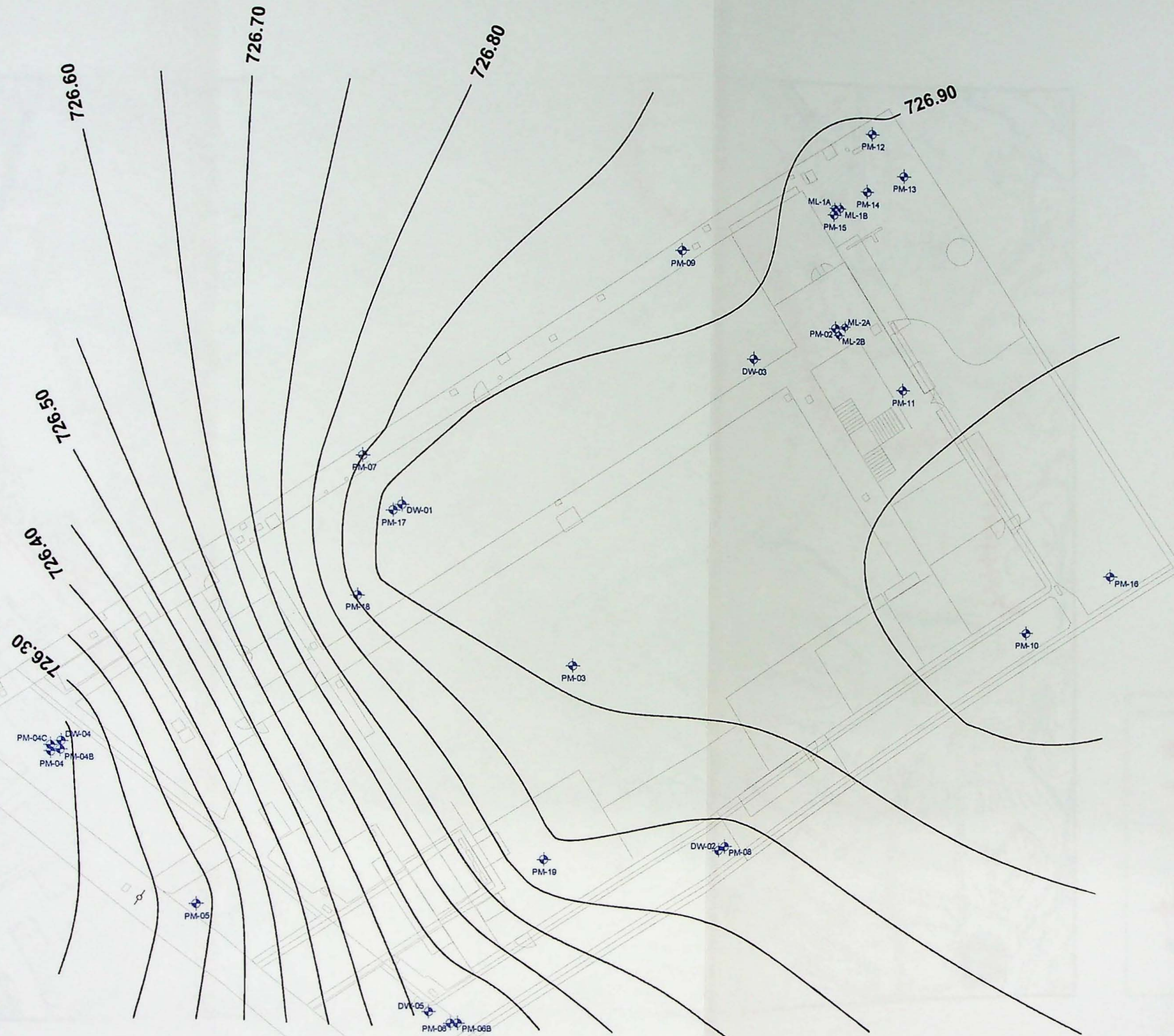
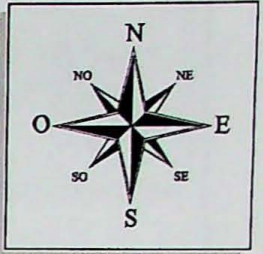


Figura 01 - Layout da Área

TRABALHO DE FORMATURA
Instituto de Geociências - USP





LEGENDA	
	POÇO DE MONITORAMENTO RASO
	POÇO DE MONITORAMENTO PROFUNDO
	POÇO MULTINÍVEL

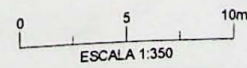
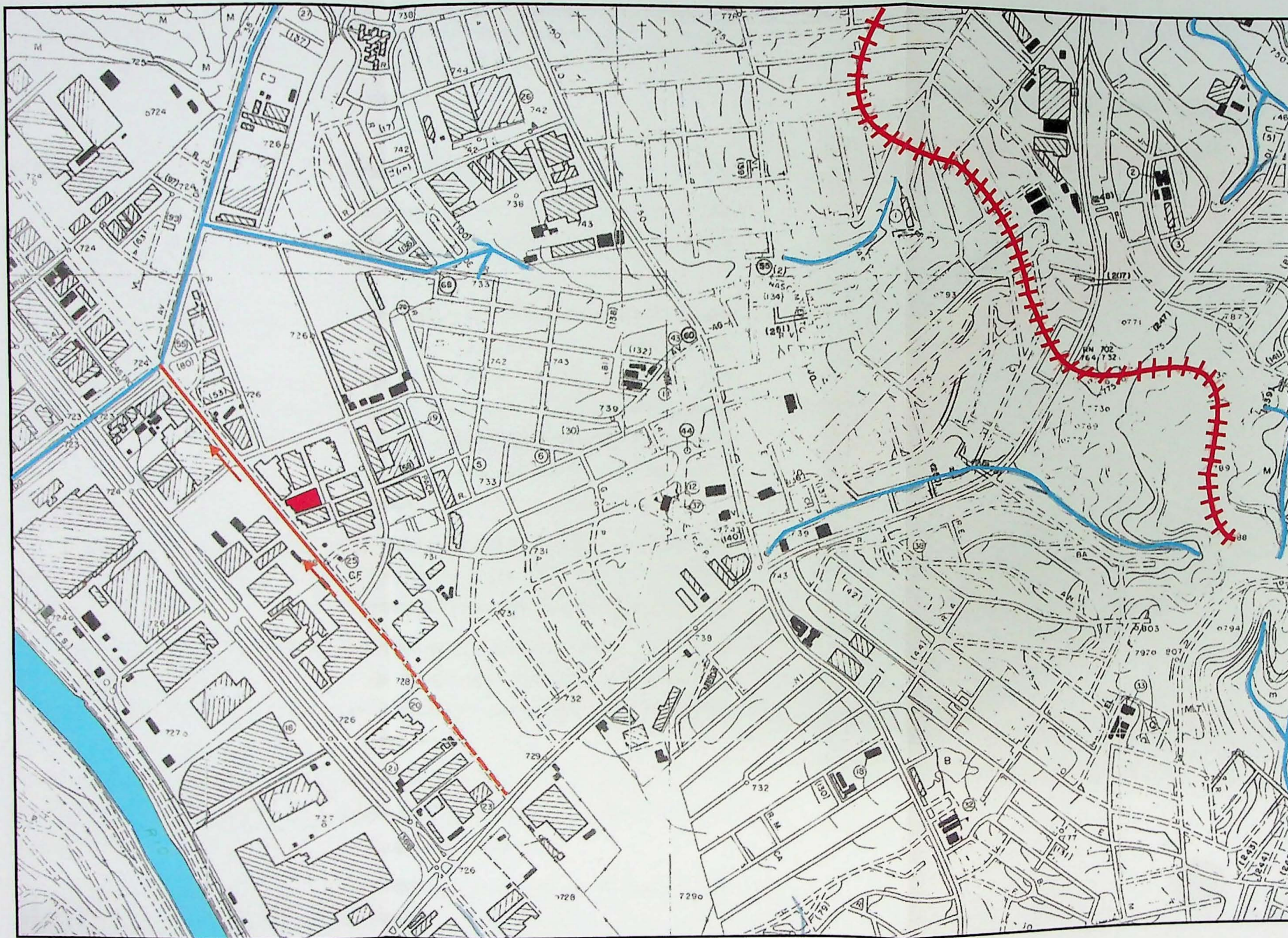
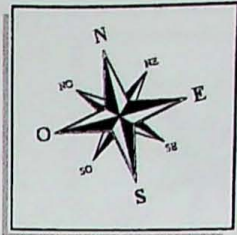


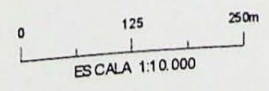
Figura 02 - Mapa Topográfico Local

TRABALHO DE FORMATURA
Instituto de Geociências - USP



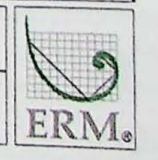


LEGENDA	
	Área de estudo
	Sistema público de rede de esgoto e águas plúvias
	Sentido de fluxo do efluente
	Drenagem
	Divisor de Drenagem
	Rio de grande porte



CLIENTE
Figura 03 - Mapa Topográfico Regional

PROJETO
TRABALHO DE FORMATURA
Instituto de Geociências - USP



III. MATERIAIS E MÉTODOS

III.1. Zonificação das áreas de recarga do aquífero local

Foi realizado um mapeamento por meio da análise integrada de fotografias aéreas e trabalhos de campo, para a checagem de áreas com diferentes características de infiltração de água (presença de áreas verdes, áreas de pavimentação, etc), que permitiu realizar uma zonificação de áreas de diferentes potenciais de infiltração e de estruturas de canalização de redes de água, esgoto e elétrica.

III.2. Instalação de poços de monitoramento e testes hidráulicos

Foram instalados cinco novos poços de monitoramento na área de estudo, sendo três poços rasos (PM-04B, PM-04C, PM-06B) e dois poços de monitoramento profundos (DW-04 e DW-05).

Os poços rasos foram perfurados em oito polegadas, utilizando o sistema Hollow Stem Auger para perfuração e instalados com tubos geomecânicos com diâmetro de duas polegadas e seções filtrantes ao longo de diferentes camadas geológicas que constituem o aquífero poroso livre da área (poços multiníveis). O espaço anelar entre o tubo e o furo foi preenchido com areia grossa tipo Jacaré servindo como pré-filtro. Acima deste foi colocado um selo de bentonita seguido de uma camada de concreto, com o objetivo de prevenir eventuais migrações verticais de contaminantes para o poço.

Os poços de monitoramento profundos foram perfurados utilizando o sistema tipo rotativo com coroa diamantada, acoplada ao sistema Hollow Stem Auger. Tais poços foram instalados cerca de 10 m ao longo do embasamento cristalino (aquífero cristalino).

Foram realizados ensaios de recuperação dos poços rasos para obtenção de valores de condutividade hidráulica. O ensaio de recuperação consiste em provocar o rebaixamento da coluna de água dos poços e monitorar a recuperação do nível estático do aquífero freático através de leituras regulares do nível d'água.

Foi utilizada uma bomba submersível *Whale®* para provocar o rebaixamento da coluna d'água dos poços de monitoramento e um medidor elétrico *Interface Solinst®* e fichas de campo para o monitoramento da recuperação do nível.

Os dados obtidos durante os ensaios hidráulicos (nível d'água vs. tempo) foram tratados com o auxílio do software *Aquifer Test®*.

O método utilizado para o cálculo da condutividade hidráulica foi o de Bower&Rice (1976 apud Fetter, 1994):

$$K = \frac{r^2 \ln(R_{cont} / R)^2}{2L} \times \frac{1}{T_x \ln(h_0 / h_t)}$$

Onde:

K= Condutividade Hidráulica;

r= Diâmetro de instalação do poço;

R= Diâmetro de perfuração do poço;

R_{cont}= Distância radial a qual a variação do nível d'água é dissipada;

L= Comprimento da seção filtrante do poço;

h₀= Nível d'água em t₀=0;

h_t= Nível d'água em t>t₀

T= Tempo

III.3. Amostragem de água subterrânea

Foi realizada uma campanha de amostragem da água subterrânea em dezenove poços de monitoramento, utilizando-se do método de amostragem de baixa vazão. Para realização da amostragem utilizou-se de uma bomba peristáltica tipo *Solinst®*, um jogo de mangueiras de silicone e um jogo de mangueiras de polietileno.

O método de amostragem tipo baixa vazão consiste numa amostragem pontual (na profundidade desejada ao longo da seção filtrante do poço de monitoramento) utilizando-se de vazões mínimas da ordem de 0.1 a 0.5 L/min, de acordo com a formação hidrogeológica presente, e de profundidades de rebaixamento de até 10 cm. Para o controle do rebaixamento foi utilizado um medidor tipo *Interface Solinst®*.

É recomendável que parâmetros indicadores da qualidade da água, tais como pH, condutividade específica, potencial de óxido-redução, temperatura e turbidez, sejam monitorados para certificação da estabilização do poço (determinar o momento que água da formação é acessada). Foi utilizado um equipamento tipo *Horiba®* que foi devidamente calibrado para todos os parâmetros a serem analisados.

Para evitar possível contaminação cruzada, as mangueiras foram descartadas após o uso, assim como os equipamentos de medição foram descontaminados com água deionizada e detergente tipo Alconox (não fosfatado).

A amostragem envolveu a coleta de água para análises químicas dos seguintes compostos: amônio, fluoreto, nitrito, nitrato, fosfato, sulfato, sulfeto e cloreto, alcalinidade

de HCO_3 , coliformes fecais, Demanda Biológica de Oxigênio (DBO), Demanda Química de Oxigênio (DQO) e os cátions Ca^{+2} , Mg^{+2} , K^+ e Na^+ .

As amostras de água coletadas foram devidamente dispostas em frascos específicos, filtradas e preservadas quimicamente e, em seguida enviadas para o laboratório para a execução das análises químicas.

III.4. Tratamento dos dados e confiabilidade dos resultados analíticos

As amostras de água subterrânea submetidas às análises laboratoriais devem ser representativas do meio amostrado, caracterizando deste modo, a assinatura química da água subterrânea.

Um fator muito importante a ser considerado em toda análise de dados em hidroquímica está relacionado à confiabilidade dos resultados analíticos obtidos.

Neste contexto, o cálculo do balanço iônico consiste num procedimento adotado para avaliar a qualidade dos resultados obtidos. O balanço iônico foi efetuado em todas as amostras coletadas para assegurar se o erro analítico estava dentro do limite permitido, geralmente entre $\pm 10\%$.

A porcentagem do erro do balanço iônico foi calculada a partir dos valores em miliequivalente dos ânions e cátions segundo a equação (Custodio & Llamas, 1986):

$$\text{Erro} = \frac{\sum_{\text{cátions}} - \sum_{\text{ânions}}}{\sum_{\text{cátions}} + \sum_{\text{ânions}}}$$

O tratamento e visualização dos dados hidroquímicos foram feitos através da construção de tabelas e mapas de isoconcentração, utilizando o *software Surfer 7.0®*.

III.5. Piezometria

Foi realizado um programa de monitoramento mensal (abril, maio, junho, julho, agosto, setembro e outubro) dos níveis de água dos poços de monitoramento existentes na área por meio de medidas diretas da profundidade do nível d'água utilizando-se de um medidor elétrico *Interface Solinst®* e a confecção de mapas potenciométricos para o cálculo da velocidade de fluxo d'água subterrânea.

Foram realizadas duas campanhas de monitoramento do nível d'água por meio da instalação de transdutores de pressão do tipo *Levellogger Solinst®* na área.

A primeira etapa consistiu na instalação de dez transdutores de pressão, sendo seis destes em poços de monitoramento rasos (PM-03, PM-04, PM-05, PM-06, PM-11, PM-

16), três em poços de monitoramento profundos (DW-05, DW-04, DW-02) e um para medição da pressão atmosférica. Os loggers foram programados para realização de leituras em intervalos de 5 minutos dentro do período de 17 de julho a 30 de agosto de 2002. Os loggers instalados nos poços de monitoramento profundos foram retirados após um mês (15 de agosto) e relocados em três poços rasos (PM-04B, PM-04C, PM-07), com intervalos de medidas iguais aos dos demais poços.

A segunda etapa consistiu na instalação de dez transdutores de pressão sendo nove destes em poços de monitoramento rasos (PM-03, PM-04, PM-04B, PM-04C, PM-06, PM-07, PM-11, PM-14 e PM-16) e um para medição da pressão atmosférica, com leituras em intervalos de 5 minutos dentro do período de 10 de setembro a 10 de outubro de 2002.

IV. APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

IV.1. Geologia e Hidrogeologia Local

A geologia do local (Figura 04) é caracterizada por depósitos de sedimentos quaternários de origem fluvial sobrepostos por um aterro superficial de composição silto-arenosa com aproximadamente 1,0 m de espessura, assentados sob o embasamento cristalino.

Os sedimentos quaternários são caracterizados por diferentes horizontes geológicos:

- material silto-argiloso, marrom avermelhado, média plasticidade, com espessura variando de 0,5 m a 1,3 m, com ocorrência ao longo de toda área.
- argila, com média alta plasticidade, rica em matéria orgânica, de cor preta, com espessura variando de centímetros a 4,0 m, com ocorrência na porção oeste da área.
- areia fina-média com matriz argilosa, bem selecionada, média plasticidade, cinza-bege, com espessura média de 2,0 m
- lentes descontínuas de areia média-grossa com níveis de cascalhos centimétricos sub-arredondados.

Sob o pacote sedimentar, em contato erosivo, há um saprolito de espessura variando de 1,0m a 10m em média, baixa-média coesão, composto por material arenoso com feldspato, caulim, quartzo, biotita e muscovita e fragmentos de rocha. Abaixo do pacote granular, ocorre o maciço de rocha gnáissica, por vezes xistosa, de textura predominantemente grano-lepidoblástica, fina-média, pouco alterado, composto predominantemente por feldspato, quartzo, biotita e muscovita, com fraturas horizontais e subverticais.

Do ponto de vista hidrogeológico, há duas unidades aquíferas distintas na área:

- Aquífero Poroso Livre:

O aquífero poroso livre é composto por sedimentos aluvionares de porosidade primária e pelo manto de intemperismo da rocha cristalina sotoposta. Esta unidade apresenta porosidade predominantemente granular, porém localmente apresenta porosidade de fraturas.

O aquífero é raso, com nível d'água médio em torno de 2,5 metros de profundidade, com geometria definida com base na disposição das camadas geológicas e na profundidade do embasamento cristalino (Figuras 05, 06, 07, 08, 09 e 10), apresentando espessura reduzida a leste (2,0 m em média) e aumentando rumo a oeste (10 m em média). A porosidade efetiva média para este aquífero é de 25 % (Freeze & Cherry, 1979) com gradiente hidráulico suave variando de 0,1 % a 1,0 %.

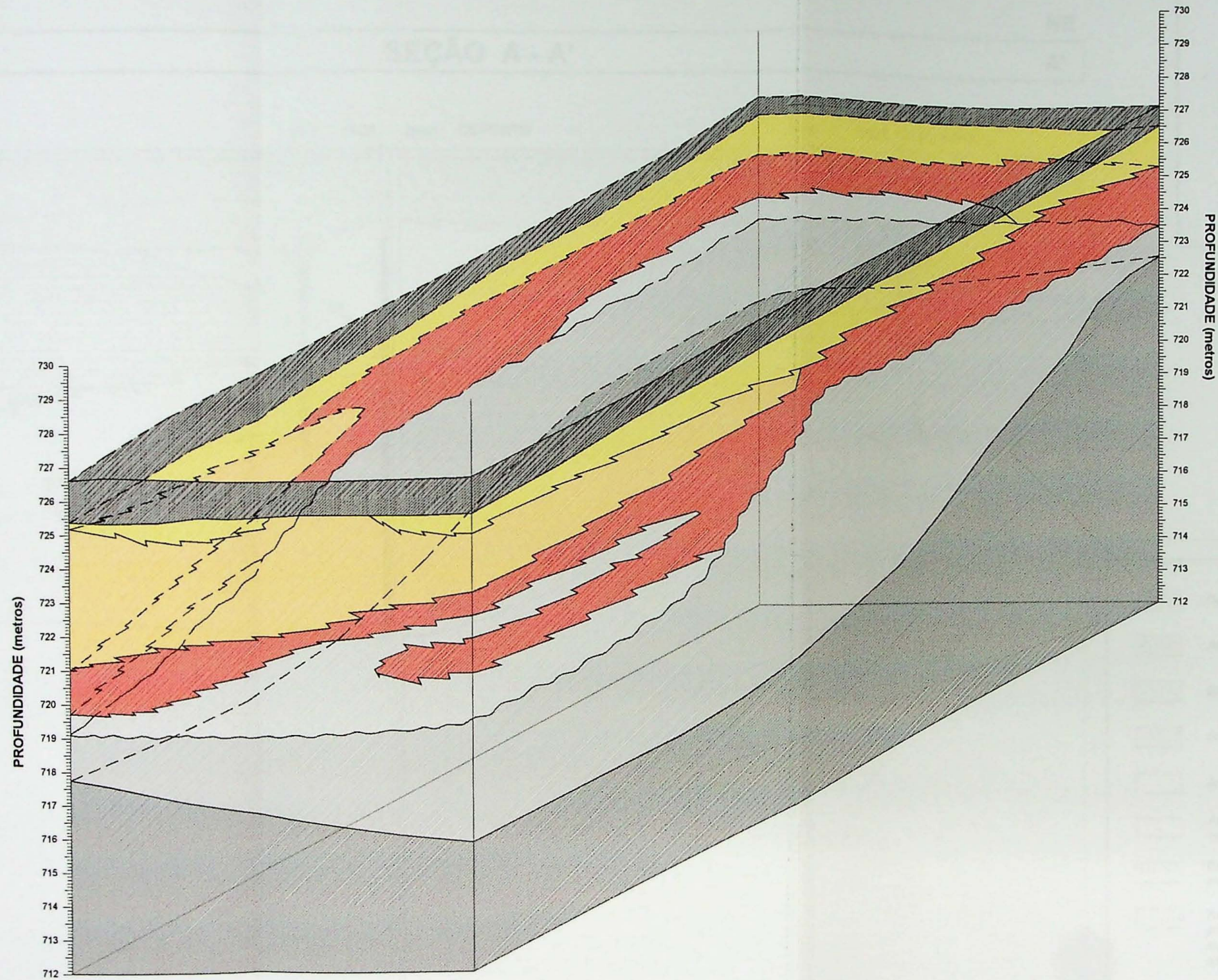
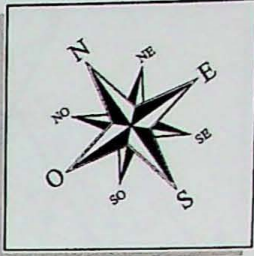
Os testes hidráulicos permitiram definir três unidades com diferentes propriedades hidráulicas. Os poços com seção filtrante ao longo das camadas de silte/argila orgânica apresentam valores de condutividade hidráulica da ordem de $6.09 \cdot 10^{-7}$ m/s. Poços instalados ao longo do pacote de areia fina-média com matriz argilosa, apresentam valores de condutividade hidráulica da ordem de 10^{-6} m/s e, poços com seções filtrantes instalados na camada de areia grossa e alteração de rocha, apresentam valores de condutividade hidráulica com intervalos variando de $4.33 \cdot 10^{-6}$ a $3.25 \cdot 10^{-5}$ m/s (Figura 11).

Tais diferenças resultam em heterogeneidades verticais e horizontais, ocasionando fluxos diferenciados de circulação da água subterrânea. A direção e sentido preferencial de fluxo d'água subterrânea são de leste para oeste, em direção ao rio de grande porte (zona de descarga regional).

A recarga do aquífero é condicionada pela infiltração da água pluvial em toda a região situada a montante da área, e localmente, na porção oeste da área de estudo, vinculada a uma recarga induzida tendo como fonte o sistema público de rede de esgoto e de águas pluviais situado cerca de 10 metros a sudoeste, ao longo de toda extensão da Rua Armando Baitz.

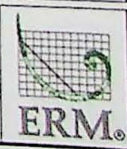
- Aquífero cristalino:

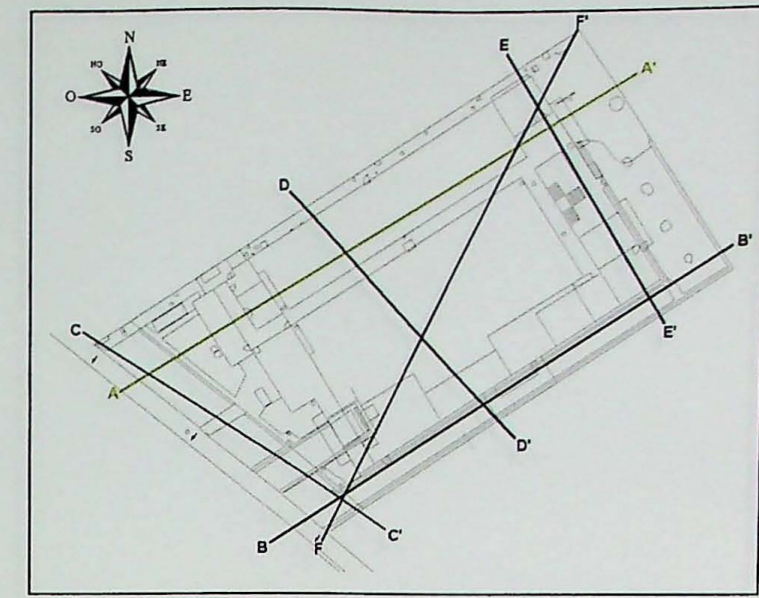
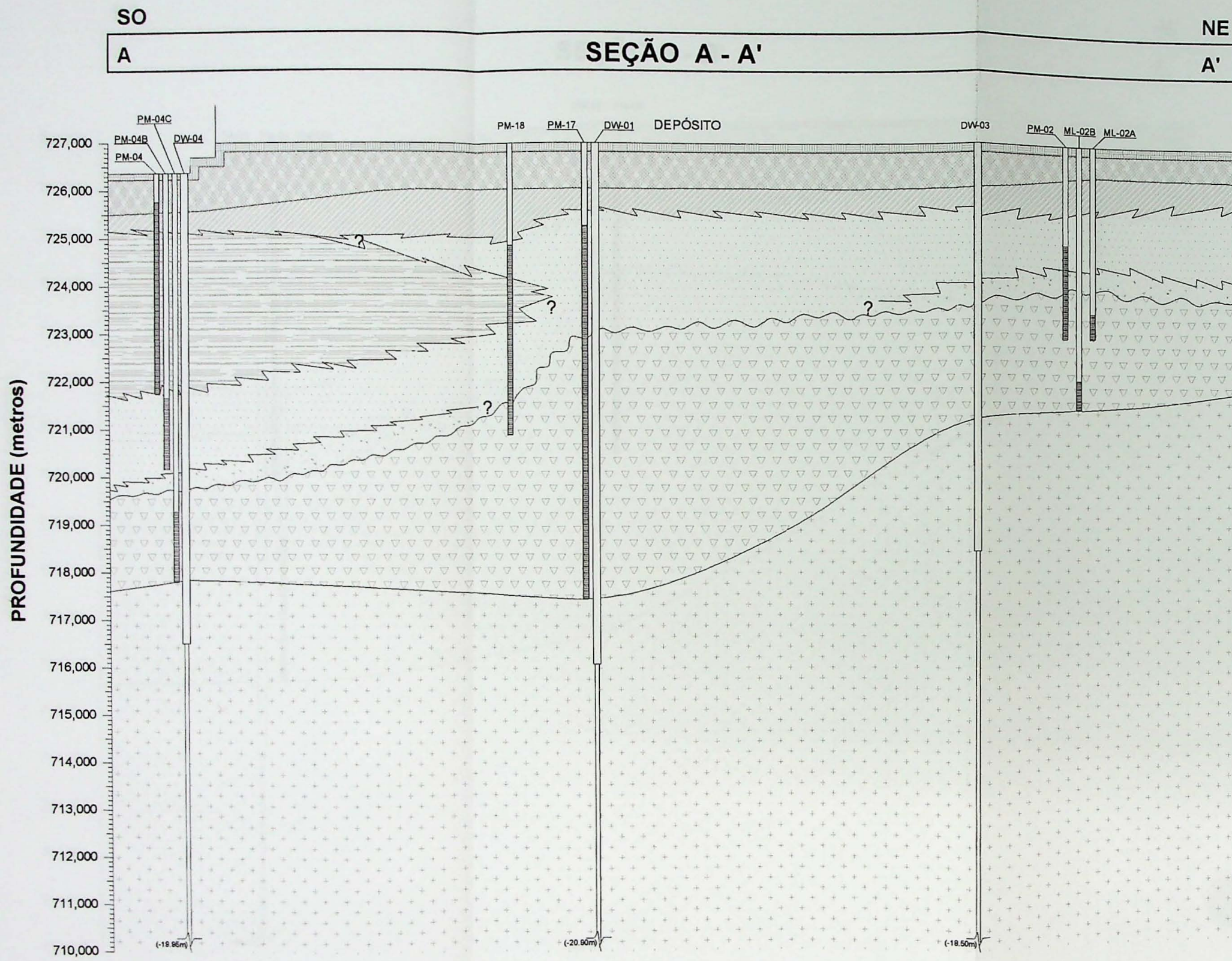
Composto por rochas do embasamento cristalino, com porosidade de fraturas definidas por fraturamentos abertos com ou sem preenchimento. Este aquífero é heterogêneo, anisotrópico e está conectado hidráulicamente com a unidade anterior.



LEGENDA	
	Aterro: areia siltsosa com porções argilosas, com detritos de construção.
	Silte argiloso, média plasticidade, marrom.
	Argila orgânica, alta plasticidade, preta.
	Areia, fina a média, com matriz argilosa, média plasticidade, cinza-bege.
	Areia, média a grossa, com fragmentos de quartzo milimétricos a centimétricos, cinza-bege.
	Rocha alterada: areia, média a grossa com porções caulínicas, quartzo, muscovita e bióta, branco acinzentada.
	Rocha: estrutura gnáissica, por vezes xistosa, com textura predominantemente lepidogranoblástica, fina-média, composta por quartzo, feldspato, bióta, muscovita e máficos, com baixo grau de alteração, com fraturas. Nota-se porções pegmatíticas associadas.

Figura 04 - Bloco Diagrama.



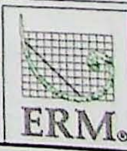


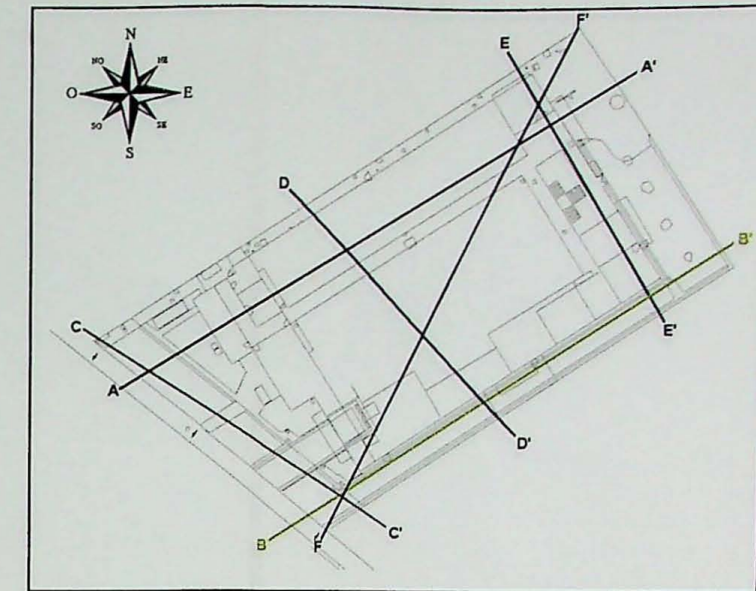
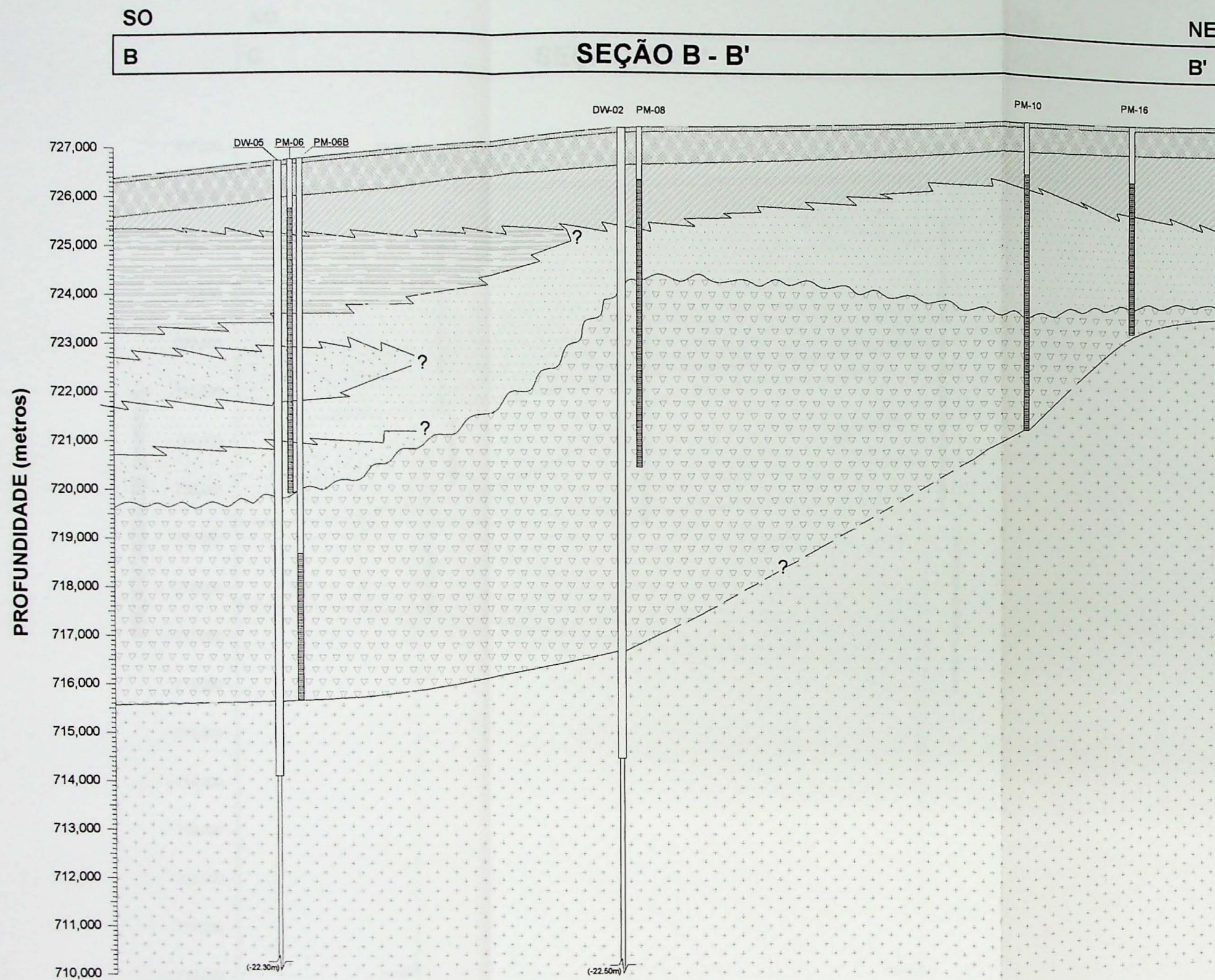
LEGENDA	
	Concreto.
	Aterro: areia siltosa com porções argilosas, com detritos de construção.
	Silte argiloso, média plasticidade, marrom.
	Argila orgânica, alta plasticidade, preta.
	Areia, fina a média, com matriz argilosa, média plasticidade, cinza-bege.
	Areia, média a grossa, com fragmentos de quartzo milimétricos a centimétricos, cinza-bege.
	Rocha alterada: areia, média a grossa com porções cauliniticas, quartzo, muscovita e biotita, branco acinzentada.
	Rocha: estrutura gnáissica, por vezes xistosa, com textura predominantemente lepidogranoblástica, fina-média, composta por quartzo, feldspato, biotita, muscovita e máficos, com baixo grau de alteração, com fraturas. Nota-se porções pegmatíticas associadas.
	Contato erosivo.
	Contato interdigitado.
	Contato inferido.
	Contato regular.

Figura 05 - Seção Geológica A - A'

ESCALA HORIZONTAL 1:350

TRABALHO DE FORMATURA
Instituto de Geociências - USP





LEGENDA	
	Concreto.
	Aterro: areia siltosa com porções argilosas, com detritos de construção.
	Silte argiloso, média plasticidade, marrom.
	Argila orgânica, alta plasticidade, preta.
	Areia, fina a média, com matriz argilosa, média plasticidade, cinza-bege.
	Areia, média a grossa, com fragmentos de quartzo milimétricos a centimétricos, cinza-bege.
	Rocha alterada: areia, média a grossa com porções caulínicas, quartzo, muscovita e biotita, branco acinzentada.
	Rocha: estrutura gnáissica, por vezes xistosa, com textura predominantemente lepidogranoblástica, fina-média, composta por quartzo, feldspato, biotita, muscovita e máficos, com baixo grau de alteração, com fraturas. Nota-se porções pegmatíticas associadas.
	Contato erosivo.
	Contato interdigitado.
	Contato inferido.
	Contato regular.

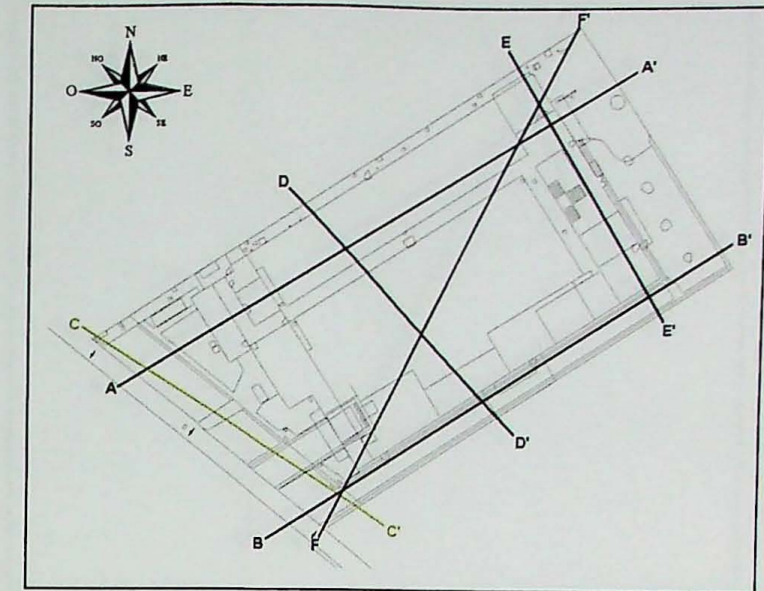
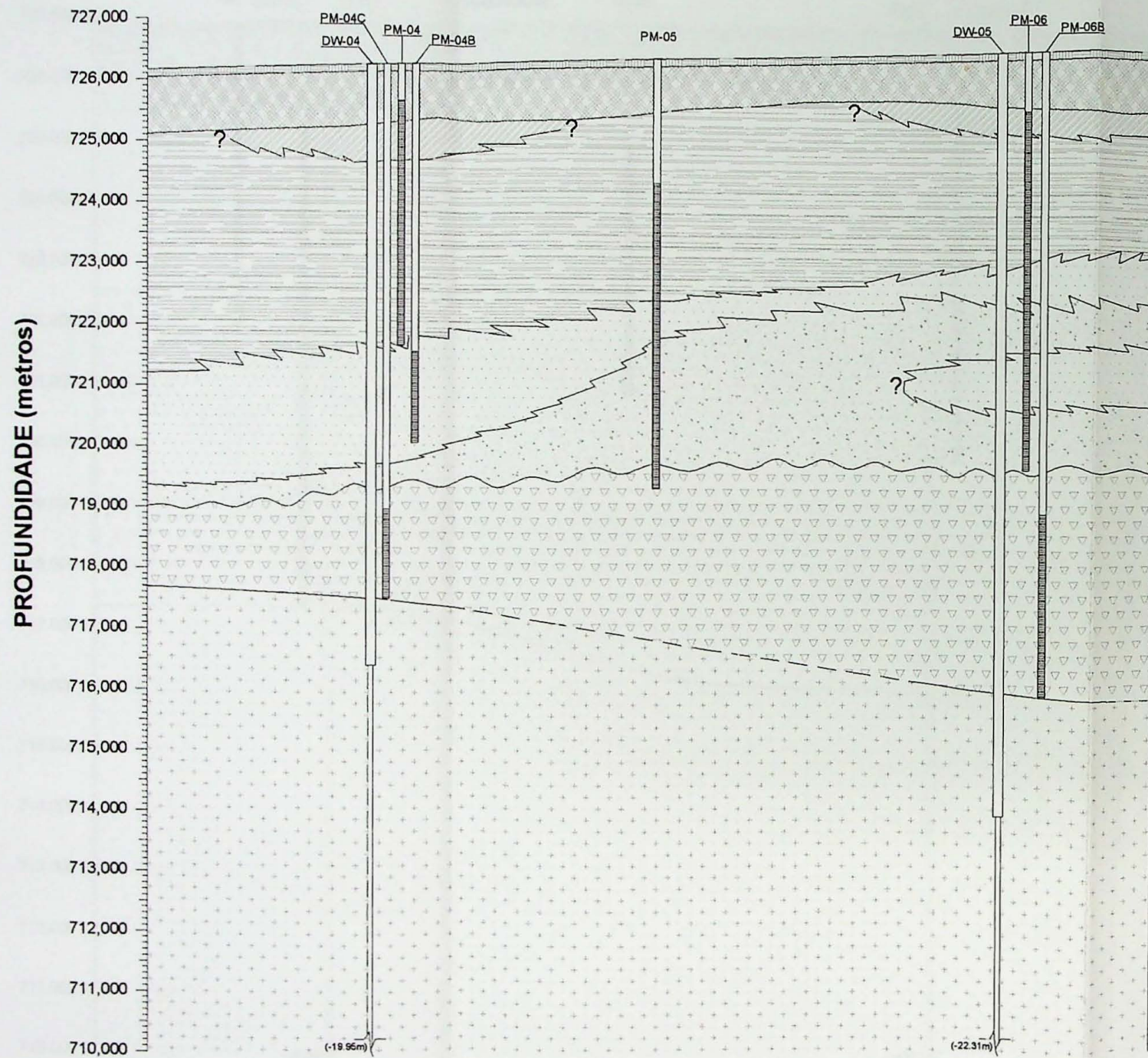
Figura 06 - Seção Geológica B - B'

TRABALHO DE FORMATURA
Instituto de Geociências - USP

ESCALA HORIZONTAL 1:350



NO SE
C SEÇÃO C-C' C'



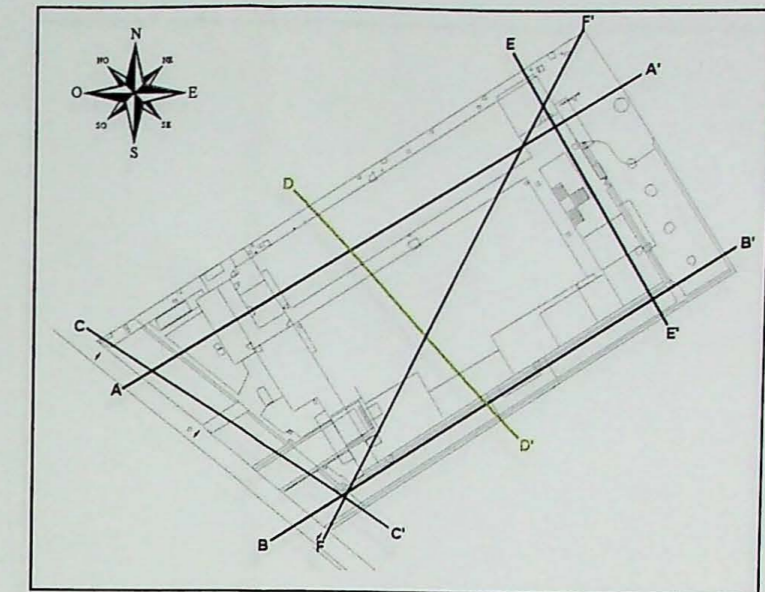
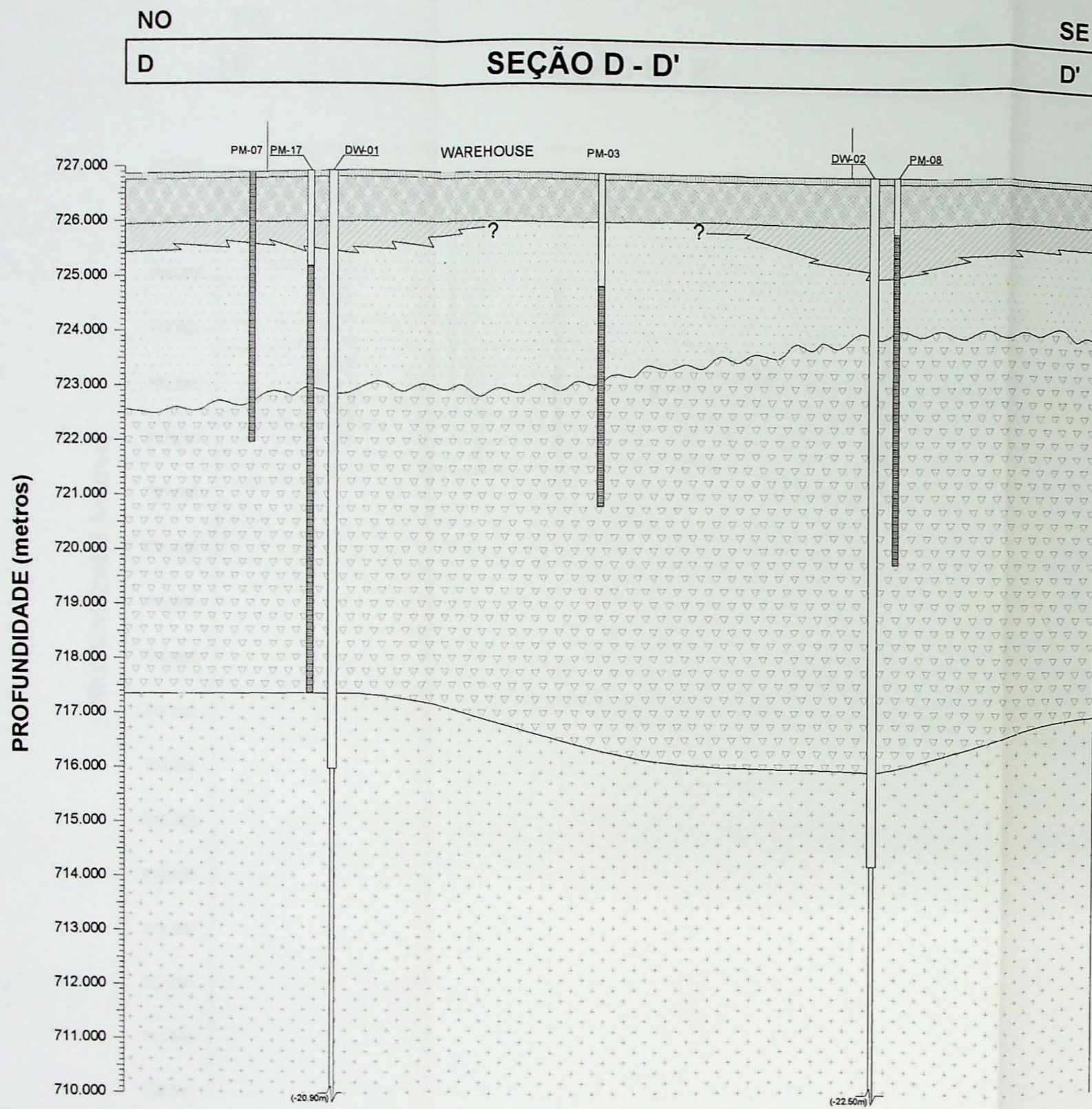
LEGENDA	
	Concreto.
	Aterro: areia siltosa com porções argilosas, com detritos de construção.
	Silte argiloso, média plasticidade, marrom.
	Argila orgânica, alta plasticidade, preta.
	Areia, fina a média, com matriz argilosa, média plasticidade, cinza-bege.
	Areia, média a grossa, com fragmentos de quartzo milimétricos a centimétricos, cinza-bege.
	Rocha alterada: areia, média a grossa com porções caulínicas, quartzo, muscovita e biotita, branco acinzentada.
	Rocha: estrutura gnáissica, por vezes xistosa, com textura predominantemente lepidogranoblástica, fina-média, composta por quartzo, feldspato, biotita, muscovita e máficos, com baixo grau de alteração, com fraturas. Nota-se porções pegmatíticas associadas.
	Contato erosivo.
	Contato interdigitado.
	Contato inferido.
	Contato regular.

Figura 07 - Seção Geológica C - C'

ESCALA HORIZONTAL 1:350

TRABALHO DE FORMATURA
Instituto de Geociências - USP





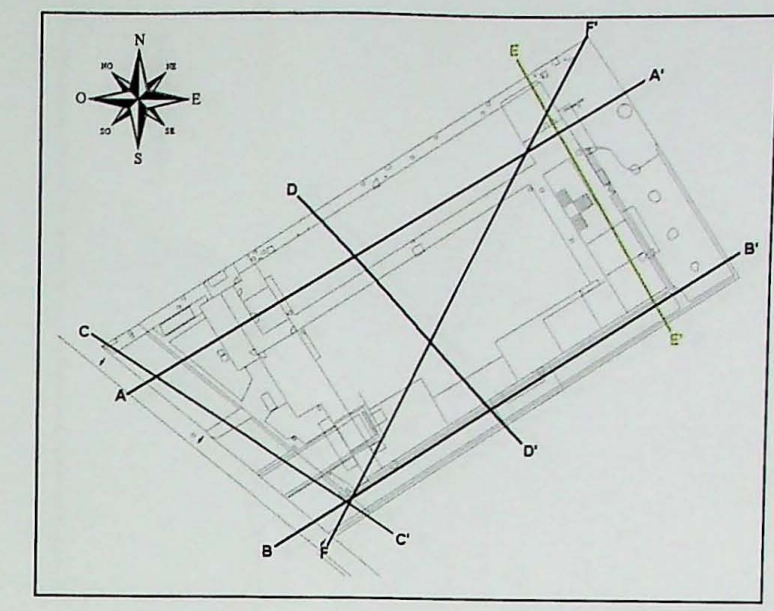
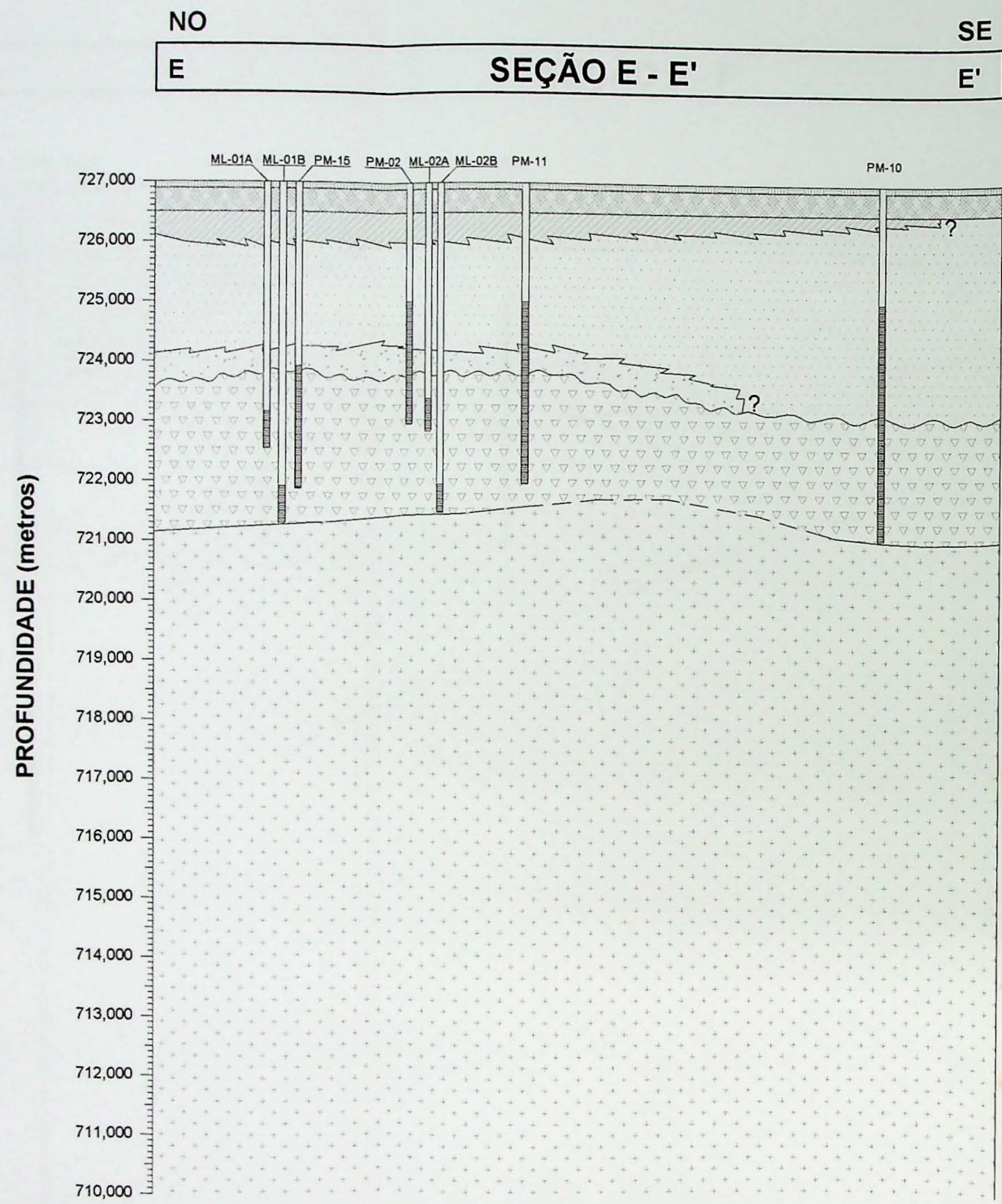
LEGENDA	
	Concreto.
	Aterro: areia siltosa com porções argilosas, com detritos de construção.
	Silte argiloso, média plasticidade, marrom.
	Argila orgânica, alta plasticidade, preta.
	Areia, fina a média, com matriz argilosa, média plasticidade, cinza-bege.
	Areia, média a grossa, com fragmentos de quartzo milimétricos a centimétricos, cinza-bege.
	Rocha alterada: areia, média a grossa com porções cauliniticas, quartzo, muscovita e biotita, branco acinzentada.
	Rocha: estrutura gnáissica, por vezes xistosa, com textura predominantemente lepidogranoblástica, fina-média, composta por quartzo, feldspato, biotita, muscovita e máficos, com baixo grau de alteração, com fraturas. Nota-se porções pegmatíticas associadas.
	Contato erosivo.
	Contato interdigitado.
	Contato inferido.
	Contato regular.

Figura 08 - Seção Geológica D - D'

ESCALA HORIZONTAL 1:350

TRABALHO DE FORMATURA
Instituto de Geociências - USP



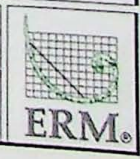


LEGENDA	
	Concreto.
	Aterro: areia silteosa com porções argilosas, com detritos de construção.
	Silte argiloso, média plasticidade, marrom.
	Argila orgânica, alta plasticidade, preta.
	Areia, fina a média, com matriz argilosa, média plasticidade, cinza-bege.
	Areia, média a grossa, com fragmentos de quartzo milimétricos a centimétricos, cinza-bege.
	Rocha alterada: areia, média a grossa com porções cauliniticas, quartzo, muscovita e biotita, branco acinzentada.
	Rocha: estrutura gnáissica, por vezes xistosa, com textura predominantemente lepidogranoblástica, fina-média, composta por quartzo, feldspato, biotita, muscovita e máficos, com baixo grau de alteração, com fraturas. Nota-se porções pegmatíticas associadas.
	Contato erosivo.
	Contato interdigitado.
	Contato inferido.
	Contato regular.

Figura 09 - Seção Geológica E - E'

ESCALA HORIZONTAL 1:350

TRABALHO DE FORMATURA
Instituto de Geociências - USP



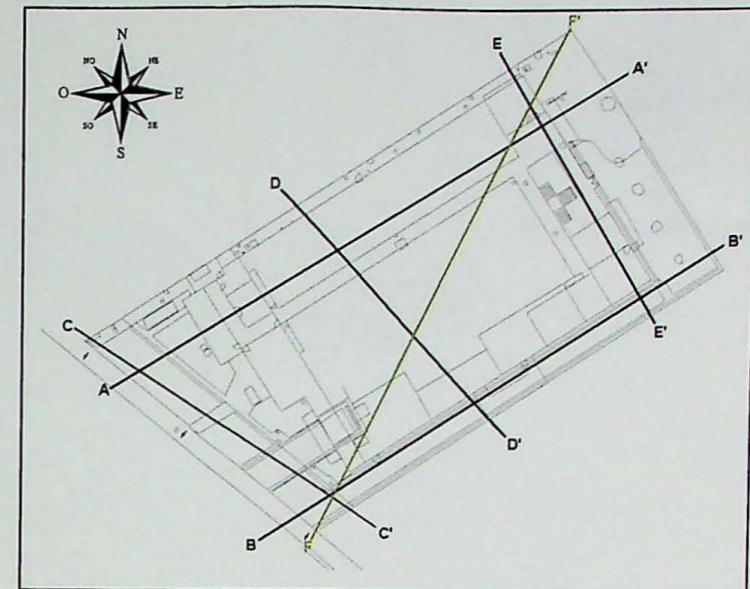
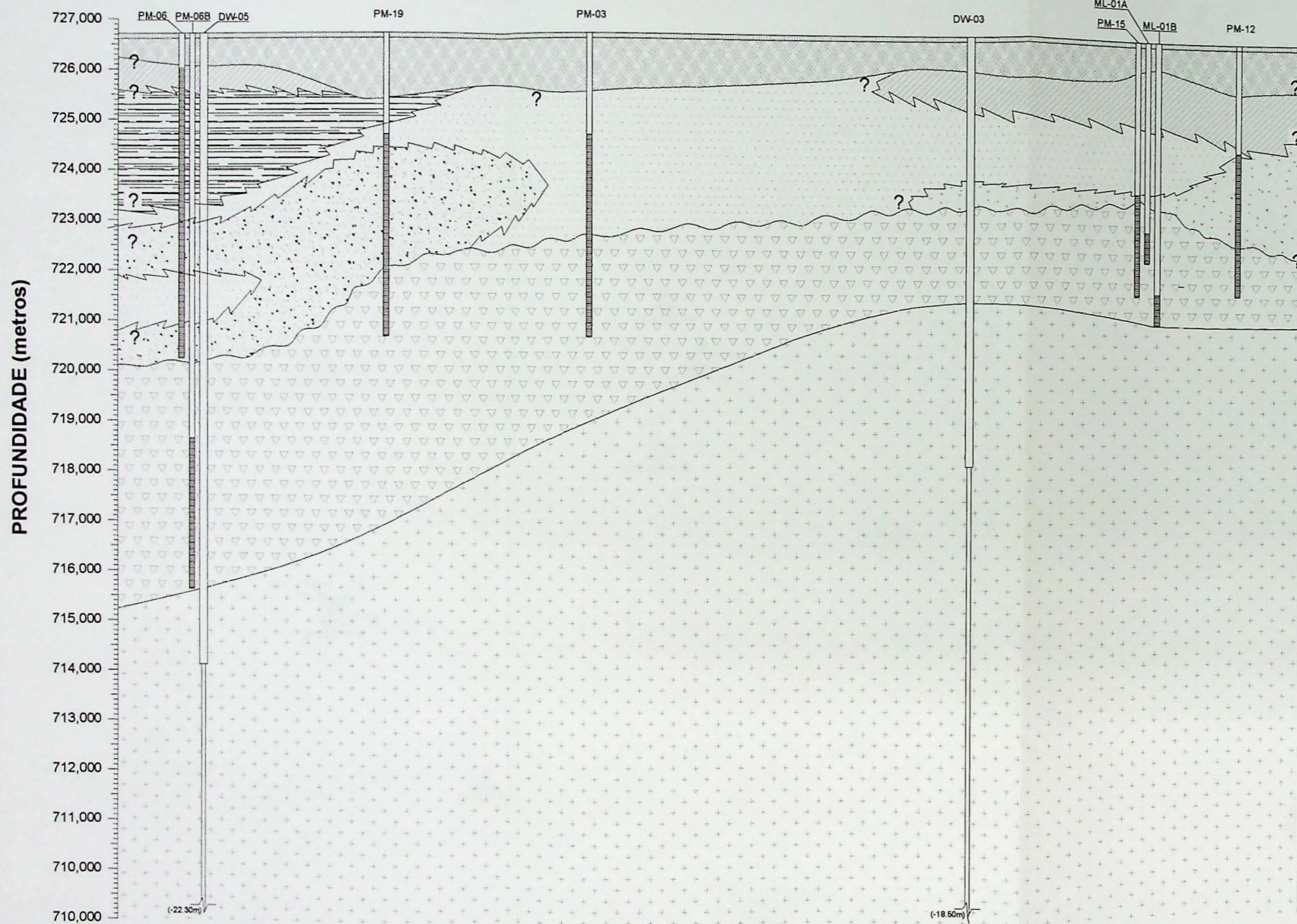
SEÇÃO F - F'

SO

NE

F

F'



LEGENDA

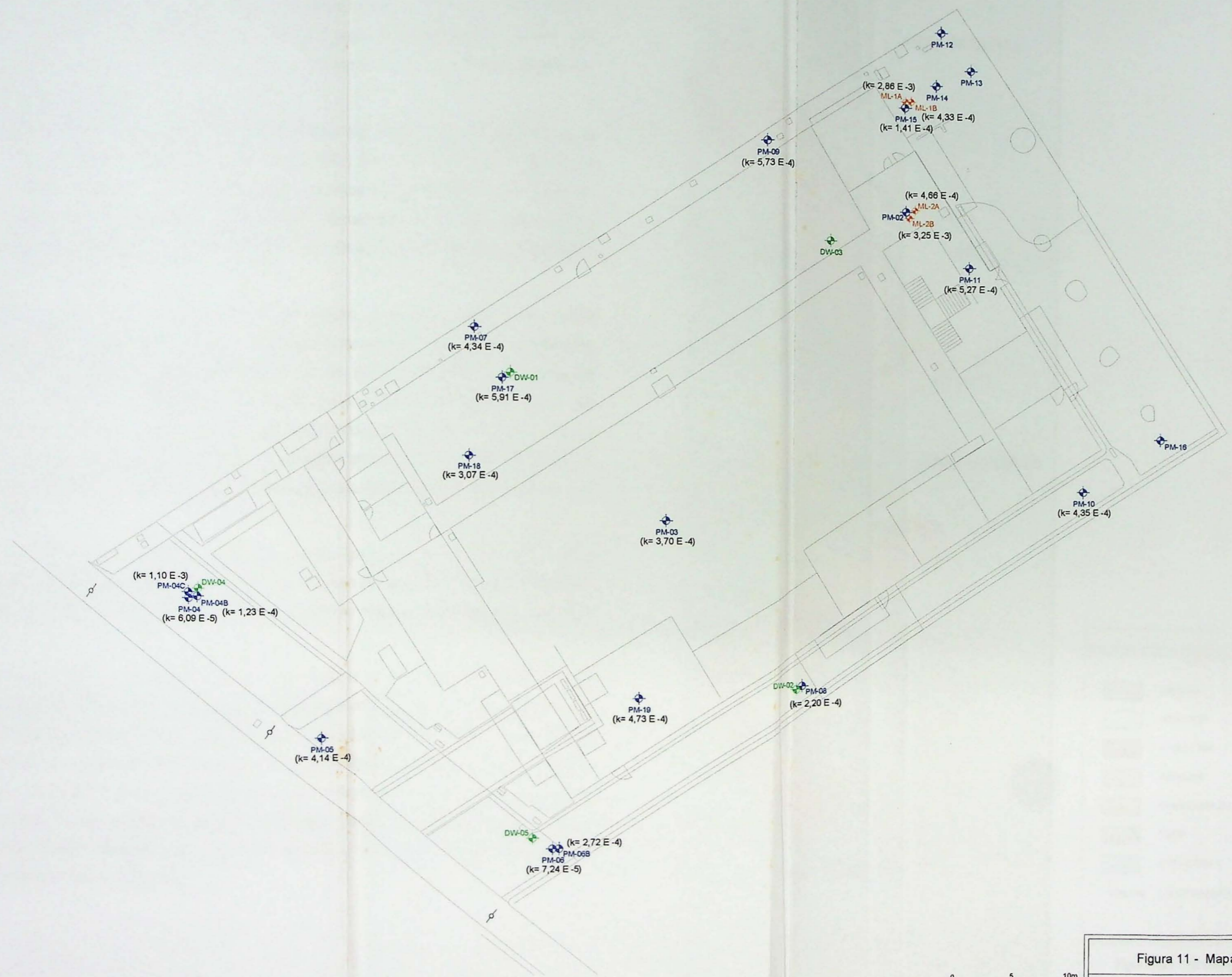
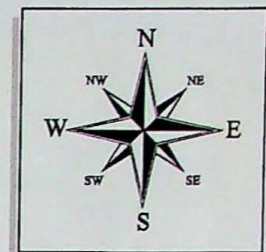
- Concreto.
- Aterro: areia siltosa com porções argilosas, com detritos de construção.
- Silte argiloso, média plasticidade, marrom.
- Argila orgânica, alta plasticidade, preta.
- Areia, fina a média, com matriz argilosa, média plasticidade, cinza-bege.
- Areia, média a grossa, com fragmentos de quartzo milimétricos a centimétricos, cinza-bege.
- Rocha alterada: areia, média a grossa com porções caulínicas, quartzo, muscovita e biotita, branco acinzentada.
- Rocha: estrutura gnáissica, por vezes xistosa, com textura predominantemente lepidogranoblástica, fina-média, composta por quartzo, feldspato, biotita, muscovita e máficos, com baixo grau de alteração, com fraturas. Nota-se porções pegmatíticas associadas.
- Contato erosivo.
- Contato interdigitado.
- Contato inferido.
- Contato regular.

Figura 10 - Seção Geológica F - F'

TRABALHO DE FORMATURA
Instituto de Geociências - USP

ESCALA HORIZONTAL 1:350





LEGENDA	
	POÇO DE MONITORAMENTO RASO
	POÇO DE MONITORAMENTO PROFUNDO
	POÇO MULTINIVEL
$(k= 2,23 E -4)$	CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA (cm/s)

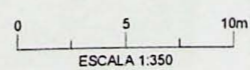


Figura 11 - Mapa de Condutividade Hidráulica

TRABALHO DE FORMATURA
Instituto de Geociências - USP



IV.2. Zonificação de áreas livres e estruturas

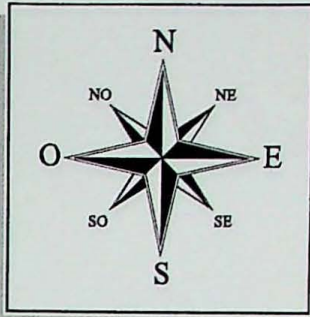
Com base no mapeamento de detalhe realizado junto à área de estudo, foi possível identificar áreas com diferentes potenciais de infiltração de água proveniente de chuvas e de possíveis vazamentos de linhas de água e esgoto. O trabalho envolveu atividades de campo para checagem de informações e interpretação de fotografias aéreas. Foi confeccionada uma planta (Figura 12) da área contendo as informações levantadas nas atividades citadas acima.

A área de estudo é constituída por um galpão central (área coberta) com cerca de 1.890 m² metros e por corredores externos (área livre) com pavimento constituído por bloquetes e áreas cimentadas. As propriedades vizinhas são compostas por áreas de galpões, sendo aquela situada a sul/sudeste constituída de uma área aberta (aproximadamente 2.500 m²), composta por um campo de terra com vegetação gramínea.

O sistema de coleta de água pluvial e de esgoto da área de estudo é do tipo subterrâneo, sendo constituído por caixas de coleta e drenos que fluem para um sistema principal ao longo do corredor externo a noroeste do galpão (Figura 12), através de tubulações em cerâmica, com cerca de 15 centímetros de diâmetro em média. Pontos de visita permitiram identificar a existência de porções erodidas (principalmente em juntas) e pontos de corrosão. Este sistema deságua no sistema público de rede de esgoto e de águas pluviais situado cerca de 10 metros a sudoeste, ao longo de toda extensão da rua Armando Baitz.

A rua Armando Baitz é constituída de duas pistas (pavimentos de paralelepípedo e concreto apresentando buracos e rompimento do piso em áreas localizadas) divididas por um canteiro de terra (em toda sua extensão) tomado por vegetação de pequeno porte e entulho.

O sistema público de redes de esgoto e de águas pluviais é composto por uma galeria subterrânea (Figura 12), com profundidade média de 2,70 m, constituída por um sistema de tubulações de concreto. Esta galeria é alimentada pelos sistemas de coleta de água de esgoto local (propriedades adjacentes) e pela água de escoamento de eventos de chuvas. A direção de fluxo do sistema é rumo a noroeste em direção ao córrego de água superficial. Observações realizadas junto aos pontos de visita apontam que o concreto não recebe nenhum tratamento preventivo à corrosão e apresenta porções erodidas ao longo de sua extensão.



LEGENDA			
	ASFALTO		LIMITE DA PROPRIEDADE
	CONCRETO		PAINEL ELÉTRICO
	ACIMENTADO		CAIXA DE COLETA DE ÁGUA
	BLOQUETE		PONTO DE VISITA
	PARALELEPÍPEDO		SENTIDO DE FLUXO DO EFLUENTE
	TERRA		TRAÇADO DA TUBULAÇÃO
	ÁREA COBERTA		TRAÇADO INFERIDO DA TUBULAÇÃO
(726,534)	COTA TOPOGRÁFICA		

Figura 12 - Zonificação de Áreas Livres e Estruturas



IV.3. Variações dos Níveis Potenciométricos vs Pluviometria

É possível identificar relações existentes entre a variação dos níveis potenciométricos dos poços de monitoramento da área (Tabela 01, Anexo III) e a sazonalidade dos eventos de chuva para o ano de 2001 e 2002, conforme ilustrado nas Figuras 13 e 14.

Os dados pluviométricos (Tabela 02, Anexo III) foram obtidos junto à estação meteorológica do Instituto Astronômico e Geofísico – USP, situada no bairro da Água Branca, São Paulo e na leitura direta registrada no pluviômetro instalado na área. Tais dados permitiram correlacionar os dados pluviométricos de diferentes estações meteorológicas, sendo o total registrado basicamente igual para ambas estações.

Os valores de carga hidráulica foram monitorados mensalmente, sempre no início de cada mês, através da medida direta dos níveis de água dos poços de monitoramento.

Observando a Figura 13 nota-se que o período chuvoso corresponde aos meses de outubro de 2001 a março de 2002 e o período de estiagem corresponde aos meses de abril de 2001 a setembro de 2001 e abril de 2002 a setembro de 2002.

Neste contexto, nota-se que após o início dos meses chuvosos há um aumento nos valores de carga hidráulica no mês subsequente, de onde se subentende que o tempo de trânsito da frente de molhamento na zona não saturada seja de aproximadamente um mês. Pequenas chuvas também ocasionam respostas nos níveis, como pode ser observado no período de outubro a novembro de 2001 (Figura 14), em que há uma diminuição significativa na taxa de chuvas, tendo como resposta a pequena queda registrada nos valores de carga hidráulica para o mês de dezembro de 2001. A retomada dos eventos de chuva a partir de dezembro de 2001 a fevereiro de 2002 (com pico no mês de janeiro de 2002) resultou num aumento dos valores de carga hidráulica, apresentando valores máximos no mês de março de 2002.

Pode-se assim considerar que o período de recarga efetiva corresponde a dezembro de 2001 a março de 2002. Por sua vez, nota-se que a partir de abril de 2002 há um decréscimo nos valores de carga hidráulica vinculados ao início do período de estiagem para o ano de 2002.

Com intuito de avaliar a taxa de variação dos níveis potenciométricos nos períodos de chuva (outubro a março de 2002) e estiagem (abril a setembro de 2002), foi construído um gráfico (Figura 15) com os valores médios das diferenças mensais destes níveis registrados nos poços de monitoramento ao longo destes períodos.

Tais diferenças demonstram valores mais altos nos períodos de chuva em comparação aos períodos de estiagem, sugerindo desta forma, que o aquífero livre responde de forma mais rápida aos fenômenos de recarga.

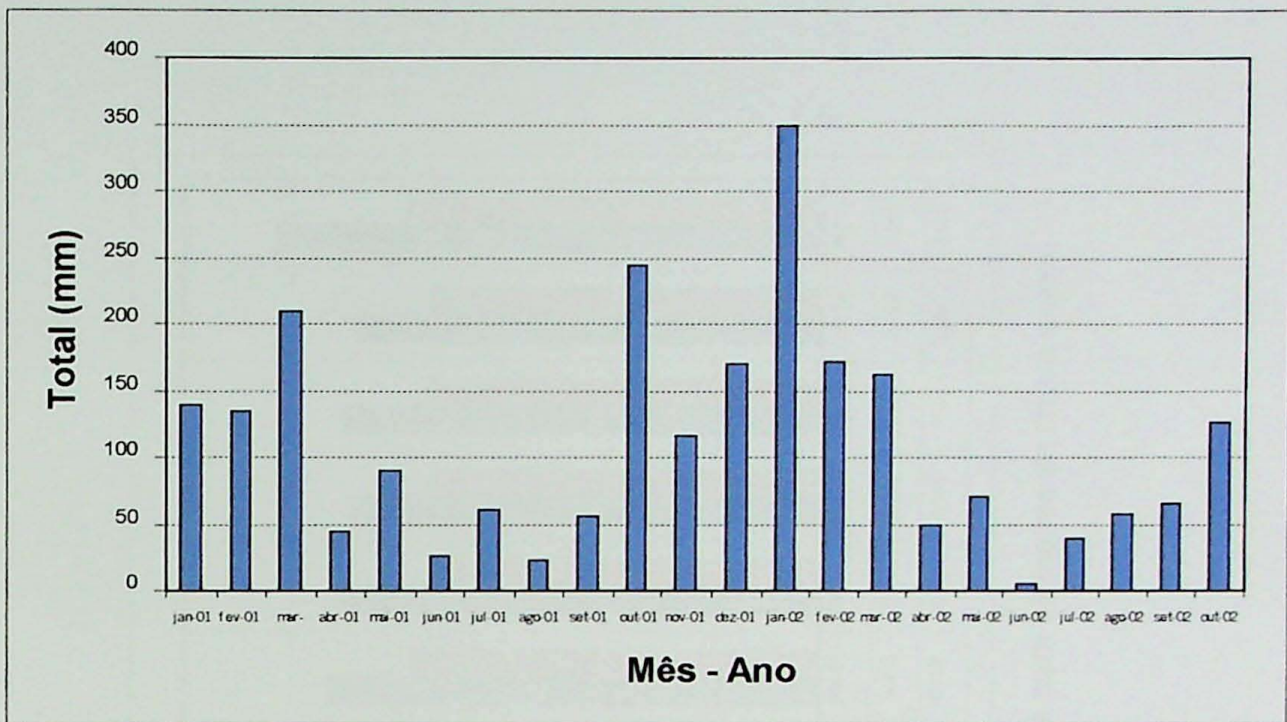


Figura 13: Dados pluviométricos mensais. (Fonte IAG-USP)

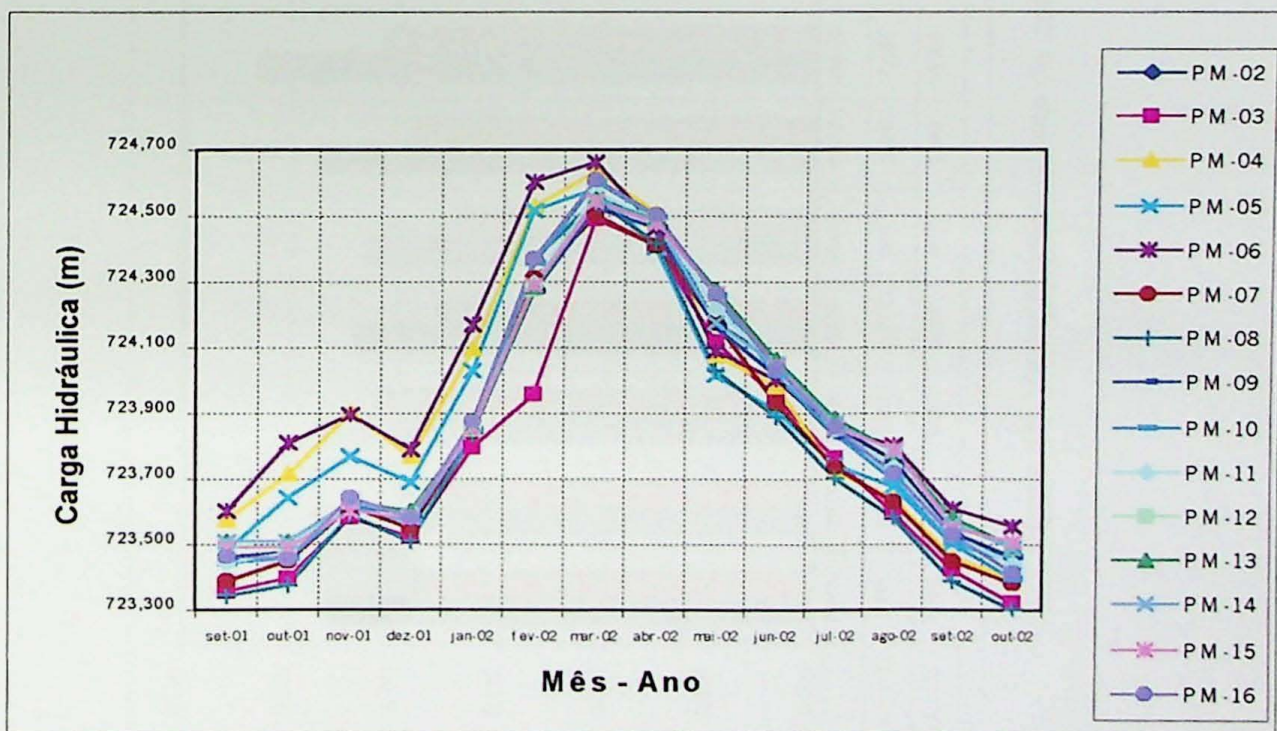


Figura 14: Variação mensal das cargas hidráulicas dos poços de monitoramento.

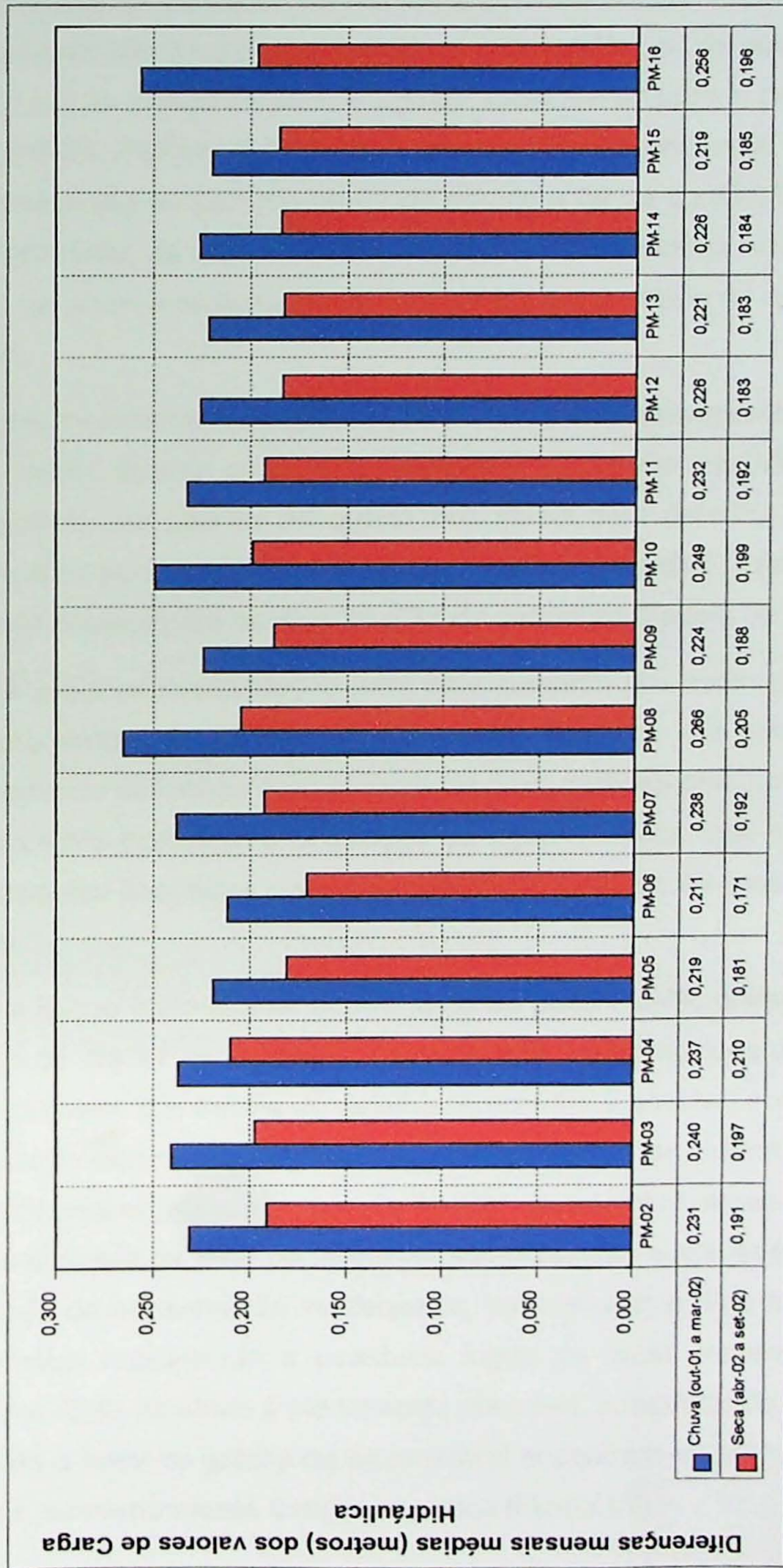


Figura 15: Variação dos valores de carga hidráulica para os meses de chuva e seca

Com a utilização dos transdutores de pressão, foi possível registrar medidas de carga hidráulica em curtos intervalos de tempo, possibilitando estabelecer informações a respeito da dinâmica diária do aquífero freático, a resposta do aquífero a mudanças nas condições de pressão atmosférica e pluviométricas, assim como possíveis variações de nível decorrente de eventos episódicos de recarga. Os dados foram representados graficamente (gráficos de dispersão) (Anexos I e II).

Analisando-se os dados referentes à primeira campanha de monitoramento (Anexo I), nota-se que todos os poços registram uma tendência de queda associada a falta de chuvas para os meses de julho e agosto. Observa-se porém, nos poços PM-03, PM-04, PM-05, PM-06, PM-11, PM-16, que este padrão de tendência de queda não é linear, como observado no período de 01 de agosto a 09 de agosto. Este período registra um acréscimo médio, da ordem de 2,0 cm, nos valores de carga hidráulica e, coincide com o intervalo de chuvas registradas no final de julho e no início de agosto. (Tabelas 01 e 02, Anexo III).

Os dados obtidos na segunda campanha de monitoramento (Anexo II) possuem um padrão pouco distinto quando comparado à campanha anterior. Nota-se que os poços não registram um padrão de queda dos níveis bem definido, porém há um aumento perceptível no período de 21 de setembro a 27 de setembro. Este período coincide com o registro de chuvas para os dias 20 e 21 de setembro (Tabela 02, Anexo III).

Uma possível interpretação para este aumento dos níveis pode estar relacionado à espessura reduzida (2,5 metros em média) da zona não saturada e a presença de macroporos ou caminhos preferenciais de fluxo verticais presentes no solo não saturado. Tais estruturas permitem a circulação da água infiltrada, que ao atingir a franja capilar gera respostas imediatas nos níveis devido a variação da pressão hidrostática sobre o aquífero.

Uma feição interessante ocorre junto ao poço PM-04, onde no período de 24 horas ao longo do dia 21 de setembro foi registrada uma amplitude de 6,0cm nos valores de carga hidráulica. Em escala de detalhe (Anexo III), é possível observar que esta variação de amplitude ocorre nas primeiras 4 horas do dia 21 de setembro. Considerando que o total de chuvas registrado para o dia 20 e 21 de setembro representou um aporte elevado de água drenada na rede de coleta de águas pluviais e que as tubulações encontram-se em estado de conservação inadequado, sugere-se que este aumento instantâneo dos níveis esteja relacionado a possíveis fugas de água provenientes destas redes de drenagem. Esta hipótese é plenamente plausível, considerando que tanto o filtro do PM-04 quanto a base da galeria de água pluvial encontram-se associados à mesma unidade litológica, correspondente à argila orgânica (Figura 07).

IV.4. Mapas Potenciométricos

Os mapas potenciométricos confeccionados para os meses de abril a junho de 2002 (Figuras 16, 17 e 18) demonstram dois sentidos de fluxo da água subterrânea convergentes, com gradiente hidráulico suave e velocidades de escoamento da água subterrânea variando de 0,55 m/ano a 4,43 m/ano a oeste e 0,16 m/ano a 5,27 m/ano a leste.

Os valores da velocidade real da água subterrânea foram calculados segundo a equação (Freeze & Cherry, 1976):

$$V = (K \times i) / n_{ef},$$

Onde:

V= velocidade real de escoamento da água subterrânea (L/T);

K= condutividade hidráulica (L/T);

i = gradiente hidráulico (%);

n_{ef} = Porosidade efetiva (%);

O sentido esperado de fluxo, conforme citado anteriormente, é de leste para oeste. Nota-se porém, uma inversão do sentido de fluxo vinculado ao potencial hidráulico elevado registrado nos poços PM-04, PM-05 e PM-06.

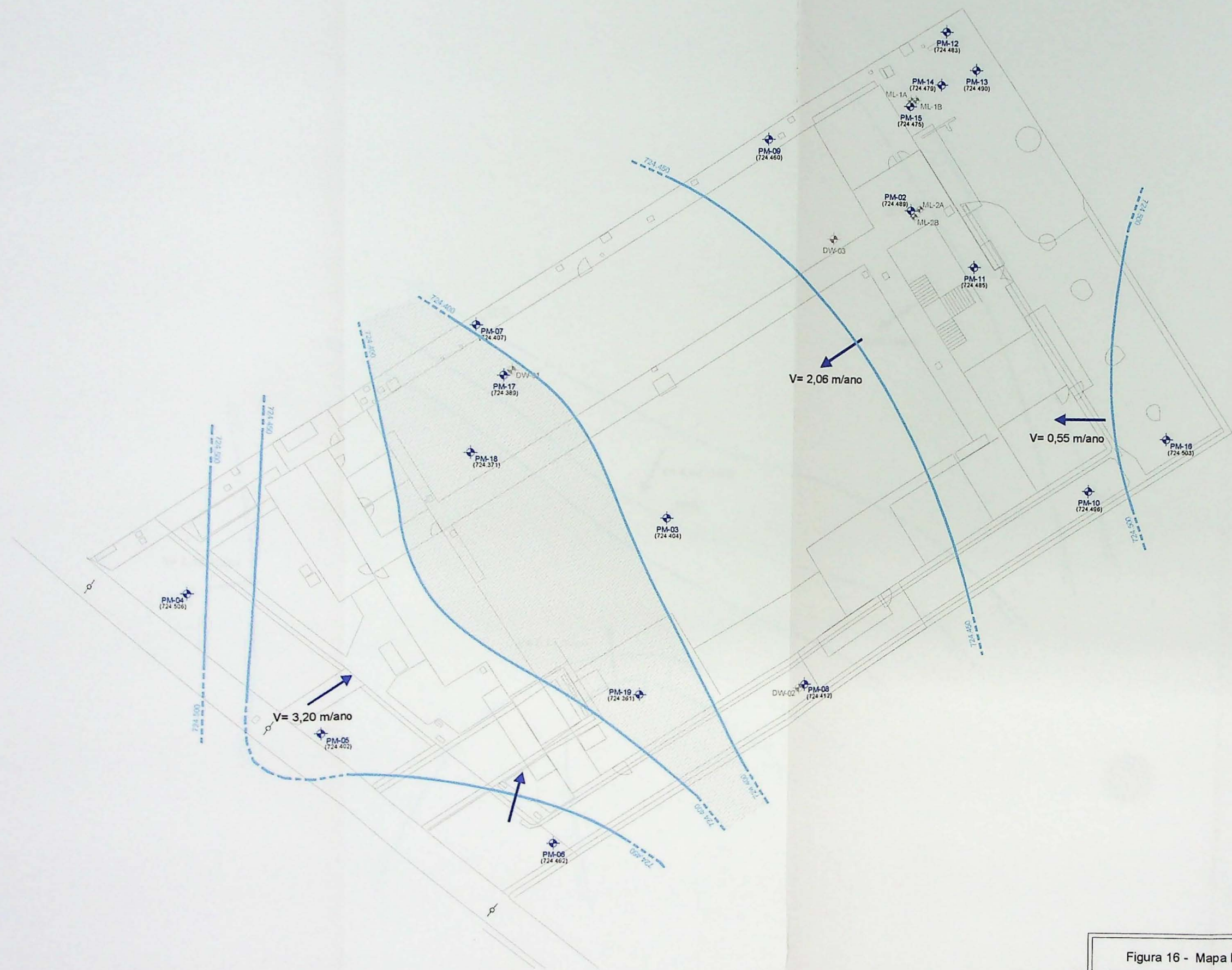
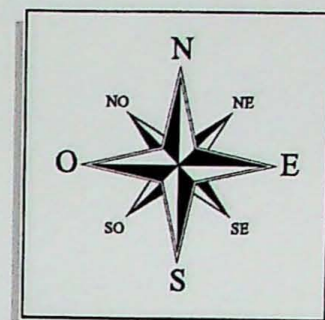
A princípio, acreditava-se que esta inversão estivesse relacionada a diferentes taxas de recarga ao longo da área. Com a construção dos poços de monitoramento multiníveis PM-04B, PM-04C e PM-06B (Figura 7), a execução de ensaios hidráulicos *in situ* e a interpretação de novos mapas potenciométricos foi possível identificar as reais causas relacionadas a este fenômeno.

A Figura 7 representa uma seção em corte da porção oeste da área, demonstrando as relações entre as seções filtrantes dos poços de monitoramento e as diferentes camadas geológicas. Neste contexto, nota-se a presença de uma lente de argila orgânica, com espessura variando de 2,0 a 3,0 metros cortando as seções filtrantes dos poços PM-04, PM-05 e PM-06. Esta camada, conforme citado anteriormente, possui baixos valores de condutividade hidráulica quando comparados aos das camadas sotopostas, porém possui uma elevada capacidade de retenção de água (alta porosidade).

Estas propriedades hidráulicas, associadas à presença da galeria de águas pluviais e redes de esgoto como fonte de recarga pontual, corroboram com o aumento do potencial hidráulico desta camada e, conseqüentemente, o aumento registrado nos níveis dos poços PM-04, PM-05 e PM-06.

Os poços PM-04B, PM-04C e PM-06B estão instalados nas camadas geológicas subjacentes (camadas de areia fina e alteração de rocha), representando o potencial hidráulico específico destas unidades. Quando estes valores de potencial hidráulico são utilizados para a interpretação do fluxo, em detrimento daqueles observados nos poços instalados na argila, nota-se que o fluxo da água subterrânea segue o padrão esperado regionalmente, de leste para oeste, com gradiente hidráulico mais suave predominantemente a leste, com velocidade de escoamento variando de 1,57 m/ano a 4,24 m/ano (Figuras 19, 20, 21 e 22).

Estes mapas potenciométricos representam em planta, as diferenças dos fluxos locais existentes, condicionados diretamente às diferenças de potencial hidráulico e ao contraste de valores de condutividade hidráulica em profundidade.



LEGENDA	
	POÇO DE MONITORAMENTO RASO
	POÇO DE MONITORAMENTO PROFUNDO
	POÇO MULTINÍVEL
	CARGA HIDRÁLICA (metros)
	DIREÇÃO ESTIMADA DE FLUXO DA ÁGUA SUBTERRÂNEA
	LINHAS EQUIPOTENCIAIS (metros)
	ZONA DE INFLEXÃO

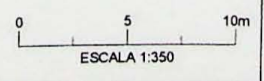
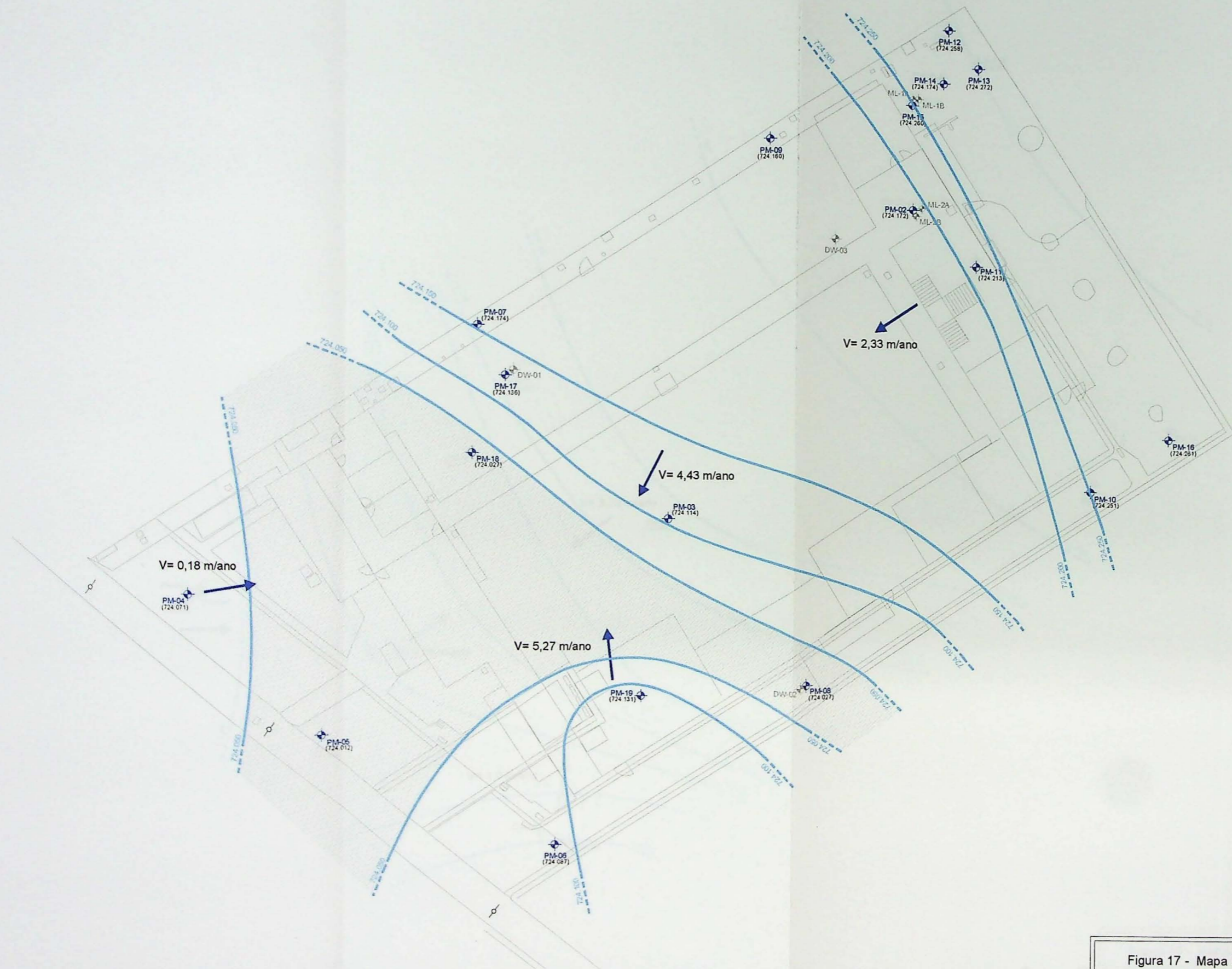
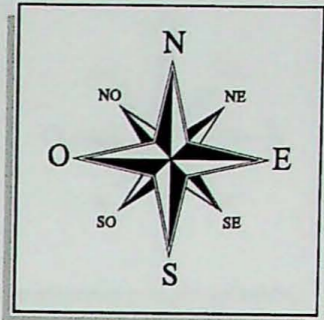


Figura 16 - Mapa Potenciométrico - 5 Abril de 2002

TRABALHO DE FORMATURA
Instituto de Geociências - USP





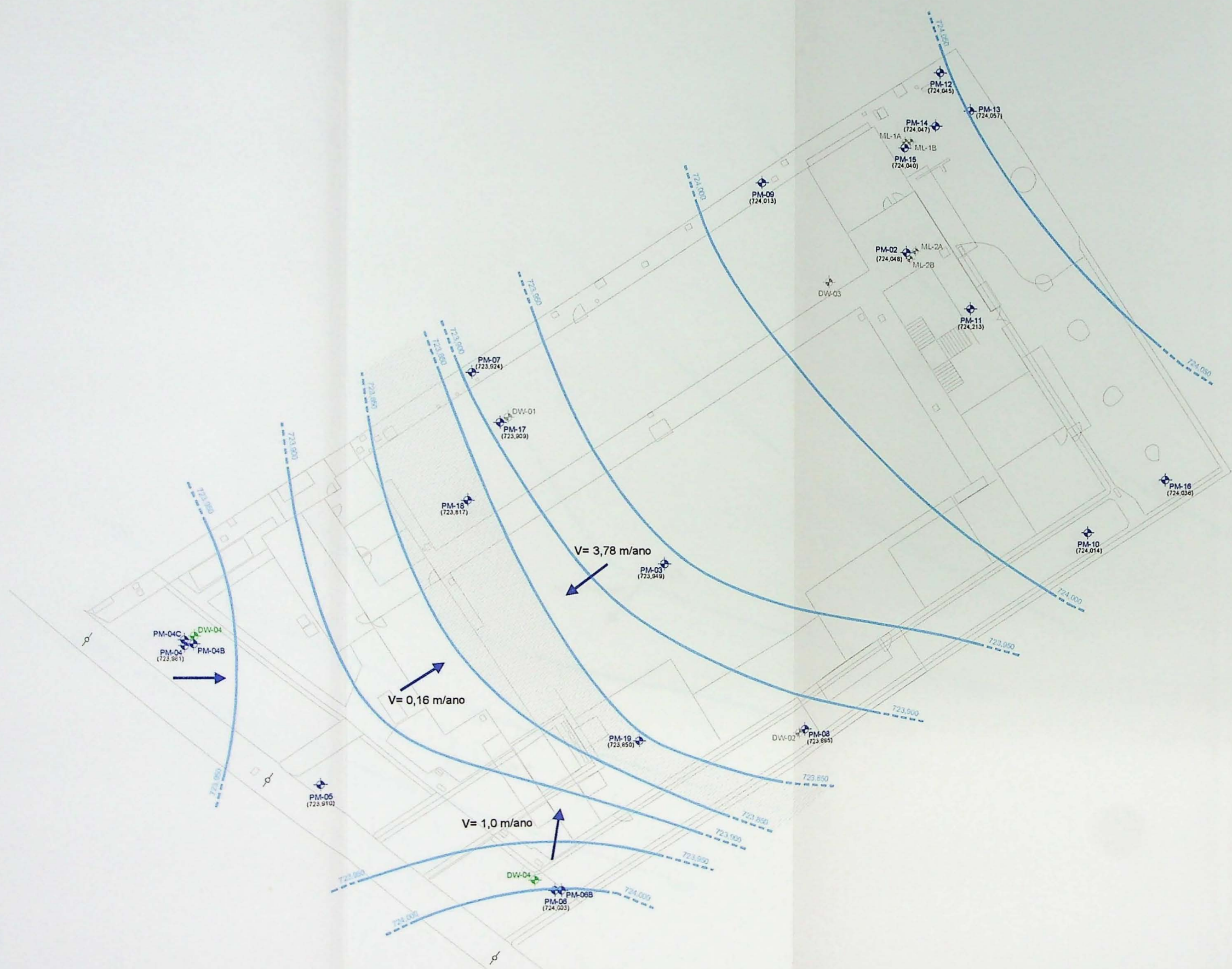
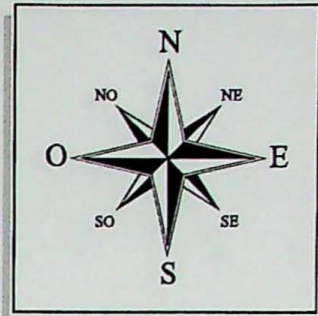
LEGENDA	
	POÇO DE MONITORAMENTO RASO
	POÇO DE MONITORAMENTO PROFUNDO
	CARGA HIDRÁLICA (metros)
	DIREÇÃO ESTIMADA DE FLUXO DA ÁGUA SUBTERRÂNEA
	LINHAS EQUIPOTENCIAIS (metros)
	ZONA DE INFLEXÃO

Figura 17 - Mapa Potenciométrico - 7 Maio de 2002

0 5 10m
ESCALA 1:350

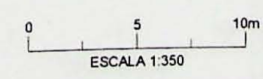
TRABALHO DE FORMATURA
Instituto de Geociências - USP





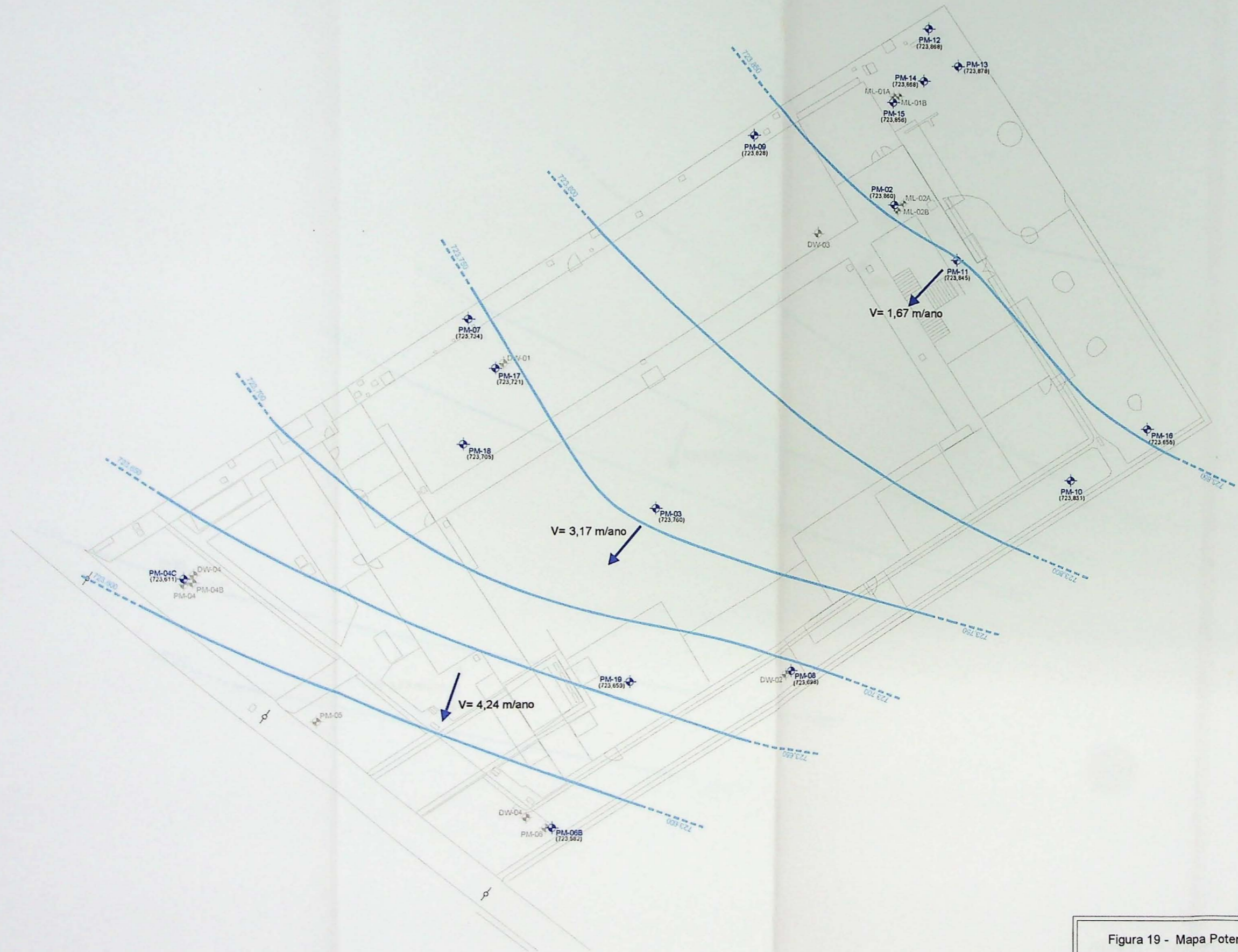
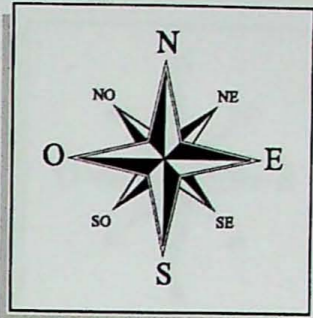
LEGENDA	
	POÇO DE MONITORAMENTO RASO
	POÇO DE MONITORAMENTO PROFUNDO
	POÇO MULTINÍVEL
(723,570)	CARGA HIDRÁLICA (metros)
	DIREÇÃO ESTIMADA DE FLUXO DA ÁGUA SUBTERRÂNEA
	LINHAS EQUIPOTENCIAIS (metros)
	ZONA DE INFLEXÃO

Figura 18 - Mapa Potenciométrico - 11 Junho de 2002



TRABALHO DE FORMATURA
Instituto de Geociências - USP





LEGENDA	
	POÇO DE MONITORAMENTO RASO
	POÇO MULTINÍVEL
	POÇO DE MONITORAMENTO PROFUNDO
(723,570)	CARGA HIDRÁLICA (metros)
	DIREÇÃO DE FLUXO ESTIMADA DA ÁGUA SUBTERRÂNEA
	LINHAS EQUIPOTENCIAIS (metros)

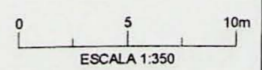
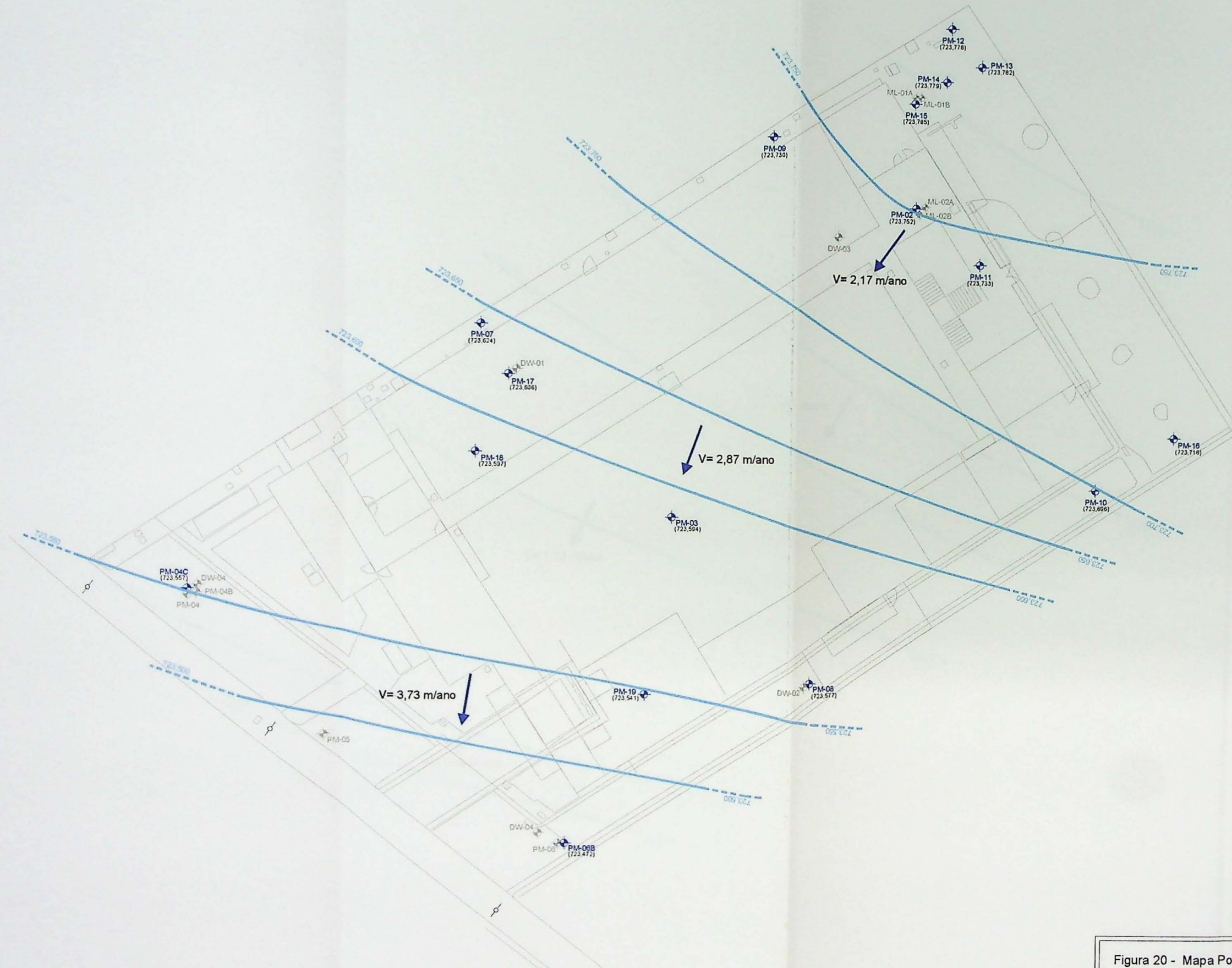
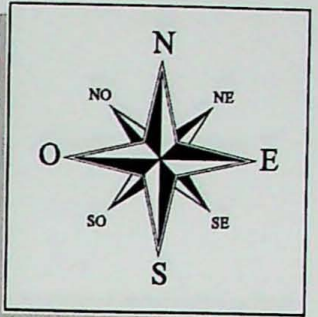


Figura 19 - Mapa Potenciométrico - 3 Julho de 2002





LEGENDA	
	POÇO DE MONITORAMENTO RASO
	POÇO MULTINÍVEL
	POÇO DE MONITORAMENTO PROFUNDO
(723,570)	CARGA HIDRÁLICA (metros)
	DIREÇÃO DE FLUXO ESTIMADA DA ÁGUA SUBTERRÂNEA
	LINHAS EQUIPOTENCIAIS (metros)

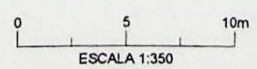
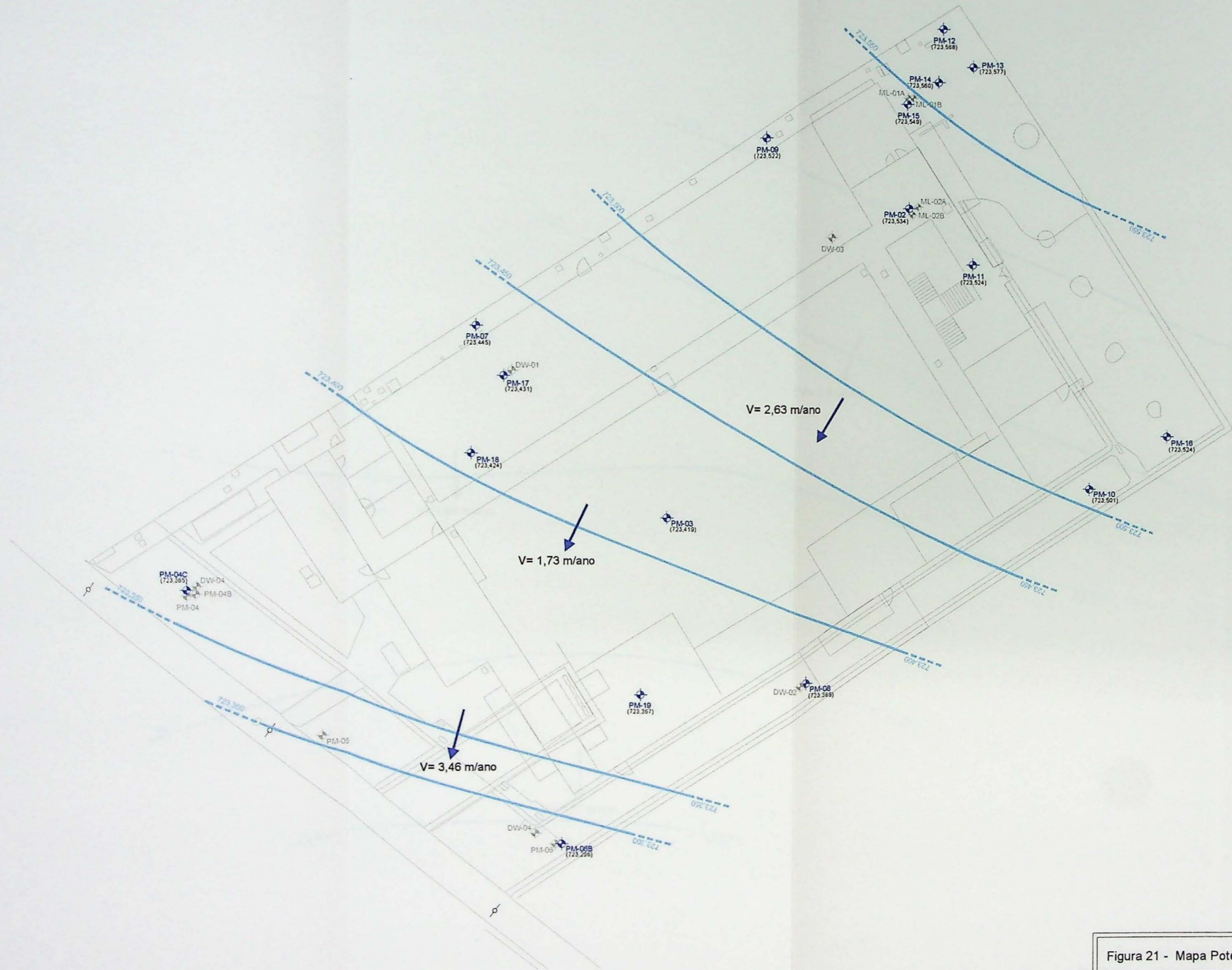
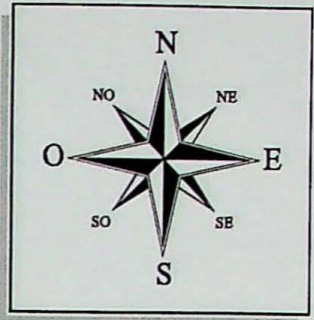


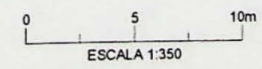
Figura 20 - Mapa Potenciométrico - 05 de Agosto de 2002





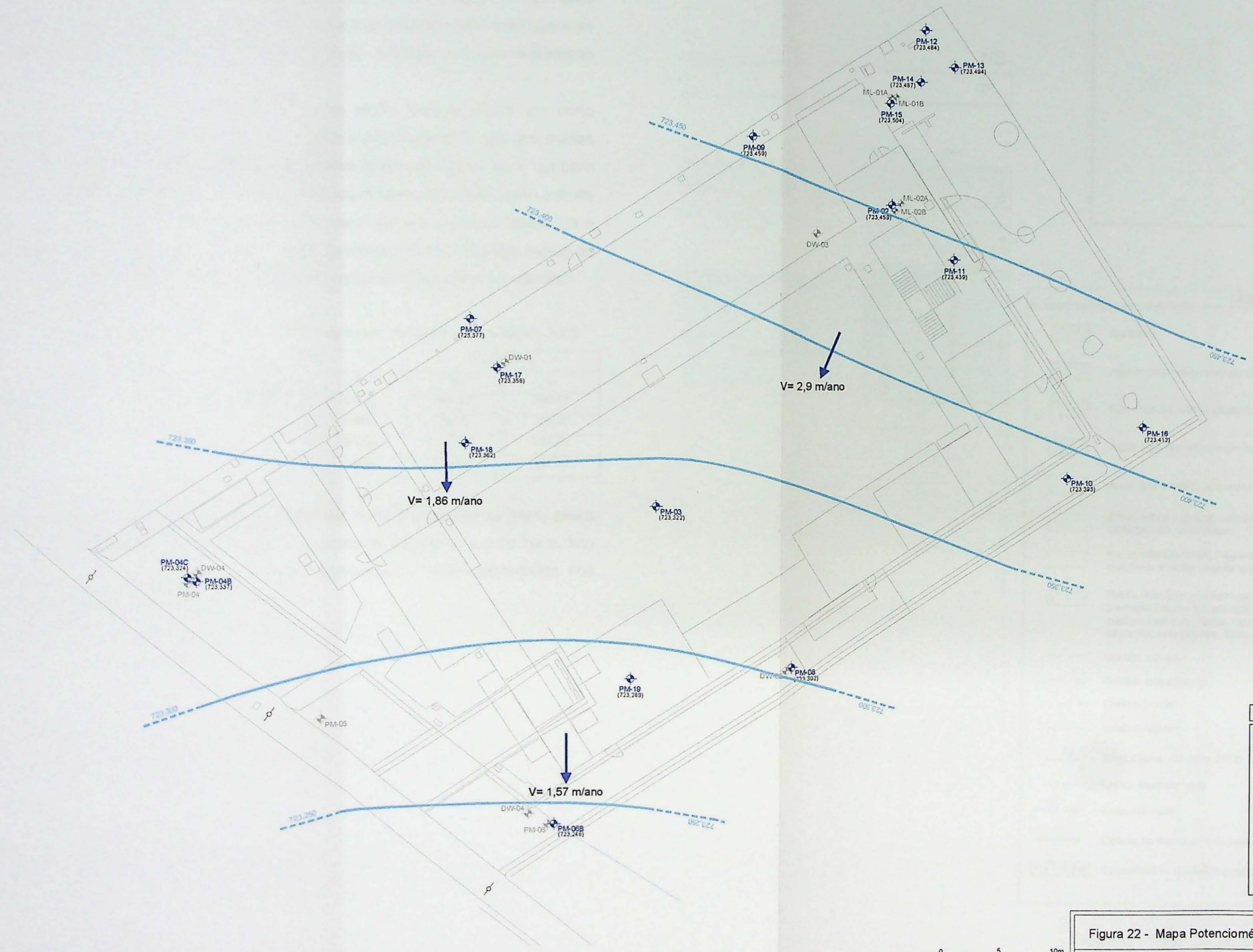
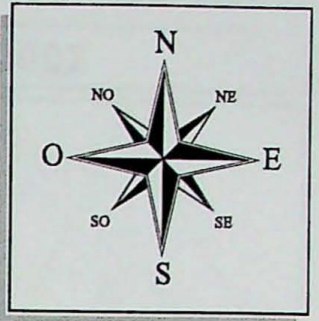
LEGENDA	
	POÇO DE MONITORAMENTO RASO
	POÇO MULTINÍVEL
	POÇO DE MONITORAMENTO PROFUNDO
(723,570)	CARGA HIDRÁULICA (metros)
	DIREÇÃO DE FLUXO ESTIMADA DA ÁGUA SUBTERRÂNEA
	LINHAS EQUIPOTENCIAIS (metros)

Figura 21 - Mapa Potenciométrico - 3 de Setembro de 2002



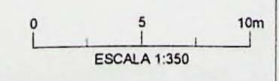
TRABALHO DE FORMATURA
Instituto de Geociências - USP





LEGENDA	
	POÇO DE MONITORAMENTO RASO
	POÇO MULTINÍVEL
	POÇO DE MONITORAMENTO PROFUNDO
(723,570)	CARGA HIDRÁULICA (metros)
	DIREÇÃO DE FLUXO ESTIMADA DA ÁGUA SUBTERRÂNEA
	LINHAS EQUIPOTENCIAIS (metros)

Figura 22 - Mapa Potenciométrico - 4 de Outubro de 2002



TRABALHO DE FORMATURA
Instituto de Geociências - USP



IV.5. Estudo dos padrões de fluxo da água subterrânea

As diferenças de potencial hidráulico e as heterogeneidades dos valores de condutividade hidráulica entre as diferentes unidades geológicas que constituem o aquífero poroso livre da área, refletem como citado anteriormente, em fluxos preferenciais (horizontais e verticais). Considerando a relação entre o pacote de argila orgânica e as camadas geológicas subjacentes nota-se um fluxo vertical predominantemente descendente.

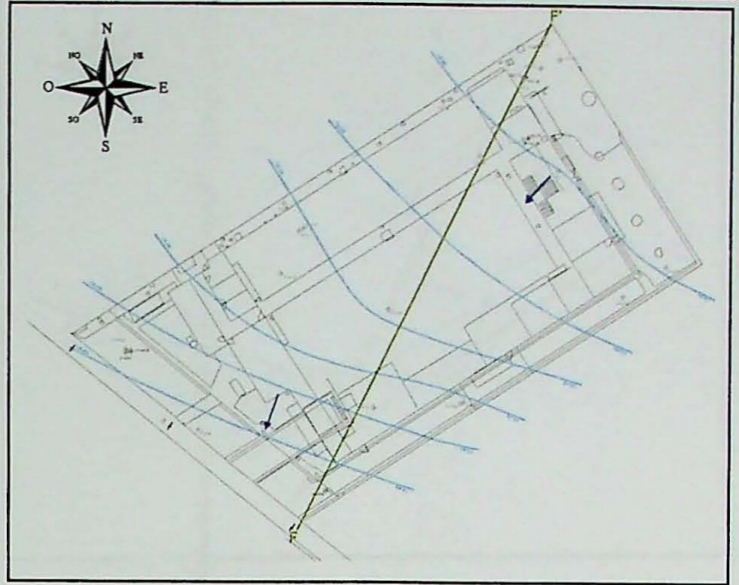
As Figuras 23, 24, 25 e 26 representam uma seção hidrogeológica em corte aproximadamente paralelo as linhas de fluxo da água subterrânea ao longo dos meses de julho a outubro de 2002. Foram calculadas as velocidades de Darcy (q_1 e q_2) para duas porções do aquífero considerando a descontinuidade lateral da argila como o limite de cálculo, e como sendo o aquífero homogêneo do ponto de vista litológico (areia fina e grossa + alteração de rocha) e isotrópico com valor de condutividade hidráulica médio da ordem de 5.10^{-6} m/s. A Tabela 03, abaixo, resume as variáveis envolvidas no cálculo.

Tabela 03: Cálculo da velocidade de fluxo de Darcy para os meses de Junho a Outubro de 2002

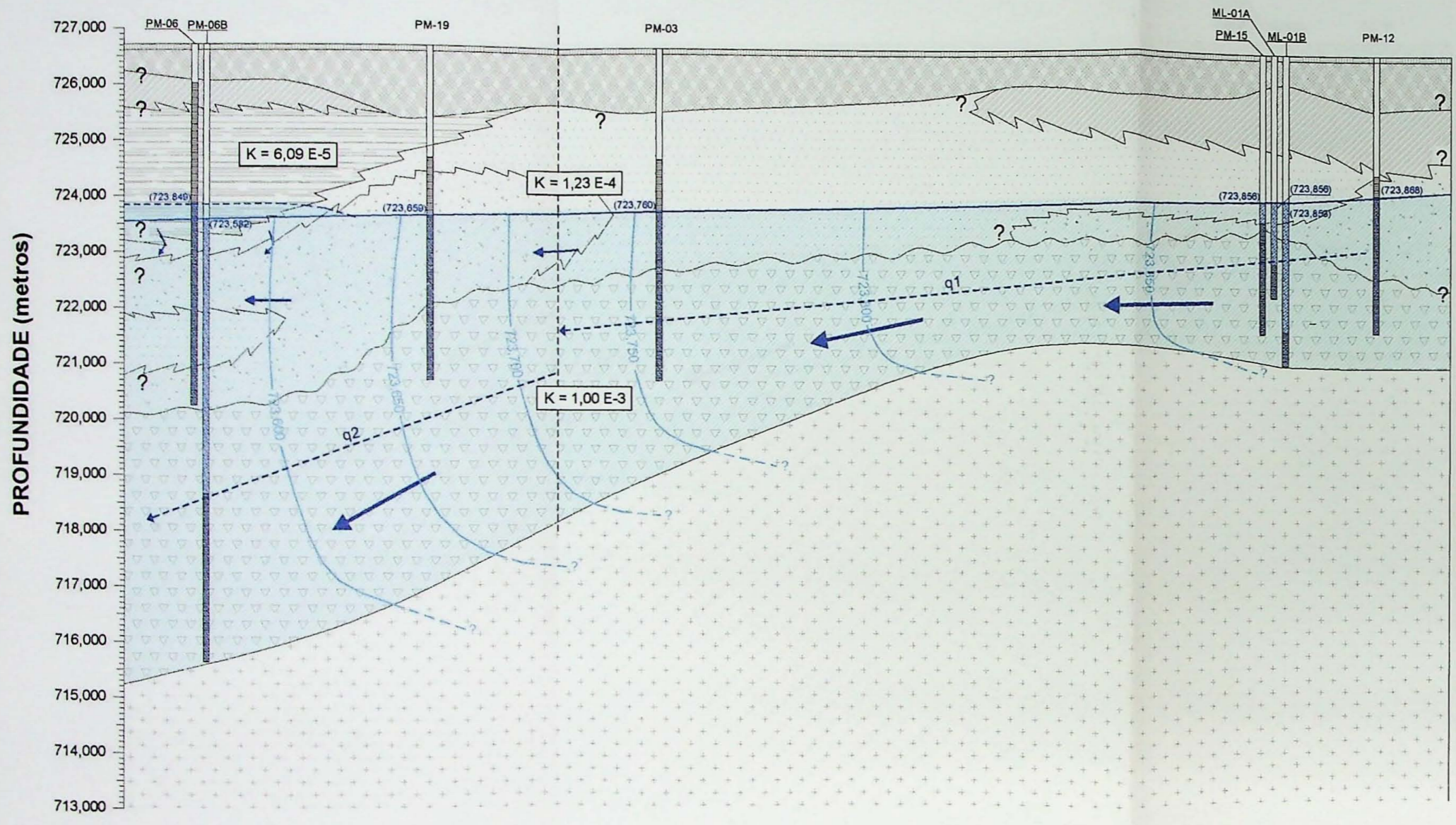
	K (m/s)	i (%)		q (mm/ano)	
		i_1	i_2	q_1	q_2
Julho	$5,0 \times 10^{-6}$	0,25%	0,62%	394,20	985,50
Agosto		0,26%	0,45%	409,97	709,56
Setembro		0,35%	0,50%	551,88	788,40
Outubro		0,32%	0,36%	504,58	567,65

As camadas geológicas tornam-se mais espessas rumo a sudoeste da área, assim como, nesta mesma direção, há um aumento do gradiente hidráulico e o do fluxo. Isto provavelmente deve-se ao fato das camadas apresentarem heterogeneidades nos valores de condutividade hidráulica a sudoeste.

JULHO 2002



SO
F
SEÇÃO F - F'
NE
F'



LEGENDA

- Concreto.
- Aterro: areia siltosa com porções argilosas, com detritos de construção.
- Silte argiloso, média plasticidade, marrom.
- Argila orgânica, alta plasticidade, preta.
- Areia, fina a média, com matriz argilosa, média plasticidade, cinza-bege.
- Areia, média a grossa, com fragmentos de quartzo milimétricos a centimétricos, cinza-bege.
- Rocha alterada: areia, média a grossa com porções cauliniticas, quartzo, muscovita e biotita, branco acinzentada.
- Rocha: estrutura gnáissica, por vezes xistosa, com textura predominantemente lepidogranoblástica, fina-média, composta por quartzo, feldspato, biotita, muscovita e máficos, com baixo grau de alteração, com fraturas. Nota-se porções pegmatíticas associadas.
- Contato erosivo.
- Contato interdigitado.
- Contato inferido.
- Contato regular.
- Nível d'água (03.Julho.2002)
- Linhas Equipotenciais
- Fluxo calculado
- Direção de fluxo estimada para a água subterrânea
- $K = 1,00 E-3$ Condutividade Hidráulica (cm/s)

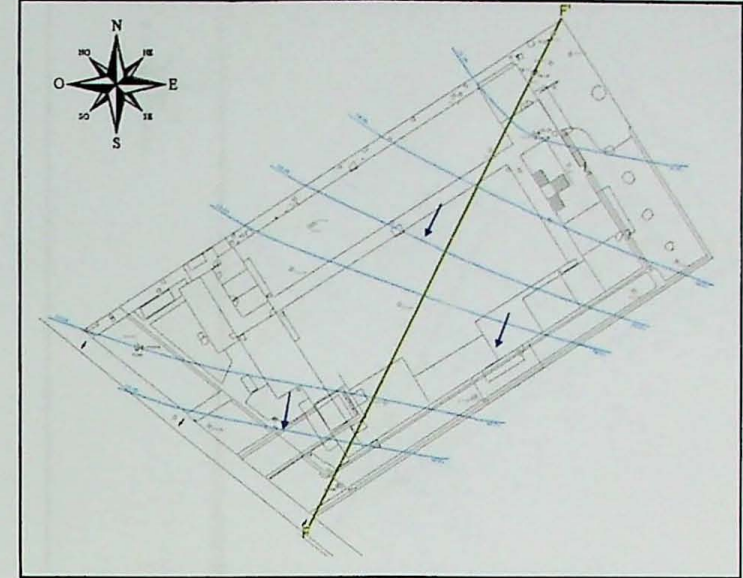
Figura 23 - Seção Hidrogeológica F - F' (03.Julho 2002)

ESCALA HORIZONTAL 1:350

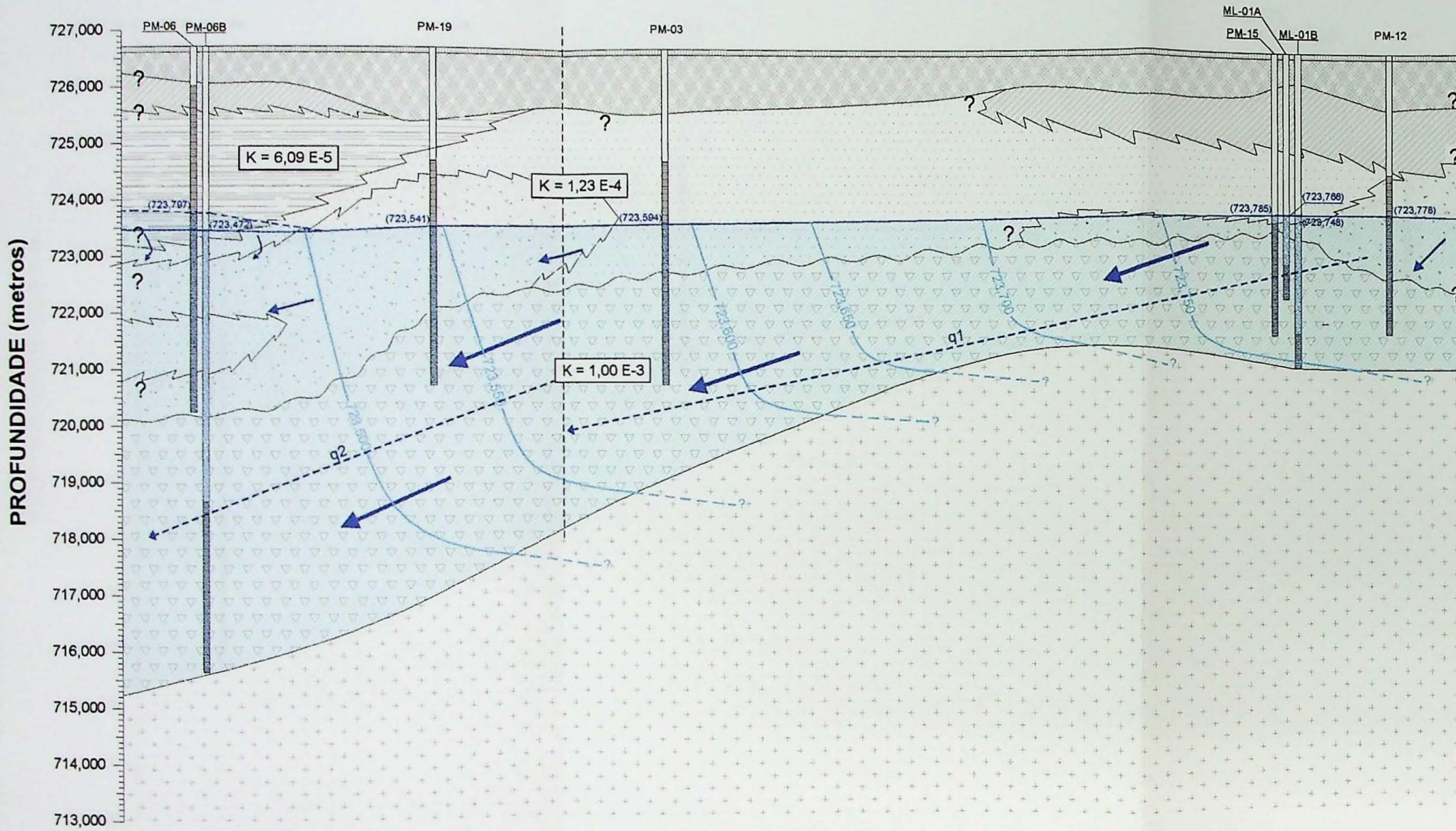
TRABALHO DE FORMATURA
Instituto de Geociências - USP



AGOSTO 2002



SO NE
F F' SEÇÃO F - F'



LEGENDA

- Concreto.
- Aterro: areia siltosa com porções argilosas, com detritos de construção.
- Silte argiloso, média plasticidade, marrom.
- Argila orgânica, alta plasticidade, preta.
- Areia, fina a média, com matriz argilosa, média plasticidade, cinza-bege.
- Areia, média a grossa, com fragmentos de quartzo milimétricos a centimétricos, cinza-bege.
- Rocha alterada: areia, média a grossa com porções caulínicas, quartzo, muscovita e biotita, branco acinzentada.
- Rocha: estrutura gnáissica, por vezes xistosa, com textura predominantemente lepidogranoblástica, fina-média, composta por quartzo, feldspato, biotita, muscovita e máficos, com baixo grau de alteração, com fraturas. Nota-se porções pegmatíticas associadas.
- Contato erosivo.
- Contato interdigitado.
- Contato inferido.
- Contato regular.
- Nível d'água (03.Julho.2002)
- Linhas Equipotenciais
- Fluxo calculado
- Direção de fluxo estimada para a água subterrânea
- $K = 1,00 E-3$ Condutividade Hidráulica (cm/s)

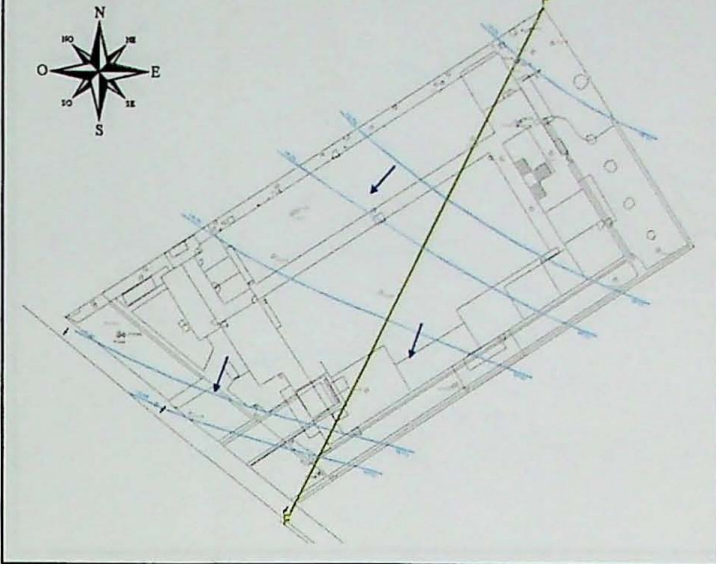
Figura 24 - Seção Hidrogeológica F - F' (05.Agosto.2002)

ESCALA HORIZONTAL 1:350

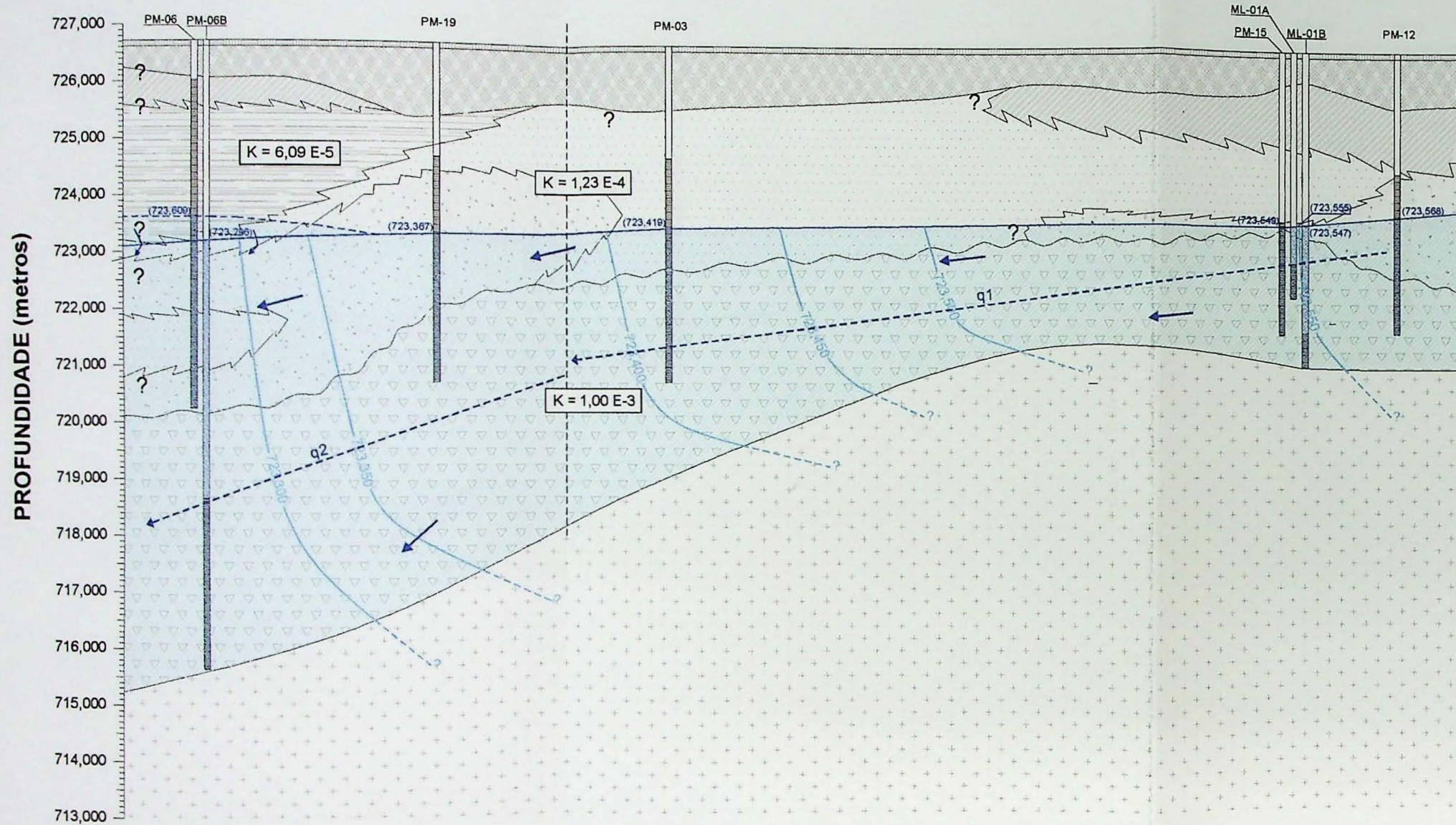
TRABALHO DE FORMATURA
Instituto de Geociências - USP



SETEMBRO 2002



SO F SEÇÃO F - F' NE F'



LEGENDA

- Concreto.
- Aterro: areia siltosa com porções argilosas, com detritos de construção.
- Silte argiloso, média plasticidade, marrom.
- Argila orgânica, alta plasticidade, preta.
- Areia, fina a média, com matriz argilosa, média plasticidade, cinza-bege.
- Areia, média a grossa, com fragmentos de quartzo milimétricos a centimétricos, cinza-bege.
- Rocha alterada: areia, média a grossa com porções caulínicas, quartzo, muscovita e biotita, branco acinzentada.
- Rocha: estrutura gnáissica, por vezes xistosa, com textura predominantemente lepidogranoblástica, fina-média, composta por quartzo, feldspato, biotita, muscovita e máficos, com baixo grau de alteração, com fraturas. Nota-se porções pegmatíticas associadas.
- Contato erosivo.
- Contato interdigitado.
- Contato inferido.
- Contato regular.
- Nível d'água (03.Julho.2002)
- Linhas Equipotenciais
- Fluxo calculado
- Direção de fluxo estimada para a água subterrânea
- $K = 1,00 E-3$ Condutividade Hidráulica (cm/s)

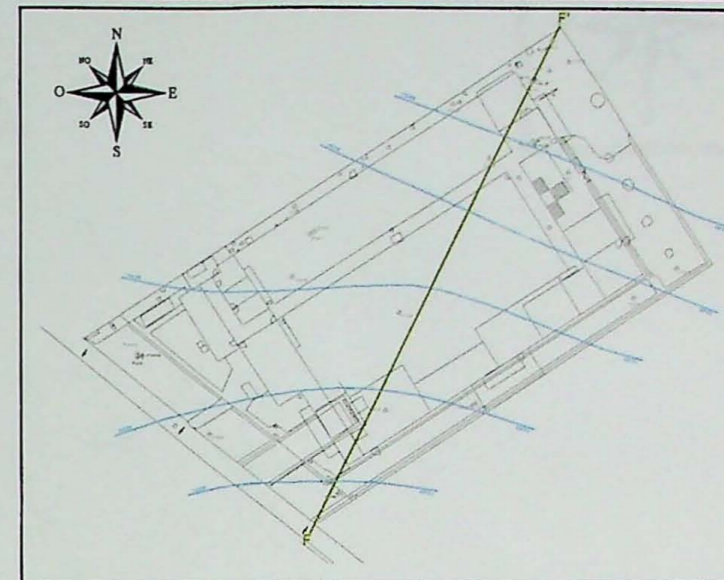
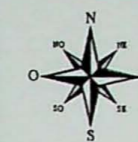
Figura 25 - Seção Hidrogeológica F - F' (03.Setembro.2002)

ESCALA HORIZONTAL 1:350

TRABALHO DE FORMATURA
Instituto de Geociências - USP



OUTUBRO 2002



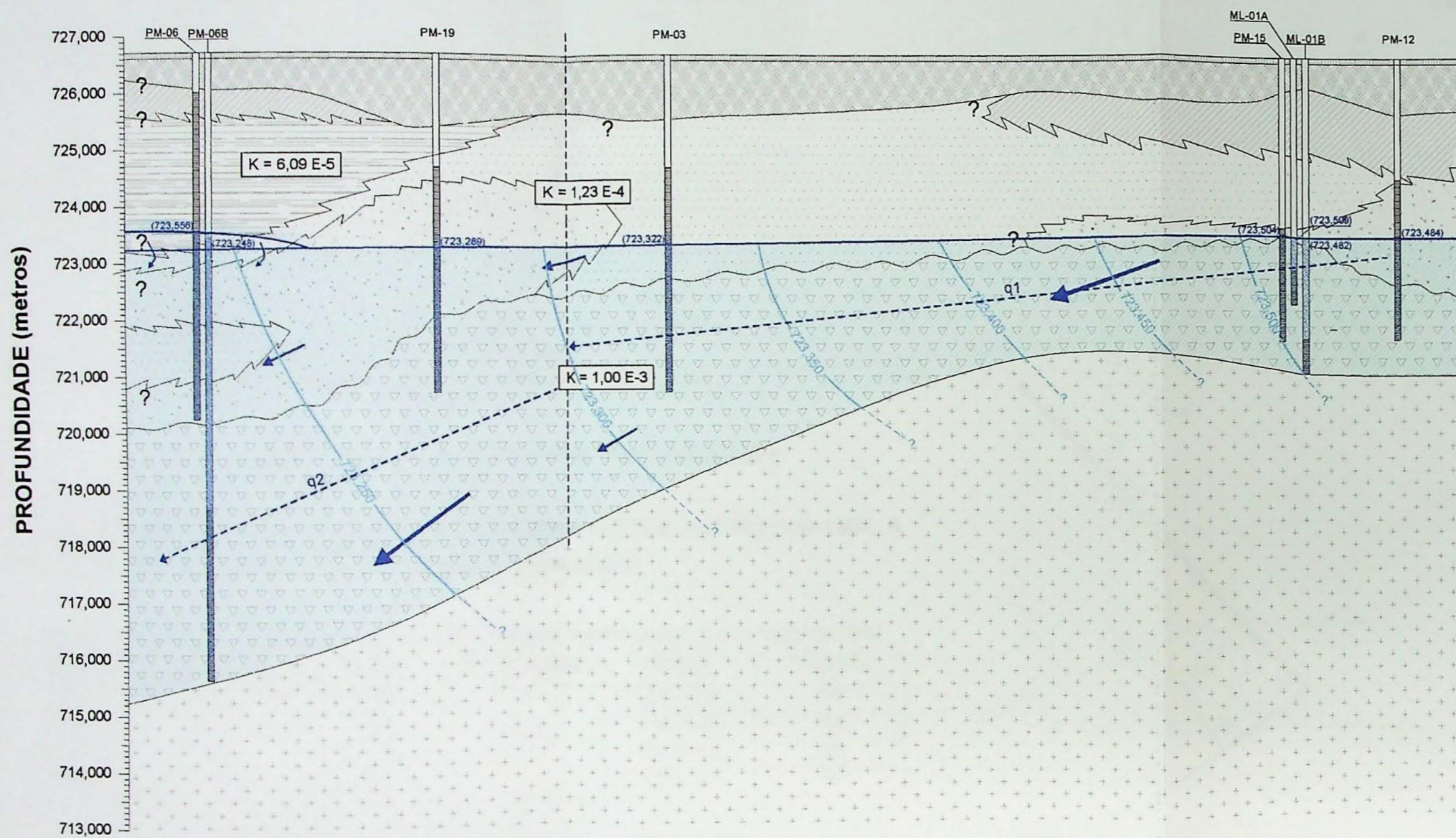
SO

NE

F

SEÇÃO F - F'

F'



LEGENDA

- Concreto.
- Aterro: areia siltosa com porções argilosas, com detritos de construção.
- Silte argiloso, média plasticidade, marrom.
- Argila orgânica, alta plasticidade, preta.
- Areia, fina a média, com matriz argilosa, média plasticidade, cinza-bege.
- Areia, média a grossa, com fragmentos de quartzo milimétricos a centimétricos, cinza-bege.
- Rocha alterada: areia, média a grossa com porções cauliniticas, quartzo, muscovita e biotita, branco acinzentada.
- Rocha: estrutura gnáissica, por vezes xistosa, com textura predominantemente lepidogranoblástica, fina-média, composta por quartzo, feldspato, biotita, muscovita e máficos, com baixo grau de alteração, com fraturas. Nota-se porções pegmatíticas associadas.
- Contato erosivo.
- Contato interdigitado.
- Contato inferido.
- Contato regular.
- Nível d'água (03.Julho.2002)
- Linhas Equipotenciais
- Fluxo calculado
- Direção de fluxo estimada para a água subterrânea
- $K = 1,00 \text{ E-3}$ Condutividade Hidráulica (cm/s)

Figura 26 - Seção Hidrogeológica F - F' (04.Outubro 2002)

TRABALHO DE FORMATURA
Instituto de Geociências - USP



ESCALA HORIZONTAL 1:350

A leitura direta dos níveis de água dos poços multiníveis PM-04, PM-04B permitiu estimar a recarga (fluxo) proveniente do sistema público de redes de esgoto e águas pluviais que passa por uma seção (pacote de argila orgânica) em direção as camadas subjacentes (Figura 27, esquema abaixo), aplicando a equação de fluxo estabelecida por Darcy (1856) *apud* Freeze & Cherry (1979) em meios porosos.

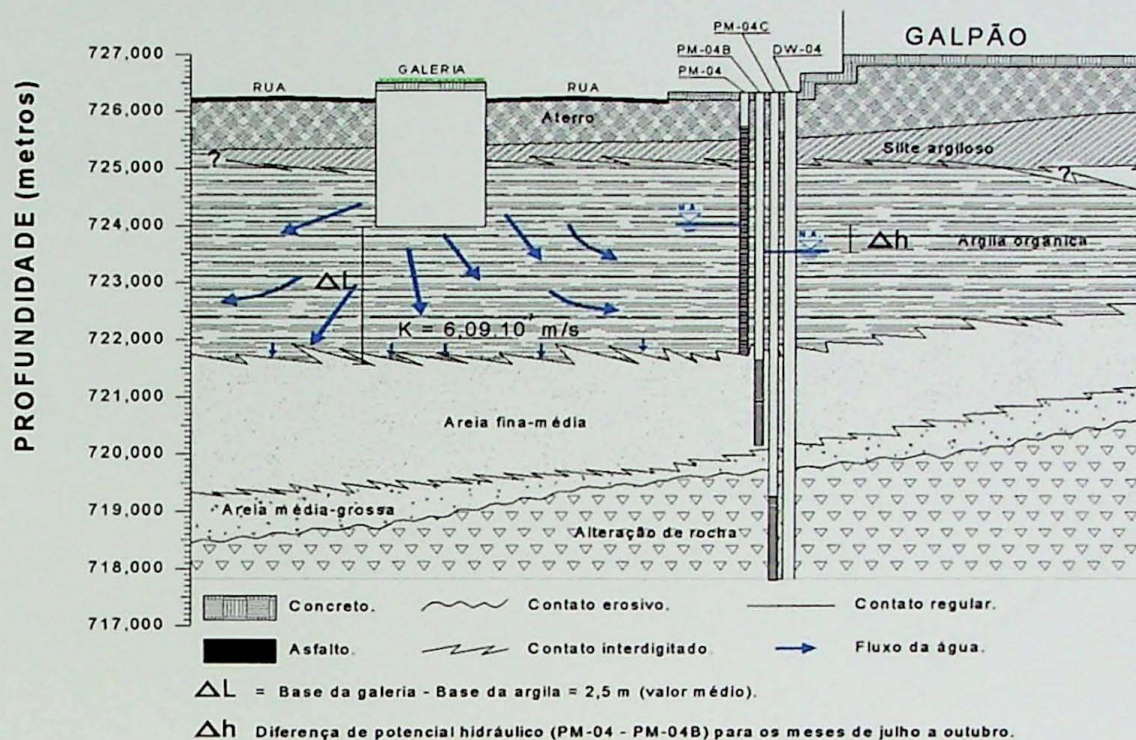


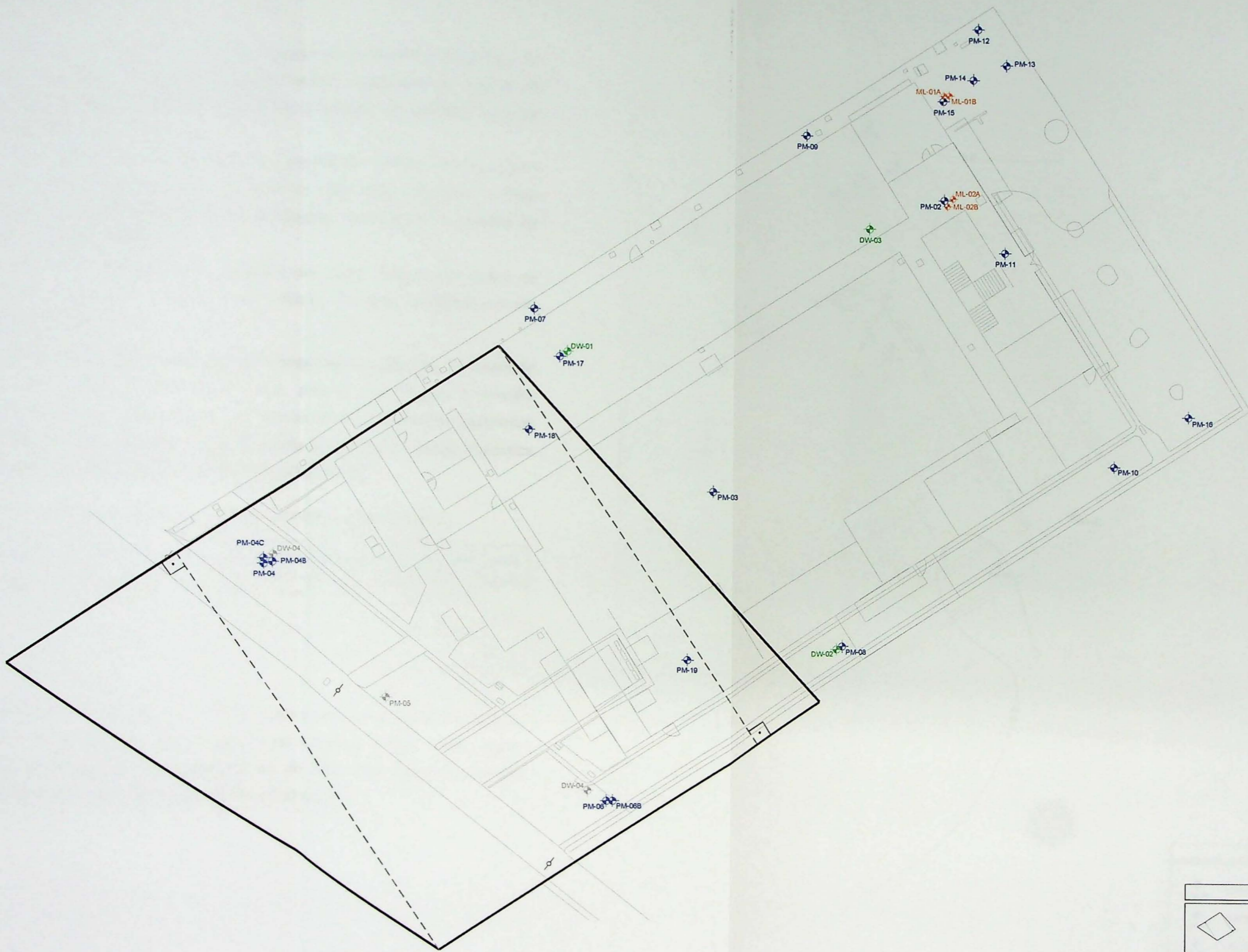
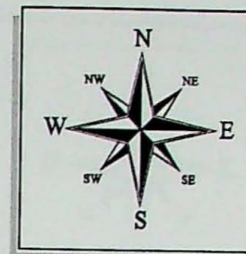
Figura 27 : Desenho esquemático, representando o fluxo intercamadas.

Estes valores foram calculados para os meses de julho de 2002 a setembro de 2002. A Tabela 04, abaixo relaciona as variáveis envolvidas neste cálculo.

Tabela 04: Cálculo da velocidade de fluxo de Darcy para os meses de Junho a Outubro de 2002

Meses	K(m/s)	i (%)	Área da argila (m ²)	Q (m ³ /s)	q (mm/ano)
Julho	6,09 x 10 ⁻⁷	4,68%	1854,4	5,24 x 10 ⁻⁵	899
Agosto		2,80%		3,16x 10 ⁻⁵	538
Setembro		3,12%		3,52 x 10 ⁻⁵	599
Outubro		2,20%		2,48 x 10 ⁻⁵	422

A área da argila orgânica (Figura 28) é representada pela projeção da área da base da camada no plano horizontal. Esta área foi aproximada à de uma figura geométrica conhecida e, o valor de condutividade hidráulica vertical foi considerado semelhante ao apresentado nos ensaios de recuperação. Tais fatores apresentam um erro embutido no cálculo efetuado acima.



LEGENDA	
	PROJEÇÃO EM PLANTA DA ÁREA DA ARGILA ORGÂNICA

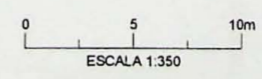
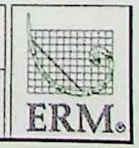


Figura 28 - Projeção em planta da área da argila orgânica.



IV.6. Quantificação da Recarga pelo método da variação dos níveis potenciométricos

Na quantificação da recarga pelo método da variação dos níveis potenciométricos, foi considerado que o aumento dos níveis potenciométricos registrados nos poços de monitoramento da área está diretamente relacionado à resposta do aquífero local aos eventos de recarga regional.

Para este cálculo, não foram considerados os poços PM-04, PM-05 e PM-06, pois há uma componente de recarga induzida no aumento dos seus respectivos níveis potenciométricos; e o ano hidrogeológico foi considerado como sendo o período de setembro de 2001 a outubro de 2002.

O método baseia-se na leitura direta periódica dos níveis d'água dos poços de monitoramento, de modo a obter a variação dos valores de carga hidráulica por um determinado período de tempo.

Conforme citado anteriormente, o período de recarga efetiva registrada, corresponde a dezembro de 2001 a março de 2002, desta forma, pode ser considerada a variação (Δh) como sendo a diferença entre a média dos valores de carga hidráulica registrados nos poços no mês de março de 2001 (h_1) e a média os valores de carga hidráulica registrados nos poços no mês dezembro de 2002 (h_0) (Tabela 05)

Tabela 05: Cálculo da recarga pelo Método da variação dos níveis potenciométricos.

	PM-02	PM-03	PM-07	PM-08	PM-09	PM-10	PM-11	PM-12	PM-13	PM-14	PM-15	PM-16	Média	Δh (m)
Dez 2001	723,587	723,523	723,544	723,507	723,584	723,567	723,589	723,588	723,598	723,584	723,582	723,579	723,570	0,978
Mar 2002	724,555	724,484	724,499	724,547	724,517	724,602	724,565	724,545	724,550	724,549	724,539	724,608	724,547	

A vazão específica (specific yield) é a razão entre o volume de água drenada por gravidade de uma rocha saturada pelo volume total da rocha (Fetter, 1994). Neste trabalho, o valor de vazão específica adotado foi de 25%, com base nos valores apresentados por Johnson (1967 *apud* Fetter, 1994) (Tabela 06).

Tabela 06: Vazão específica em % (Modificado de Johnson, 1967 apud Fetter, 1994)

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

Deste modo, se:

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

$$R = 0,25 \cdot 978\text{mm} / 1 \text{ ano} \Rightarrow 244,5\text{mm/ano}.$$

Este valor representa 16% do total de chuvas registrado para o ano hidrológico correspondente ao período de setembro de 2001 a outubro de 2002.

IV.7. Quantificação da Recarga pelo método do balanço hídrico

Este método de cálculo de recarga foi considerado para fins de comparação dos resultados obtidos na utilização do método de variação do nível de água, sendo o cálculo para o ano de 2001 (janeiro a dezembro). Deve-se ressaltar que este método é utilizado para o cálculo de valores de recarga em escala regional baseado na obtenção de valores de evapotranspiração potencial pelo método de Thornthwaite (1955). Para realização do cálculo, utilizou-se o programa desenvolvido por Pinto *et al* (s/d), que exige a entrada de parâmetros climáticos (pluviometria mensal e temperatura média mensal), coordenadas geográficas (latitude e longitude) da área de estudo e o valor máximo de armazenamento (mm) (Tabela 08). Os dados climáticos foram obtidos na estação meteorológica do Instituto Astronômico e Geofísico da USP (Tabela 02, Anexo III).

O armazenamento pode ser definido como sendo a quantidade de água disponível por metro de solo em função da espessura da camada (Cetesb, 1985). Considerando, que grande parte das coberturas existentes sejam constituídas de material de aterro (heterogêneo), foi adotado para realização do cálculo, com base nos valores representados na Tabela 07, o valor de 200mm.

Tabela 07: Umidade do solo (mmH₂O/ m de solo) (Modificado de Cetesb, 1985)

Tipo de Solo	Capacidade de Campo	Ponto de Murchamento	Água Disponível
Solo Arenoso	200	50	150
Solo Siltoso	300	100	200
Solo Argiloso	375	125	250

Tabela 08: Cálculo do balanço hídrico segundo Thornthwaite (1955)

MÊS	TEMP °C	NOMO	COR	EP (mm)	P (mm)	P-EP (mm)	NEG ACUM	ARM (mm)	ALT (mm)	ER (mm)	DEF (mm)	EXC (mm)
JAN	23,4	103	1,17	121	139	18	0	200	0	121	0	18
FEV	23,6	105	1,01	106	135	28	0	200	0	106	0	29
MAR	22,7	97	1,05	102	210	108	0	200	0	102	0	108
ABR	21,8	89	0,96	85	44	-41	-41	163	-37	81	4	0
MAI	17,5	55	0,94	52	91	39	0	200	37	52	0	2
JUN	16,9	51	0,88	45	26	-19	-19	182	-18	44	1	0
JUL	16,5	49	0,93	45	61	15	-3	197	15	45	0	0
AGO	17,8	57	0,98	56	23	-34	-36	167	-31	53	3	0
SET	17,7	57	1,00	57	55	-2	-38	166	-1	56	0	0
OUT	19,3	68	1,10	75	244	169	0	200	34	75	0	135
NOV	20,8	80	1,11	89	117	28	0	200	0	89	0	28
DEZ	21,9	84	1,18	100	171	71	0	200	6	100	0	71
ANO	19,9			934	1315	381				926	8	391

Índice Hídrico = -46.7 Clima Úmido, Mesotérmico

EP = Evapotranspiração Potencial

P = Precipitação

P-EP = Precipitação menos Evapotranspiração Potencial

NEG ACUM = Negativo Acumulado

ARM = Armazenamento

ALT = Alteração no armazenamento em relação ao mês anterior

ER = Evapotranspiração Real

DEF = Déficit = Evapotranspiração Potencial menos Evapotranspiração Real

EXC = Excedente que se infiltra = Precipitação menos ALT menos Evapotranspiração Real

O valor da recarga potencial anual obtido pelo método é de 391mm/ano, equivalente a 30% do total anual de chuvas.

IV.8. Método do balanço hídrico vs Método da variação dos níveis potenciométricos

A diferença de valores observada entre os métodos está relacionada ao fato do balanço hídrico considerar a recarga potencial e a variação dos níveis potenciométricos considerar a recarga efetiva, observada diretamente nos poços de monitoramento e a diferença entre o total de chuvas registradas para os dois anos hidrogeológicos considerados para o cálculo. O balanço hídrico calculado não considera o escoamento superficial da água de chuva. Em áreas urbanizadas, devido a impermeabilização de terrenos, é evidente a contribuição desta variável, não podendo assim ser desconsiderada.

Cetesb (1985) adotam os valores de escoamento superficial com base no tipo de solo presente e na declividade do terreno (Tabela 09).

Tabela 09: Coeficiente de escoamento superficial às medidas de precipitação (Modificado de Cetesb, 1985)

Tipo de Solo	Declividade (%)	Coeficiente	
		Estação Seca	Estação Úmida
Arenoso	0 a 2	0,17	0,34
	2 a 7	0,34	0,50
Argiloso	0 a 2	0,33	0,43
	2 a 7	0,45	0,55

Considerando o escoamento superficial como sendo 20% do total precipitado temos:

$$R = P - ER - ES - ALT$$

$$R = 1315 - 926 - 263 - 5 \Rightarrow 121 \text{mm/ano.}$$

Este valor corrigido, considerando o escoamento superficial, representa 9,2% do total de chuvas para o ano de 2002. Cabe ressaltar que a recarga relacionada a vazamentos de tubulações e canais de água não é considerada, podendo aumentar de forma significativa estes valores. Desta forma os valores obtidos podem ser considerados aproximadamente iguais.

IV.9. Hidrogeoquímica

O balanço iônico (Tabela 10, Anexo III) realizado nos resultados analíticos das análises químicas (Tabelas 11a e 11b Anexo III) permitiu identificar que 90 % das amostras analisadas apresentaram erros analíticos aceitáveis (menores que 10 %), permitindo garantir a acuracidade dos dados, possibilitando o tratamento e a interpretação das análises químicas totais com valores de erro inferiores ao permitido. As análises químicas cujos erros excediam esses valores foram avaliadas de forma mais conservadora procurando evitar que estes viessem a mascarar a interpretação dos dados.

As características físico químicas (pH e Eh) da água subterrânea foram obtidas em campo, durante a no processo de amostragem da água subterrânea (Tabela 12, Anexo III).

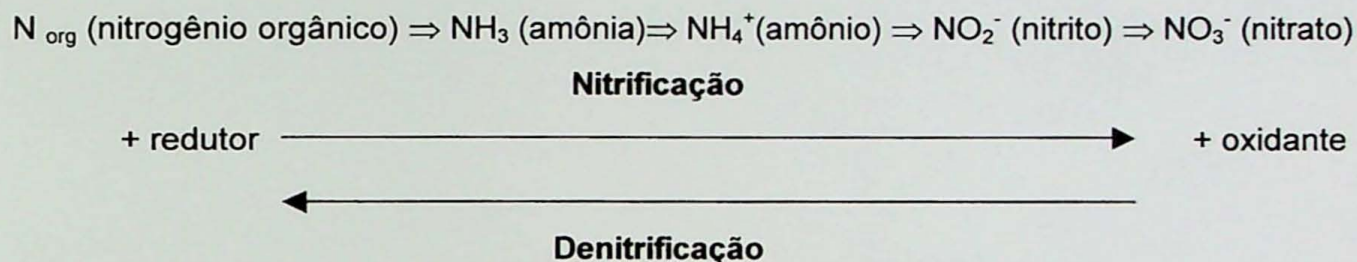
Os poços PM-04, PM-05 e PM-06, situados a oeste da área apresentaram elevados valores de concentração de amônio (Figura 29). A análise dos dados permite identificar duas possíveis fontes geradoras desta concentração.

Uma das possibilidades seria a própria composição da argila orgânica. Segundo Varnier (2001), a decomposição de animais e vegetais levam à formação de nitrogênio amoniacal, na forma de amônio pela ação de bactérias nitrossomas. Observações de campo permitiram identificar que o pacote de argila orgânica associado à estes poços, é rico em restos vegetais e possui odor característico.

Outra possibilidade seria a emissão de efluentes domésticos provenientes de vazamentos do sistema público de rede de esgoto e de águas pluviais (Stumm & Morgan, 1996 *apud* Varnier, 2001). Esta segunda hipótese é a que se apresenta mais plausível para a área de estudo, devido a presença das redes de água pluvial e esgoto.

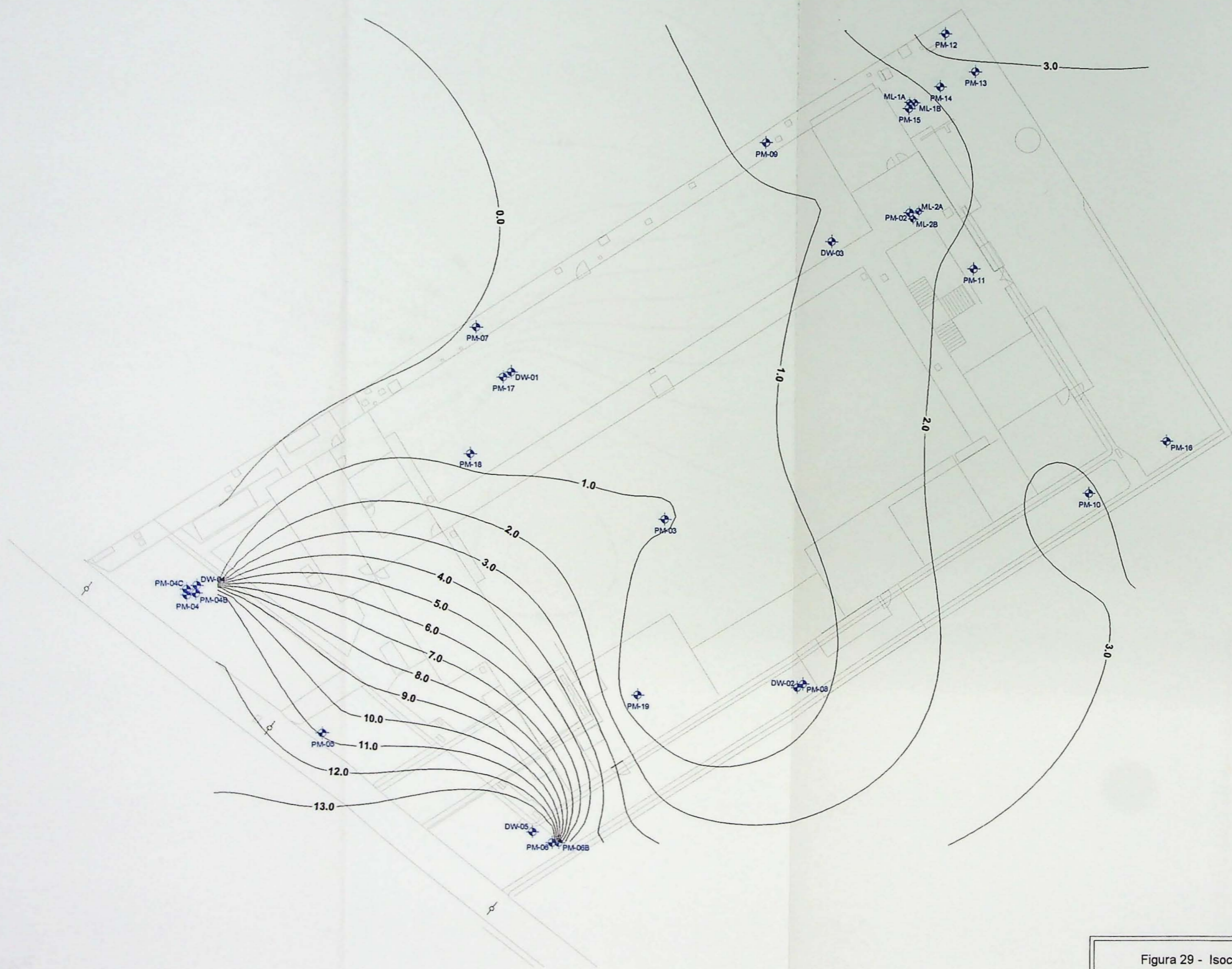
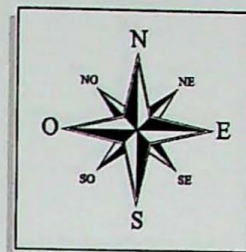
Série Nitrogenada

A evolução da série nitrogenada partindo das formas mais reduzidas às oxidadas pode ser representada conforme o esquema abaixo. (Varnier, 2001)



A rede de coleta de esgoto doméstico é caracterizada do ponto de vista químico como sendo um ambiente extremamente redutor, com predominância das formas menos oxidadas da série nitrogenada. A não ocorrência do composto amônio na área está relacionada as condições de pH existentes sendo, somente presente em pH muito elevado (>9), culminando desta forma na criação do íon (NH_4^+).

Uma feição interessante é a presença de nitrato na porção norte da área (Figura 30), junto aos poços PM-07 e PM-09, evidenciando um ambiente mais oxidante à montante da área. A presença deste composto nestes poços, apesar das baixas concentrações registradas, coincide com o traçado da tubulação principal de coleta de esgoto doméstico da área (Figura 29), evidenciando as fugas de água e resíduo associadas a tais estruturas.



LEGENDA	
	POÇO DE MONITORAMENTO RASO
	POÇO DE MONITORAMENTO PROFUNDO
	POÇO MULTINÍVEL

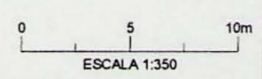
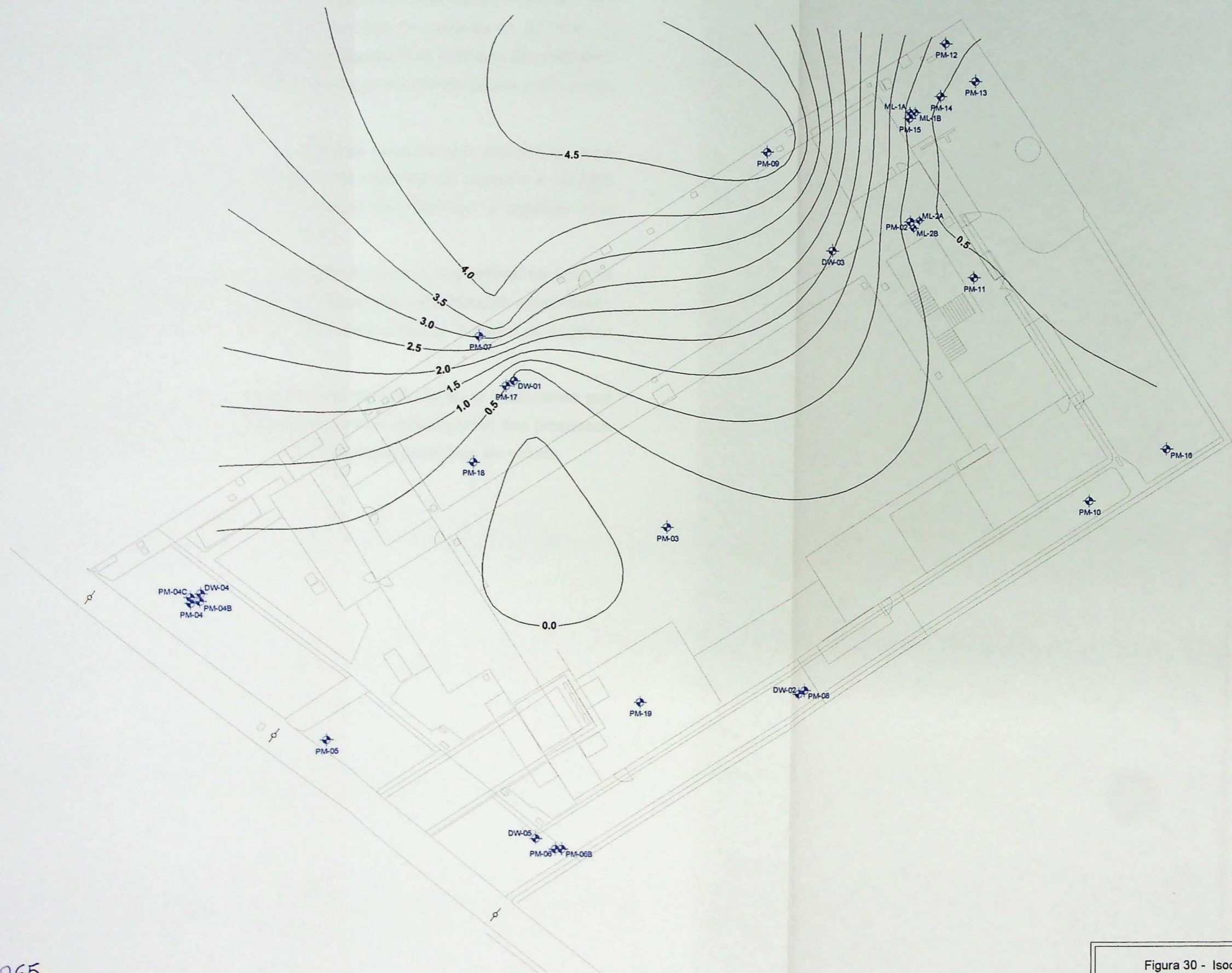
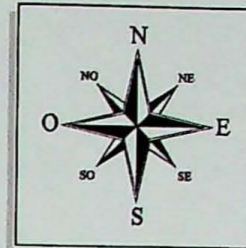


Figura 29 - Isoconcentração de Amônio (mg/L)

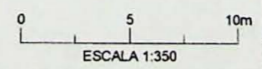
TRABALHO DE FORMATURA
Instituto de Geociências - USP





LEGENDA	
	POÇO DE MONITORAMENTO RASO
	POÇO DE MONITORAMENTO PROFUNDO
	POÇO MULTINIVEL

Figura 30 - Isoconcentração de Nitrato (mg/L)



TRABALHO DE FORMATURA
Instituto de Geociências - USP



18065

V. CONCLUSÕES

O método de variação dos níveis potenciométricos e o balanço hídrico não possuem a sensibilidade necessária para quantificação da recarga efetiva existente no meio urbano, nesta escala estudo, devido a somatória de erros embutidos associados a escolha dos parâmetros de cálculo e no registro das variações sazonais da dinâmica do aquífero em resposta à eventos episódicos de recarga natural e induzida. Tais métodos são indicados para obtenção de valores para estimativa média da recarga em áreas maiores e com baixa ocupação.

A utilização de uma boa densidade de medidas piezométricas demonstrou uma grande eficiência no registro direto das variações da dinâmica do aquífero à eventos episódicos de recarga natural e induzida. Foi possível identificar que o aquífero local responde em curto espaço de tempo a estes episódios.

O emprego de diferentes técnicas de investigação, propiciou identificar na área de estudo a presença de vazamentos provenientes de tubulações subterrâneas, sendo estes, responsáveis pela inversão do sentido de fluxo associado a porção superior do aquífero freático da área.

Foi possível estabelecer um modelo conceitual de fluxo da água subterrânea por meio de um estudo hidrogeológico de detalhe, permitindo o entendimento dos processos hidrodinâmicos atuantes e dos fluxos advectivos do contaminante na área de estudo.

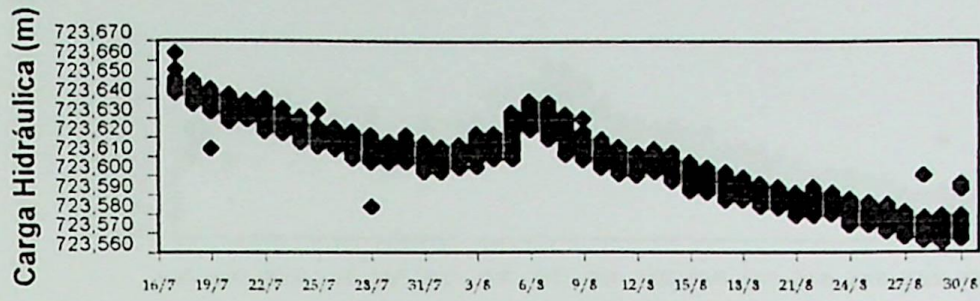
VI. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CETESB, (1985) Resíduos sólidos industriais – São Paulo: Convênio CETESB/ASCETESB, v.1, 182p.
- Custódio, E. & Llamas, M.R., (1981). Hidrogeología subterránea. 2ª ed. Barcelona, Ediciones Omega, v.1, 1157p.
- Departamento de Águas e Energia Elétrica (DAEE). (1975). Estudo de Águas Subterrâneas, Região Administrativa 1 – Grande São Paulo. São Paulo. 3 vol.
- Fetter, C.W. (1994) Applied Hydrogeology. New Jersey, Merril Publishing Company. 3ª ed 691p.
- Foster, S., Morris, B.; Chilton, J. (1999). Groundwater in urban development – a review of linkages and concerns. In: Ellis J.B. (ed) Impacts of urban growth on surface water and groundwater quality. IAHS Publ. 259: 3-12.
- Freeze, R.; Cherry, J. (1979) Groundwater. New Jersey, Prentice-Hall. 604p.
- Healey, 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, v.31, n.1, p.43-50.
- Juliani, C. (1992). O Embasamento Pré Cambriano da Bacia de São Paulo. In: ABAS, ABGE, SBG/SP. Sem. Prob. Geológ. Geotécnicos na Região Metropolitana de São Paulo. Atas, p.03 –20.
- Lerner, D.N. (2002). Identifying and quantifying urban recharge: a review. Hydrogeology Journal 10: 143-152.
- Melo, M.S.; Ponçano, W.L.; Mook, W.G.; Azevedo, A.E.G. (1987). Datações C14 em sedimentos da Grande São Paulo. In: Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário, 1, Porto Alegre. Anais... Porto Alegre, ABEQUA, p.427-436.

- Pinto, H.S. & Zullo Junior, J. (s/d). Balanço hídrico segundo Thornthwaite (1955). Programa de computador. Centro de Ensino e Pesquisa em Agricultura (CEPAGRI). Unicamp, Campinas.
- Riccomini, C. (1989). O Rift Continental do Sudeste do Brasil. São Paulo, 256p. Tese de Doutorado – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.
- Riccomini, C.; Coimbra, A. M.; Takyia, H. (1992). Tectônica e Sedimentação na Bacia de São Paulo. In: ABAS, ABGE, SBG/SP. Sem. Prob. Geológ. Geotécnicos na Região Metropolitana de São Paulo. Atas, p.21 – 45.
- Scanlon, B.R.; Healy, R.W.; Cook, P.G., (2002). Choosing appropriate techniques for quantifying groundwater recharge. *Hydrogeology Journal* 10: 18-39.
- Takyia, H. (1997). Estudo da sedimentação neogênico-quadernária no município de São Paulo: caracterização dos depósitos e suas implicações na geologia urbana. São Paulo, 152p. Tese (Doutorado) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.
- Varnier, C.L (2001). O Efeito do Nitrogênio Proveniente de Sistemas de Saneamento “in situ” na qualidade das águas subterrâneas em aquíferos livres e rasos. São Paulo, 150p. Tese de dissertação de Mestrado – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.

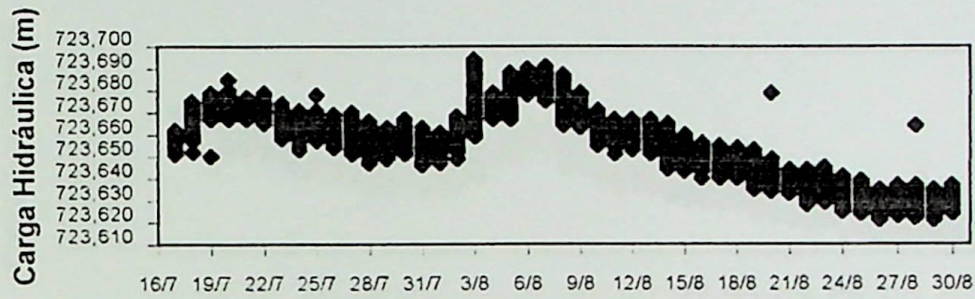
ANEXO I
1ª Campanha de Monitoramento
Transdutores de Pressão

PM-03



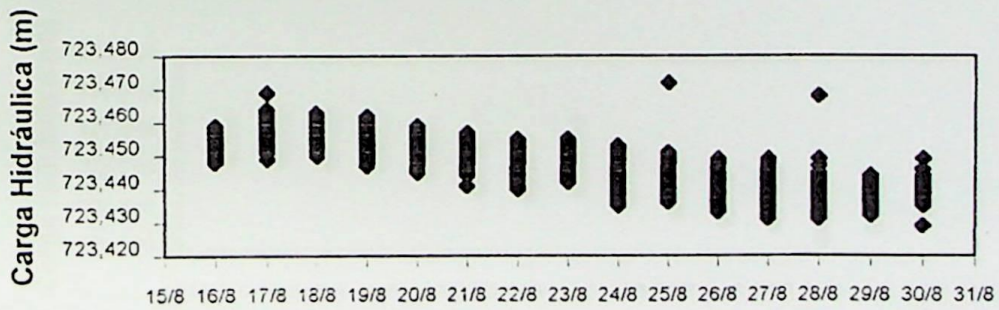
2002

PM-04

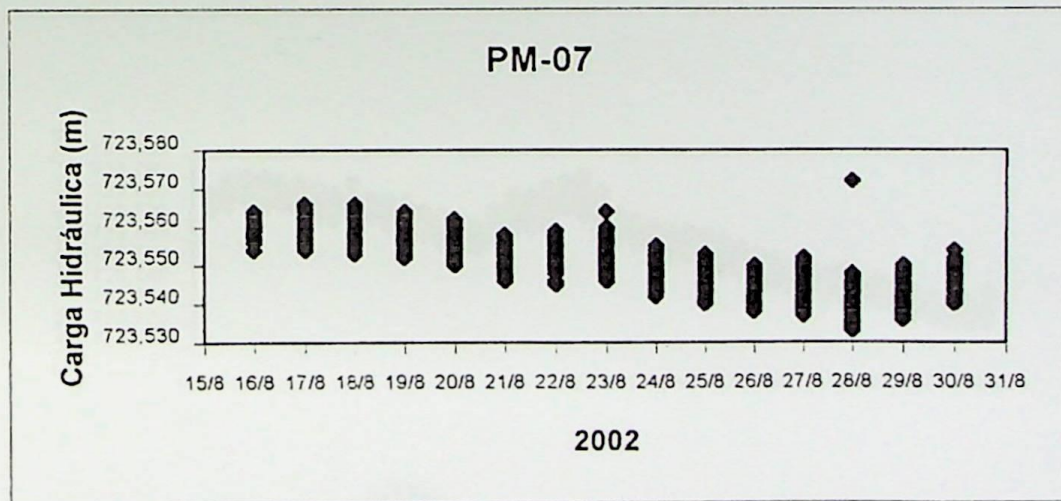
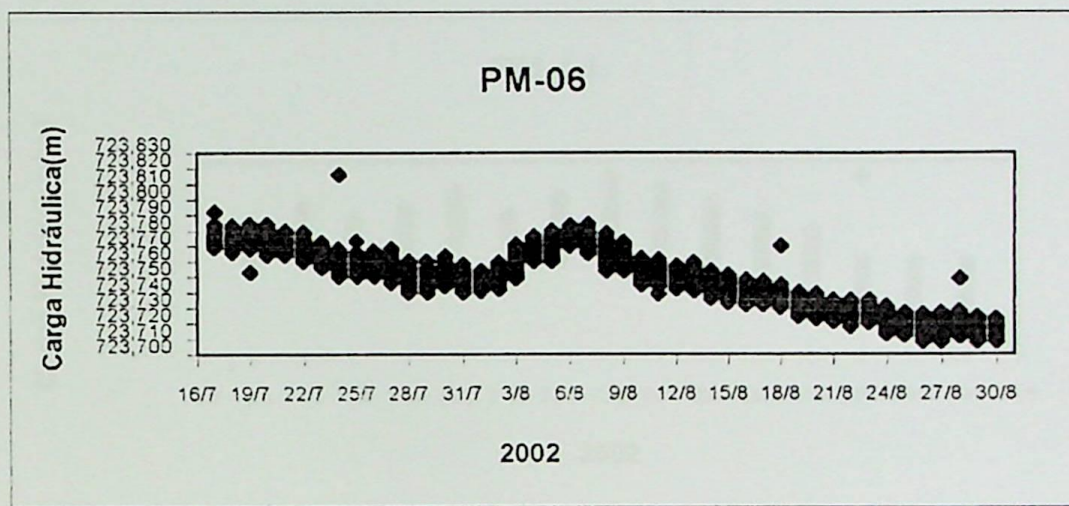
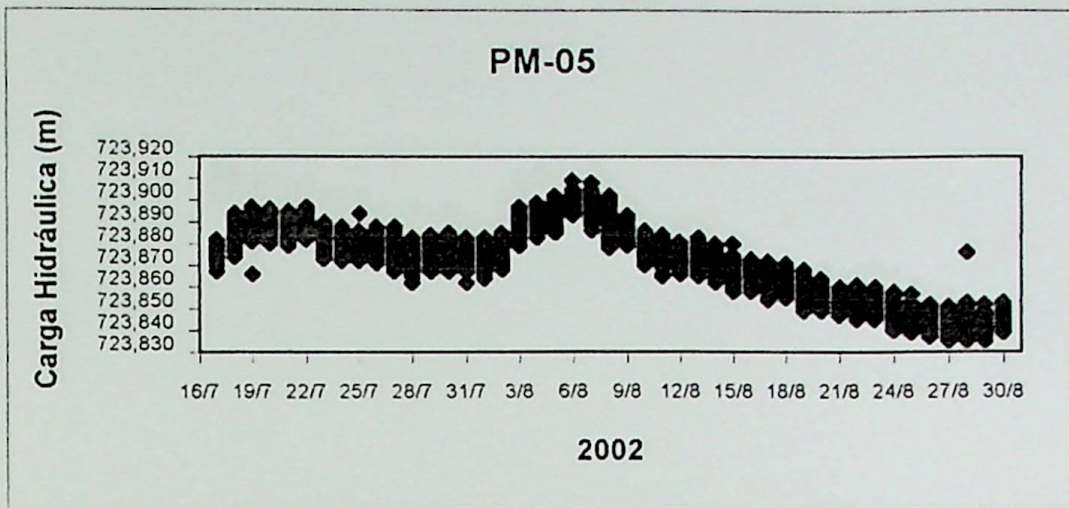


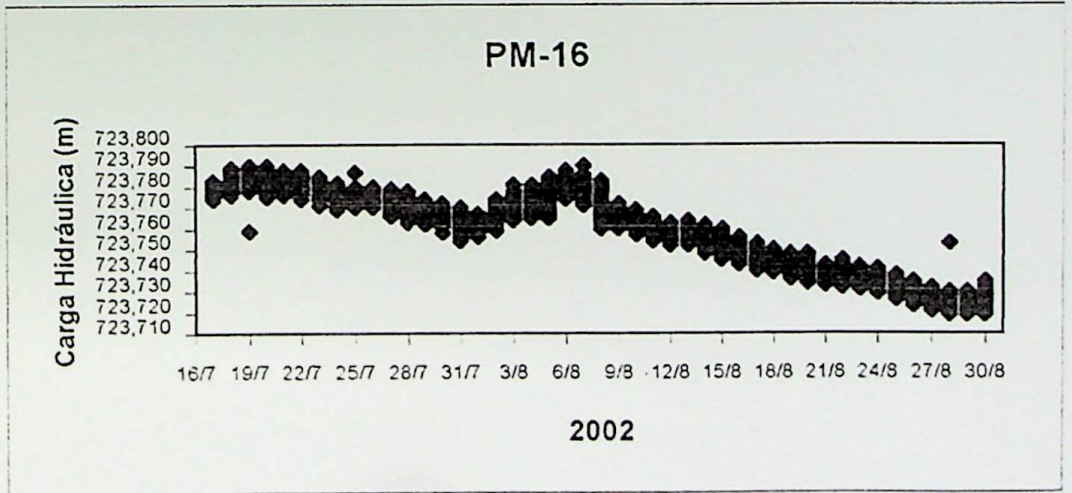
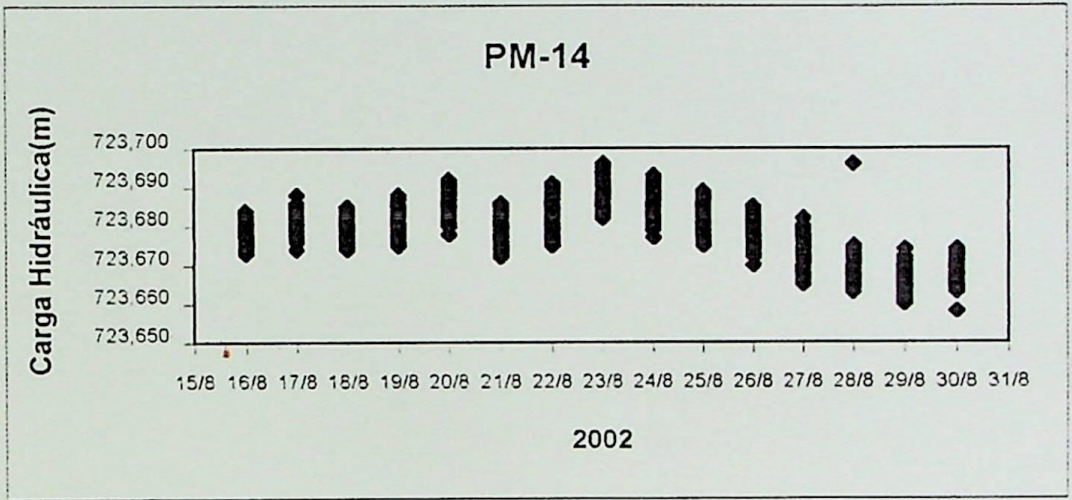
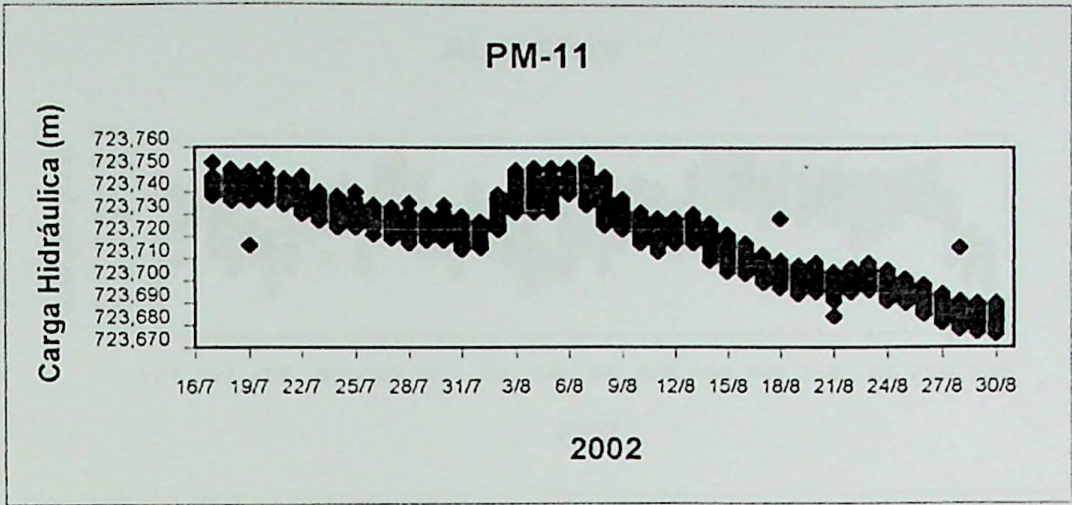
2002

PM-4C

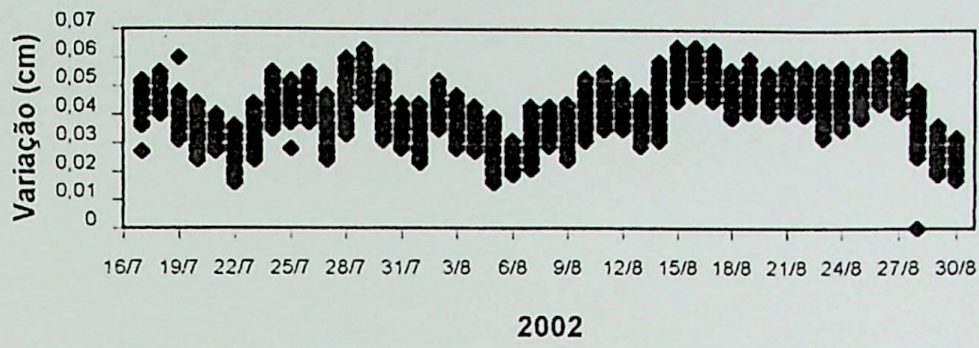


2002



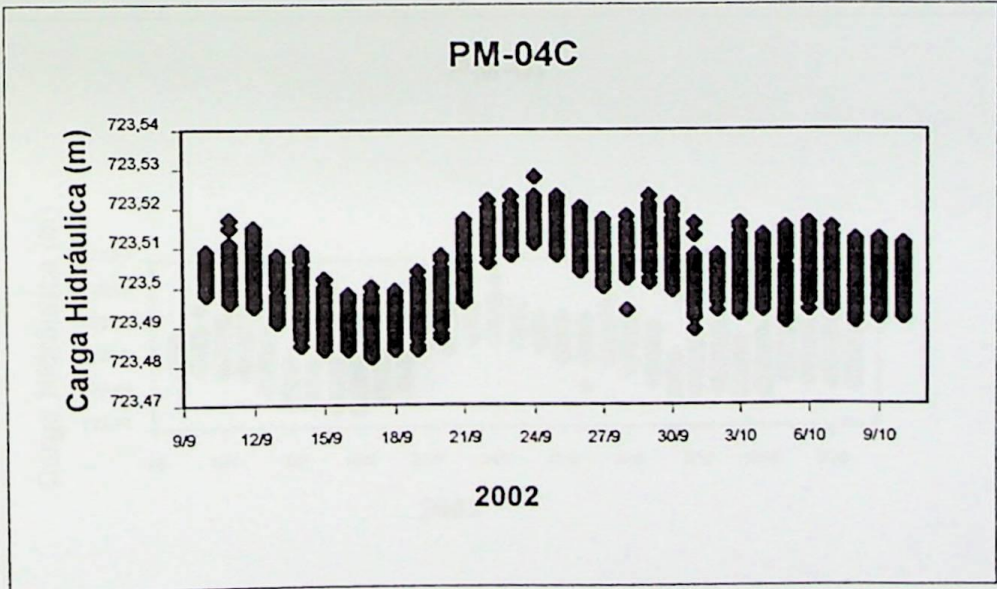
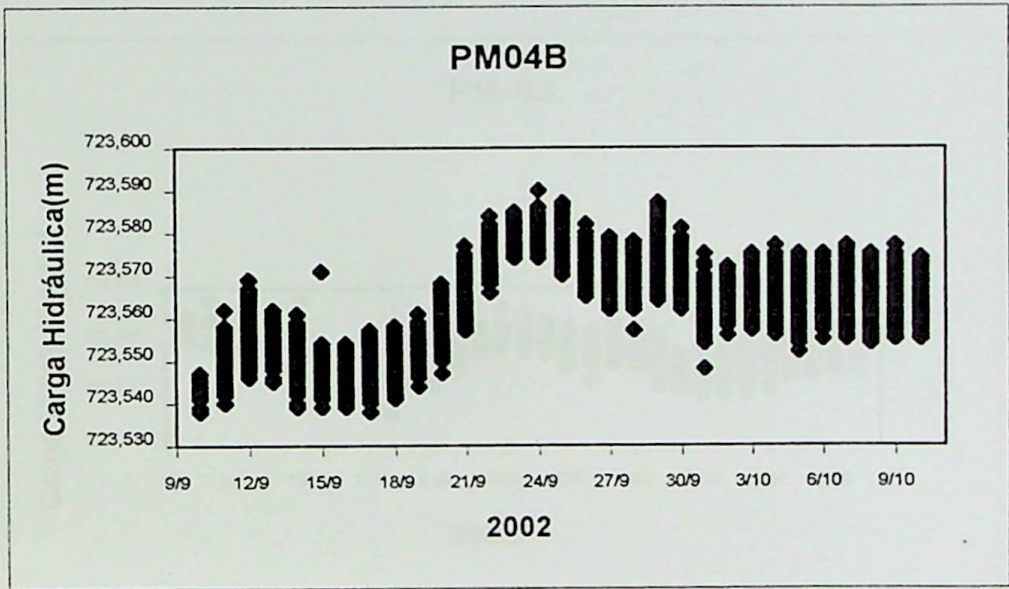
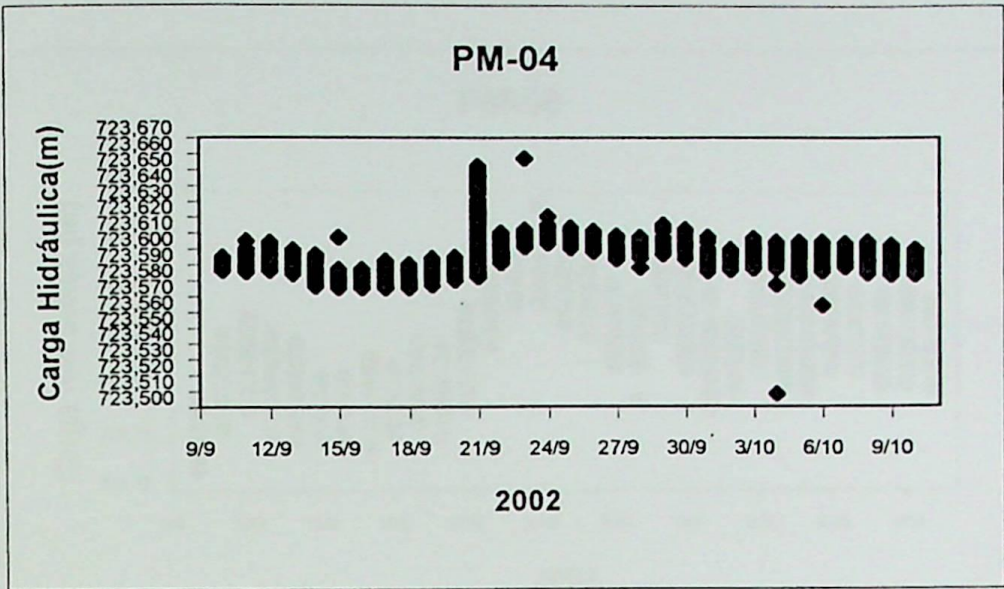


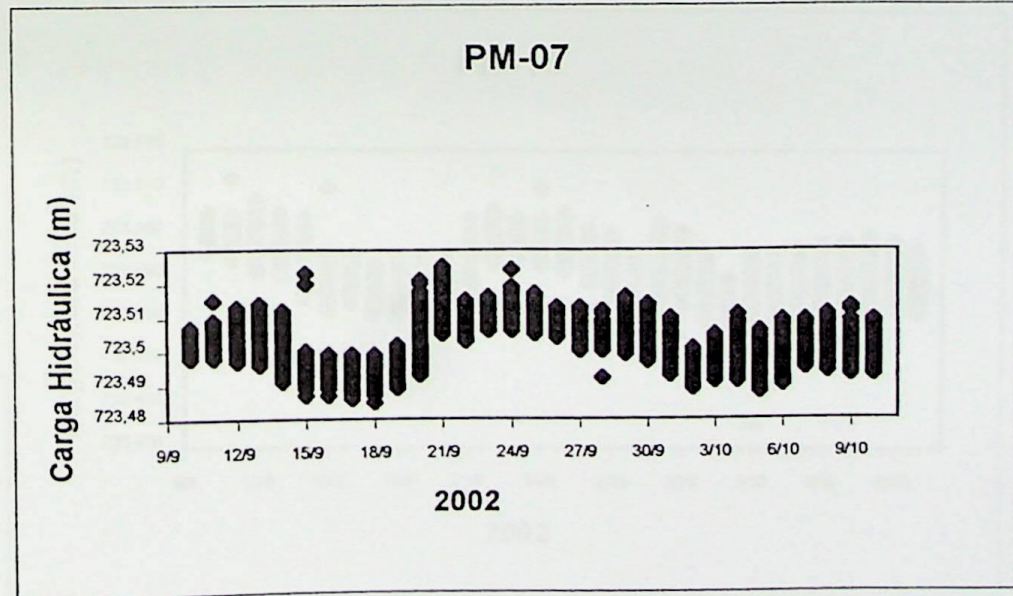
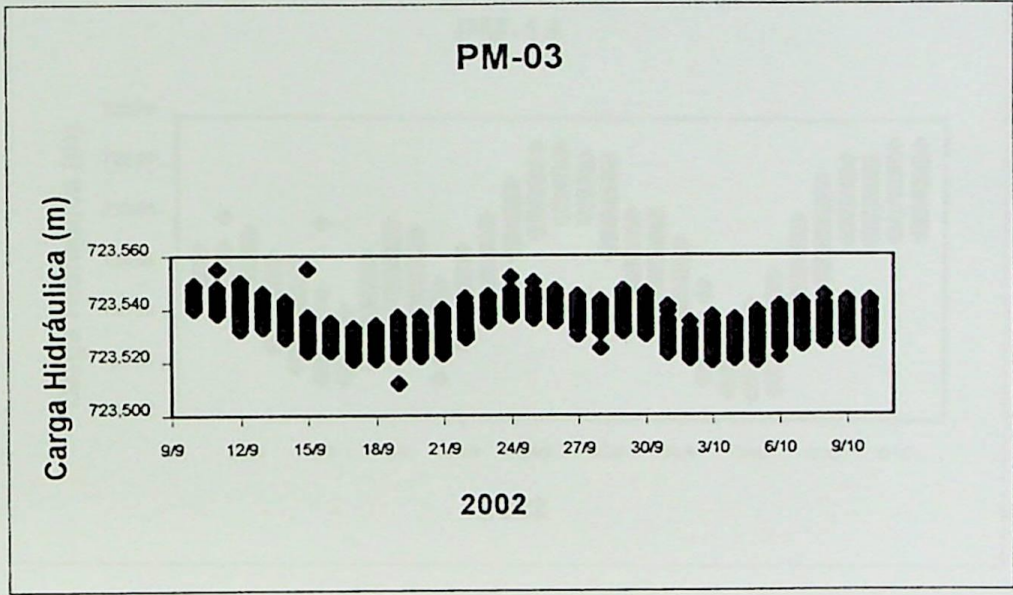
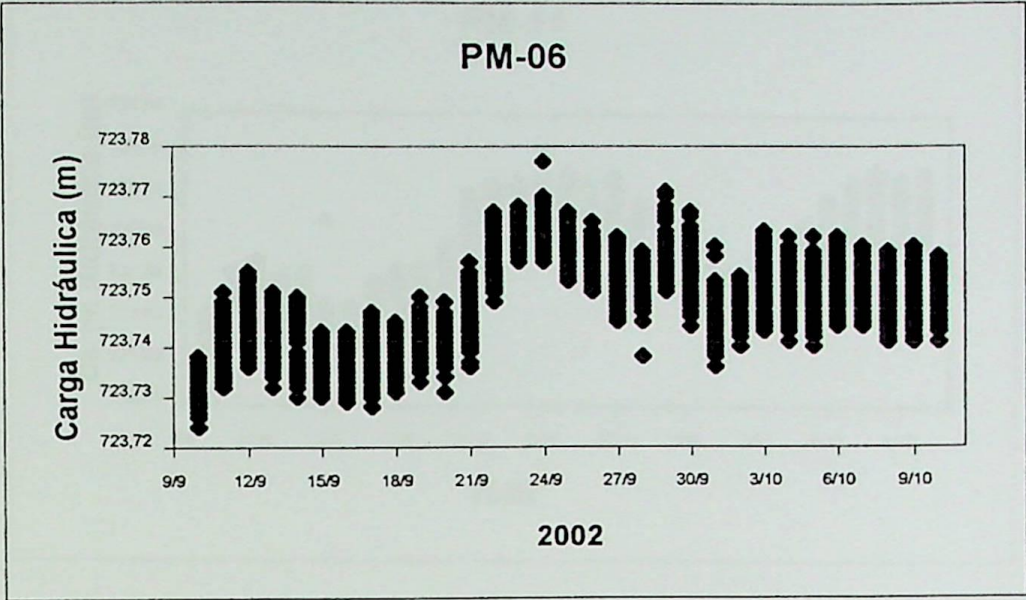
Atmosfera



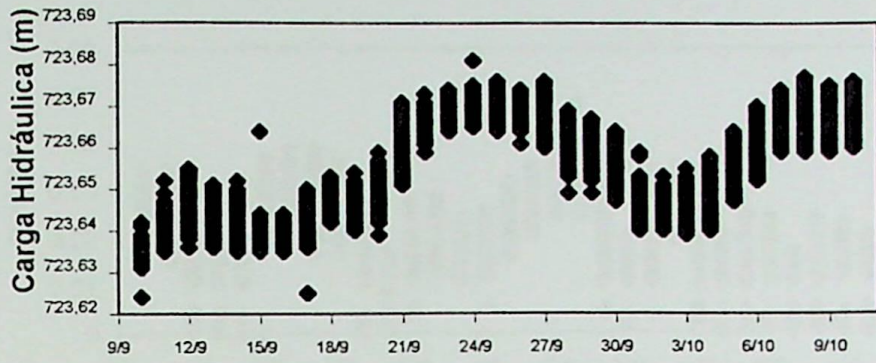
ANEXO II
2ª Comissão de Monitoramento
Transmissões de Precipitação

ANEXO II
2ª Campanha de Monitoramento
Transdutores de Pressão



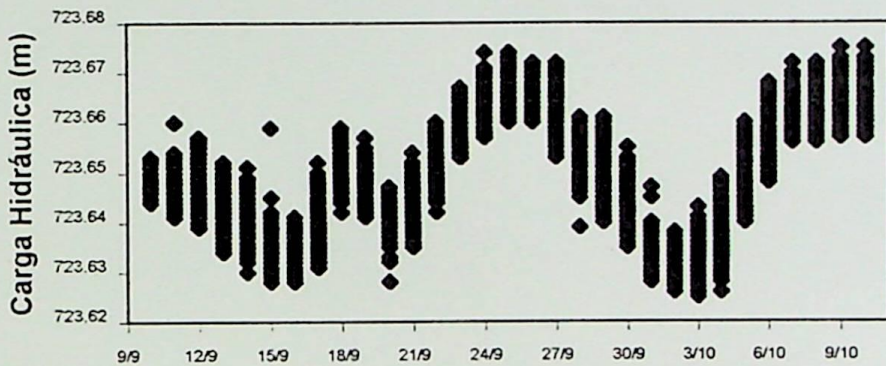


PM-11



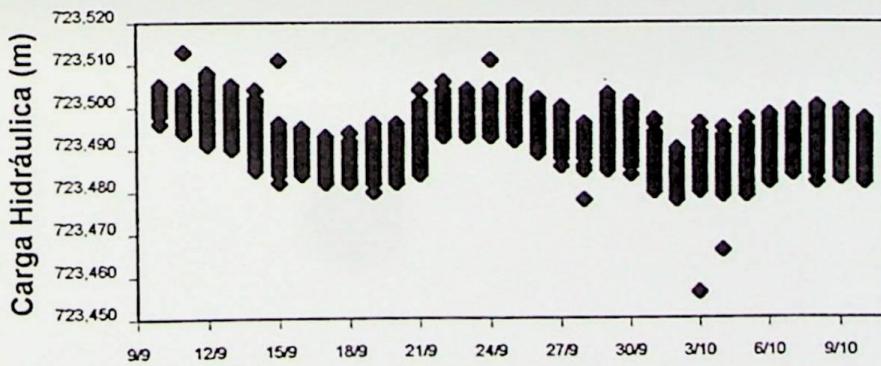
2002

PM-14



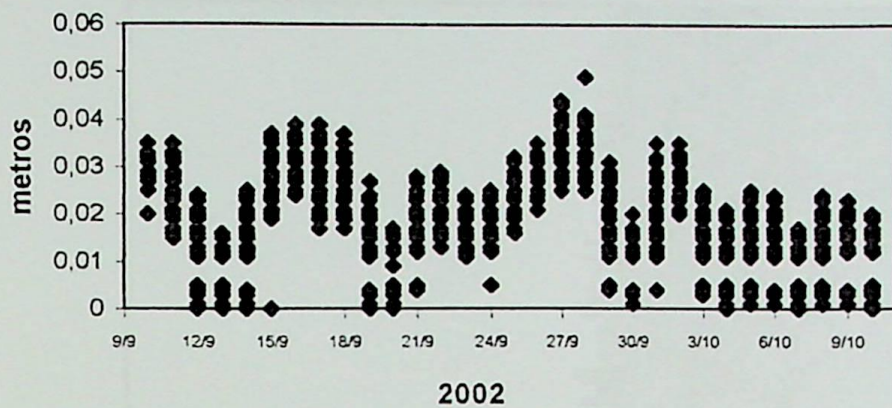
2002

PM-16



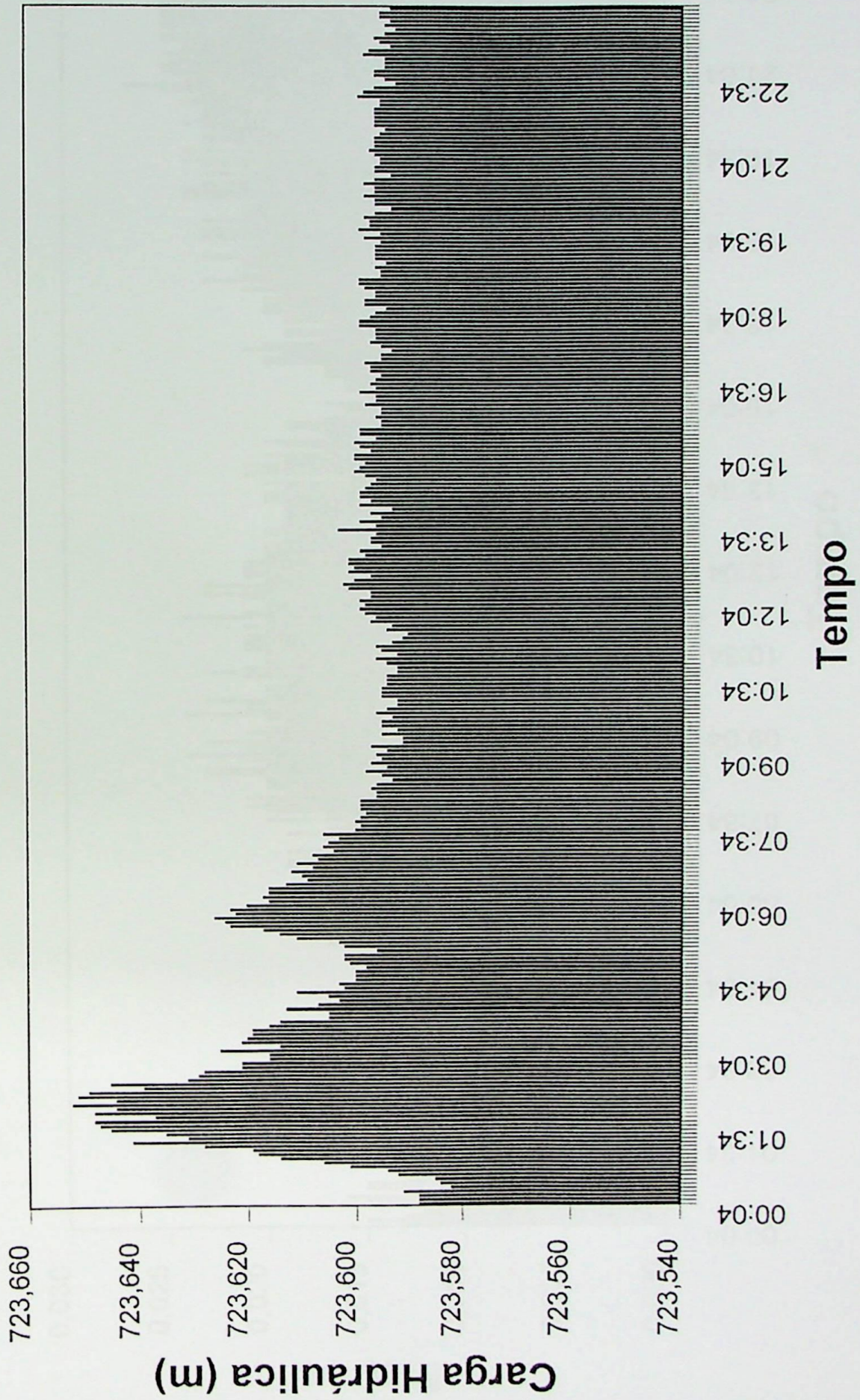
2002

Pressão Atmosférica

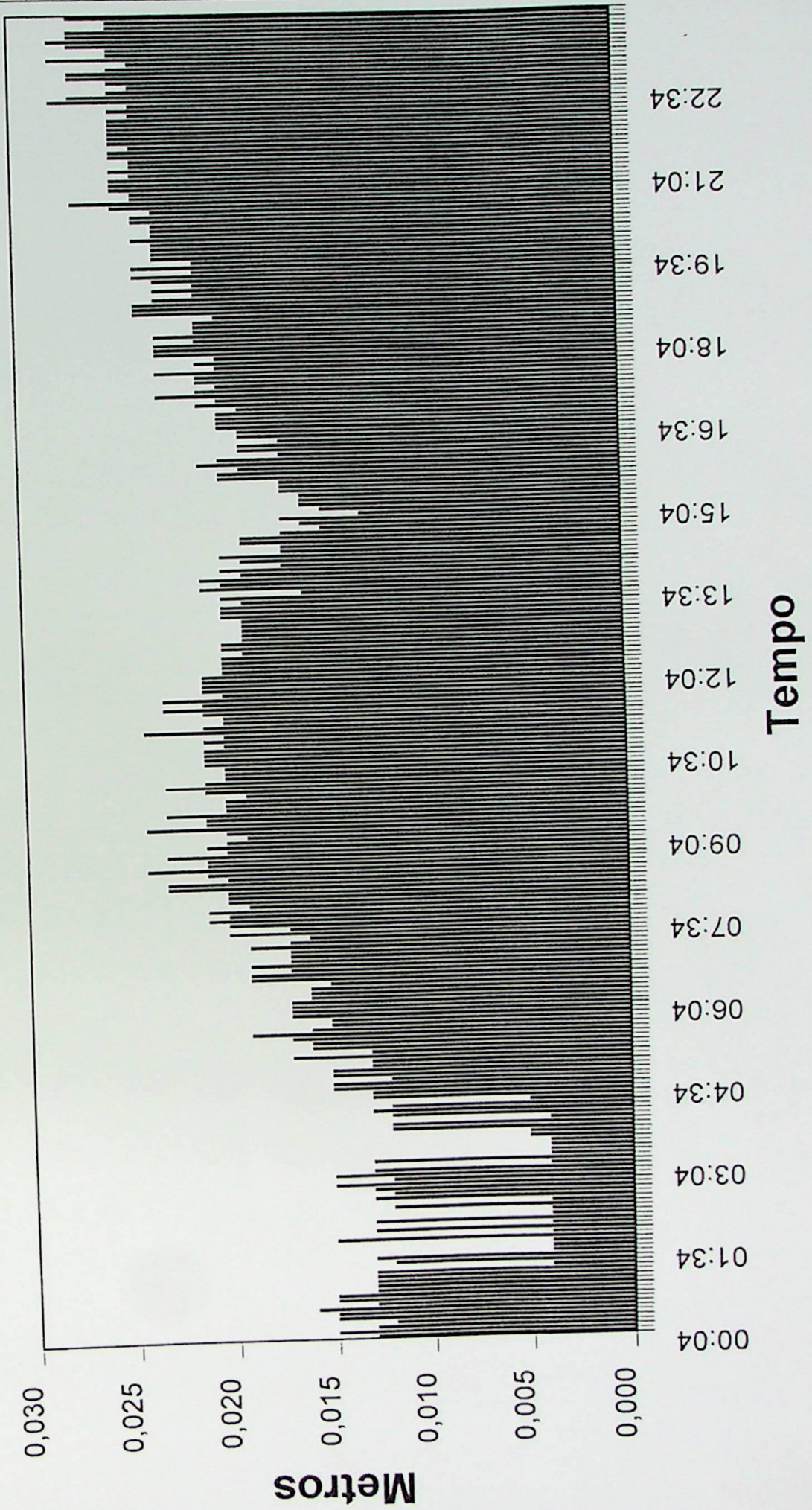


2002

PM-04 (21/09)



Pressão Atmosférica (21/09)



ANEXO III

TABELAS

Tabela 01: Valores de carga hidráulica dos poços de monitoramento

	Set-01	Out-01	nov/01	Dez-01	Jan/02	Fev-02	mar/02	Abr-02	Mai-02	Jun/02	Jul/02	Ago-02	Set-02	Out-02
PM-02	723,462	723,474	723,624	723,587	723,054	724,280	724,555	724,488	724,172	724,052	723,860	723,752	723,534	723,459
PM-03	723,353	723,394	723,579	723,523	723,796	723,954	724,484	724,404	724,114	723,949	723,760	723,594	723,419	723,322
PM-04	723,575	723,713	723,903	723,770	724,096	724,527	724,631	724,506	724,071	723,981	723,721	723,641	723,458	723,392
PM-04B	NI													
PM-04C	NI													
PM-05	723,477	723,643	723,766	723,687	724,024	724,513	724,580	724,402	724,012	723,910	723,742	723,672	723,498	723,447
PM-06	723,600	723,810	723,894	723,790	724,170	724,602	724,659	724,462	724,087	724,003	723,849	723,797	723,609	723,556
PM-06B	NI													
PM-07	723,387	723,448	723,614	723,544	723,841	724,304	724,499	724,407	724,174	723,924	723,734	723,624	723,445	723,377
PM-08	723,343	723,375	723,585	723,507	723,830	724,366	724,547	724,412	724,027	723,885	723,698	723,577	723,389	723,302
PM-09	723,456	723,468	723,620	723,584	723,841	724,266	724,517	724,460	724,160	724,013	723,828	723,730	723,522	723,459
PM-10	723,443	723,450	723,614	723,567	723,844	724,351	724,602	724,496	724,251	724,014	723,831	723,696	723,501	723,393
PM-11	723,441	723,475	723,625	723,589	723,850	724,293	724,565	724,485	724,213	724,048	723,845	723,733	723,524	723,439
PM-12	723,501	723,489	723,624	723,588	723,849	724,272	724,545	724,483	724,258	724,045	723,868	723,778	723,568	723,484
PM-13	723,506	723,506	723,629	723,598	723,851	724,280	724,550	724,490	724,272	724,057	723,878	723,782	723,577	723,494
PM-14	723,504	723,509	723,629	723,584	723,854	724,286	724,549	724,479	724,174	724,047	723,868	723,779	723,560	723,487
PM-15	723,486	723,484	723,603	723,582	723,854	724,284	724,539	724,475	724,260	724,040	723,856	723,785	723,549	723,504
PM-16	723,460	723,454	723,642	723,579	723,874	724,369	724,608	724,503	724,261	724,036	723,855	723,716	723,524	723,412
PM-17	NI													
PM-18	NI													
PM-19	NI													
ML-01A	NI													
ML-01B	NI													
ML-02A	NI													
ML-02B	NI													

NI: poço de monitoramento não instalado

Tabela 02: Totais Diários de Precipitação (mm) e Temperatura média (°C) - 2001 e 2002

Dia/Mês	2001												2002											
	jan/01	fev/01	mar/01	abr/01	mai/01	jun/01	jul/01	ago/01	set/01	out/01	nov/01	dez/01	jan/02	fev/02	mar/02	abr/02	mai/02	jun/02	jul/02	ago/02	set/02	out/02		
1	0,4	5,5	0,1	21,0	0,0	0,1	0,1	0,0	0,0	103,6	0,0	1,3	0,8	0,6	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	15,4	0,1	7,3		
2	0,0	0,1	9,9	2,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	5,1	0,0	0,0	0,3	7,4	2,8	0,0	8,0	0,0	0,0	2,6	0,0	0,0		
3	0,0	12,5	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,4	0,2	9,0	0,8	0,1	0,0	6,1	0,1	0,0		
4	0,7	12,6	0,0	0,0	2,8	0,0	0,1	0,0	0,1	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	16,0	0,0	0,0	0,2	0,0	0,0	0,1	3,0		
5	0,1	39,0	12,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	0,0	0,1	0,0	0,1	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0		
6	0,0	14,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,6	0,0	1,1	10,0	1,1	17,0	0,0	14,8	11,0	0,0	0,1	1,4	0,0	0,0		
7	0,0	0,3	20,7	0,0	2,3	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,1	0,0	1,1	14,8	0,0	18,1	0,2	0,0	3,1	0,0	11,6	0,0		
8	11,0	0,0	14,5	0,0	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0	18,3	0,0	1,6	28,2	25,3	12,5	0,0	0,0	0,0	0,0	19,3	0,0	0,0		
9	35,3	1,1	9,3	0,4	0,1	7,0	0,0	0,0	0,0	0,1	56,4	26,5	26,5	6,8	0,1	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	11,4		
10	0,0	0,3	4,4	0,0	2,5	0,0	0,1	0,0	0,0	2,5	7,0	20,3	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0		
11	0,0	7,6	0,1	0,0	4,3	0,0	0,0	0,0	1,9	1,3	40,9	0,6	7,3	9,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0		
12	0,0	17,8	0,1	0,2	21,7	0,0	5,1	0,0	0,1	0,2	1,0	0,0	19,7	1,6	0,3	0,0	0,2	0,0	24,7	0,0	0,0	0,0		
13	3,4	9,3	0,0	0,0	30,9	0,1	0,0	0,1	0,0	0,0	0,1	11,1	53,2	33,4	1,4	0,7	0,2	0,0	0,0	0,0	1,4	0,0		
14	0,1	0,6	0,1	0,0	0,5	0,1	0,0	0,1	21,0	0,1	1,7	17,5	24,9	0,0	6,9	0,0	0,2	0,1	0,0	0,3	2,5	0,0		
15	0,0	0,2	7,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	8,0	0,1	4,4	7,6	16,2	11,1	0,0	0,0	0,1	1,5	0,2	0,0	0,1	0,0		
16	0,0	0,1	0,1	0,0	11,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,0	12,1	4,7	2,3	0,0	0,0	0,3	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0		
17	0,0	1,4	17,5	0,1	0,2	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,3	0,0	0,2	0,2	0,1	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	1,4		
18	0,2	0,2	0,2	0,2	0,0	6,5	0,0	0,0	0,5	0,4	0,0	0,2	0,0	0,0	13,2	0,0	4,4	0,1	1,2	0,0	0,0	2,7		
19	0,1	1,8	0,0	0,0	0,5	0,4	0,0	0,0	0,1	76,8	0,0	0,0	19,4	0,0	0,8	0,0	12,7	0,0	0,1	0,0	0,0	37,0		
20	0,0	0,0	21,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,7	18,3	0,0	1,8	3,7	1,3	5,2	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	44,8	0,0		
21	0,0	0,0	4,6	0,0	0,0	0,0	0,0	6,1	0,1	5,6	0,0	0,7	0,2	11,6	26,1	0,0	23,3	0,0	0,0	0,0	4,6	10,5		
22	0,0	0,0	2,7	1,9	0,3	0,0	1,1	5,0	5,5	11,8	6,3	5,8	0,2	13,9	0,0	0,1	5,3	0,4	0,2	0,0	0,1	1,5		
23	2,9	0,1	0,8	0,1	0,0	0,0	0,4	3,2	0,8	0,0	0,1	15,2	30,5	16,7	0,0	0,1	1,0	1,9	0,0	0,0	0,0	0,2		
24	25,3	2,9	43,2	6,0	0,0	0,0	2,0	4,5	0,0	0,0	0,1	1,5	1,9	2,9	57,3	0,1	1,5	0,0	0,1	0,0	1,4	0,0		
25	7,6	1,9	0,2	0,0	0,0	0,0	1,0	0,1	13,6	0,0	0,0	0,0	28,7	0,1	14,6	0,1	0,2	0,3	0,1	0,0	0,0	0,3		
26	0,1	0,1	5,5	0,0	0,0	12,2	28,2	0,0	0,1	0,0	0,0	0,2	5,8	0,0	0,0	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	2,8		
27	34,8	0,1	1	0,0	12,3	0,0	11,6	0,0	0,2	0,1	7,5	0,0	0,0	0,6	3,9	3,6	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0		
28	15,4	0,0	32,8	0,0	0,0	0,0	10,9	0,5	0,2	0,1	34,0	3,7	52,8	7,7	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0		
29	0,3		0,6	0,0	0,0	0,0	0,1	2,2	0,3	0,0	1,9	11,1	0,7	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	2,6	0,0	16,2		
30	0,3		0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,6	0,1	0,0	8,3	1,0	0,0		0,0	1,8	0,1	0,0	0,0	0,7	0,0	31,0		
31	0,6		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	12,3		0,0		0,0		2,2	9,4		0,5		
Total mensal (mm)	138,6	134,6	209,8	43,9	60,6	26,4	60,9	22,7	55,1	244,4	116,7	171,0	348,7	172,0	161,8	48,5	70,4	5,6	40,1	57,9	66,8	125,8		
Média mensal (mm)	4,6	4,8	6,8	1,5	2,9	0,9	2,0	0,7	1,8	7,9	3,9	5,5	11,3	5,9	5,2	1,6	2,3	0,2	1,3	1,9	2,2	4,1		
Temperatura média (°C)	23,4	23,6	22,7	21,8	17,5	16,9	16,5	17,8	17,7	19,3	20,8	21,3	22,3	21,4	23,6	22,2	18,9	18,6	15,7	19,2	17,1	22,0		

Tabela 10- Erros obtidos pelo balanço iônico dos resultados das análises totais dos poços de monitoramento (Jul/02)

Parâmetros	PM-02		PM-03		PM-04		PM-04B		PM-04C		PM-06		PM-06B		PM-07		PM-08		PM-09			
	(mg/L)	(meq/L)	(mg/L)	(meq/L)	(mg/L)	(meq/L)	(mg/L)	(meq/L)	(mg/L)	(meq/L)	(mg/L)	(meq/L)	(mg/L)	(meq/L)	(mg/L)	(meq/L)	(mg/L)	(meq/L)	(mg/L)	(meq/L)		
Aniões																						
Alcalinidade	85,76	1,41	36,36	0,60	132,98	2,18	159,82	2,62	95,28	1,56	219,60	3,60	318,40	5,22	494,10	8,10	152,50	2,50	124,44	2,04	51,97	0,85
Cloreto	65,60	1,85	39,80	1,12	76,30	2,15	64,10	1,81	46,80	1,32	11,70	0,33	27,60	0,78	26,70	0,75	15,90	0,45	38,80	1,09	11,50	0,32
Nitrato	0,15	0,00	0,15	0,00	0,15	0,00	0,15	0,00	0,15	0,00	0,15	0,00	0,56	0,01	0,55	0,01	3,93	0,06	0,15	0,00	5,10	0,08
Sulfato	7,16	0,15	11,30	0,24	2,50	0,05	2,50	0,05	2,50	0,05	11,20	0,23	6,72	0,14	2,50	0,05	15,20	0,32	36,40	0,76	41,30	0,86
SOMA	3,41	1,96			4,38		4,48		2,93		4,17		6,16		8,91		3,33		3,89		2,12	
Cátions																						
Calcio	10,00	0,50	8,00	0,40	30,00	1,50	21,00	1,05	30,00	1,50	15,00	0,75	15,00	0,75	110,00	5,50	52,00	2,60	8,50	0,43	33,00	1,65
Ferrol	6,50	0,23	7,00	0,25	32,00	1,14	45,00	1,61	6,50	0,23	38,00	1,36	62,00	2,21	52,00	1,86	0,15	0,01	54,00	1,93	0,15	0,01
Magnésio	3,00	0,25	2,90	0,22	8,77	0,73	8,50	0,71	1,95	0,16	6,50	0,54	6,30	0,53	6,00	0,50	5,40	0,45	1,85	0,15	2,60	0,22
Polássio	73,00	1,87	20,00	0,51	14,70	0,38	13,54	0,35	5,80	0,15	9,46	0,24	4,70	0,12	6,33	0,16	7,90	0,20	8,77	0,22	6,70	0,17
Manganês	8,40	0,30	0,87	0,03	0,74	0,03	0,55	0,02	2,90	0,11	0,51	0,02	0,76	0,03	5,50	0,20	0,05	0,00	0,40	0,01	0,05	0,00
Amônio	1,14	0,06	1,07	0,06	11,50	0,63	8,50	0,47	0,24	0,01	10,30	0,57	17,00	0,94	5,10	0,28	0,10	0,01	0,61	0,03	1,17	0,06
Sódio	21,00	0,91	14,00	0,61	19,00	0,83	20,00	0,87	26,00	1,13	10,00	0,43	22,00	0,96	23,30	1,01	7,20	0,31	31,00	1,35	4,20	0,18
SOMA	4,13	2,08			6,25		6,07		3,29		3,92		6,64		9,61		4,18		4,12		2,29	
Erro (%)	9,68				8,96		6,20		6,76		-3,08		-5,22		3,26		11,38		2,83		3,81	

Parâmetros	PM-10		PM-11		PM-12		PM-15		PM-16		PM-17		PM-18		PM-19	
	(mg/L)	(meq/L)	(mg/L)	(meq/L)	(mg/L)	(meq/L)	(mg/L)	(meq/L)	(mg/L)	(meq/L)	(mg/L)	(meq/L)	(mg/L)	(meq/L)	(mg/L)	(meq/L)
Aniões																
Alcalinidade	392,00	6,43	91,01	1,49	57,21	0,94	37,21	0,61	416,02	6,82	148,84	2,44	51,97	0,85	58,07	0,95
Cloreto	105,00	2,96	86,70	2,44	82,80	2,33	40,20	1,13	95,90	2,70	30,40	0,86	58,50	1,65	24,80	0,70
Nitrato	0,31	0,01	0,15	0,00	0,15	0,00	0,15	0,00	0,15	0,00	0,15	0,00	0,15	0,00	0,15	0,00
Sulfato	2,50	0,05	24,00	0,50	22,80	0,48	2,50	0,05	2,50	0,05	9,04	0,19	9,70	0,20	20,20	0,42
SOMA	9,44		4,44		3,76		1,80		9,68		3,49		2,70		2,07	
Cátions																
Calcio	6,91	0,35	43,00	2,15	22,50	1,13	10,60	0,53	2,36	0,12	38,40	1,92	2,30	0,12	11,00	0,55
Ferrol	26,10	0,93	2,10	0,08	44,80	1,60	17,00	0,61	12,80	0,46	19,50	0,70	28,80	1,03	24,00	0,86
Magnésio	1,49	0,12	8,00	0,67	6,01	0,50	2,50	0,21	1,62	0,14	1,21	0,10	0,90	0,08	0,05	0,00
Potássio	276,00	7,08	53,00	1,36	7,00	0,18	7,00	0,18	309,00	7,92	5,00	0,13	1,00	0,03	4,00	0,10
Manganês	1,56	0,06	2,35	0,09	0,74	0,03	5,50	0,20	3,77	0,14	0,60	0,02	0,16	0,01	0,16	0,01
Amônio	3,40	0,19	2,28	0,13	3,47	0,19	1,07	0,06	2,26	0,13	0,39	0,02	0,59	0,03	0,10	0,01
Sódio	18,90	0,82	12,80	0,56	15,50	0,67	20,00	0,87	20,40	0,89	19,00	0,83	31,00	1,35	7,82	0,34
SOMA	9,56		6,03		4,30		2,65		9,79		3,71		2,63		1,87	
Erro (%)	0,58		6,24		6,85		19,27		1,11		3,12		-1,38		-5,06	

Tabela 11b : Resultados químicos totais da campanha de amostragem da água subterrânea- Julho 2002 (mg/L)

Composto	PM-02	PM-03	PM-04	PM-04B	PM-04C	PM-05	PM-06	PM-06B	PM-07	PM-08	PM-09	PM-10
Alcalindade HCO3	85,8	36,4	109,0	131,0	78,1	180,0	261,0	405,0	125,0	102,0	42,6	322,0
Amônio	1,1	1,1	11,5	8,5	0,2	10,3	17,0	5,1	<0,20	0,6	1,2	3,4
DBO	<2,0	5,0	12,0	9,0	2,0	5,0	18,0	6,0	2,0	6,0	2,0	7,0
Cloreto	65,6	39,8	76,3	64,1	46,8	11,7	27,6	26,7	15,9	38,8	11,5	105,0
DQO	3,0	8,0	99,0	55,0	16,0	47,0	107,0	59,0	47,0	20,0	23,0	52,0
Fluoreto	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50
Nitrato	<0,30	<0,30	<0,30	<0,30	<0,30	<0,31	0,6	0,6	3,9	<0,30	5,1	0,3
Nitrito	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	0,0	<0,02	0,0	<0,02	0,1	<0,02
Fosfato	<0,30	<0,30	<0,30	<0,30	<0,30	<0,30	<0,30	<0,30	<0,30	<0,30	<0,30	<0,30
Sulfato	7,2	11,3	<5,00	<5,00	<5,00	11,2	6,7	<5,00	15,2	36,4	41,3	<5,00
Sulfeto	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10
Coliformes totais (NMP/100ml)	ausente	12,0	>23	2,2	>23	2,2	ausente	3,6	>23	9,2	>23	1,1
Coliformes fecais (NMP/100ml)	ausente	2,2	16,1	<1,1	<1,1	2,2	ausente	2,2	<1,1	3,6	1,1	<1,1

Composto	PM-11	PM-12	PM-15	PM-16	PM-17	PM-18	PM-19
Alcalindade HCO3	91,01	57,22	37,21	416,02	148,84	51,97	58,07
Amônio	2,28	3,47	1,07	2,26	0,39	0,59	<0,20
DBO	2	4	6	4	5	7	6
Cloreto	86,7	82,8	40,2	95,9	30,4	58,5	24,3
DQO	31	41	29	53	18	19	14
Fluoreto	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50
Nitrato	<0,30	<0,30	<0,30	<0,30	<0,30	<0,30	<0,30
Nitrito	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02
Fosfato	<0,30	<0,30	<0,30	<0,30	<0,30	<0,30	<0,30
Sulfato	24	22,8	<5,00	<5,00	9,04	9,7	20,2
Sulfeto	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10
Coliformes Totais (NMP/100ml)	>23	absent	5,1	1,1	2,2	1,1	1,1
Coliformes fecais (NMP/100ml)	2,2	absent	3,6	<1,1	<1,1	<1,1	<1,1

