



**Universidade Federal do Rio de Janeiro
Instituto de Geociências
Departamento de Geologia
Setor de Geologia de Engenharia e Ambiental**

**CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICA E HIDROGEOLÓGICA DE UMA
ÁREA DE MANGUEZAL EM INDÚSTRIA PETROQUÍMICA**

Monografia apresentada por:

Ingrid de Carvalho Lage

Orientador:

Prof. Dr. Gerson Cardoso da Silva Jr.

Co-orientador:

Geól. Carlos Eduardo Braga

Novembro/2002

M
GL
L174C

CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICA E HIDROGEOLÓGICA DE UMA ÁREA DE MANGUEZAL EM INDÚSTRIA PETROQUÍMICA

Ingrid de Carvalho Lage

Monografia apresentada como requisito obrigatório da disciplina Estágio de Campo IV, no Curso de Graduação em Geologia da Universidade Federal do Rio de Janeiro.

Área de concentração: Geologia de Engenharia e Ambiental

Orientador: Prof. Dr. Gerson Cardoso da Silva Júnior

Co-Orientador: Geólogo Carlos Eduardo Braga

Avaliada por:

Prof. Dr. Gerson Cardoso da Silva Júnior (Depto. Geologia/UFRJ)

Prof. M.Sc. José Agnelo Soares (Depto. Geologia/UFRJ)

Prof. Dr. Helena Polivanov (Depto. Geologia/UFRJ)



FICHA CATALOGRÁFICA

LAGE, INGRID DE CARVALHO

Caracterização Geológica e Hidrogeológica de uma Área de Manguezal em Indústria Petroquímica.

Rio de Janeiro, 2002

104 p. Instituto de Geociências – UFRJ, Dissertação de Graduação em Geologia – Monografia Final de Estágio de Campo IV-B – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Geociências, 2002.

**"Para ser grande, Sê inteiro: nada
Teu exagera ou exclui.
Sê todo em cada coisa. Põe
quanto és No mínimo que fazes.
Assim em cada lago a Lua toda
Brilha, porque alta vive."**

Ricardo Reis

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar a Deus, pelas chances (de erros e acertos), por cada dia, pelas tristezas e alegrias, ou seja, pelo aprendizado constante.

A meus pais, Hênio e Maria, pela compreensão e pelo apoio, mesmo um pouco à distância, e por saberem quando me deixar caminhar com minhas próprias pernas.

A meu irmão Silas, à Carla, minha cunhada, Taymara, Igor e Iuri, meus sobrinhos, que souberam suprir um pouco a minha ausência intermitente, e pela torcida constante.

A minha avó Isabel (*in memoriam*) que muito me ensinou de sua cultura simples e sem mistérios.

Agradeço a Erick, que além de namorado, foi amigo, pai, irmão, e todas as formas de afeto de que precisei. Foi muito presente, muito companheiro, muito paciente e de longe quem mais me ajuda em tudo o que tenho feito.

Agradeço ao Prof. Gerson, meu orientador, que foi também um grande incentivador, com seu bom-humor e otimismo. Obrigado pelos valiosos conhecimentos transmitidos e pela ajuda em tantos assuntos.

Ao meu amigo Carlos Eduardo, meu co-orientador e colega de trabalho. Obrigado pela exigência demasiada, muito importante e necessária, e pelo longo aprendizado compartilhado.

Agradeço a Solange Cunha, Gerente de Meio Ambiente da Petroflex, pelo apoio e infra-estrutura dispensada para a realização deste trabalho.

Agradeço ao Geólogo Albari Pedroso, não só pelo impulso inicial, mas pela determinação no trabalho, que até hoje se faz sentir na Petroflex.

Agradeço aos meus amigos e eternos membros da AFOA: Elisa, pela enorme ajuda, com sua eficiência, disposição e simpatia; Fábio ("o agrônomo"), pela ajuda e pela amizade; a Anderson (Pelé), que foi quase um hidrogeólogo, Marcinha, pela sua delicada amizade e coleguismo.

Em especial à Margareth Zulian, que teve boas razões pra sua ausência, mas que sempre demonstra seu carinho e interesse, quando as atribuições da maternidade permitem.

Aos funcionários e amigos da Petroflex, indispensáveis e insubstituíveis: Margarete, Maninho (que seria de nós sem esses dois!), Juan, André, Tatiana, Iran, Ney, Lopes, João Luiz, Antônio, Marcos, Jorge Luis, Vaz, Diniz, Élcio, Sr. Joel, Jorginho, Sr. Gilvan, Valdenis, Raul, Adalberto, Carlos.

Agradeço aos meus amigos da Geologia: Luciana; minha boa companheira de campo; Vitão, um amigo muito discreto e leal; Olga e Andréa, as mais novas e confiáveis amigas que recebi de presente; Tiago, com sua calma e simpatia; Reka e Patrícia, por sua alegria, Érica, Madalena, Rute, Júlia, Anderson, Mário, Ricardo e tantos outros.

Aos meus amigos Cláudia, Simon, Anderson, Chris, Marcão, Alan, Simone, Taty, que estão sempre presentes, de um jeito ou de outro.

Aos professores Aristóteles, Helena, Agnelo, Limeira, João Graciano, e Ana Beatriz, em especial, sempre prestativos e disponíveis e a todos os outros que me trouxeram de alguma forma até aqui.

Ao Valgenor e Rosângela, da Secretaria do Departamento, por razões inumeráveis.

Enfim, acredito que posso contar um saldo positivo não só de aprendizado, conhecimento, mas de amigos e boas lembranças ao término deste trabalho.

Como é impossível lembrar de todos os que ajudaram de maneira direta ou indireta, gostaria de agradecer aqueles esquecidos e com certeza não menos importantes colaboradores. Seria melhor dizer "não-lembrados", pois cada um teve um papel importante em coisas às vezes muito pequenas, mas indispensáveis.

ÍNDICE

1. INTRODUÇÃO	1
1.1. <i>Petroflex- Histórico e aspectos gerais</i>	3
1.2. <i>Objetivos</i>	4
2. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	5
2.1. <i>Localização e acessos</i>	5
2.2. <i>Geologia regional</i>	6
2.3. <i>Geologia local</i>	10
2.4. <i>Características fisiográficas</i>	10
2.4.1 – <i>Geomorfologia</i>	11
2.4.2 – <i>Vegetação, clima, pedologia e ocupação do solo</i>	14
3. METODOLOGIA	15
3.1. <i>Investigação geológica</i>	16
3.1.1. <i>Análise de dados históricos</i>	16
3.1.2. <i>Estudos de campo</i>	16
3.1.2.1. <i>Sondagem por cravação direta</i>	17
3.1.2.2. <i>Geofísica</i>	18
3.2. <i>Investigação hidrogeológica</i>	21
3.2.1. <i>Rede de monitoramento</i>	21
3.2.1.1. <i>Planejamento</i>	21
3.2.1.2. <i>Instalação</i>	22
3.2.1.3. <i>Ensaio de permeabilidade</i>	24
3.2.1.4. <i>Monitoramento dos níveis d'água</i>	27
3.2.1.5. <i>Amostragem</i>	28
3.2.2. <i>Influência do efeito-maré</i>	30
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	34
4.1. <i>Investigação geológica</i>	34
4.1.1. <i>Análise de dados históricos</i>	34
4.1.2. <i>Estudos de campo</i>	37
4.1.2.1. <i>Geofísica</i>	37
4.1.2.2. <i>Sondagem "direct push"</i>	38
4.2. <i>Investigação Hidrogeológica</i>	42
4.2.1. <i>Ensaio de campo e monitoramento</i>	42
4.2.2. <i>Influência do efeito-maré</i>	49
5. CONCLUSÕES	53
6. RECOMENDAÇÕES	54

ÍNDICE DE FIGURAS

- Figura 1 – Localização da área de estudo: situada a aproximadamente 1,5 km da borda noroeste da Baía de Guanabara. A área está localizada dentro da Petroflex Ind. e Com. S/A, em Duque de Caxias, RJ. _____ 6
- Figura 2 – Mapa Geológico da região da Baía de Guanabara. A área de estudo está inserida numa área de depósitos quaternários marinhos e flúvio-marinhos. (Adaptado de CPRM, 2001) _____ 9
- Figura 3 – Mapa geomorfológico da região da Baía de Guanabara. A área de estudo está inserida num sistema de relevo de planície flúvio-marinha, caracterizada por terrenos argilosos, ricos em matéria orgânica, e formados em fundos de baías, com influência de maré. (Adaptado de CPRM, 2001) _____ 13
- Figura 4 – Espécies vegetais características de floresta de manguezal ocorrentes na área de estudo, a *Laguncularia racemosa*, e a *Acrosticheen aureum*. _____ 15
- Figura 5 – Sondagem direct push: A – sonda montada sobre esteira (modelo GEOPROBE 54 DT) executando perfuração; B – amostra acondicionada em liner (camisa plástica) de PVC sendo retirada do amostrador de aço inoxidável; C – amostras identificadas segundo localização do furo e profundidade de amostragem; D – limpeza das ferramentas utilizadas com detergente especial para evitar contaminação cruzada entre sondagens. _____ 19
- Figura 6 – Localização dos poços de monitoramento (pontos em azul, amarelo e verde), pontos de sondagem direct push (pontos em vermelho), seção geológica (linha pontilhada), linhas geofísicas (linhas tracejadas). _____ 20
- Figura 7 – Sísmica de refração: A – sistema de controle dos dados composto por sismógrafo acoplado a um computador portátil (laptop); B – sistema ligado a geofones através de cabos durante execução de uma linha sísmica; C – a marreta foi utilizada como fonte de energia utilizada para gerar ondas sísmicas; D – geofone eletromagnético conectado a cabo sismográfico. _____ 21
- Figura 8 – Poço de monitoramento construído com hollow stem auger. Um tubo de PVC de 6" com tampa e cadeado é fixado a uma base de concreto de 1m², protegendo o poço contra violação e o acúmulo de água da chuva. _____ 23
- Figura 9 – Poço de monitoramento construído com trado manual. _____ 24
- Figura 10 – Execução de amostragem com bomba de baixa vazão: A – equipamento em uso. A bomba é ligada a um conversor que possibilita a

<i>Figura 10 – Execução de amostragem com bomba de baixa vazão: A – equipamento em uso. A bomba é ligada a um conversor que possibilita a regulagem da vazão. É utilizada uma mangueira de poliflo para cada poço, impedindo a contaminação. B – amostra sendo coletada com baixa vazão.</i>	29
<i>Figura 11 – Controle de pH e temperatura durante a amostragem</i>	30
<i>Figura 12 – Medição de condutividade elétrica das amostras em laboratório.</i>	30
<i>Figura 13 – Seção estratigráfica ilustrando a distância dos poços monitorados ao canal artificial onde ocorrem as flutuações de maré.</i>	32
<i>Figura 14 – Medidor de nível automático utilizado para o monitoramento da carga hidráulica nos poços PZ-17, PZ-18 e PM-04A e no canal artificial.</i>	32
<i>Figura 15 – Seção geológica representativa obtida através de perfis descritivos de sondagens antigas. A figura mostra um morrote vestigial e o arranjo estratigráfico da área de estudo. A linha tracejada representa a superfície do lençol freático e as linhas verticais representam os perfis de sondagens.</i>	34
<i>Figura 16 – Mapa topográfico antigo (sem data) da área da fábrica, mostrando a superfície original do Morro do Mosquito ao centro do mapa. Atualmente toda a parte sudoeste desta elevação foi arrasada para instalação de planta industrial e construção do canal artificial de tomada de água.</i>	36
<i>Figura 17 – Fotografia aérea antiga mostrando área com vegetação falhada, evidenciando a intervenção humana. As áreas assinaladas indicam locais de disposição dos resíduos que faziam parte do passivo ambiental da empresa, que já foram retirados e destinados.</i>	37
<i>Figura 18 – Seções geológicas baseadas em dados geofísicos. Correspondem às linhas localizadas na Figura 6. (Adaptado de Freitas, 2001)</i>	38
<i>Figura 19 – Seção geológica construída com base em dados de sondagem com a técnica por cravação direta. Essa seção tem direção aproximadamente oeste-leste.</i>	40
<i>Figura 20 – Seção geológica construída com base em dados da sondagem por cravação direta, de direção aproximadamente norte-sul.</i>	40
<i>Figura 21 – Seção geológica construída com base em dados da sondagem por cravação direta, de direção aproximadamente noroeste-sudeste.</i>	41
<i>Figura 22 – Seção geológica construída com base em perfis de sondagem por cravação direta, com direção aproximadamente nordeste-sudoeste.</i>	41

<i>Figura 23 – Variações do nível d'água estático para os poços de monitoramento localizados no pacote de areia argilosa.</i>	44
<i>Figura 24 – Variações do nível d'água estático para os poços de monitoramento localizados na camada de argila.</i>	44
<i>Figura 25 – Variações do nível d'água estático para os poços de monitoramento localizados no solo residual</i>	45
<i>Figura 26 – Mapa potenciométrico para a camada de areia argilosa no dia 06/08/2002. As setas indicam as direções do fluxo de água subterrâneo. As cores mais escuras indicam onde o nível d'água está mais próximo da superfície.</i>	46
<i>Figura 27 – Mapa potenciométrico para a camada de areia argilosa no dia 13/09/2002. As setas indicam as direções do fluxo de água subterrânea. As cores mais escuras indicam onde o nível d'água está mais próximo da superfície.</i>	47
<i>Figura 28 – Mapa potenciométrico para a camada de argila no dia 06/08/2002. As setas indicam as direções do fluxo de água subterrânea. As cores mais escuras indicam onde o nível d'água está mais próximo da superfície.</i>	47
<i>Figura 29 - Mapa potenciométrico para a camada de argila no dia 13/09/2002. As setas indicam as direções do fluxo de água subterrânea. As cores mais escuras indicam onde o nível d'água está mais próximo da superfície.</i>	48
<i>Figura 30 – Mapa de condutividade elétrica para a área de estudo. As cores mais escuras indicam uma maior condutividade. Apesar de não fazer parte da área de estudo, a porção sudoeste foi conservada na figura para ilustrar a influência do efeito da água do canal na condutividade elétrica da água subterrânea. Os valores estão em mS/cm.</i>	49
<i>Figura 31 –Gráfico de oscilação do nível d'água para o poço PM-04A e para o canal.</i>	50
<i>Figura 32 – Gráfico de oscilação do nível d'água para o poço PZ-17 e para o canal.</i>	50
<i>Figura 33 – Gráfico de oscilação do nível d'água para o poço PZ-18 e para o canal.</i>	51
<i>Figura 34 – Variações da condutividade elétrica para os poços PZ-17, PZ-18 e PM-04A e para o canal durante o experimento.</i>	52



1. INTRODUÇÃO

A partir da segunda metade do século XX iniciaram-se nos países desenvolvidos as discussões sobre degradação ambiental e suas conseqüências. Nesta época surgiram os primeiros estudos e reações no sentido de diminuição dos efeitos do uso indiscriminado dos recursos naturais e do meio ambiente.

Algum tempo depois, em 1983, a Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento foi criada pela ONU e, em 1987, em conseqüência de seus trabalhos, surgiu um novo conceito chamado de “desenvolvimento sustentável”, cujo preceito principal é que as necessidades do presente tem que ser atendidas sem o comprometimento das necessidades das gerações futuras (Santos, 1998).

No Brasil, depois da conferência do Rio de Janeiro sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento em 1992, ampliou-se muito o horizonte de discussões das temáticas ambientais, colocando-se para a opinião pública uma vasta gama de propostas de abordagem da questão ambiental, com a discussão de alternativas, dificuldades e benefícios de cada opção. Isto se refletiu em todos os segmentos econômicos e produtivos. Na área industrial surge a NBR ISO 14001 em 1996, constituindo um esforço de adequar as atividades de produção à nova filosofia de desenvolvimento sustentável.

A NBR ISO 14001/96 é uma norma voluntária que especifica os requisitos relativos a um sistema de gestão ambiental, e permite, desta forma, a formulação de uma política de objetivos, observando aspectos legais, referentes aos impactos ambientais significativos causados por um empreendimento (Hojda, 1998).

Em 1997, a Petroflex Indústria e Comércio S/A, uma indústria produtora de borracha sintética localizada no Pólo Petroquímico de Duque de Caxias, em cuja área foi realizado o presente trabalho, teve seu Sistema de Gestão Ambiental certificado segundo a norma ISO 14001. Desde então, a empresa objetivou a



diminuição de geração de resíduos, tornando mais eficiente seu processo produtivo, e também a eliminação de seu passivo ambiental, gerado ao longo de mais de quarenta anos de operação. Até o final de 2001, as 40.000 toneladas do passivo ambiental (Petroflex, 2002) foram destinadas ao beneficiamento, a fim de serem utilizadas como combustível nos fornos em indústrias cimenteiras.

Dentro desta política, a empresa, em parceria com universidades, organizações não governamentais e a Fundação Estadual de Engenharia do Meio Ambiente (FEEMA), promove a realização de estudos sobre a área da empresa e os impactos causados por suas atividades.

O Pólo Petroquímico de Duque de Caxias, do qual a empresa faz parte, foi implantado sobre uma das áreas remanescentes de manguezal da Baía de Guanabara. E foi neste ecossistema que grande parte do resíduo orgânico tóxico foi enterrado ou simplesmente descartado. O ecossistema manguezal possui características peculiares e sua manutenção depende de um frágil equilíbrio entre fatores como vegetação, fauna e flutuações de maré. Depende também de interações entre água subterrânea e água superficial, e de interações químicas entre o solo, água e organismos. Além disso, o manguezal possui um importante papel, na medida em que constitui um ambiente de transição mar-continente, na proteção contra processos erosivos e como “berçários marinhos” (Amador, 1995).

Os manguezais da Baía de Guanabara se desenvolveram sobre um intrincado arranjo estratigráfico que envolve interdigitação de camadas com granulometria variando entre argila e areia grossa (Amador, 1999). O comportamento hidroquímico e hidrodinâmico das águas subterrâneas num aquífero costeiro nestas condições é bastante complexo e tem, indiscutivelmente, grande influência do efeito das oscilações de maré (Jiao & Tang, 1999; Braga et al 2002b). Na maior parte das áreas costeiras, a água subterrânea proveniente do continente e a água do mar apresentam um equilíbrio característico que, dentre outros efeitos, provoca oscilações no nível d’água dos sistemas aquíferos em função das



variações no nível do mar e a formação de cunhas salinas ao longo da interface água doce-água salgada (Braga et al, 2002b).

O alcance da zona de influência marinha nos aquíferos está condicionado a alguns fatores como a condutividade hidráulica destes e a amplitude local de oscilação de marés (Jiao & Tang, 1999). Assim há uma grande variação no comportamento da cunha salina e a dimensão da área afetada de local para local, tornando necessário o estudo para cada sítio.

1.1. Petroflex- Histórico e aspectos gerais

A Petroflex Indústria e Comércio S.A. é a maior produtora de borrachas sintéticas da América Latina e uma das maiores do mundo. Produz atualmente 364.000 toneladas anuais de mais de 50 tipos de elastômeros. Além de suprir 87% do mercado brasileiro a Petroflex exporta para 50 países.

A borracha sintética - ou elastômero - é produzida a partir de duas matérias-primas principais, retiradas do petróleo: o butadieno e o estireno. Através do tratamento desses elementos, são gerados vários produtos: ESBR, SSBR, polibutadieno (BR), nitrílica (NBR), borracha termoplástica (TR), polibutadieno líquido (PBLH) e látex de estireno butadieno (SBR).

São bem variados os setores a que se destinam os produtos da empresa. As borrachas de SSBR e TR, por exemplo, se destinam à indústria de calçados, e também aos segmentos de adesivos, impermeabilizantes, modificadores de plásticos e peças técnicas, asfaltos. Já o PBLH tem uma gama variada de aplicações que vai da construção civil a impermeabilizantes.

A história da Petroflex se inicia com a inauguração da Fabor, em 1962, que foi a primeira planta industrial produtora de elastômeros da América Latina. Localizada junto à Refinaria de Duque de Caxias, no Rio de Janeiro, a Fabor foi incorporada em 1968 à Petrobrás Química S.A. - Petroquisa. Oito anos depois, tornou-se



Petroflex Indústria e Comércio S.A., subsidiária da Petroquisa, que absorveu todas as instalações da Fabor.

Em 1965, foi inaugurada a unidade industrial do Cabo, em Pernambuco, e em 1988, entrava em operação a planta industrial de Triunfo, situada junto ao Pólo Petroquímico do Rio Grande do Sul.

Em abril de 1992, a Petroflex foi privatizada pelo governo brasileiro. Os principais acionistas passaram a ser a Companhia Suzano, a Copene e a Unipar. Em 1996, fundiu-se à Coperbo - Companhia Pernambucana de Borracha Sintética.

Em 1996, a empresa recebeu a certificação ISO 14001. Além disso, segue as orientações da BS 8800 (Segurança e Saúde Ocupacional), e subscreveu o Programa de Atuação Responsável, introduzido no Brasil pela Associação Brasileira da Indústria Química – ABIQUIM. Este último cria diretrizes de excelência nas áreas ambiental, de segurança e de saúde ocupacional.

1.2. Objetivos

O principal objetivo deste estudo é caracterizar o comportamento hidroquímico e hidrodinâmico das águas subterrâneas em um ecossistema de manguezal, através de investigação de seus aspectos geológicos e hidrogeológicos. A pesquisa tem também o propósito de realizar uma análise das interações entre as oscilações de maré e os seus efeitos no aquífero em questão. A justificativa fundamental do estudo reside na geração de dados confiáveis para a utilização em ações de remediação de possíveis contaminações do solo ou da água subterrânea da área. Este trabalho igualmente visa dar suporte a uma dissertação de mestrado e uma tese de doutorado, em andamento atualmente na Petroflex Indústria e Comércio S.A.



2. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

2.1. Localização e acessos

A área de estudo está localizada dentro da Petroflex Indústria e Comércio S/A, no município de Duque de Caxias, estado do Rio de Janeiro, à rua Marumbi, 600, distrito de Campos Elíseos (Figura 1). A empresa faz parte do Pólo Petroquímico de Duque de Caxias, cujo acesso é feito pela Rodovia Washington Luiz, km 114.

Compreendendo aproximadamente 1 km² do terreno da empresa, a área de estudo corresponde à chamada área de passivo ambiental da Petroflex S.A.. Em termos de ocupação do solo, parte do local está coberta por manguezal, outra parte coberta por aterro, onde a vegetação original foi substituída principalmente por eucaliptos e casuarinas, e uma terceira parte engloba uma planta industrial em descomissionamento.

Os limites físicos da área são o Morro do Mosquito na parte noroeste, um canal artificial de tomada de água, com ligação direta com a Baía de Guanabara, na parte sudoeste e o manguezal nas partes sudeste e nordeste, como se pode observar na Figura 1.

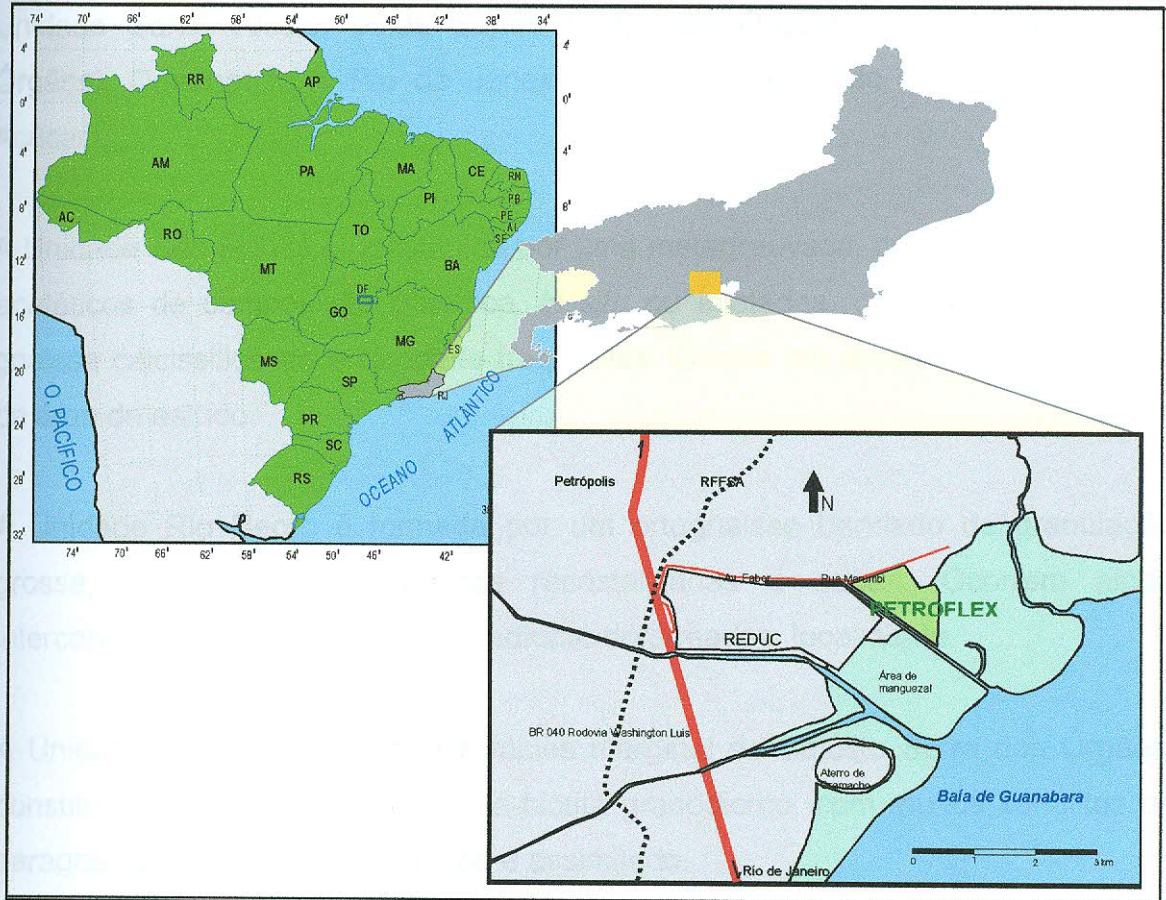


Figura 1 – Localização da área de estudo: situada a aproximadamente 1,5 km da borda noroeste da Baía de Guanabara. A área está localizada dentro da Petroflex Ind. e Com. S/A, em Duque de Caxias, RJ.

2.2. Geologia regional

A geologia da região corresponde à da Bacia da Guanabara, que possui uma área de aproximadamente 4.600 km², e é constituída por rochas gnáissicas e graníticas pré-cambrianas, rochas alcalinas cenozóicas, depósitos continentais cenozóicos do Grupo Barreiras e da Formação Macacu, bem como sedimentos holocênicos fluviais, coluviais, marinhos e flúvio-marinhos (BRASIL, 2001). O mapa geológico da região apresenta-se na Figura 2.

O Pré-Cambriano da região está representado pelo Complexo Paraíba do Sul (Unidade São Fidélis), pelo Complexo Rio Negro (Unidade Rio Negro), pela



Unidade Santo Aleixo, pelas Suítes Serra dos Órgãos (Unidade Serra dos Órgãos), Desengano e Rio de Janeiro (Granito Corcovado e Granito Pão de Açúcar).

A Unidade São Fidélis é constituída por uma metagrauvaca, com bolsões e veios anatéticos de composição granítica, *in situ* ou injetados, com intercalações de gnaiss calcissilicático e quartzito freqüentes. Ocorre em áreas restritas a norte da área de estudo.

A Unidade Rio Negro é formada por um ortognaiss bandado de granulação grossa, com texturas porfiríticas recristalizadas e *augen*. Ocorrem ainda intercalações de metagabro e metadiorito deformados, localmente.

A Unidade Santo Aleixo forma a fácies marginal do Batólito Serra dos Órgãos, constituída por granada-hornblenda-biotita granodiorito, com muitos xenólitos de paragnaisses parcialmente fundido e assimilado.

A Unidade Serra dos Órgãos é constituída por um granitóide de granulação grossa e composição cálcio-alkalina.

Em corpos distantes em relação à área de estudo, temos as rochas da Suíte Desengano e Suíte Rio de Janeiro, ambas formadas por granito tipo S.

No Mesozóico temos diques tabulares de fonolito e diabásio (granitóides pós-tectônicos) cortando rochas regionais, predominantemente com direção NW-SE, e o Maciço Alcalino de Canaã. Os granitóides pós-tectônicos mais importantes na região são o Granito Suruí e o Granito Cassorotiba, devido às suas localizações relativamente muito próximas à área de estudo. São granitóides do tipo I, de granulação fina a média, textura equigranular a porfirítica localmente, e com foliação de fluxo magmático preservada.



O Maciço Alcalino de Canaã é formado por sienitos de composição variada, traquito com bandamento magmático e pegmatitos de estágio tardio com safirina. No Cretáceo/Terciário da região aparecem novamente rochas alcalinas como sienitos, foialitos, fonolitos, traquitos, tinguitos e fenitos. O Terciário é formado pela Formação Macacu e pelo Grupo Barreiras. A Formação Macacu é constituída por uma sucessão de lentes e camadas pouco espessas de sedimentos arenosos, areno-argilosos, argilo-arenosos e argilo-silticos pouco consolidados. O Grupo Barreiras é caracterizado por um depósito detrítico pobremente selecionado com granulometria cascalho, areia argilo-arenosa e argilas geralmente contendo horizontes lateríticos.

No Quaternário os depósitos mais significativos são os marinhos e flúvio-marinhos e os colúvio-aluvionares. Os primeiros ocorrem em linhas de praias atuais, antigas e manguezais, e tem constituição silto-areno-argilosos, com matéria orgânica. Os depósitos colúvio-aluvionares são aqueles originados por depósitos fluviais e flúvio-marinhos areno-siltico-argilosos, com camadas de cascalheiras, associados a depósitos de tálus, e sedimentos lacustrinos e de manguezal retrabalhados.

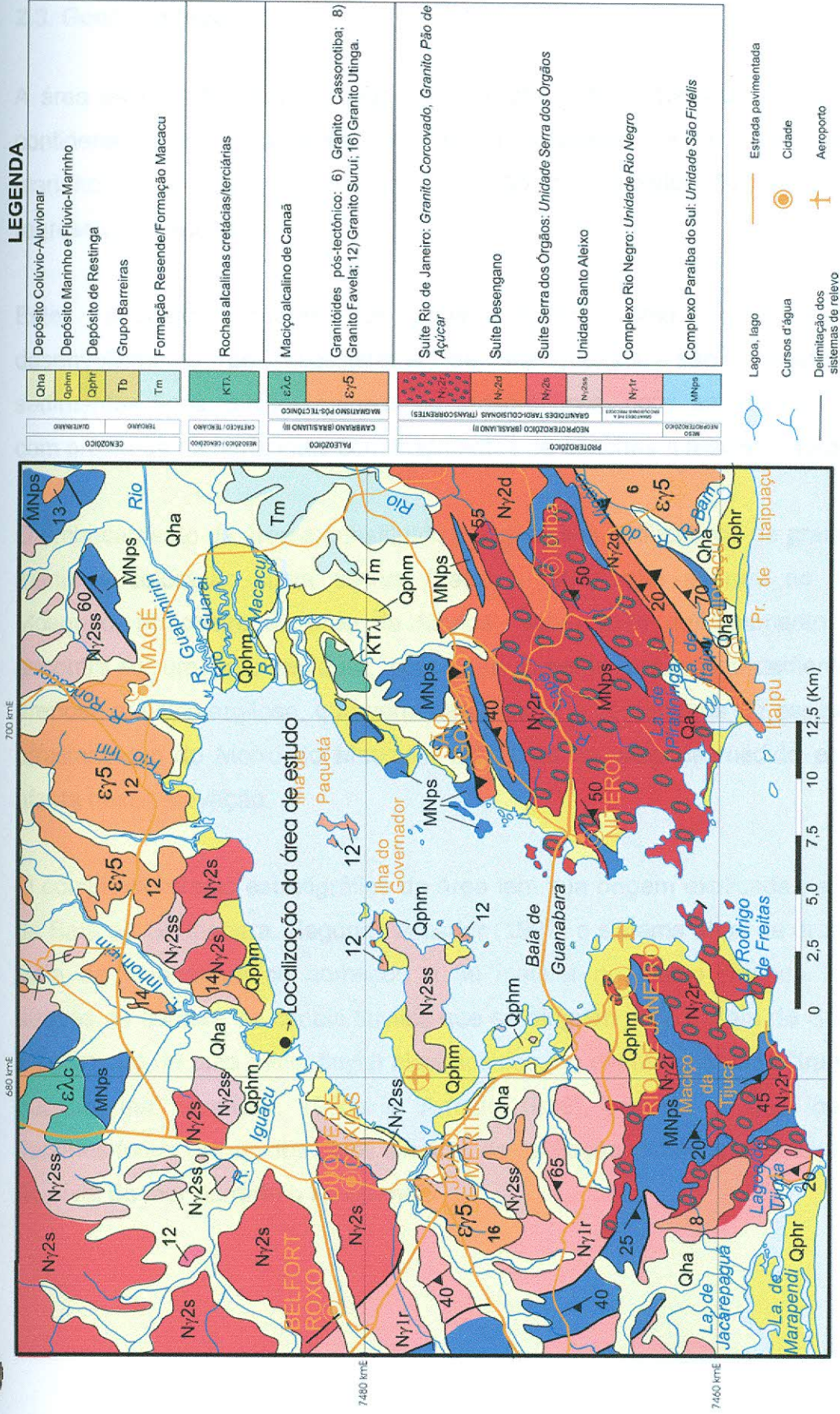


Figura 2 – Mapa Geológico da região da Baía de Guanabara. A área de estudo está inserida numa área de depósitos quaternários marinhos e flúvio-marinhos. (Adaptado de Brasil, 2001)



2.3. Geologia local

A área da Petroflex está situada na transição entre a Baía de Guanabara e o continente. Predomina, dessa forma, um ambiente de sedimentação flúvio-marinho, constituído por uma interdigitação de depósitos fluviais e marinhos regressivos holocênicos.

Estes depósitos quaternários, que servem como substrato para o desenvolvimento do ecossistema de manguezais, são constituídos por sedimentos finos, síltico-argilosos ou argilo-sílticos, ricos em matéria orgânica, com presença de horizontes com fragmentos de conchas e restos vegetais.

O embasamento da área é constituído por gnaisses anfibolíticos de granulometria média e coloração cinza escura (Falcão, 1999), que afloram no Morro do Mosquito, no centro da área da fábrica. Sobre esse embasamento cristalino encontra-se um solo residual, com granulometria predominantemente síltica-arenosa e síltica-argilosa, que varia desde alguns centímetros de espessura nas proximidades do Morro do Mosquito até 20 m ou mais na medida em que se afasta dessa elevação.

O complexo arranjo estratigráfico da área tem sua origem explicada na formação da Baía de Guanabara. Segundo Amador (1997) o sistema atual de drenagem da Baía de Guanabara só começou a se instalar no último período interglacial através da captura de canais fluviais que se dirigiam para a Baía de Sepetiba. O afogamento de uma bacia fluvial pleistocênica, no evento chamado "transgressão guanabarina" (Amador, 1980a *in* Amador, 1999), originou a atual baía, cujos detalhes foram esculpidos pelos eventos de oscilação climática e variação relativa do nível do mar durante o Holoceno.



2.4. Características fisiográficas

A região da Baía de Guanabara reúne quatro províncias fisiográficas principais, sendo elas: a escarpa da Serra do Mar, os maciços litorâneos, a Baixada Fluminense e a Baía de Guanabara. Dentro desse contexto, podemos dizer que a área estudada está localizada num subdomínio da Baixada Fluminense de planície costeira, com altitudes médias muito baixas. Na maior parte da área da empresa a cota topográfica média é de 4 metros, tendo uma única elevação, o Morro do Mosquito, que chega a 40 metros.

Por se tratar de uma área plana e de baixas altitudes, é em boa parte alagadiça, o que inclui o manguezal que recobre toda a porção sudeste da área da Petroflex. Ocorrem pequenas drenagens meandranes que se ligam ao Rio Estrela, o rio mais importante localmente. Originalmente, a área inundável atingia quase toda a extensão da empresa, antes do aterramento realizado para a instalação de todo o pólo petroquímico.

2.4.1 – Geomorfologia

A região da Baía de Guanabara está contida na unidade geomorfológica Baixada da Baía de Guanabara, que faz parte da unidade morfoestrutural Bacias Sedimentares Cenozóicas (BRASIL, 2001). Essa unidade geomorfológica consiste numa importante área de acumulação flúvio-marinha que preenche o recôncavo da baía formando, em conjunto com a Baixada da Baía de Sepetiba, a Baixada Fluminense (denominação popular). É resultante de eventos sucessivos de transgressão e regressão do nível relativo do mar e está cercada por serras e maciços, ocupando uma depressão tectônica denominada *graben* da Guanabara (Ferrari, 1990 in BRASIL, 2001).

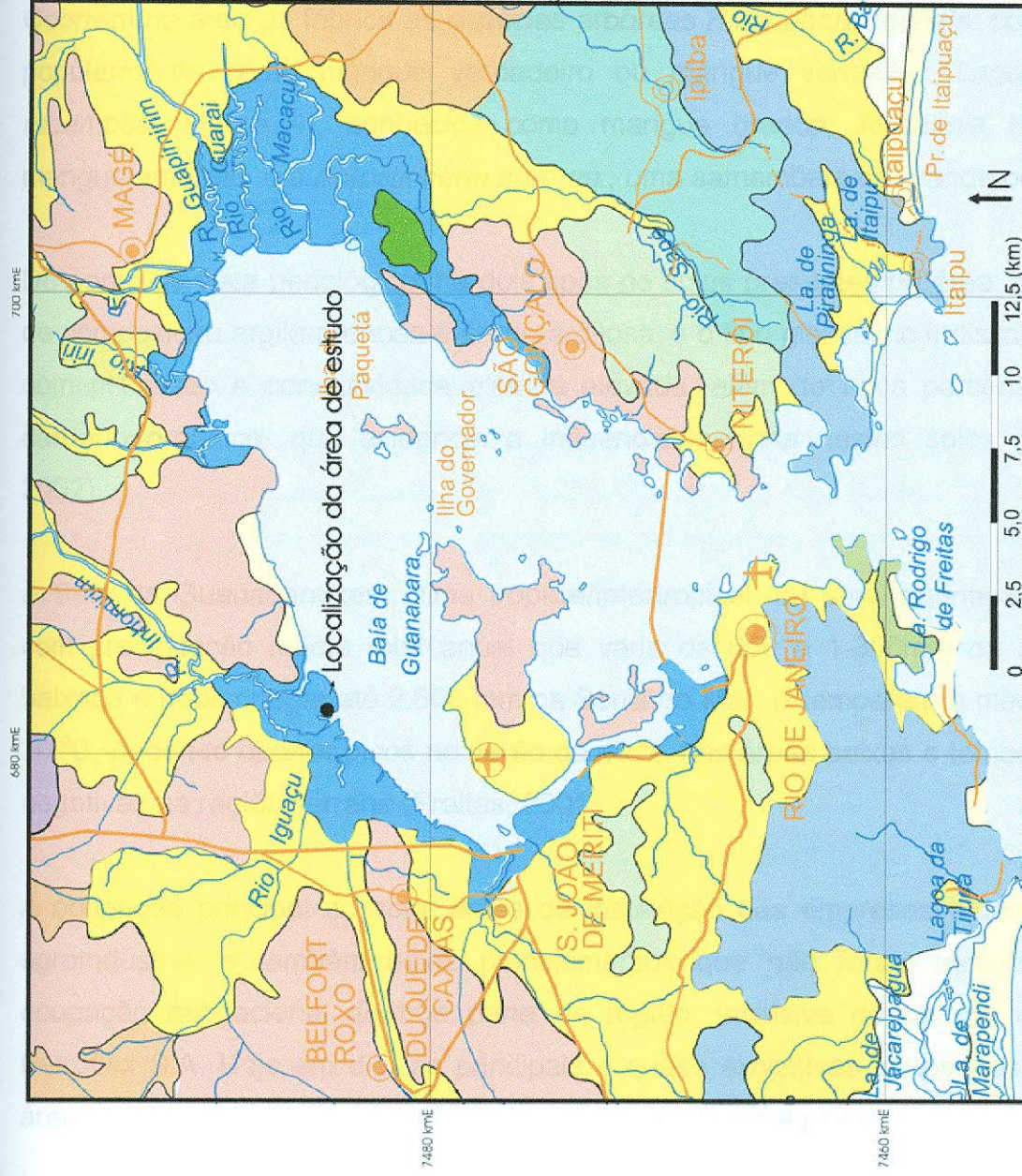
A rede de drenagem da Baía de Guanabara tem suas nascentes situadas nas escarpas serranas ou nos maciços costeiros, subordinadamente. Destacam-se os



rios Iguaçú, Inhomirim-Estrela, Suruí, Santo Aleixo, Guapimirim, Guapiaçu, Macacu, Sarapuí, Pavuna, Faria-Timbó, Maracanã, Guaxindiba e Caceribu.

O mapa geomorfológico da região da Baía de Guanabara está apresentado na Figura 3. Pode-se observar que a área de estudo está inserida num domínio de planícies flúvio-marinhas, caracterizada por terrenos argilosos orgânicos de fundo de baías ou enseadas, ou deltas dominados por marés. São superfícies planas de interface deposicional mar/continente. Nas proximidades ocorrem outros domínios de planície: planícies colúvio-alúvio-marinhas, caracterizadas por terrenos argilo-arenosos das baixadas, e planícies costeiras, representadas por terrenos arenosos de terraços marinhos, cordões arenosos e campos de dunas. Estas feições correspondem às porções do relevo onde predomina a sedimentação sobre a erosão.

Os relevos de degradação, onde predominam os processos de erosão sobre sedimentação, são representados na região por colinas isoladas, muito abundantes. Estas se apresentam como relevos residuais com topos arredondados (meias-laranjas) ou alongados, com vertentes convexas e sedimentação coluvial.



LEGENDA

- RELEVOS DE AGRADAÇÃO**
- Planícies Continentais Aluviais: Planícies de Inundação, Terraços Fluviais e Leques Alúvio-coluviais.
 - Planícies Costeiras: Terrenos arenosos de terraços marinhos, Cordões arenosos e Campos de dunas.
 - Planícies Colúvio-alúvio-marinhas: Terrenos argilo-arenosos das baixadas.
 - Planícies Flúvio-marinhas: Terrenos argilosos orgânicos de fundo de Baías ou Enseadas, ou deltas dominados por maré.
 - Planícies Flúvio-lagunares: Terrenos argilosos orgânicos de paleolagunas colmatadas.

RELEVOS DE DEGRADAÇÃO

- Tabuleiros
- Colinas Isoladas
- Domínio Suave Colinoso
- Domínio de Colinas Dissecadas, Morrotes e Morros Baixos
- Alinhamentos Serranos e Degraus Estruturais
- Maçãos Intrusivos Alcalinos
- Maçãos Costeiros e Interiores
- Escarpas serranas
- Lagoa, lago
- Cursos d'água
- Delimitação dos sistemas de relevo
- Estrada pavimentada
- Cidade
- Aeroporto

Figura 3 – Mapa geomorfológico da região da Baía de Guanabara. A área de estudo está inserida num sistema de relevo de planície flúvio-marinha, caracterizada por terrenos argilosos, ricos em matéria orgânica, e formados em fundos de baías, com influência de maré. (Adaptado de Brasil, 2001)



2.4.2 – Vegetação, clima, pedologia e ocupação do solo

A associação vegetal característica dos manguezais reúne tipos anfíbios, lenhosos e perenifólios, com grande especialização, adaptados às zonas litorâneas tropicais, onde há intensa deposição e a velocidade de correntes e ação das ondas são reduzidas. Além disso, essas espécies suportam condições de pH ácido e salinidade elevada, vivendo sobre um substrato constituído, em grande parte, por argilas orgânicas, periodicamente inundado conforme a ação das marés (Amador, 1997).

Ocorrem na área da fábrica as espécies arbóreas *Rizophora mangle*, conhecida popularmente como mangue verdadeiro ou mangue vermelho; *Laguncularia racemosa* (Figura 4), conhecida como mangue branco; *Avicennia nitida*, o mangue amarelo; e a *Acrosticheen aureum*, uma samambaia de grande porte.

Do ponto de vista pedológico, há dois tipos de solos presentes na área: o aterro, de composição argilo-arenosa e areno-argilosa, e o tipo glei salino indiscriminado, com pH ácido e condutividade elétrica elevada, além de altos percentuais de carbono orgânico, que evidencia a influência marinha nestes solos (Ramos, 2002).

A Baía da Guanabara tem clima tropical/intertropical, ou seja, quente e úmido, com precipitação média total anual que varia de 800 a 1.300mm na área da baixada e pode chegar até 2.600 mm na Serra do Mar. A temperatura média é de 26 °C, podendo ocorrer picos no verão de 40 °C nas áreas baixas e temperaturas negativas na região serrana (Freitas, 2001).

A ocupação principal do solo, antes da instalação das empresas atuais, era a agroindústria, e também havia planejamentos que não foram efetivados de ocupação habitacional de boa parte da região, inclusive da própria área da Petroflex S.A. Hoje em dia, as principais e quase exclusivas ocupações são de áreas industriais e de matas reflorestadas de eucaliptos e pinheiros.



Figura 4 – Espécies vegetais características de floresta de manguezal ocorrentes na área de estudo, a *Laguncularia racemosa* (arbusto ao fundo), e a *Acrosticheen aureum* (samambaia a frente).

3. METODOLOGIA

Um estudo detalhado dos parâmetros geológicos e hidrogeológicos da área foi realizado obedecendo a uma metodologia que buscou respeitar as características do sítio de estudo, adaptando orientações que vêm sendo adotadas internacionalmente para pesquisas deste gênero. Os procedimentos adotados durante o estudo (instalação de poços de monitoramento, ensaios, amostragem), foram executados conforme normas técnicas específicas (NBR 13895 em ABNT, 1997) que, quando necessário, foram adaptadas às necessidades e disponibilidades do local de estudo. As adaptações observaram condições do local, equipamentos e mão-de-obra disponíveis.

Os passos constituintes da metodologia adotada envolveram os que são usuais em estudos dessa natureza, conforme sistematizado por Lecomte & Mariotti (1997). Em um primeiro estágio foi realizada a investigação geológica do sítio, através de análise de dados históricos e estudos de campo. Num segundo estágio foi realizada a investigação hidrogeológica, com instalação de rede de poços de



foi realizada a investigação hidrogeológica, com instalação de rede de poços de monitoramento da água subterrânea, ensaios e monitoramento de níveis d'água, amostragem de água subterrânea e estudo da influência do efeito-maré.

3.1. Investigação geológica

3.1.1. Análise de dados históricos

Com o intuito de conhecer as condições geológicas iniciais anteriores à instalação da fábrica, bem como conhecer o histórico de suas atividades, no que se refere às atividades de disposição de resíduos, ou quaisquer outras atividades que pudessem resultar em comprometimento da qualidade da água subterrânea, foi feita uma pesquisa para reunir todas as informações disponíveis em forma de mapas topográficos, fotos aéreas e perfis de sondagens.

Os mapas topográficos e fotos aéreas foram analisados com o objetivo de localizar áreas-alvo para a locação de sondagens ou investigações indiretas. Também se buscou identificar características significativas do ponto de vista hidrogeológico, como existência de barreiras ao fluxo de água subterrâneo como, por exemplo, aqueles constituídos por afloramentos rochosos ou irregularidades do topo do embasamento.

Os perfis de sondagens forneceram dados para a construção de seções geológicas, formando um modelo preliminar do arranjo estratigráfico da área estudada.

3.1.2. Estudos de campo

Considerando-se os dados históricos, foram executadas três campanhas de estudos de campo: uma campanha de sondagens, duas campanhas de investigação geofísica, e uma campanha de medidas físico-químicas (pH,



condutividade elétrica, etc.). Estes estudos fizeram parte de três trabalhos de graduação, realizados em conjunto com o apresentado através da presente monografia.

3.1.2.1. Sondagem por cravação direta

A técnica de sondagem escolhida foi de *direct push* (cravação direta), devido à rapidez e praticidade, e também pela obtenção de amostras pouco deformadas, praticamente sem gerar resíduos.

O método de amostragem por cravação direta promove uma amostragem contínua de solo, acondicionada em tubos de PVC (*liners*), ou amostragens pontuais. A amostragem é feita através da cravação de ferramentas pela ação de peso do equipamento, ou por percussão, no caso de materiais mais resistentes, como areia e cascalho. O equipamento escolhido para estas sondagens foi o *Geoprobe 54 DT* (Figura 5A), uma sonda montada sobre esteira, por suas pequenas dimensões, o que representou vantagens na realização de sondagens em locais de difícil acesso.

As hastes do amostrador, de 2" de diâmetro, são feitas em aço inoxidável e possuem em sua extremidade uma ponteira descartável que, ao alcançar a profundidade desejada, é liberada, permitindo que o solo penetre na camisa plástica (Figura 5B). Desta forma a amostra não tem nenhum contato com a parede da perfuração, impedindo uma possível contaminação. As amostras são retiradas a cada metro de profundidade avançado e devidamente identificadas (Figura 5C). Antes de sua reutilização, as hastes do amostrador, e todas as partes do equipamento que entram em contato com a perfuração, são descontaminadas (Figura 5D).



Através da técnica de amostragem por cravação direta, foram obtidas 14 sondagens que possibilitaram a descrição de perfis do solo em profundidade. Algumas destas amostras foram selecionadas para o estudo pedológico. A localização das sondagens está na Figura 6. Os perfis descritivos das sondagens se encontram no Anexo 1.

3.1.2.2. Geofísica

Foram empregados três métodos geofísicos com o intuito de encontrar e delimitar locais contaminados ou fontes de contaminantes, bem como delinear a superfície do topo do embasamento: radar de penetração no solo (*Ground Penetrating Radar- GPR*), sondagem elétrica vertical (SEV) e sísmica de refração (Figura 7). Estes estudos de campo foram realizados através de duas monografias de graduação, e as interpretações dos dados foram utilizadas no presente trabalho. Não houve êxito no primeiro alvo da investigação geofísica com GPR e SEV. No entanto, os dados obtidos com estes métodos foram utilizados conjuntamente com a sísmica de refração para um ajuste do arranjo estratigráfico e esboço da superfície do topo rochoso, através de seções verticais. Na Figura 6 estão localizadas as linhas geofísicas executadas com sísmica de refração.

Figura 6
Mapa
refração
e prof.

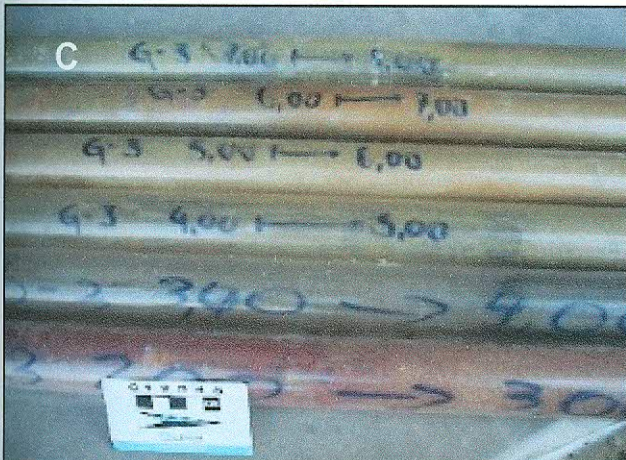


Figura 5 – Sondagem *direct push*: A – sonda montada sobre esteira (modelo GEOPROBE 54 DT) executando perfuração; B – amostra acondicionada em *liner* (camisa plástica) de PVC sendo retirada do amostrador de aço inoxidável; C – amostras identificadas segundo localização do furo e profundidade de amostragem; D – limpeza das ferramentas utilizadas com detergente especial para evitar contaminação cruzada entre sondagens.

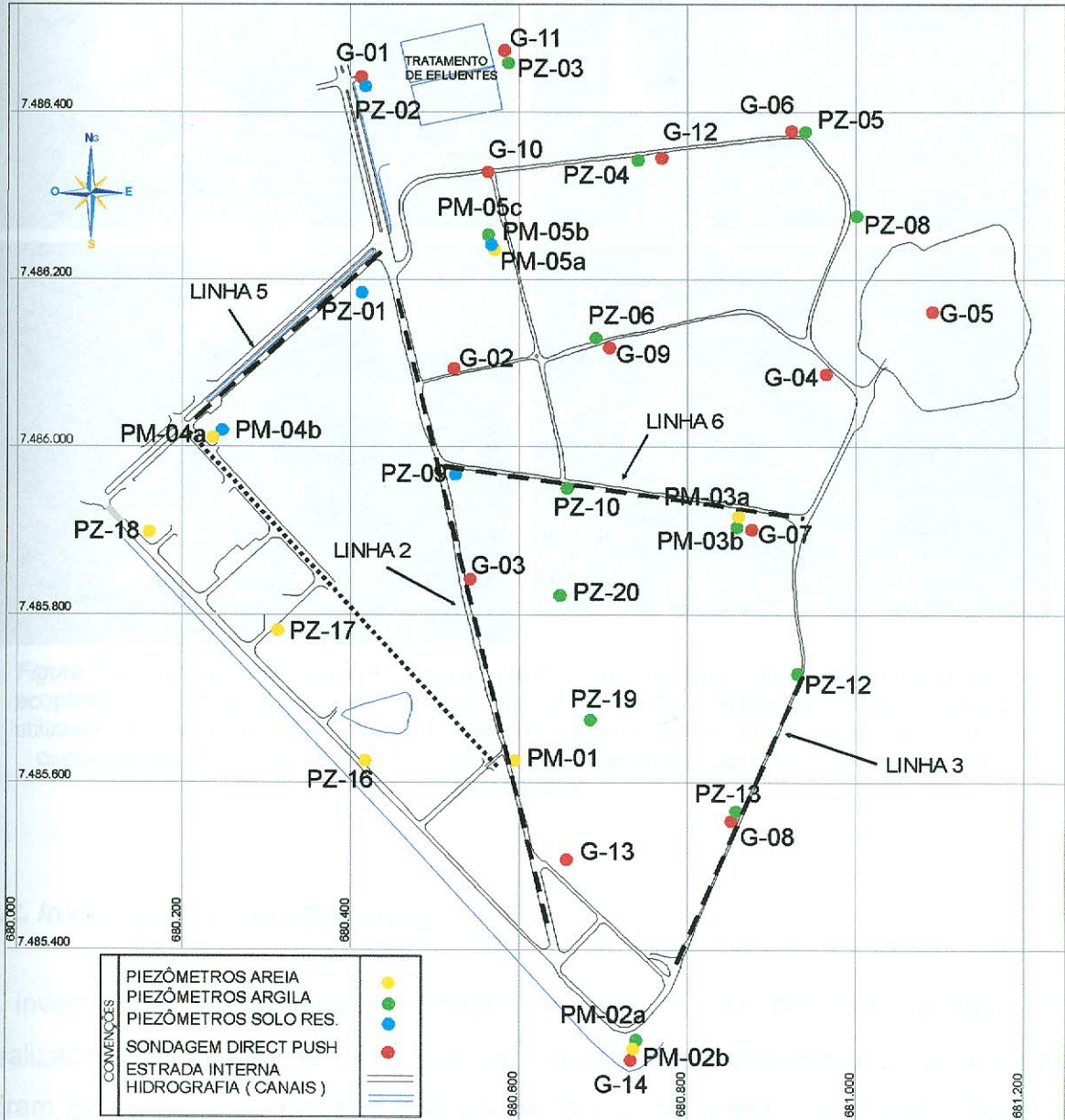


Figura 6 – Localização dos poços de monitoramento (pontos em azul, amarelo e verde), pontos de sondagem *direct push* (pontos em vermelho), seção geológica (linha pontilhada), linhas geofísicas (linhas tracejadas).

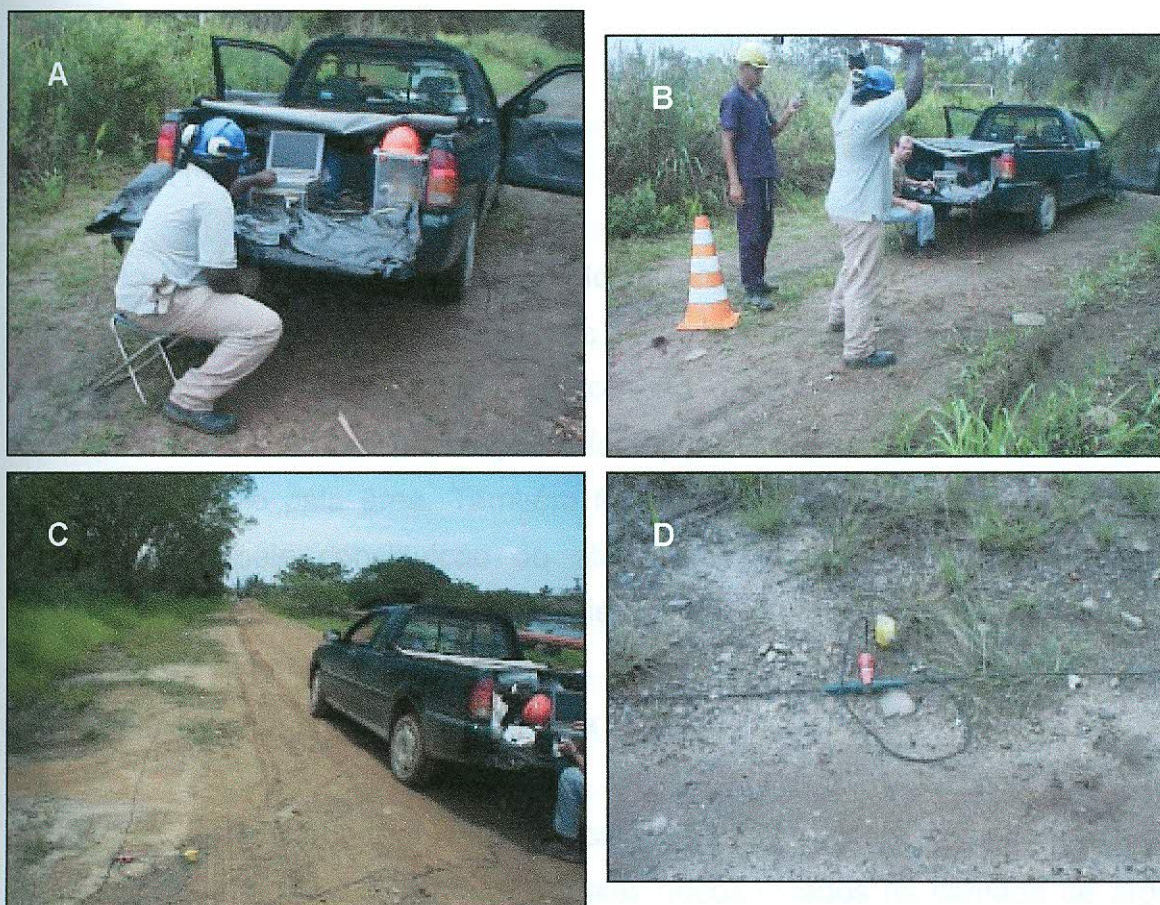


Figura 7 – Sísmica de refração: A – sistema de controle dos dados composto por sismógrafo acoplado a um computador portátil (laptop); B – a marreta foi utilizada como fonte de energia utilizada para gerar ondas sísmicas; C – sistema ligado a geofones através de cabos durante execução de uma linha sísmica; D – detalhe: geofone eletromagnético conectado a cabo sismográfico.

3.2. Investigação hidrogeológica

A investigação hidrogeológica consistiu de duas etapas. Na primeira delas foi realizada a instalação de uma rede de poços de monitoramento e na segunda foram executados os ensaios nos poços, o monitoramento de níveis d'água e amostragem de água subterrânea.



3.2.1. Rede de monitoramento

3.2.1.1. Planejamento

O modelo conceitual preliminar da geologia local, obtido através da análise de dados históricos e dos estudos de campo, foi considerado para o planejamento da rede de poços de monitoramento. A locação dos poços levou em conta, da mesma forma, a provável presença de fontes de contaminação e objetivou uma ampla distribuição pela área. Também foi limitada pelas condições do terreno, principalmente pela constituição do aterro que, embora predominantemente homogêneo, apresentou em alguns locais grandes blocos rochosos, impedindo a instalação de alguns poços planejados. A profundidade dos poços foi definida conforme os horizontes de interesse para a investigação.

A Figura 6, já mencionada, mostra a localização dos poços de monitoramento e as sondagens por cravação direta. Aqueles poços locados na camada de argila têm sua distribuição concentrada na parte leste da área, justificada pela presença do manguezal, e pelo interesse na investigação detalhada nesta camada, definido após os estudos de campo. Os poços locados na camada areno-argilosa se concentram na parte oeste da área devido à proximidade do canal artificial de tomada de água, e sua justificativa está apoiada na importância do estudo do efeito das oscilações de maré no aquífero em questão. Os poços instalados na camada de solo residual foram locados em pontos em que este horizonte estava mais próximo da superfície, considerando-se as seções geológicas obtidas com sondagens e refração sísmica.

3.2.1.2. Instalação

Dois métodos de perfuração foram utilizados para a instalação da rede de monitoramento dividindo a perfuração dos poços em duas fases. Na primeira delas utilizou-se o *hollow stem auger* (trado mecânico de hastes ocas), uma sonda mecanizada montada sobre esteira. Este foi o método escolhido para a



instalação de poços multiníveis, que permitem, num mesmo ponto, o acesso a mais de um horizonte separadamente. Na segunda fase, utilizou-se o trado manual para instalação dos poços de monitoramento.

As perfurações executadas com o *hollow stem auger* (primeira fase) foram executadas com diâmetro de 4 ¼" e 8 ¼" interno e externo, respectivamente. Os tubos de PVC geomecânico com diâmetro de 2" foram instalados dentro da cavidade das hastes da sonda, antes que estas fossem sacadas da perfuração. O pré-filtro, constituído por areia graduada de 1,2 a 2,4 mm, e o selo de bentonita foram colocados, assim como os tubos de PVC, antes da retirada das hastes. A seção filtrante de 1 metro de comprimento, envolta em manta geotêxtil (Bidim) foi instalada no horizonte de interesse do perfil geológico. Na superfície, os poços são abrigados por uma laje de proteção sanitária e um tubo de 6" de diâmetro com tampa e cadeado, impedindo o acesso de animais, pessoas não autorizadas ou água da chuva (Figura 8). Os perfis descritivos e construtivos dos poços desta fase estão no Anexo 2. Estes poços são identificados com a sigla PM seguida por número.

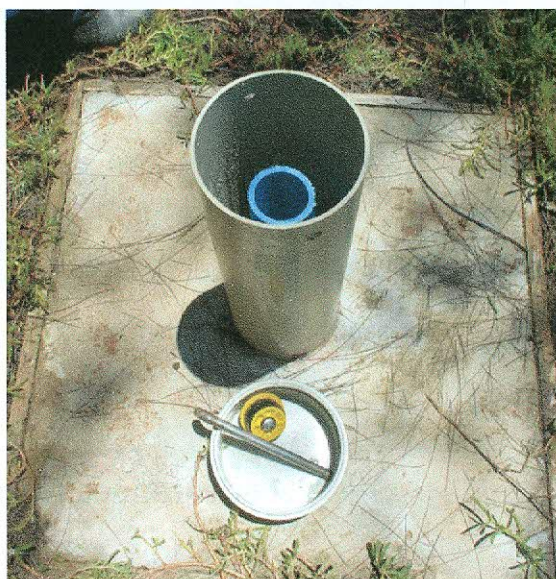


Figura 8 – Poço de monitoramento construído com *hollow stem auger*. Um tubo de PVC de 6" com tampa e cadeado é fixado a uma base de concreto de 1m², protegendo o poço contra violação e o acúmulo de água da chuva.



Na segunda fase dos poços de monitoramento, como já comentado, foi utilizado um trado helicoidal manual para a instalação de poços construídos em tubo de PVC geomecânico de 4". Neste caso os tubos de PVC foram instalados na perfuração de 6" de diâmetro após a remoção das hastes do trado. A perfuração foi preenchida com pré-filtro de areia graduada até a profundidade correspondente à seção filtrante do poço, e o restante foi selado com calda de bentonita. Essa metodologia obedeceu à norma NBR 13895 (ABNT, 1997). A proteção, em superfície, para estes poços, é constituída por uma laje e um abrigo de concreto, (Figura 9). Os perfis descritivos e construtivos dos poços desta fase estão disponíveis no Anexo 3. Estes poços são identificados com a sigla PZ seguida por número.



Figura 9 – Poço de monitoramento construído com trado manual.

3.2.1.3. Ensaios de permeabilidade

A fim de se obter os valores das condutividades hidráulicas dos horizontes investigados, foram realizados ensaios de permeabilidade (*slug tests*) em boa parte dos poços de monitoramento.



O ensaio consiste basicamente no esgotamento quase instantâneo do poço e o acompanhamento da recuperação do nível d'água em função do tempo. Para sua realização, inicialmente o nível d'água estático de cada poço foi medido, e depois rebaixado com o auxílio de amostradores descartáveis (*bailers*).

onda.

As medidas de nível d'água e variação da pressão atmosférica foram tomadas em intervalos de 5 em 5 segundos, durante 1 hora, utilizando medidores automáticos (*dataloggers* modelo LT3001 da marca Solinst). Estes medidores foram baixados dentro do poço através de um cabo de aço inoxidável, e permaneceram presos à boca do poço durante este período. Dois medidores são utilizados simultaneamente para cada ensaio. Um deles é colocado abaixo do nível d'água dinâmico, medido após o rebaixamento, e registra a variação da pressão exercida pelas colunas de água e de ar acima desse ponto. O outro não entra em contato com a água, mas é inserido dentro do poço para medir a variação da pressão atmosférica durante o ensaio.

As medidas da variação da pressão atmosférica são necessárias para a compensação dos dados de nível d'água, através do software *Levelogger* versão 1.4, da Solinst. A compensação tem o objetivo de extrair os dados de variação de nível d'água, subtraindo os valores de pressão atmosférica dos dados de variação da pressão total (água + ar). Os dados compensados são utilizados para o cálculo da condutividade hidráulica através do software *Aquifer Test* versão 2.57, da Waterloo Hydrogeologic Inc.

ção.

O *slug test* de Hvorslev (1951 in Custodio & Llamas, 1983) é utilizado para estimar a condutividade hidráulica do material aquífero circundante ao filtro do piezômetro. Neste tipo de ensaio, a água é removida instantaneamente abaixando o nível d'água no piezômetro.

avali

A taxa do fluxo que entra ou que sai, q , na seção filtrante do piezômetro em qualquer tempo t é proporcional a K (condutividade hidráulica) do solo e a diferença de carga hidráulica:



$$q(t) = \pi r^2 \frac{dh}{dt} = FK(H - h) \quad (1)$$

onde:

r é o raio efetivo do piezômetro,

F é o fator de forma que depende das dimensões do filtro do piezômetro, e

K é a condutividade hidráulica intrínseca conforme o raio de influência.

Hvorslev definiu o intervalo de tempo, T_L (o tempo necessário para a extração inicial se dissipar, assumindo um fluxo constante) como:

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

Substituindo o intervalo de tempo na equação inicial temos a seguinte solução:

$$K = \frac{\pi r^2 (\ln h_t / h_o)}{FT_L} \quad (3)$$

onde:

h_t é o deslocamento como função do tempo e

h_o é o deslocamento inicial.

Os dados de campo são representados com h_t/h_o no eixo das abscissas e o tempo no eixo das ordenadas. O valor de T_L é tomado como o tempo correspondente a $h_t/h_o = 0.37$ e K é determinado através da equação (3). Hvorslev avaliou F para os piezômetros mais comuns, onde o comprimento da seção filtrante é maior que oito vezes o raio do filtro, e produziu a seguinte solução geral para K :



$$K = \frac{r^2 \ln (L/R)}{2 LT_L} \quad (4)$$

onde:

L é o comprimento do filtro

R é o raio do filtro incluindo o pré-filtro

T_L é o intervalo de tempo quando $h_w/h_o = 0.37$

Os valores de condutividade hidráulica para cada horizonte geológico da área de estudo foram definidos através de uma média, calculada com base nos valores obtidos através dos ensaios nos poços localizados numa mesma camada de interesse.

3.2.1.4. Monitoramento dos níveis d'água

Objetivando a definição do comportamento potenciométrico da água subterrânea, os níveis d'água foram monitorados. Os períodos de monitoramento variaram para cada poço, pois as medições se iniciaram à medida que os poços eram instalados. Desta forma, os poços multiníveis foram monitorados durante um período maior de tempo, já que foram os primeiros a serem construídos. Como sua instalação foi rápida, o monitoramento pôde ser iniciado simultaneamente em todos os poços desta fase.

Os poços de monitoramento construídos com trado manual dispensaram um tempo significativo na sua instalação, devido a dificuldades técnicas como disponibilidade de pessoal e ferramentas. Assim o monitoramento dos níveis d'água nestes poços apresentou uma grande variabilidade nos dados. Ao passo que eram instalados, iniciavam-se as medições concomitantemente com os poços multiníveis.



Os dados obtidos foram utilizados na confecção de mapas potenciométricos, que representam a superfície do nível d'água através de curvas de isovalores, e gráficos de variação de nível d'água para cada camada investigada. Os mapas potenciométricos, confeccionados através do programa *Surfer* versão 6.04, possibilitaram a definição para as direções de fluxo da água subterrânea.

3.2.1.5. Amostragem

Uma campanha de amostragem de água subterrânea foi efetuada a fim de uma caracterização hidroquímica do aquífero local. Os poços foram amostrados utilizando-se uma bomba de baixa vazão, marca Grundfos, conectada a tubo poliflo de 3/8" de diâmetro.

A escolha por este método de amostragem foi definida após uma pesquisa acerca das metodologias mais utilizadas atualmente, atentando para os reais propósitos da pesquisa como um todo. Como o enfoque principal das pesquisas que estão sendo executadas na área é sobre a potencial contaminação da água subterrânea, procurou-se um procedimento apropriado objetivando a possibilidade de coleta de amostras de qualidade confiável.

Estudos recentes discutem e apontam a amostragem de águas subterrâneas com baixa vazão como mais vantajosa quando o objetivo da pesquisa é a caracterização de sítios contaminados (Puls & Barcelona, 1996). Esta metodologia assume que haja o interesse em detectar a presença de metais ou compostos orgânicos. As vantagens que esse método oferece são inúmeras e, em resumo, impedem que haja uma remobilização de partículas imóveis, como metais ou compostos orgânicos hidrofóbicos, causando uma sobre estimativa nas análises destes parâmetros. Métodos como a purga e amostragem com *bailers* ou bombas de alta velocidade têm esta desvantagem.



A metodologia para amostragem recomenda que vários parâmetros indicadores da qualidade da água sejam monitorados para determinação do momento em que a água da formação é acessada (idem). Esses parâmetros são: pH, condutividade específica, oxigênio dissolvido, potencial de óxido-redução, temperatura e turbidez. Neste estudo foram monitorados apenas o pH e a temperatura devido a indisponibilidade dos equipamentos necessários para a medição dos demais parâmetros. Como estes são os primeiros indicadores a se estabilizar durante a purga, utilizou-se o monitoramento do rebaixamento do nível d'água e da taxa de bombeamento para determinar a estabilização.

Na Figura 10 observa-se a bomba no momento da amostragem. A vazão utilizada esteve num intervalo entre 0,1 e 0,5 L/min (Figura 11). Após cada amostragem o equipamento foi descontaminado. Duas amostras, cada uma com um litro (um litro para análise de metais e outro para análise de ânions), foram extraídas de cada poço, e depois foram identificadas e imediatamente refrigeradas para serem enviadas ao laboratório para análise com o objetivo de definir sua composição química. Além disso, foram medidas em laboratório as condutividades elétricas para cada poço (Figura 12).



Figura 10 – Execução de amostragem com bomba de baixa vazão: A – equipamento em uso. A bomba é ligada a um conversor que possibilita a regulação da vazão. É utilizada uma mangueira de polifilo para cada poço, impedindo a contaminação. B – amostra sendo coletada com baixa vazão.



Figura 11 – Controle de pH e temperatura durante a amostragem.

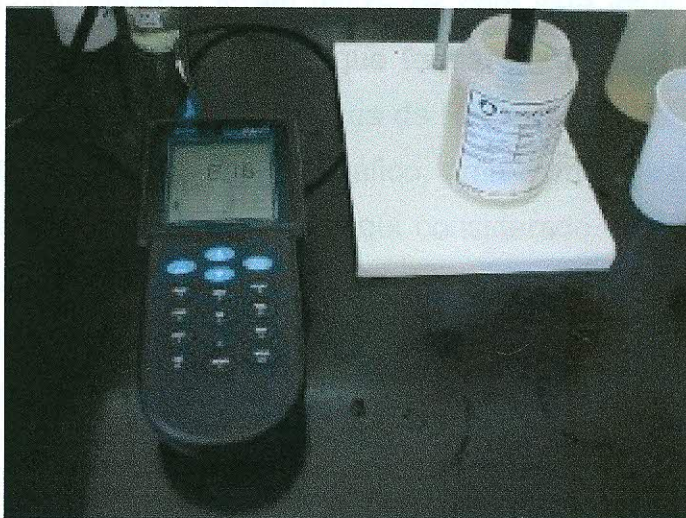


Figura 12 – Medição de condutividade elétrica das amostras em laboratório.

Os resultados das análises não estavam disponíveis até a conclusão deste trabalho, e serão objeto de discussão de outros trabalhos ainda em andamento na Petroflex Ind. e Com. S/A. Serão discutidos no presente estudo porém, os dados obtidos com medição de condutividade elétrica em laboratório após a amostragem.



3.2.2. Influência do efeito-maré

Hidrogeologicamente, a área de estudo está localizada num aquífero costeiro, no qual é indiscutível a influência das flutuações de maré. Essas flutuações podem gerar, além das variações dos níveis d'água nos aquíferos, alterações na composição química das águas subterrâneas. O alcance desta influência está condicionado a fatores como condutividade hidráulica dos aquíferos e amplitude local de oscilações das marés (Jiao e Tang, 1999). Desta forma, durante o presente estudo, foi realizado um monitoramento para a verificação e qualificação da influência do efeito-maré na área.

Três poços de monitoramento foram utilizados com este intuito: PZ-17, PZ-18 e PM-04A, devido às suas localizações que formam uma linha aproximadamente perpendicular ao canal de tomada de água da REDUC (Figura 13), e por estarem instalados no mesmo horizonte estratigráfico, uma camada de areia argilosa. O canal, apesar de ter sido retificado, foi aqui considerado como um corpo hídrico natural por duas razões: seu leito é permeável e está conectado permanentemente à Baía de Guanabara, sofrendo, com retardo, as mesmas oscilações de maré do mar. O retardo foi considerado neste trabalho como desprezível.

A metodologia desta parte do estudo consistiu em medições da carga hidráulica nos poços citados e no canal, simultaneamente através de medidores de nível d'água automáticos (Figura 14), em intervalos de 15 min ao longo de 48 horas. Da mesma forma que nos ensaios de permeabilidade, também foram registradas as variações da pressão atmosférica e de temperatura utilizando os mesmos medidores automáticos, possibilitando a compensação das leituras dos equipamentos.

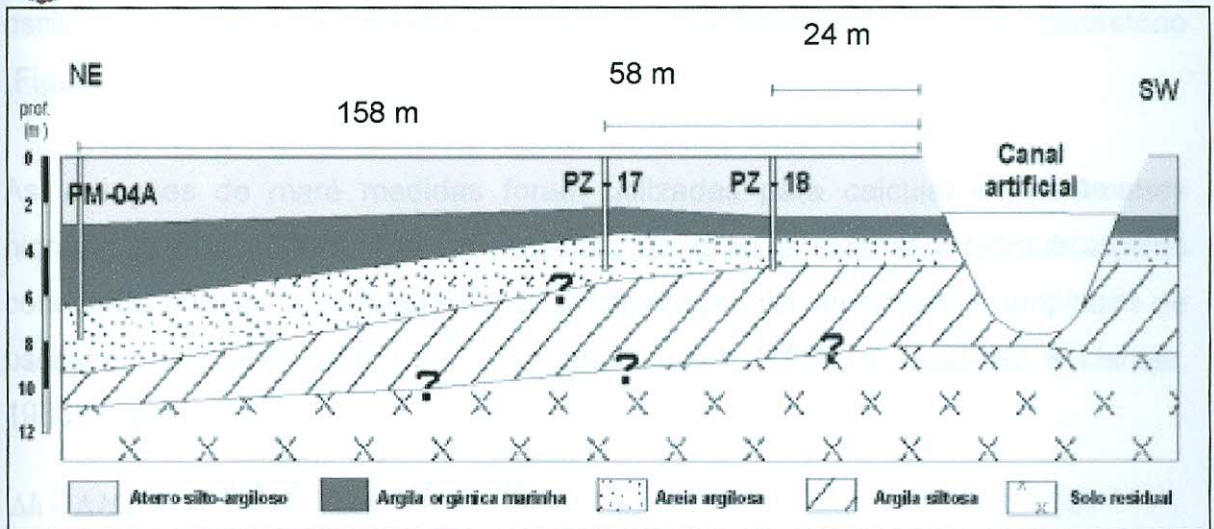


Figura 13 – Seção estratigráfica ilustrando a distância dos poços monitorados ao canal artificial onde ocorrem as flutuações de maré.



Figura 14 – Medidor de nível automático utilizado para o monitoramento da carga hidráulica nos poços PZ-17, PZ-18 e PM-04A e no canal artificial.

A caracterização da influência da maré na composição química da água subterrânea foi feita através do monitoramento da condutividade elétrica nos três poços e no canal. Este parâmetro permite avaliar a quantidade de íons dissolvidos na água subterrânea e na água do canal, e portanto, identificar o movimento da cunha salina. Para tanto, amostras foram coletadas em intervalos de hora em hora, durante 12 horas, o que equivale a aproximadamente um período de



oscilação da maré. As condutividades elétricas foram medidas em laboratório (Figura 12).

As variações de maré medidas foram utilizadas para calcular os parâmetros hidráulicos do aquífero. Em um aquífero de grande extensão hidraulicamente conectado ao mar, e sem considerar as diferenças de densidade, a amplitude de oscilação da maré em um ponto segundo Jacob (1950, *in* Custodio e Llamas, 1983) é igual a:

$$\Delta h = \Delta H \exp\left(-\sqrt{\frac{\pi x^2 S}{t_0 T}}\right) \operatorname{sen}\left(\frac{2\pi t}{t_0} - \sqrt{\frac{\pi x^2 S}{t_0 T}}\right) \quad (5)$$

onde:

Δh = variação do nível d'água em relação a sua posição média;

ΔH = semi amplitude de uma oscilação da maré;

x = distância à conexão entre o aquífero e o mar;

t_0 = período da maré (12 horas e 25 minutos);

S = coeficiente de armazenamento;

T = transmissividade.

O tempo de retardo da chegada da onda a um ponto do aquífero é dado por

$$\Delta t = \frac{x}{2} \sqrt{\frac{t_0 S}{\pi T}} \quad (6)$$

Seguindo estas formulações, os parâmetros armazenamento (S) do aquífero e tempo de retardo foram calculados. A transmissividade (T) foi calculada utilizando dados dos ensaios de permeabilidade, através da fórmula $T = kb$ (Custodio e Llamas, 1983).

Foram confeccionados gráficos com os dados de variação de carga hidráulica para cada poço, comparando suas oscilações com aquela sofrida no nível d'água do canal, o que possibilitou o cálculo do retardo da resposta do aquífero



graficamente. Também foram geradas curvas para os dados de condutividade elétrica, a fim de observar alguma correlação.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1. Investigação geológica

4.1.1. Análise de dados históricos

Através dos perfis de sondagens foi possível construir seções geológicas da área que revelaram importantes aspectos do ponto de vista hidrogeológico, como o arranjo estratigráfico e a existência de irregularidades no topo rochoso recoberto por sedimentos.

A seção geológica representada na Figura 15 foi construída com base em perfis de sondagens realizadas antes da instalação da fábrica. Sua localização pode ser vista na Figura 6. Segundo a seção geológica, o embasamento, que foi considerando como englobando tanto rocha sã como solo residual, possui um topo bastante irregular, com presença de morrotes sob os sedimentos locais. Isto constitui uma informação muito valiosa para a definição dos caminhos preferenciais para a água subterrânea, na medida que podem representar barreiras hidráulicas.

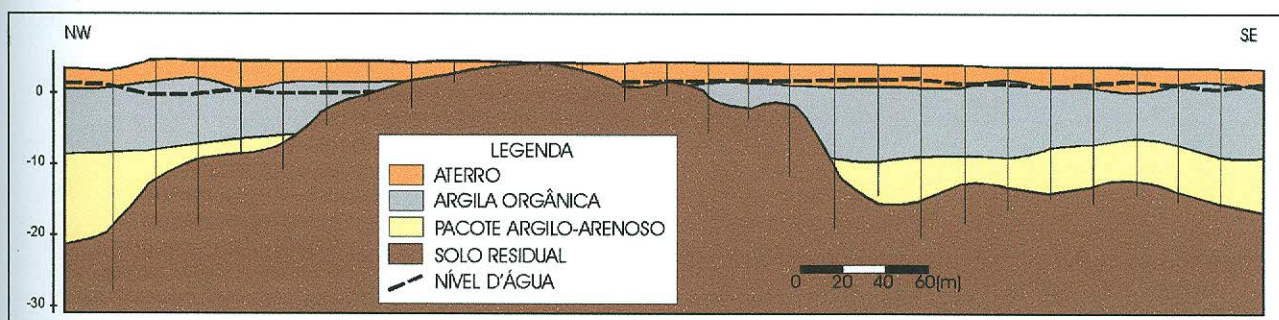


Figura 15 – Seção geológica representativa obtida através de perfis descritivos de sondagens antigas. A figura mostra um morrote vestigial e o arranjo estratigráfico da área de estudo. A linha tracejada representa a superfície do lençol freático e as linhas verticais representam os perfis de sondagens.



Sobre o embasamento, segue-se um pacote areno-argiloso de espessura variando entre 5 e 10 metros. Em seqüência, tem-se uma camada de argila orgânica com espessuras entre 3 e 5 metros, onde ocorrem lentes arenosas. Cobrindo toda a seqüência, à exceção do local onde as sondagens encontraram o embasamento logo abaixo da superfície do terreno, tem-se o aterro artificial, cuja espessura média é de 2,5 metros.

A profundidade do nível d'água, medida durante as sondagens, constitui outro fato relevante notado. O nível d'água se manteve dentro da camada de aterro na maior parte da seção, exceto na área a noroeste da elevação do embasamento. Considerando que toda a área, antes do aterramento, era inundada periodicamente conforme a ação das marés, observa-se que este comportamento ainda se conserva. O fato do nível d'água estar dentro da camada de argila na parte noroeste se explica pela proximidade à área mais elevada do sítio de estudo.

A Figura 16 mostra um mapa topográfico sem data definida, mas que corresponde à área da fábrica, antes da sua implantação. Observa-se, em comparação com plantas atuais, que o Morro do Mosquito teve sua parte oeste arrasada à cota + 5 metros (em relação ao nível do mar). Isto aponta a existência, na parte noroeste da área de estudo, de um obstáculo contínuo para o fluxo de água subterrânea, constituído pelo embasamento sub-aflorante.

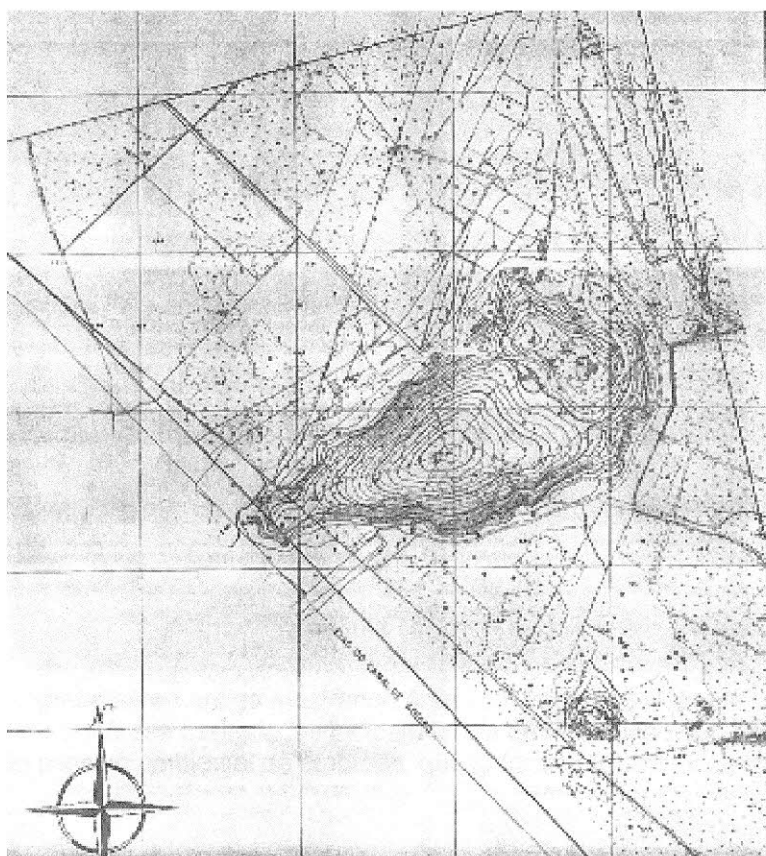


Figura 16 – Mapa topográfico antigo (sem data) da área da fábrica, mostrando a superfície original do Morro do Mosquito ao centro do mapa. Atualmente toda a parte sudoeste desta elevação foi arrasada para instalação de planta industrial e construção do canal artificial de tomada de água.

A foto aérea da Figura 17, datada da década de 1980, foi analisada com o intuito de observar-se a existência de áreas pretéritas de possíveis deposições de resíduos, evidenciadas por ausência de vegetação ou diferenças de textura em comparação com áreas adjacentes. Aliando-se estas observações a informações obtidas através de entrevistas com funcionários antigos da empresa, foi possível delimitar as áreas destacadas na referida figura.

Sua observação também permitiu notar a existência de estradas antigas e outras intervenções humanas, hoje cobertas por vegetação.



Figura 17 – Fotografia aérea antiga mostrando área com vegetação falhada, evidenciando a intervenção humana. As áreas assinaladas indicam locais de disposição dos resíduos que faziam parte do passivo ambiental da empresa, que já foram retirados e destinados.

4.1.2. Estudos de campo

4.1.2.1. Geofísica

A Figura 18 mostra seções construídas a partir da interpretação de dados de sísmica de refração. Suas localizações estão apontadas na Figura 6. Pode ser observada uma descontinuidade da superfície do embasamento conforme a proximidade às áreas inundáveis na Linha 6 e na Linha 3. Isto se deve, provavelmente, à limitada penetração do método geofísico utilizado, ou à baixa intensidade da fonte de energia utilizada, no caso, marretadas, já que outras fontes como explosivos são inviáveis numa indústria petroquímica. Segundo Freitas (2001), nota-se que, nos perfis modelados das linhas, o embasamento tem uma geometria sinuosa, em forma de pequenos morros suaves, com áreas onde se têm profundos vales, possivelmente as áreas onde não foi possível detectar o embasamento pelo método de refração sísmica.

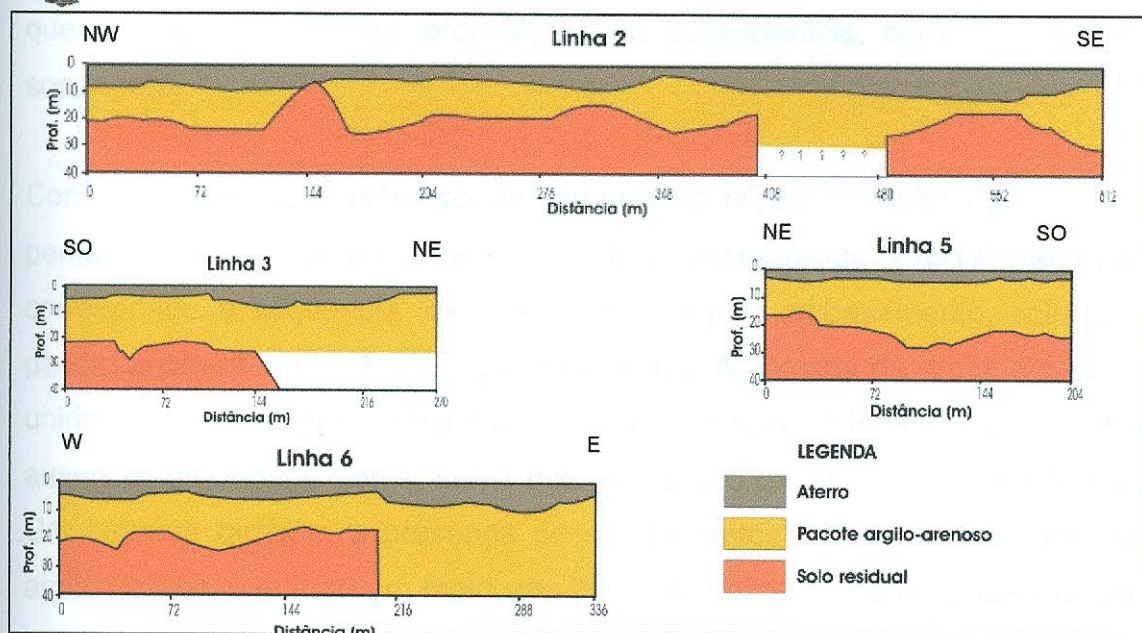


Figura 18 – Seções geológicas baseadas em dados geofísicos. Correspondem às linhas localizadas na Figura 6. (Adaptado de Freitas, 2001)

Observa-se, coerentemente com um modelo conceitual da geologia da área concebido a partir dos dados de sondagens já descritos, que o topo do embasamento está a menores profundidades quanto mais perto se está do Morro do Mosquito. Nestas seções não foi possível discriminar, no entanto, as camadas entre o aterro e o embasamento, que foram reunidas num único pacote argilo-arenoso.

As seções obtidas através da geofísica também confirmam a presença de morrotes residuais, obstáculos importantes a serem considerados numa avaliação de direção de fluxo da água subterrânea.

4.1.2.2. Sondagem “direct push”

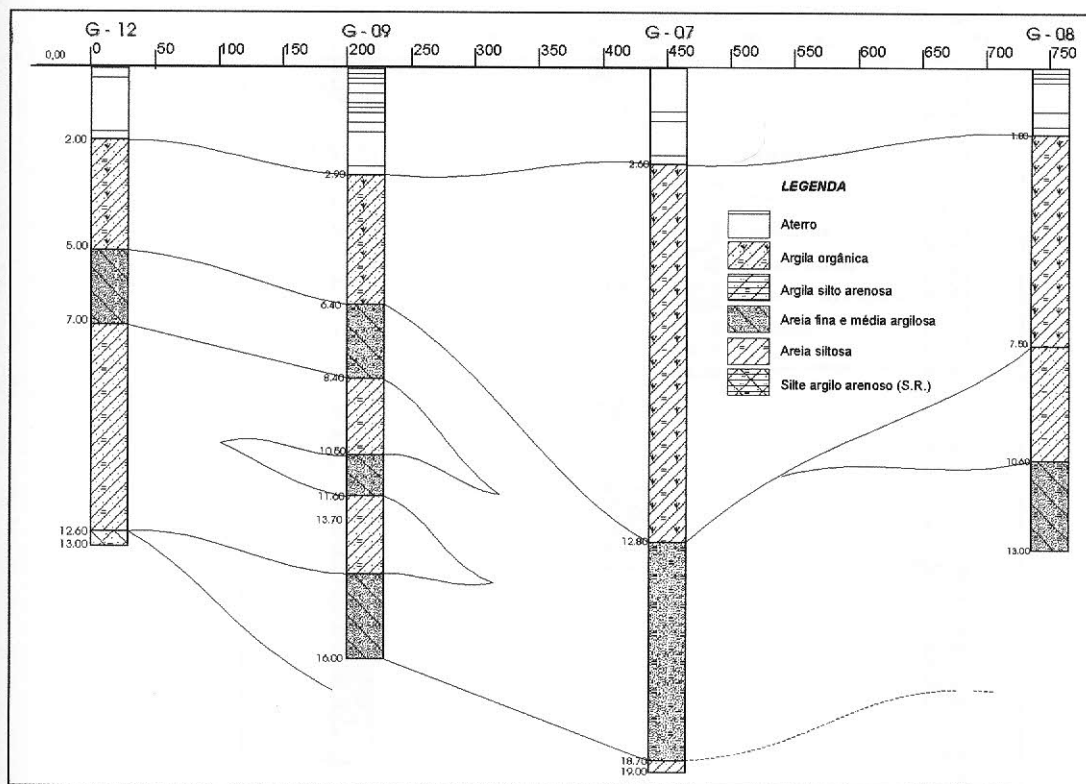
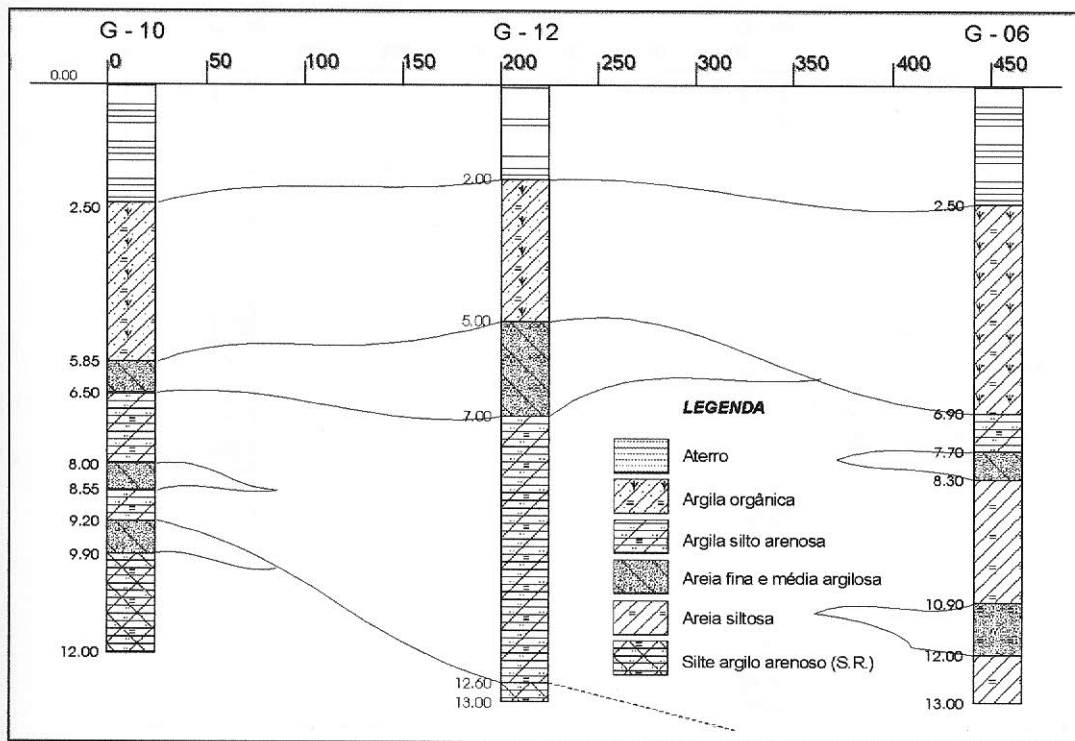
De acordo com as informações de dados históricos, foram planejadas 15 sondagens com a técnica *direct push*, levando em consideração tanto locais suspeitos de contaminação, quanto uma ampla varredura da área. Também se procurou concentrar a locação das sondagens favorecendo a parte da área em

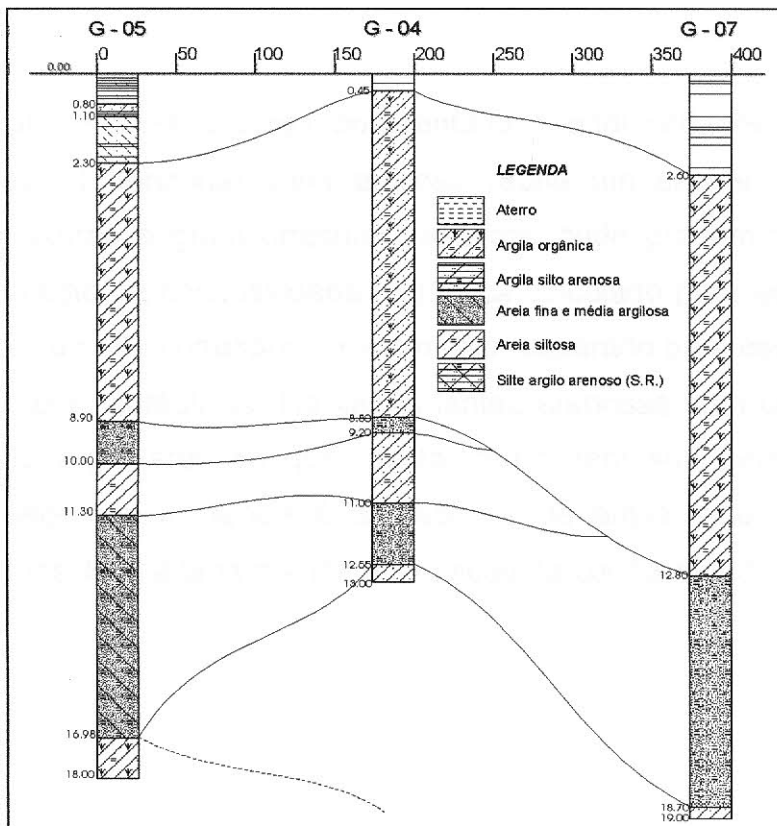
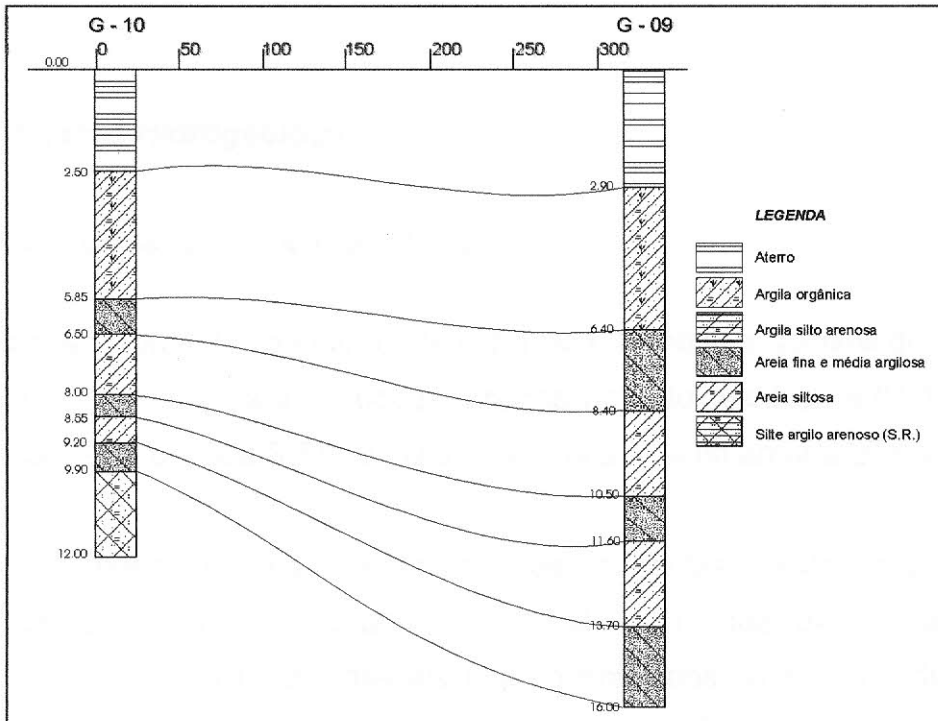


que não se dispunha de informações de subsuperfície, como outros tipos de sondagens.

Confirmando as conclusões obtidas através da seção geológica da Figura 15, os perfis descritivos das sondagens *direct push* indicam que a estratigrafia da área corresponde à seqüência (da base para o topo): embasamento, solo residual, pacote argilo-arenoso, argila orgânica e aterro. A camada de argila orgânica foi a unidade que apresentou uma significativa continuidade lateral. As demais estão ausentes em alguns perfis, como por exemplo o pacote argilo-arenoso no perfil G1. Nota-se também a presença de muitas lentes arenosas, tanto em meio à argila orgânica, quanto em meio aos pacotes argilo-arenosos, evidenciando uma intensa interdigitação das unidades, ocasionada pelas sucessivas transgressões e regressões ocorridas durante a deposição de toda a seqüência.

As Figuras 19, 20, 21 e 22 ilustram seções geológicas construídas com base nas sondagens por cravação direta, tomando quatro direções diferentes. Comparando-as observa-se que em na direção NO-SE, que corresponde à seção G10-G09 (Figura 21), obteve-se a melhor correlação entre as camadas de sedimentos que nas demais. Isso confirma mais uma vez a intensa interdigitação das unidades e que há uma continuidade mais significativa das camadas em direção à Baía de Guanabara.







4.2. Investigação Hidrogeológica

4.2.1. Ensaios de campo e monitoramento

As médias dos valores de condutividade hidráulica (K) obtidos através do *slug test* foram de $1,63 \cdot 10^{-4}$ cm/s para os poços locados no solo residual, $9,61 \cdot 10^{-6}$ cm/s para os locados da argila e $8,71 \cdot 10^{-6}$ cm/s para os poços na areia argilosa.

Esses valores mostram-se condizentes com os horizontes ensaiados quando os comparamos com aqueles disponíveis na Tabela 1, que dá as faixas de condutividade hidráulica para materiais não-consolidados. O solo residual foi o horizonte que apresentou a maior permeabilidade, justificada pela continuidade lateral deste horizonte e pela granulometria com grande participação da fração arenosa.

Os horizontes argila e areia argilosa apresentaram condutividades hidráulicas muito semelhantes. O horizonte areia argilosa reúne um pacote com várias camadas de espessuras e granulometrias variáveis, onde predomina a fração arenosa. O valor médio de condutividade hidráulica calculado para esse pacote, desta forma, apesar de não corresponder a um valor esperado para esse material, reflete suas condições hidráulicas. Há várias lentes arenosas sem conexão em meio a um pacote argilo-arenoso que, desta forma, tem sua permeabilidade reduzida. Outro fator que influencia é a presença de argila, que mesmo em pequenas proporções, leva a uma grande diminuição da condutividade hidráulica.



Material	Condutividade hidráulica (cm/s)
Argila	$10^{-9} - 10^{-6}$
Silte; silte arenoso	$10^{-6} - 10^{-4}$
Areia argilosa	$10^{-6} - 10^{-4}$
Areia siltosa; areia fina	$10^{-5} - 10^{-3}$
Areia bem distribuída	$10^{-3} - 10^{-1}$
Cascalho bem distribuído	$10^{-2} - 10^{-0}$

Tabela 1 – Faixa de valores de condutividade hidráulica para vários materiais não consolidados.
(Adaptado de Fetter, 1998 *in* Feitosa, 2000)

As Figuras 23, 24 e 25 mostram gráficos gerados com os dados de monitoramento de nível d'água. Nos poços locados no solo residual (Figura 25) nota-se um comportamento mais homogêneo das curvas. Há um pico aproximadamente no dia 27 de maio de 2002, que corresponde a um período chuvoso que ocorreu entre os dias 22 e 26 do mesmo mês. Isso demonstra que esse horizonte, apesar de ser o mais profundo dos estudados, tem uma boa conexão hidráulica com a principal área de recarga e que sua resposta é bem rápida, graças à alta condutividade hidráulica desse material.

Fazendo a mesma comparação para os gráficos dos dados de nível d'água medidos para os poços na argila e areia argilosa, observa-se que ambos não tem uma boa resposta à recarga do aquífero. Isso já era esperado dado que seus valores de condutividade hidráulica são muito semelhantes, e relativamente baixos.

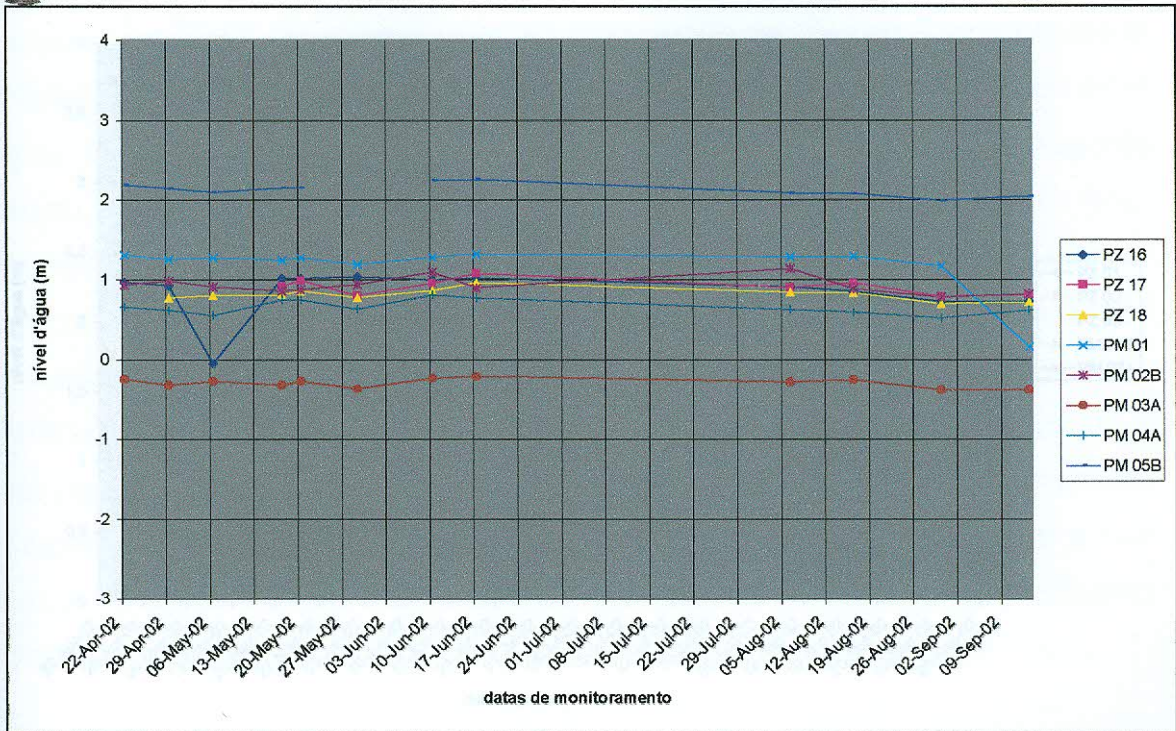


Figura 23 – Variações do nível d'água estático para os poços de monitoramento localizados no pacote de areia argilosa.

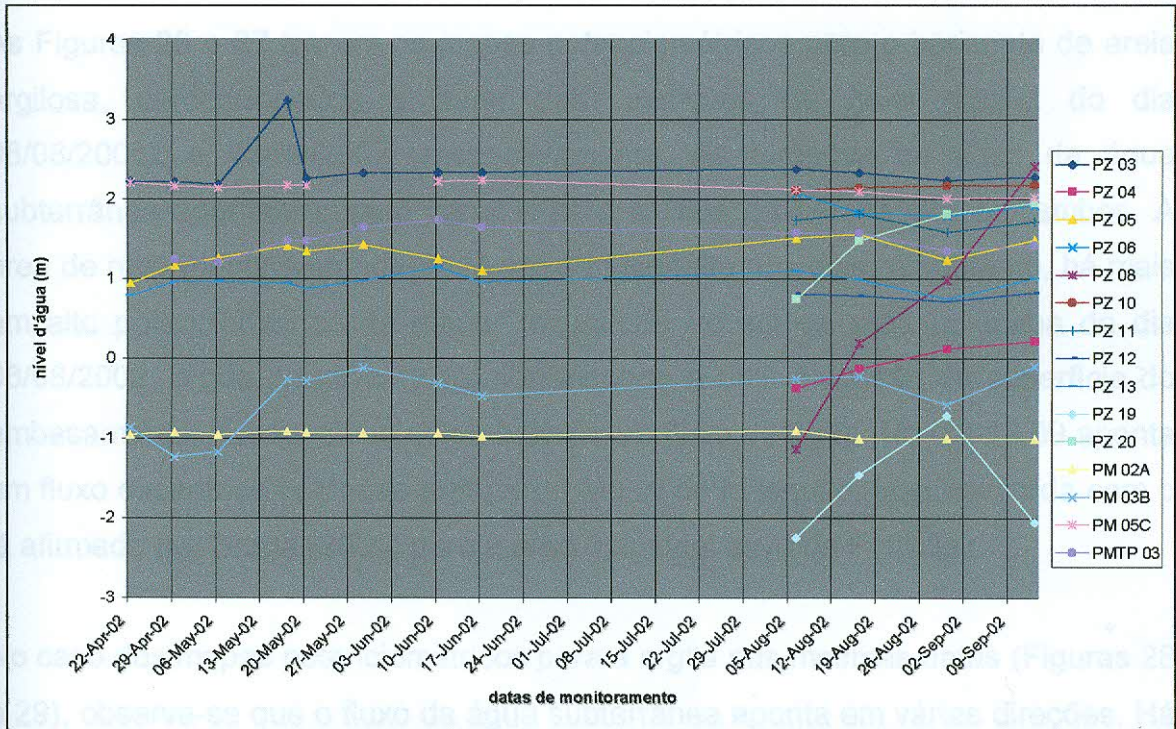


Figura 24 – Variações do nível d'água estático para os poços de monitoramento localizados na camada de argila.

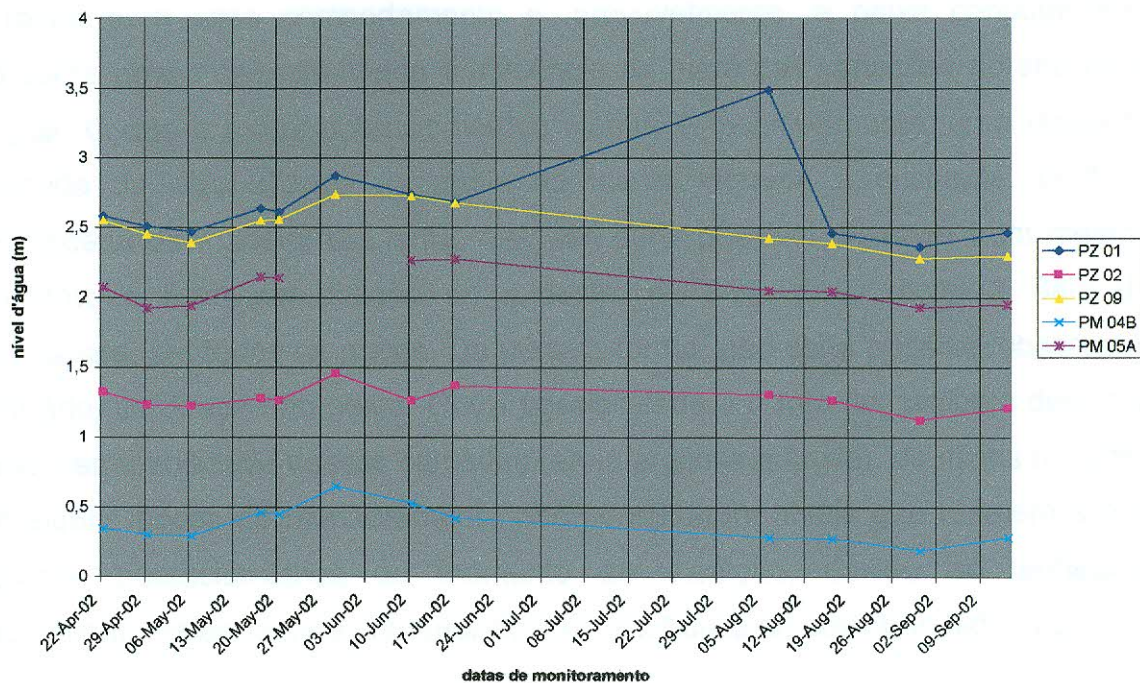


Figura 25 – Variações do nível d'água estático para os poços de monitoramento localizados no solo residual

As Figuras 26 e 27 trazem os mapas potenciométricos para o horizonte de areia argilosa, confeccionados a partir das medições de nível d'água do dia 06/08/2002 e 13/09/2002, respectivamente. As direções de fluxo da água subterrânea apontam para o canal e para a Baía de Guanabara em ambos. A área de recarga corresponde ao Morro do Mosquito nos dois, no entanto, há mais um alto potenciométrico de menor magnitude no sul da área no mapa do dia 06/08/2002, e que provavelmente corresponde a uma elevação da superfície do embasamento, que funciona como barreira ao fluxo de água. No dia 13/09 aponta um fluxo excêntrico originado a partir do Morro do Mosquito. Isso concorda com o já afirmado por Braga (2000) para a área industrial ativa da Petroflex.

No caso dos mapas potenciométricos para a argila nas mesmas datas (Figuras 28 e 29), observa-se que o fluxo da água subterrânea aponta em várias direções. Há vários altos e baixos potenciométricos nesses mapas, que não apresentam um comportamento definido como no caso do pacote de areia argilosa.



A razão para esse comportamento é, provavelmente, a baixa condutividade hidráulica dessa camada aliada à influência da maré nas variações do seu nível d'água. O que o mapa potenciométrico mostra é, possivelmente, uma resposta atrasada do nível d'água na argila às marés vazante e enchente. O fluxo aconteceria de maneira tão lenta, que não seria possível observar num mesmo momento o fluxo em direção ao sudeste, ou seja, em direção à Baía de Guanabara, em todos os poços. Da mesma forma, não seria possível observar o contrário, na direção noroeste. Outra possibilidade é o fato de, também devido à baixa permeabilidade dessas camadas (areia argilosa e argila), os níveis medidos em alguns poços de monitoramento não constituírem níveis que refletem a real situação potenciométrica do momento de medição, devido ao lentíssimo escoamento de água para o interior do furo, em busca do equilíbrio hidráulico.

Sendo assim, os mapas potenciométricos devem ser analisados em conjunto com outros fatores para a compreensão das características do fluxo nessa camada.

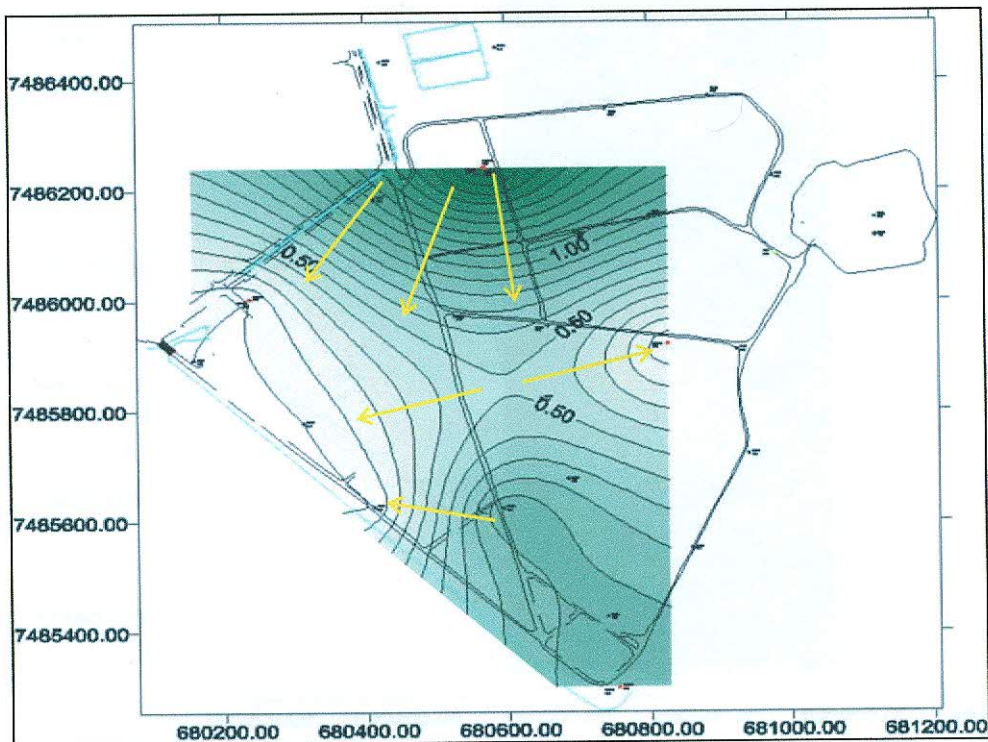


Figura 26 – Mapa potenciométrico para a camada de areia argilosa no dia 06/08/2002. As setas indicam as direções do fluxo de água subterrânea. As cores mais escuras indicam onde o nível d'água está mais próximo da superfície.

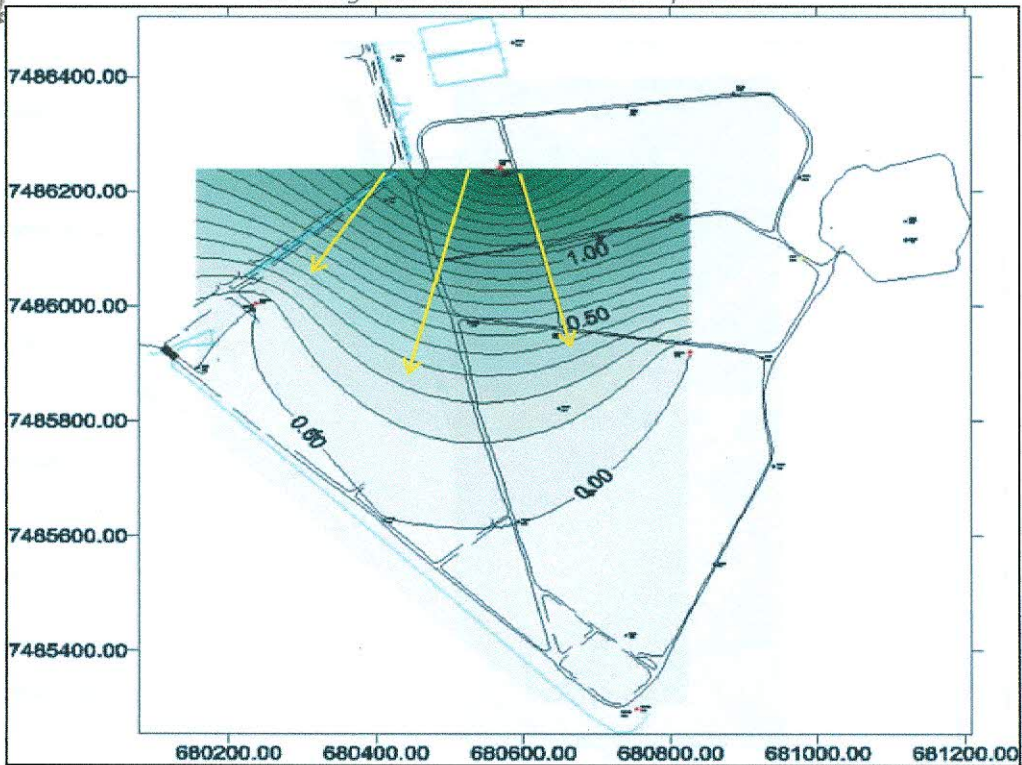


Figura 27 – Mapa potenciométrico para a camada de areia argilosa no dia 13/09/2002. As setas indicam as direções do fluxo de água subterrânea. As cores mais escuras indicam onde o nível d'água está mais próximo da superfície.

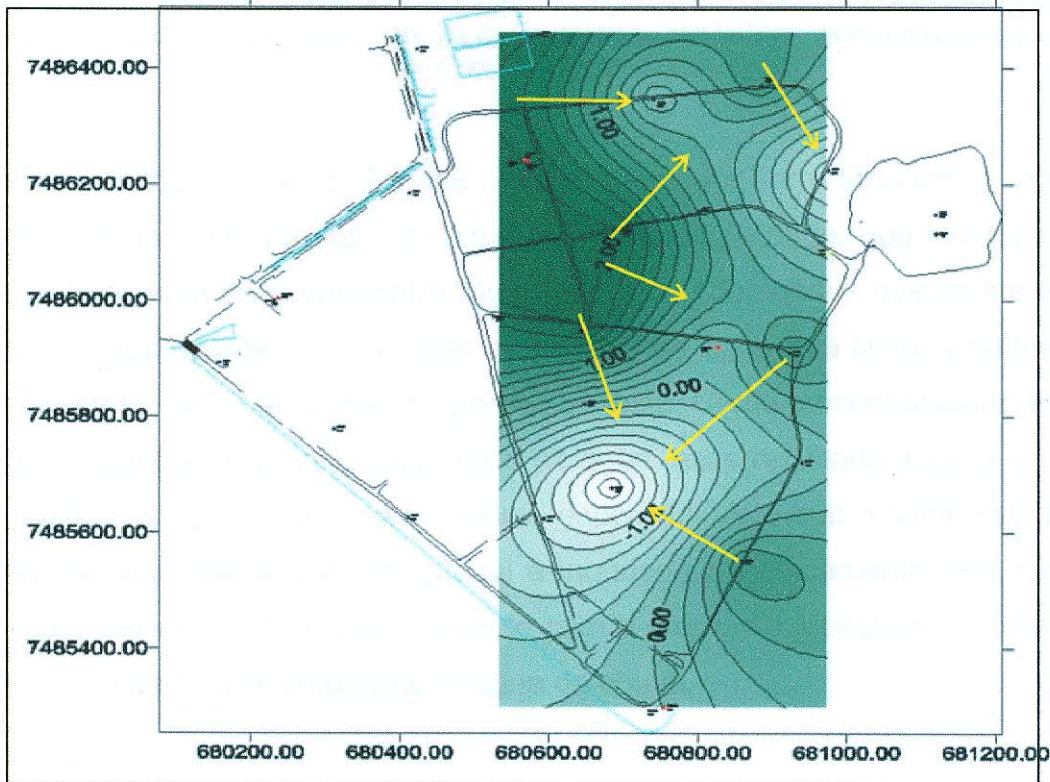


Figura 28 – Mapa potenciométrico para a camada de argila no dia 06/08/2002. As setas indicam as direções do fluxo de água subterrânea. As cores mais escuras indicam onde o nível d'água está mais próximo da superfície.

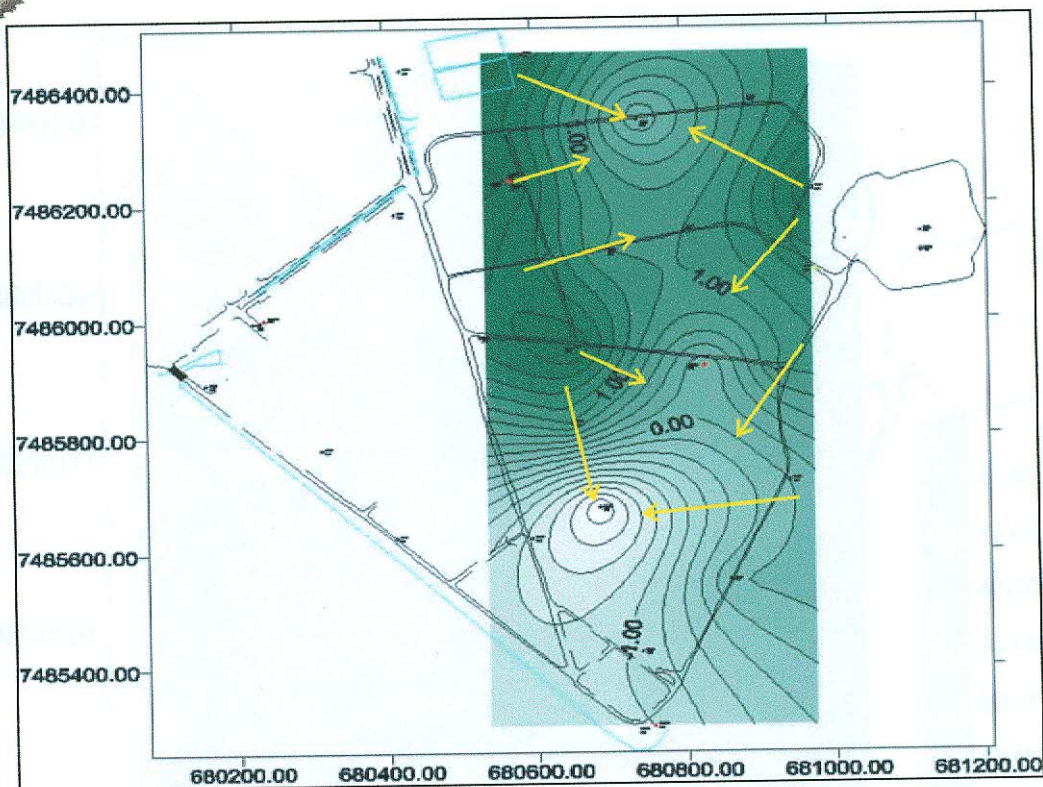


Figura 29 - Mapa potenciométrico para a camada de argila no dia 13/09/2002. As setas indicam as direções do fluxo de água subterrânea. As cores mais escuras indicam onde o nível d'água está mais próximo da superfície.

Com os dados de condutividade elétrica medidos em laboratório após a amostragem foi possível elaborar um mapa de condutividade, que mostra curvas de isovalores para esse parâmetro. Sua observação demonstra que as áreas com maiores condutividades são o canal de tomada de água que limita a sudoeste a área de estudo, e o manguezal na porção sudeste. Como a condutividade elétrica reflete a quantidade de íons dissolvidos na água, esse resultado aponta as áreas mais salinas, sendo esse comportamento esperado, visto que o canal está ligado à Baía de Guanabara, e o manguezal é inundado periodicamente pela maré. A área com menor condutividade coincide com o Morro do Mosquito, onde a água subterrânea tem maior influência da água da chuva.

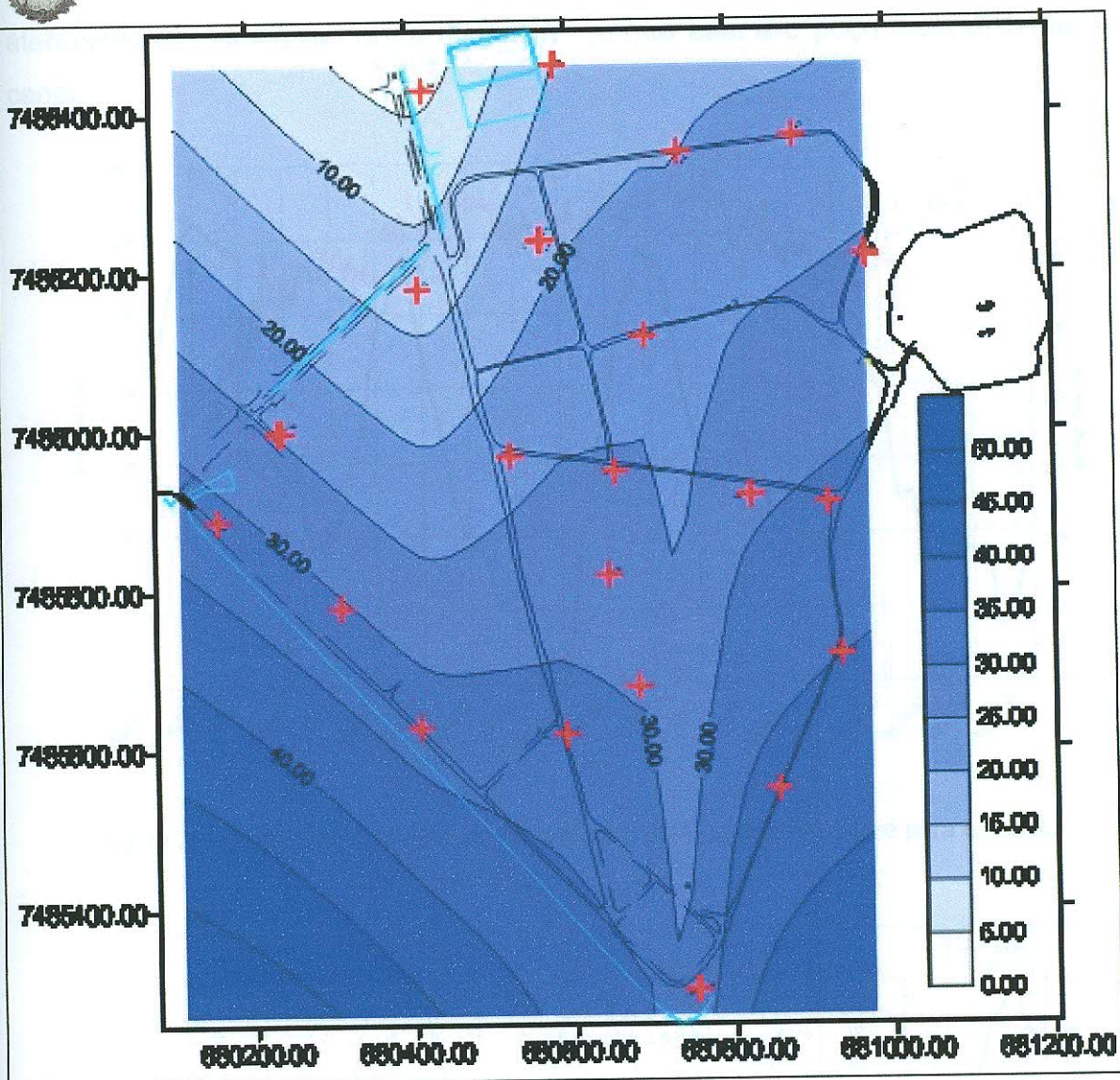


Figura 30 – Mapa de condutividade elétrica para a área de estudo. As cores mais escuras indicam uma maior condutividade. Apesar de não fazer parte da área de estudo, a porção sudoeste foi conservada na figura para ilustrar a influência do efeito da água do canal na condutividade elétrica da água subterrânea. Os valores estão em mS/cm.

4.2.2. Influência do efeito-maré

O monitoramento da influência do efeito-maré mostrou que suas oscilações puderam ser sentidas até aproximadamente 100 metros de distância a partir do canal artificial monitorado (Braga et al, 2002). As Figuras 31, 32 e 33 mostram os gráficos de oscilação do nível d'água para os poços PM-04A, PZ-17 e PZ-18. Nos dois últimos casos há oscilação nos poços em resposta ao efeito da maré. No poço PM-04A porém, esta resposta não se manifesta devido possivelmente à



atenuação da influência com a distância, já que este é o poço mais distante do canal.

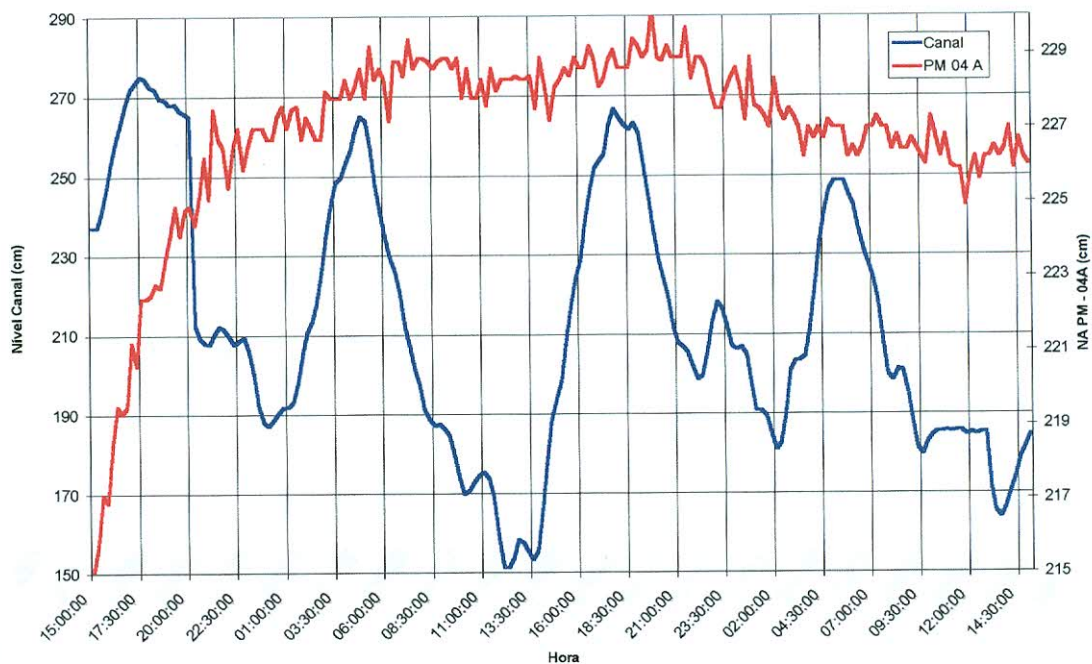


Figura 31 – Gráfico de oscilação do nível d'água para o poço PM-04A e para o canal.

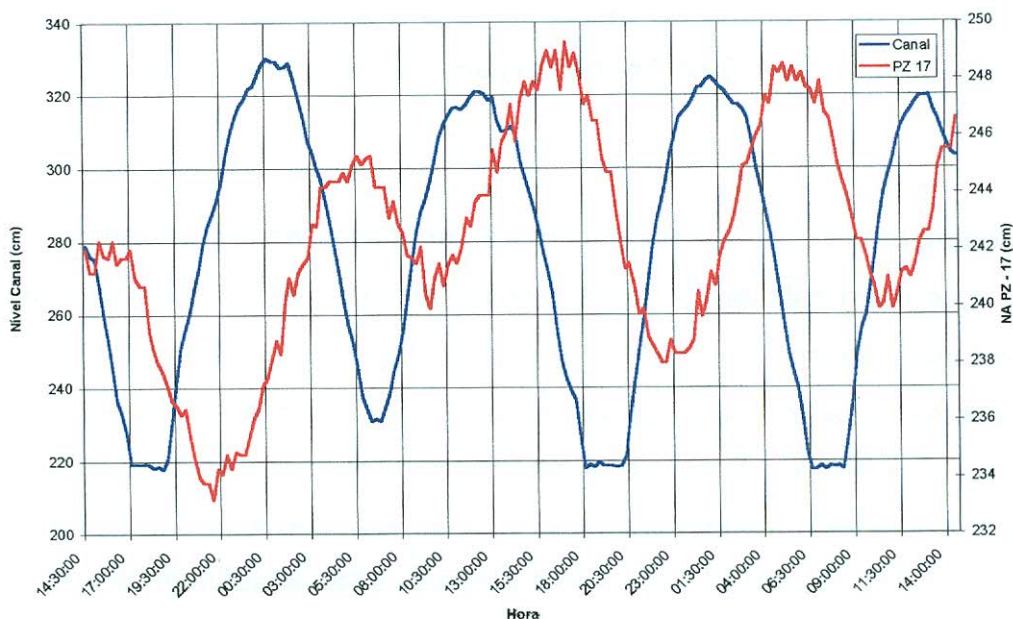


Figura 32 – Gráfico de oscilação do nível d'água para o poço PZ-17 e para o canal.

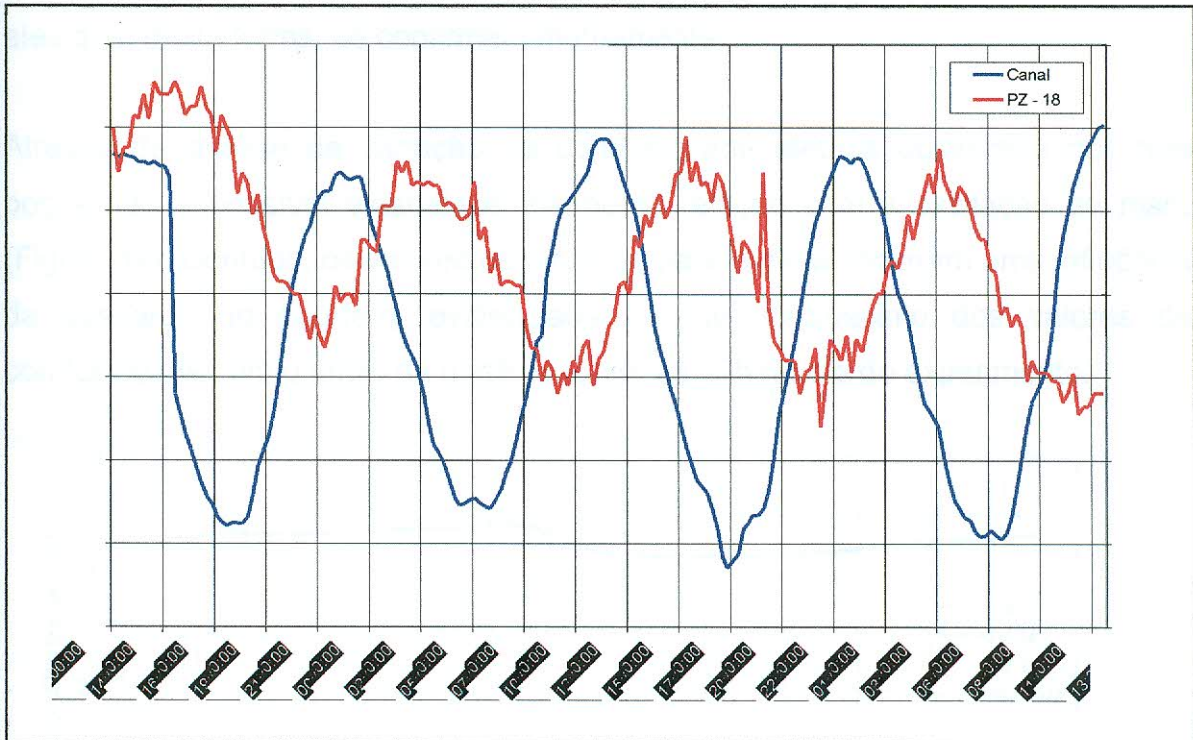


Figura 33 – Gráfico de oscilação do nível d'água para o poço PZ-18 e para o canal.

Utilizando-se os valores obtidos para a condutividade hidráulica através dos ensaios na equação $T=Kb$, onde b é a espessura do aquífero em cada ponto, obtém-se uma média de valores de transmissividade de $6,1 \times 10^{-2} \text{ m}^2/\text{dia}$ para o aquífero.

Com os valores de transmissividade, as distâncias (x) entre os pontos de observação e o canal, as semi amplitudes de oscilação medidas nos poços (Δh_0) e no canal (ΔH_0), e o período de maré (t_0), obteve-se os coeficientes de armazenamento (S) para cada poço através da equação (5) apresentada. Os valores obtidos para os poços PZ-17 e PZ-18 foram de $9,1 \times 10^{-6}$ e $3,2 \times 10^{-5}$, respectivamente. Não foi possível calcular o armazenamento para o poço PM-04^A, pois este não manifestou uma resposta à oscilação da maré.

Calculando-se graficamente o tempo de retardo, obtém-se 4h e 30min para os poços PZ-17 e PZ-18. Utilizando-se as equação (6) apresentada na metodologia, obteve-se um retardo de 4h e 38min, para o PZ-17, e 5 h e 42min, para o PZ-18.



A comparação entre os dois resultados mostrou uma grande proximidade entre eles que, desta forma, se confirmam mutuamente.

Através da análise da variação da condutividade elétrica observada nos três poços não é possível estabelecer nenhuma relação com a oscilação da maré (Figura 34). Contudo, os valores observados para o canal mostram uma influência da descarga do aquífero, evidenciada por um decréscimo dos valores de condutividade com o início da maré vazante, às 12h do dia do experimento.

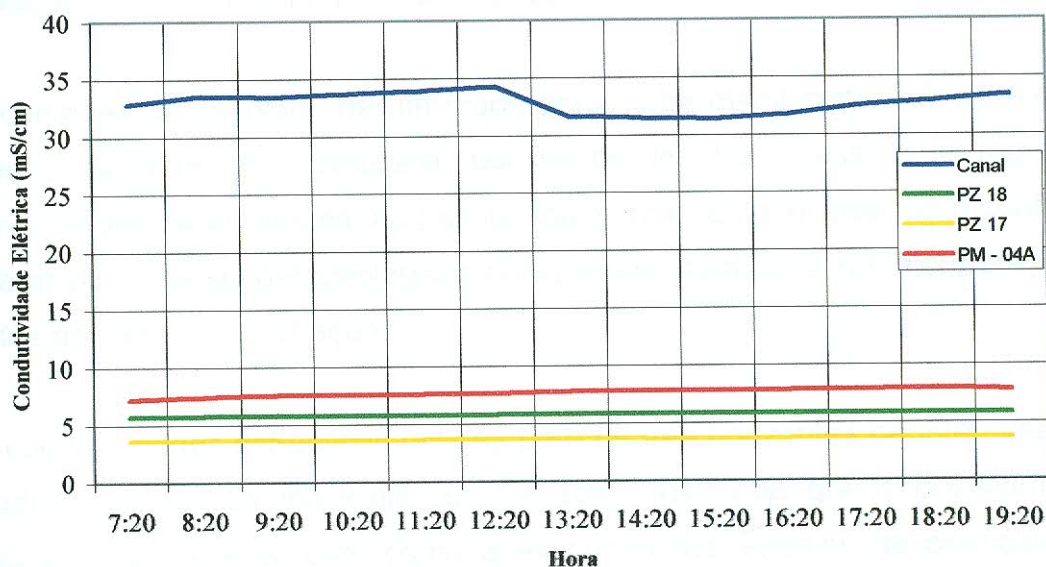


Figura 34 – Variações da condutividade elétrica para os poços PZ-17, PZ-18 e PM-04^A e para o canal durante o experimento.

As variações da condutividade elétrica no canal artificial ocorreram num intervalo entre 30 e 35 mS/cm, ao passo que a água do mar tem uma média de aproximadamente 50 mS/cm. Já nos poços este intervalo fica entre 4 e 8 mS/cm.

A variação da condutividade elétrica observada nos três poços é muito pequena, não permitindo estabelecer uma relação com o movimento de oscilação da maré. No canal, no entanto, os valores observados mostram a influência da descarga do aquífero, evidenciada pelo decréscimo dos valores de condutividade a partir do início da maré vazante, que ocorreu aproximadamente às 12:00h do dia do experimento.



5. CONCLUSÕES

A investigação geológica permitiu concluir que a estratigrafia da área é bastante complexa, característica de áreas de manguezal. O arranjo estratigráfico é caracterizado por uma seqüência de pacotes areno-argilosos, composto por camadas areno-argilosas interdigitadas por lentes arenosas, sob uma camada contínua de argila orgânica. Essa seqüência foi depositada sobre um embasamento de superfície bastante irregular. Cobrindo toda a área, exceto na elevação constituída pelo Morro do Mosquito, há um aterro artificial.

As camadas apresentam, de um modo geral, uma maior continuidade lateral na direção da Baía de Guanabara, por conta das transgressões e regressões marinhas que deram origem ao pacote sedimentar. Essa disposição é confirmada pela análise das seções geológicas confeccionadas a partir de interpretações de dados de sísmica de refração.

As condutividades hidráulicas obtidas para os três horizontes de interesse foram condizentes com os materiais constituintes, mostrando que o planejamento e instalação dos poços, bem como a execução dos ensaios de permeabilidade foram realizados de maneira satisfatória.

O monitoramento do nível d'água possibilitou a caracterização do comportamento hidráulico dos horizontes investigados. O solo residual mostrou uma boa conexão com a principal área de recarga, o Morro do Mosquito, evidenciada por sua rápida resposta às chuvas durante o monitoramento. Já a areia argilosa e a argila, não tem uma resposta clara, devido às suas baixas condutividades hidráulicas.

As direções principais do fluxo da água subterrânea são para a Baía de Guanabara e para o canal de tomada de água. O solo residual apresentou um comportamento de fluxo mais definido, com direção radial a partir do Morro do Mosquito. Os demais horizontes tem características mais heterogêneas, influenciadas fortemente pelas baixas condutividades, e pela variação da maré.



As irregularidades no topo do embasamento funcionam como barreira hidráulica para o fluxo da água subterrânea, como pôde ser observado através dos mapas potenciométricos para o horizonte arenoso.

As condutividades elétricas medidas apontam para uma influência hidroquímica da água da Baía de Guanabara na área de estudo, através do canal e da inundação periódica pelas marés.

A oscilação das marés apresenta grande importância no regime de fluxo subterrâneo numa região costeira como a área de estudo. A influência das flutuações de maré no comportamento da água subterrânea nas imediações do canal que margeia a área industrial evidencia esse fato. No entanto as observações das variações hidroquímicas (condutividade elétrica medida em laboratório, nos três poços selecionados, durante 12 horas, de hora em hora) não foram eficazes para demonstrar esse tipo de influência, ao contrário do obtido com o mapa de condutividade elétrica da área de estudo, construído com as medidas de condutividade elétrica de todos os poços.

O estudo da oscilação dos níveis piezométricos em função da maré permitiu uma boa estimativa dos parâmetros hidráulicos do horizonte areia argilosa. Esse pacote foi considerado como constituinte do aquífero semi-confinado a confinado, com um coeficiente de armazenamento da ordem de 10^{-5} .

6. RECOMENDAÇÕES

Para a continuidade do estudo recomenda-se a interpretação das análises químicas em andamento, visando uma melhor compreensão do comportamento hidroquímico da água subterrânea na área. Da mesma forma seria interessante realizar outra campanha de amostragem para a comparação dos resultados, obtendo-se dados mais completos. Essa nova campanha poderia ser realizada utilizando um outro método, como a purga e amostragem com *bailers*



(amostradores descartáveis), possibilitando uma comparação com a metodologia utilizada, a purga e amostragem de baixa-vazão.

É necessário realizar ensaios de permeabilidade nos demais poços de monitoramento a fim de obter valores mais acurados para as condutividades hidráulicas dos materiais em estudo.

Recomenda-se a continuidade do monitoramento dos níveis d'água, cotejando os dados com medições pluviométricas da região, a fim de observar o comportamento hidráulico dos horizontes em resposta à uma recarga do aquífero.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMADOR, E. S. Baía de Guanabara: Balanço Histórico. *In: Natureza e Sociedade no Rio de Janeiro*, Sec. Mun, Cult./ DGDI – Biblioteca Carioca, v. 21, Rio de Janeiro, 1992.

AMADOR, E. S. *Baía de Guanabara e ecossistemas periféricos – Homem e Natureza*, Edição do Autor, Rio de Janeiro, 1997.

AMADOR, E. S. 1999. I – Evolução Geológica dos manguezais da Baía de Guanabara. *Palestra Técnica*, Rio de Janeiro: CREA-RJ. 10p.

AMADOR, E. S. & AMADOR, A. B. 1995. Cenários paleogeográficos da Baía de Guanabara. *Anais do Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário (ABEQUA) e XI Simpósio de Sedimentologia Costeira*: 65-72.

BRAGA, C. E. *Diagnóstico das condições hidrogeológicas na área industrial da Petroflex S.A.* Relatório Interno Petroflex Indústria e Comércio S.A., Rio de Janeiro, 2000.



BRAGA, C. E.; LAGE, I. C.; ZULIAN, M.T. C.; SILVA Jr., G. C.; PEDROSO, A. G.
Analysis of groundwater flow and contaminant behavior in an industrial coastal
area in Brazil. *In: 4th International Congress on Environmental Geotechnics, Rio de
Janeiro: Swets & Reitlinger, 2002b. 709-712p.*

BRAGA, C. E.; LAGE, I. C.; SILVA Jr.; FREITAS, A. F. D.; BENTO, E. S., 2002b.
O Comportamento hidroquímico e hidrodinâmico de aquífero sob influência do
efeito-maré. *In: Congresso Nacional de Águas Subterrâneas, XII, 2002,
Florianópolis. Dream Multimedia. Florianópolis: Associação Brasileira de Águas
Subterrâneas, 2002. Disponível em 1 CD.*

BRASIL. Associação Brasileira de Normas Técnicas. *Construção de poços de
monitoramento e amostragem*, NBR 13895, Rio de Janeiro, 1997. 21p.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Secretaria de Minas e Metalurgia.
Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. *Geomorfologia do Estado do Rio
de Janeiro*. Rio de Janeiro: CPRM, 2001. 63p.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Secretaria de Minas e Metalurgia.
Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. *Geologia do Estado do Rio de
Janeiro*. Rio de Janeiro: CPRM, 2000. 79p.

CUSTODIO, E.; LLAMAS, R. *Hidrologia subterrânea*. Ed Omega, Barcelona, v.2,
2189 p. 1983.

FALCÃO, C. M. Projeto de Rede de Monitoramento das Águas Subterrâneas da
Petroflex. Relatório Interno Petroflex Indústria e Comércio S.A., Duque de Caxias,
1999.

FEITOSA, F. A. C.; MANOEL FILHO, J. *Hidrogeologia: conceitos e aplicações*.
Fortaleza: CPRM: Serviço Geológico do Brasil, 2000. 391p.



FREITAS, A. F. D. Análise Estratigráfica Utilizando Método de Refração Sísmica na Área de Passivo Ambiental da Fábrica da Petroflex S.A. Relatório Interno Petroflex Indústria e Comércio S.A., Duque de Caxias, 2001.

HOJDA, R. G. ISSO 14001 – Sistemas de Gestão Ambiental – Parte 1. *Revista Meio Ambiente Industrial*, Rio de Janeiro, ano II, n. 11, p.16-18, março/abril 1998.

JIAO, J. J. & TANG, Z. An analytical solution of groundwater response to tidal fluctuation in a leaky confined aquifer, *Water Res. Research* (35): 3, 1999.

LECOMTE, P.; & MARIOTTI, C. *Handbook of diagnostic procedures for petroleum-contaminated sites: (Rescopp Project, EU13)*. Chichester: John Wiley & Sons, 1997. 188p.

PETROFLEX INDÚSTRIA E COMÉRCIO S.A. *Responsabilidade Social: Programas Ambientais – Resíduos Sólidos*. Disponível em: www.petroflex.com.br. Acessado em 20/10/2002.

PULS, R. W. & BARCELONA, M.J. Low-Flow (Minimal Draw Down) Ground Water Sampling Procedures. *EPA Ground Water Issue EPA/ 540/5-95/504*, p.1-12, abril 1996.

RAMOS, D. G. B. Caracterização Pedológica Químico-Mineralógica e Física dos Solos da Área da Petroflex Ind. & Com. S.A. Relatório Interno Petroflex Indústria e Comércio S.A., 2002.

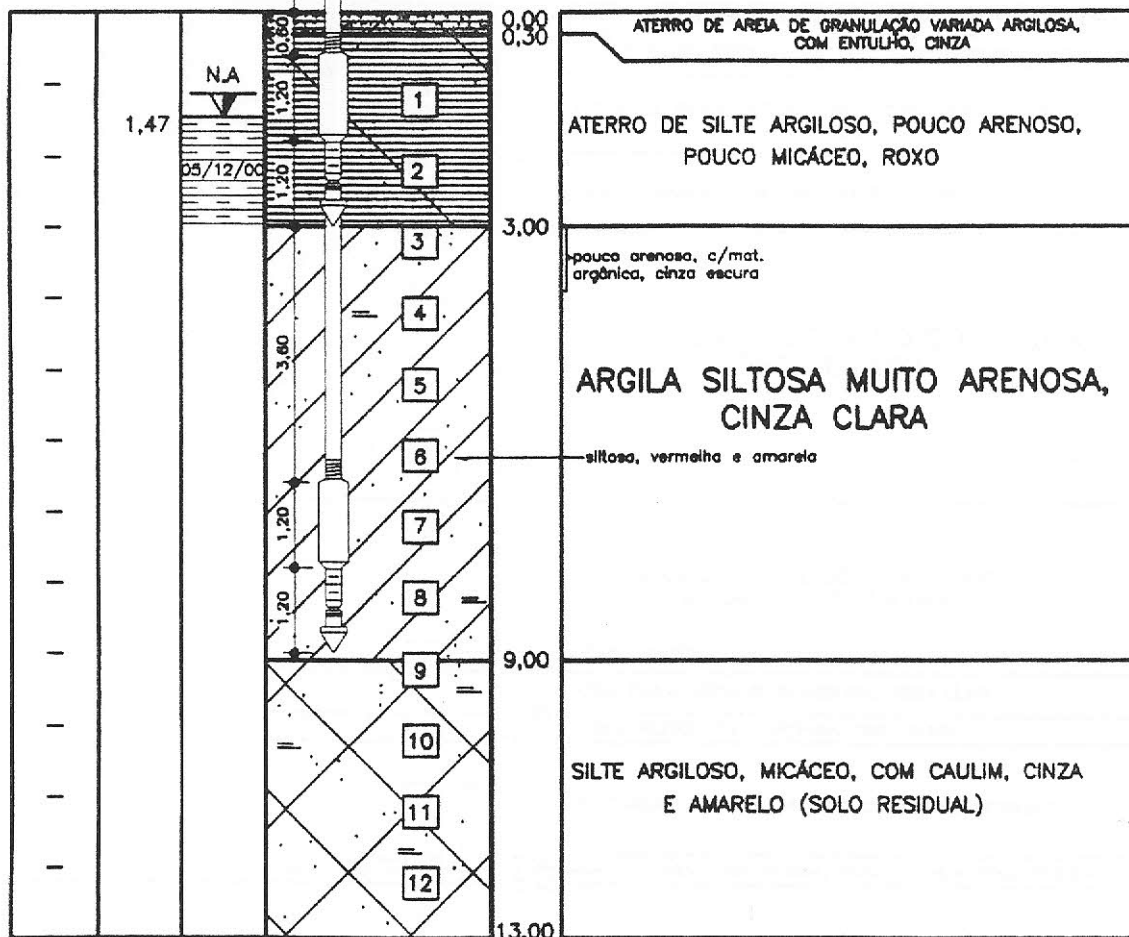
SANTOS, A. S. R. Desenvolvimento sustentável: considerações, *Revista Meio Ambiente Industrial*, Rio de Janeiro, ano V, n. 28, p.82-84, janeiro/fevereiro 2001.



ANEXO 1

Perfis descritivos de sondagens
por cravação direta

G1 ϕ 2 1/8"



ENGESOLoS

ENGENHARIA DE SOLOS E FUNDACOES LTDA CREA 9810

PETROFLEX INDÚSTRIA E COMÉRCIO S/A

Avenida Marumbi, 600 - Duque de Caxias - RJ

Perfil individual do subsolo - G1

Data. 16/01/01

Des. Jackson

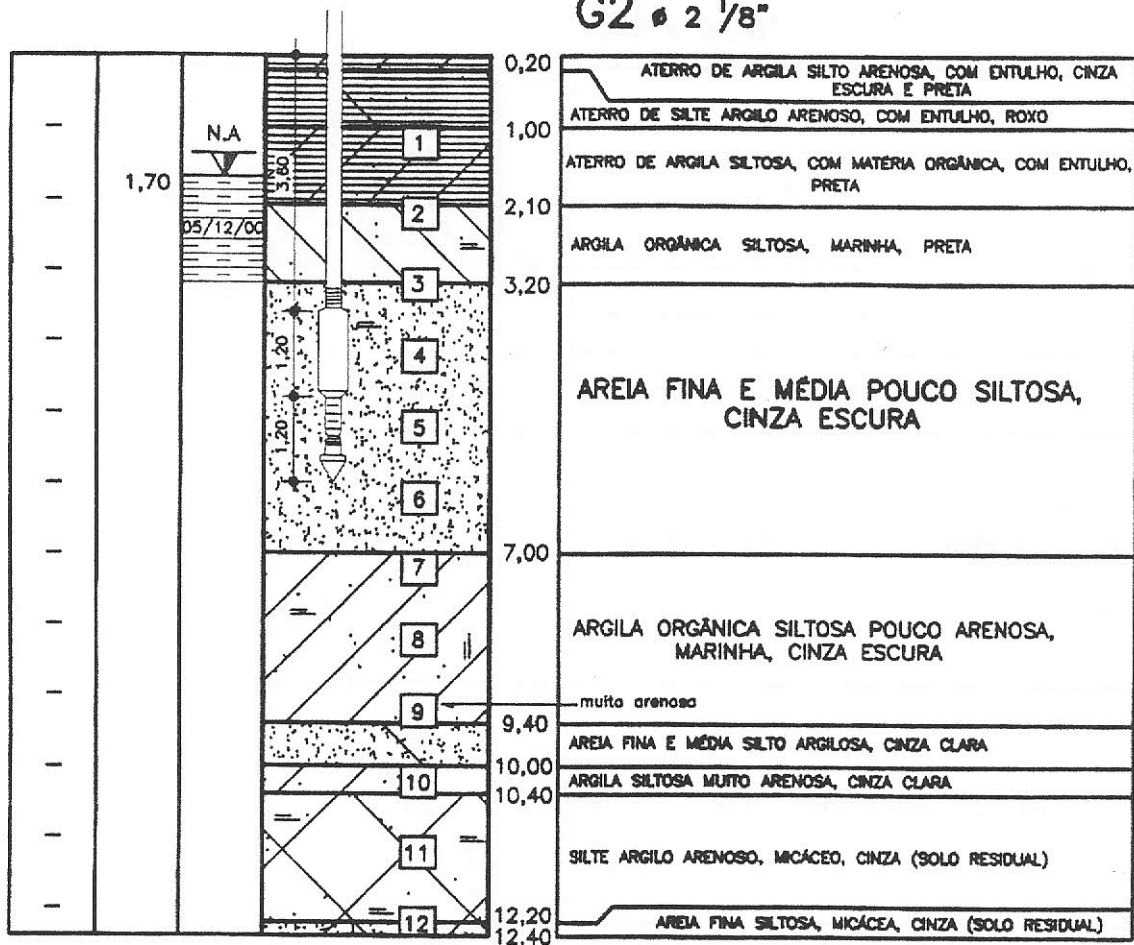
S.P.

Escala=1:100

Eng^o

418/00

G2 ϕ 2 1/8"

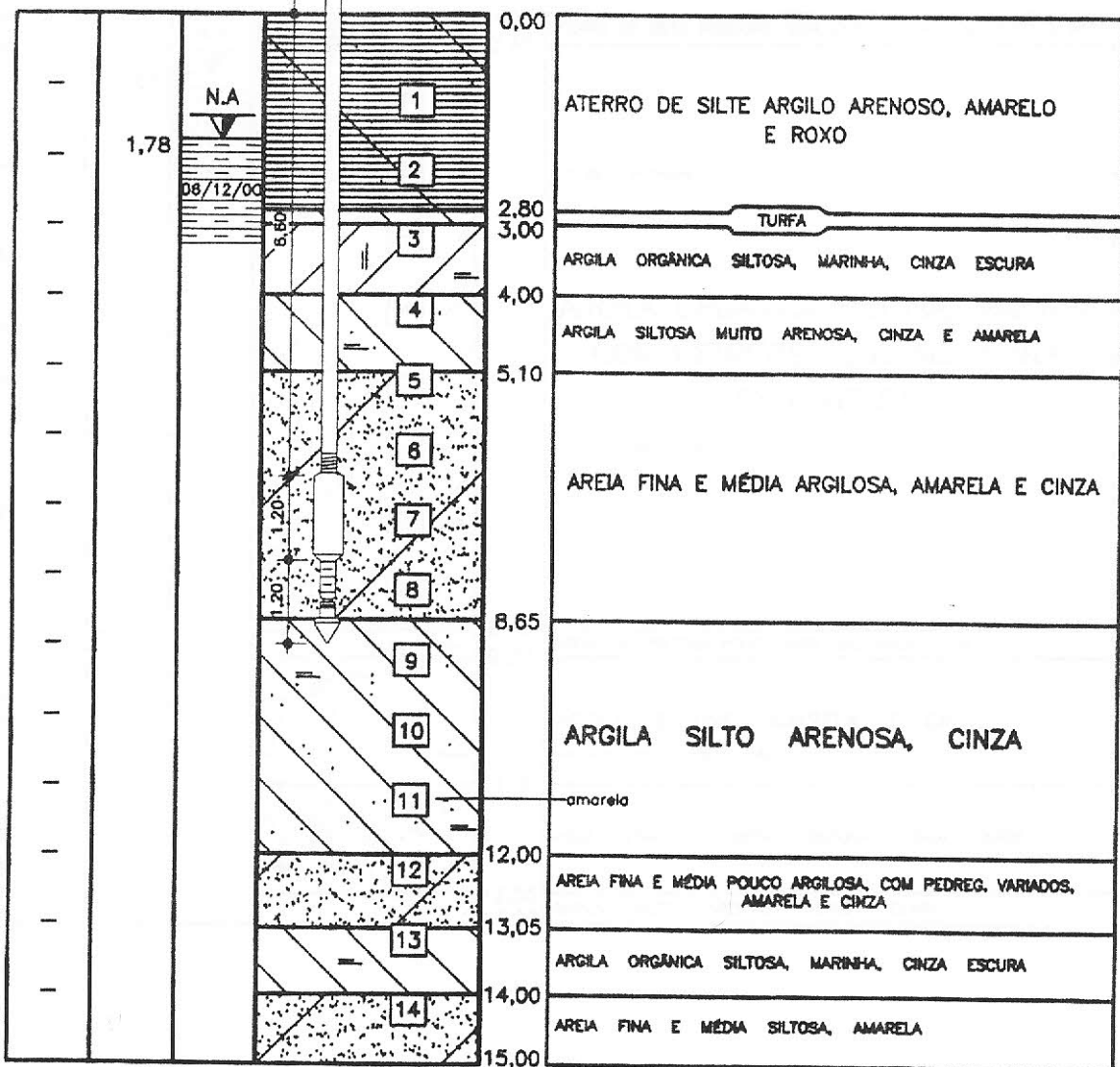


(*)

(*) IMPENETRÁVEL AO GEOPROBE

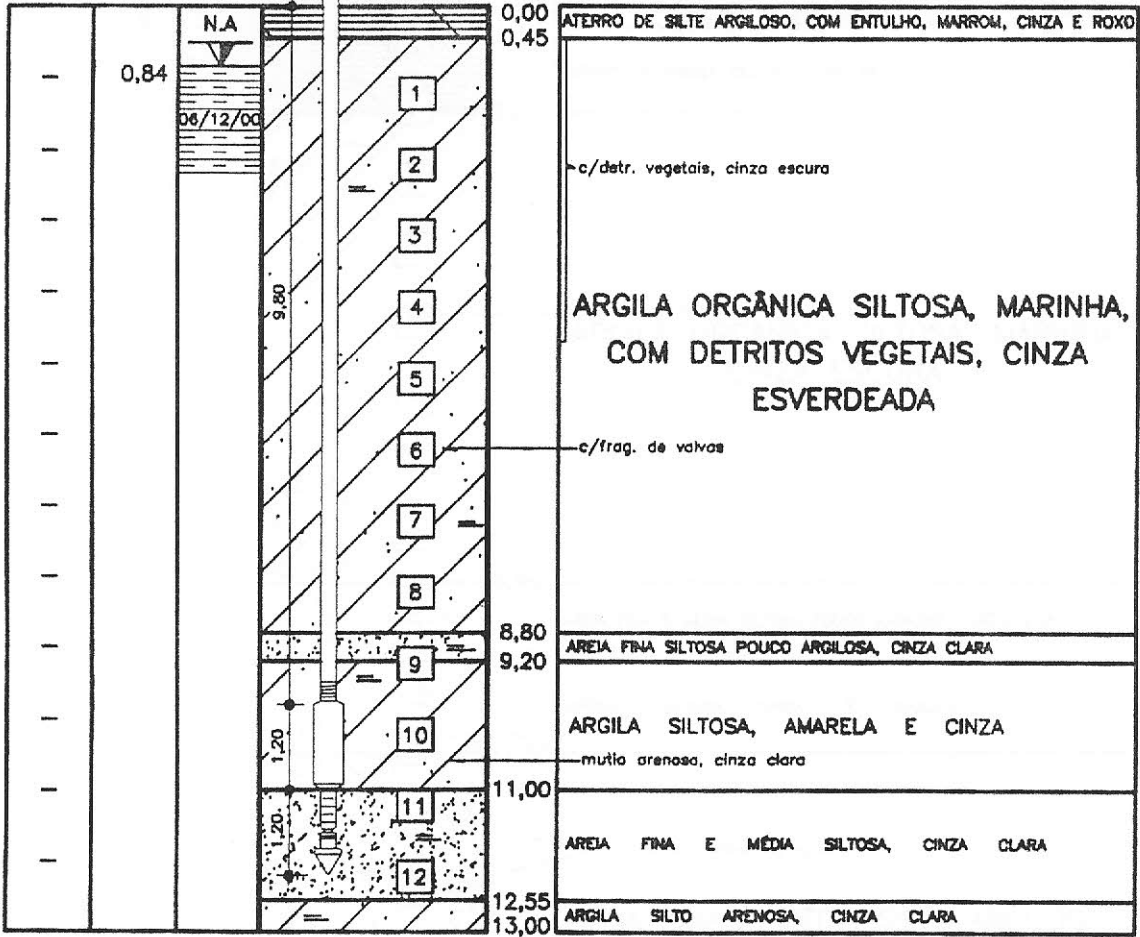
ENGE SOLOS		
ENGENHARIA DE SOLOS E FUNDACOES LTDA CREA 9810		
PETROFLEX INDÚSTRIA E COMÉRCIO S/A		
Avenida Marumbi, 600 - Duque de Caxias - RJ		
Perfil individual do subsolo - G2		
Data. 16/01/01	Des. Jackson	S.P.
Escala=1:100	Eng ^o	418/00

G3 ϕ 2 1/8"



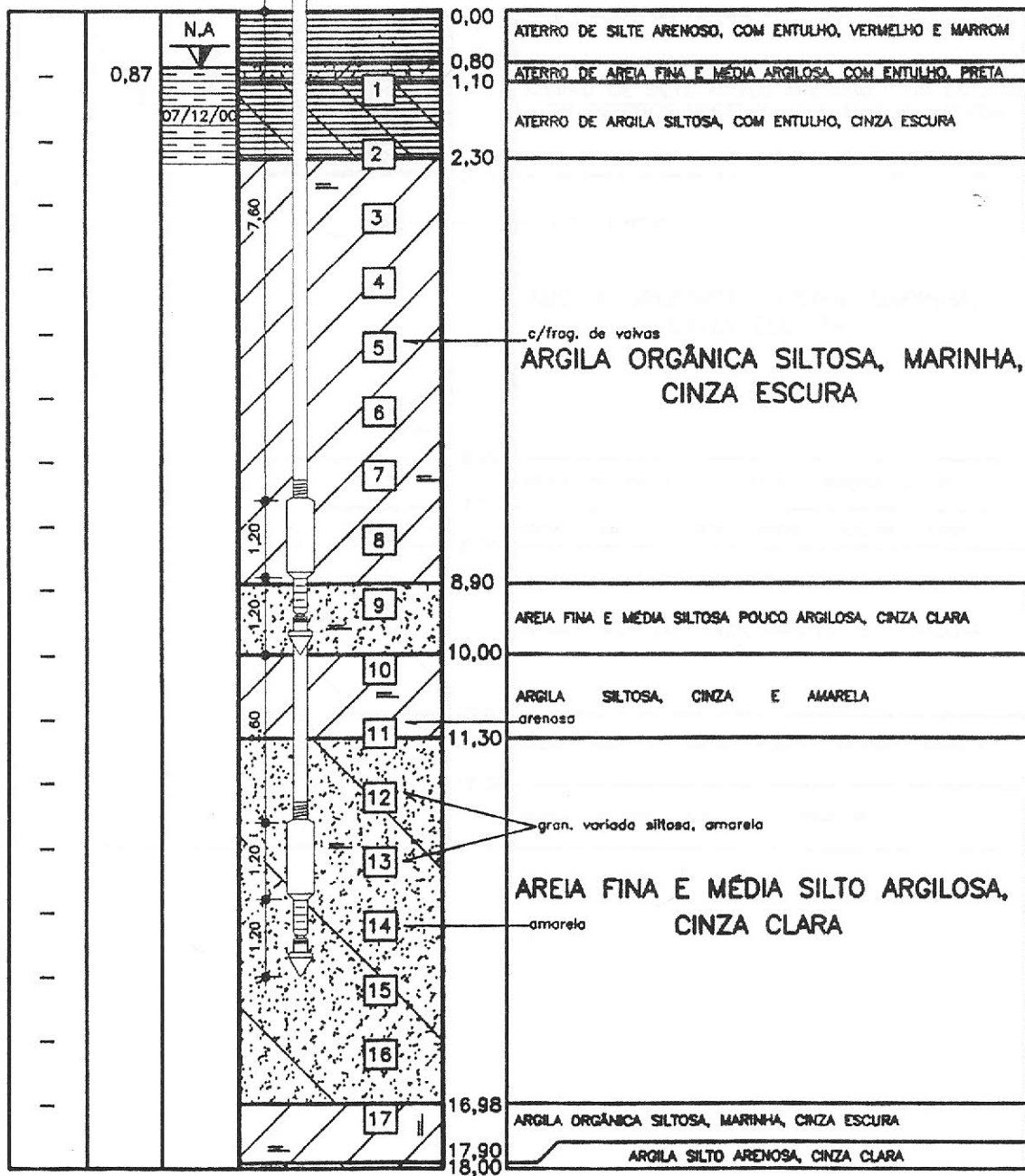
ENGESOLO S		
ENGENHARIA DE SOLOS E FUNDACOES LTDA CREA 9810		
PETROFLEX INDÚSTRIA E COMÉRCIO S/A		
Avenida Marumbi, 600 - Duque de Caxias - RJ		
Perfil individual do subsolo - G3		
Data. 16/01/01	Des. Jackson	S.P.
Escala=1:100	Eng ^o	418/00

G4 ϕ 2 1/8"



ENGE SOLOS		
ENGENHARIA DE SOLOS E FUNDAÇÕES LTDA CREA 9810		
PETROFLEX INDÚSTRIA E COMÉRCIO S/A		
Avenida Morumbi, 600 - Duque de Caxias - RJ		
Perfil individual do subsolo - G4		
Data. 16/01/01	Des. Jackson	S.P.
Escala=1:100	Eng ^o	418/00

G5 ϕ 2 1/8"



ENGESOLO S

ENGENHARIA DE SOLOS E FUNDAÇÕES LTDA CREA 9810

PETROFLEX INDÚSTRIA E COMÉRCIO S/A

Avenida Marumbi, 600 - Duque de Caxias - RJ

Perfil Individual do subsolo - G5

Data. 16/01/01

Des. Jackson

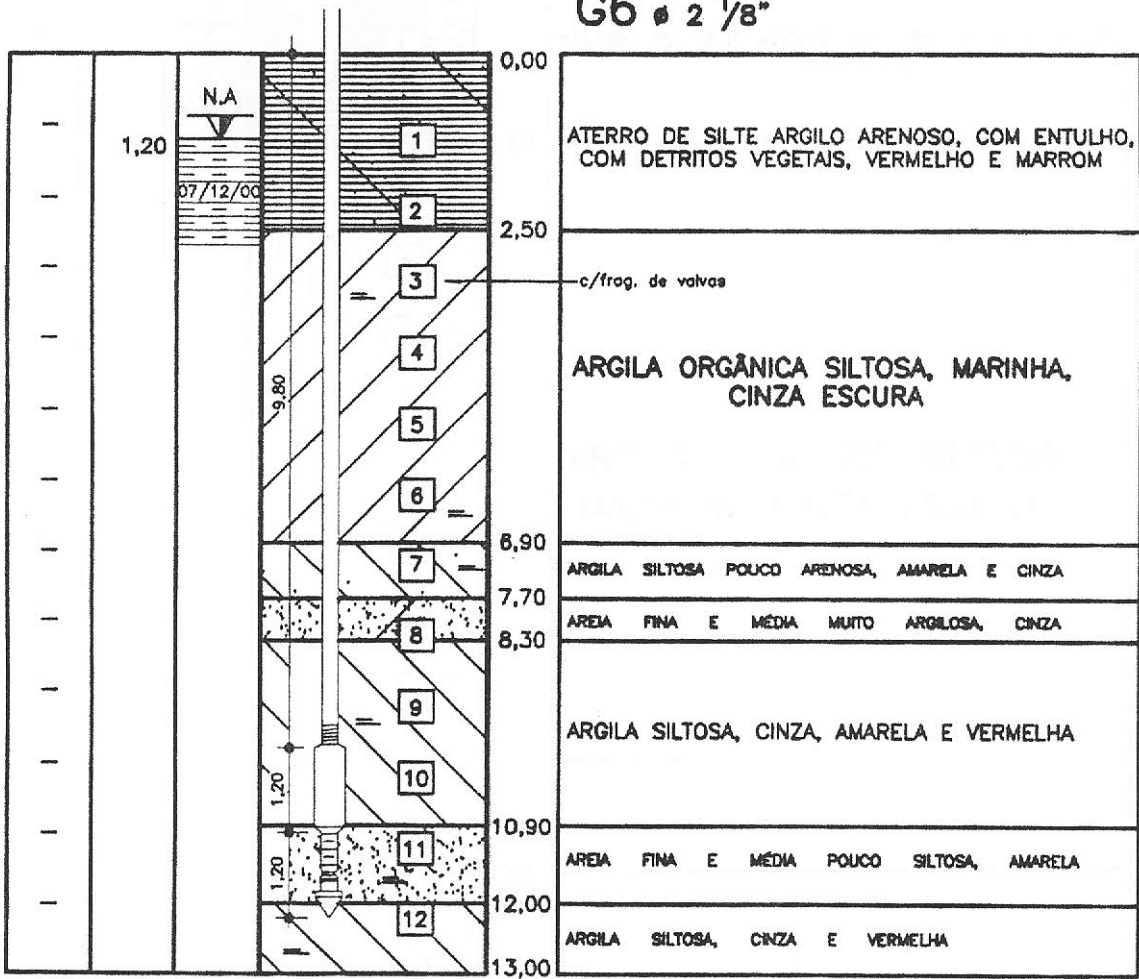
S.P.

Escala= 1:100

Eng^o

418/00

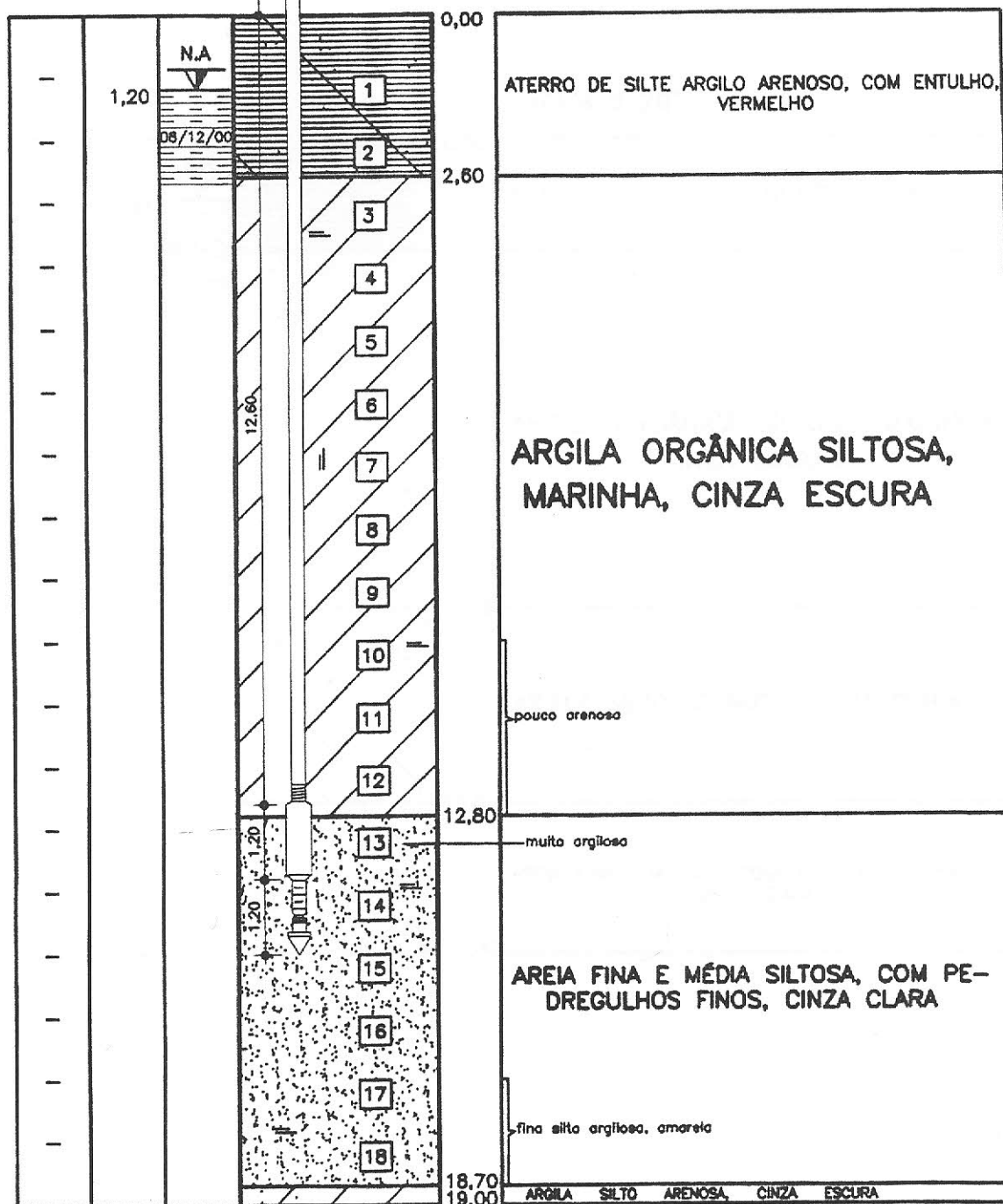
G6 ø 2 1/8"



ENGE SOLOS		
ENGENHARIA DE SOLOS E FUNDAÇÕES LTDA CREA 9810		
PETROFLEX INDÚSTRIA E COMÉRCIO S/A		
Avenida Marumbi, 600 - Duque de Caxias - RJ		
Perfil individual do subsolo - G6		
Data. 16/01/01	Des. Jakson	S.P.
Escola=1:100	Eng ^o	418/00

(Handwritten signature and initials)

G7 ϕ 2 1/8"



ENGESOLO S
 ENGENHARIA DE SOLOS E FUNDACOES LTDA CREA 9810

PETROFLEX INDÚSTRIA E COMÉRCIO S/A

Avenida Marumbi, 600 - Duque de Caxias - RJ

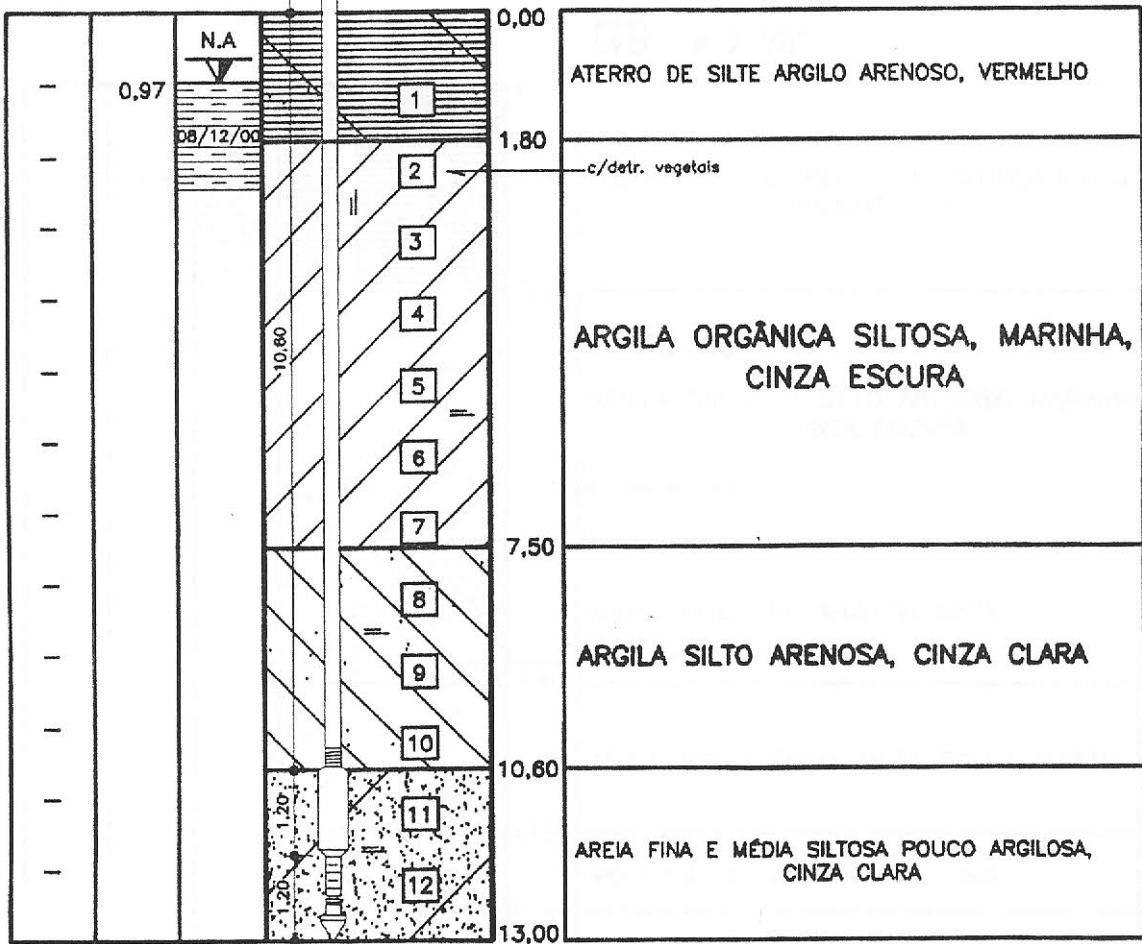
Perfil individual do subsolo - G7

Data. 16/01/01 Des. Jackson

Escala=1:100 Eng^o *[Signature]*

S.P.
418/00

G8 ø 2 1/8"



ENGENSOLOS
 ENGENHARIA DE SOLOS E FUNDACOES LTDA CREA 9810

PETROFLEX INDUSTRIA E COMERCIO S/A

Avenida Marumbi, 600 - Duque de Caxias - RJ

Perfil individual do subsolo - G8

Data. 16/01/01

Des. Jackson

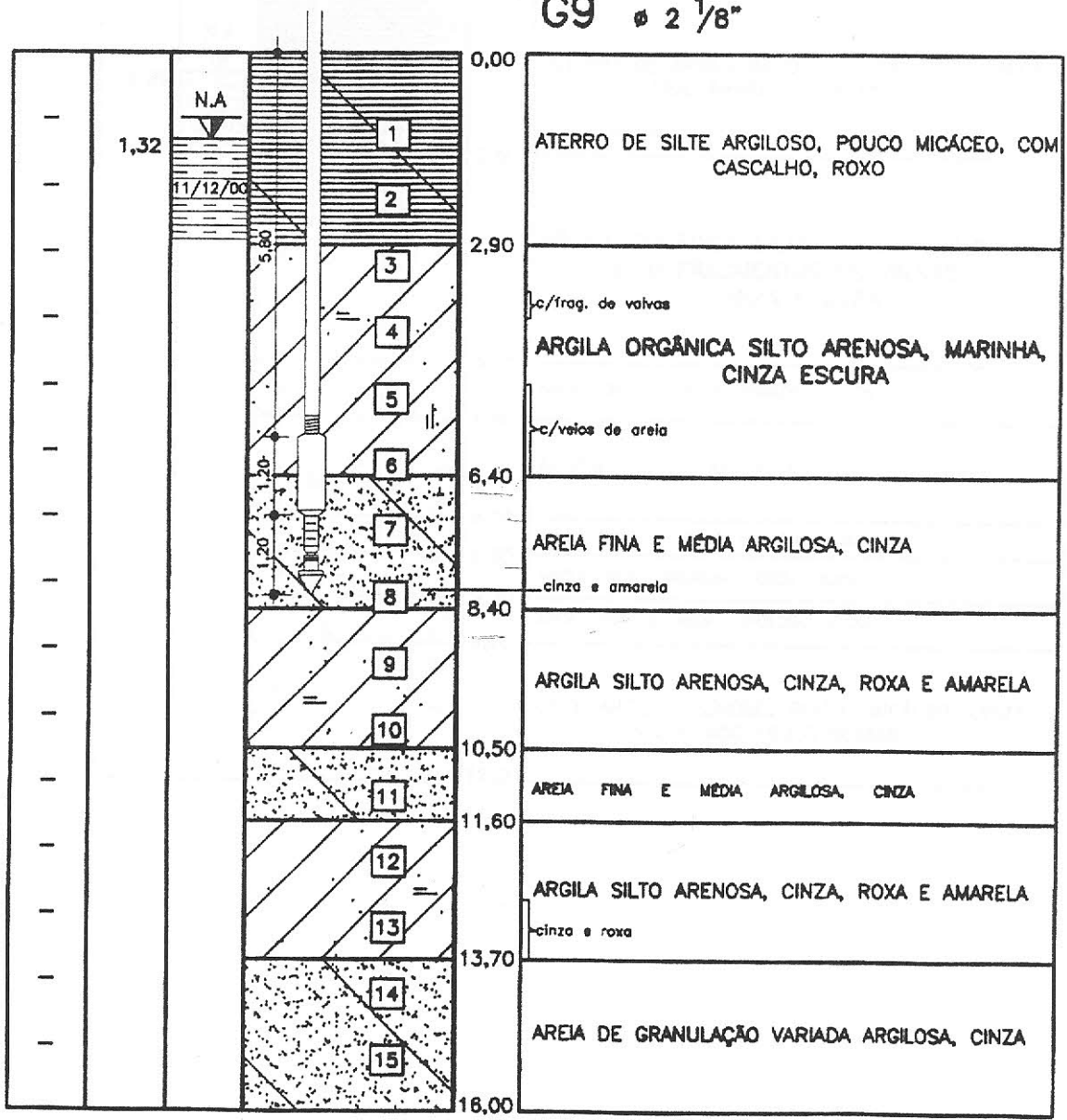
S.P.

Escala=1:100

Eng^o

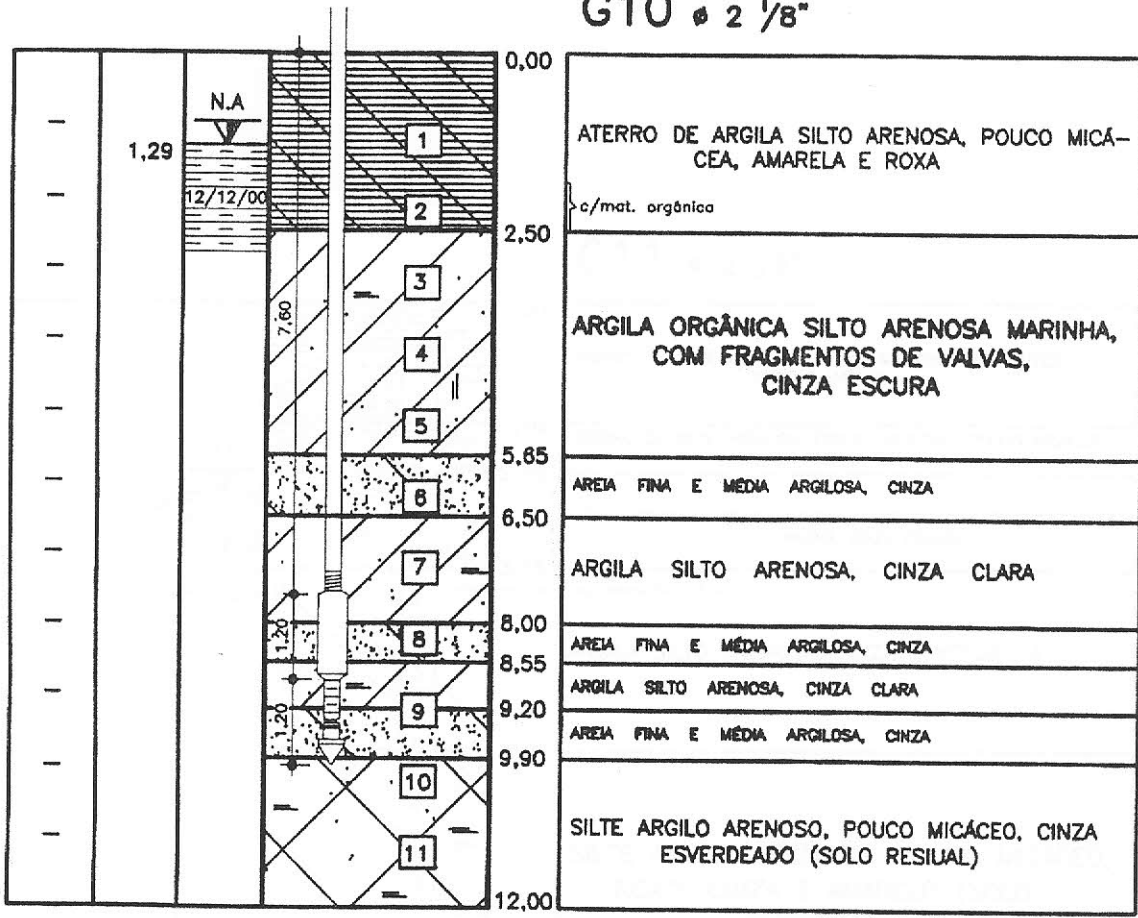
418/00

G9 ϕ 2 1/8"



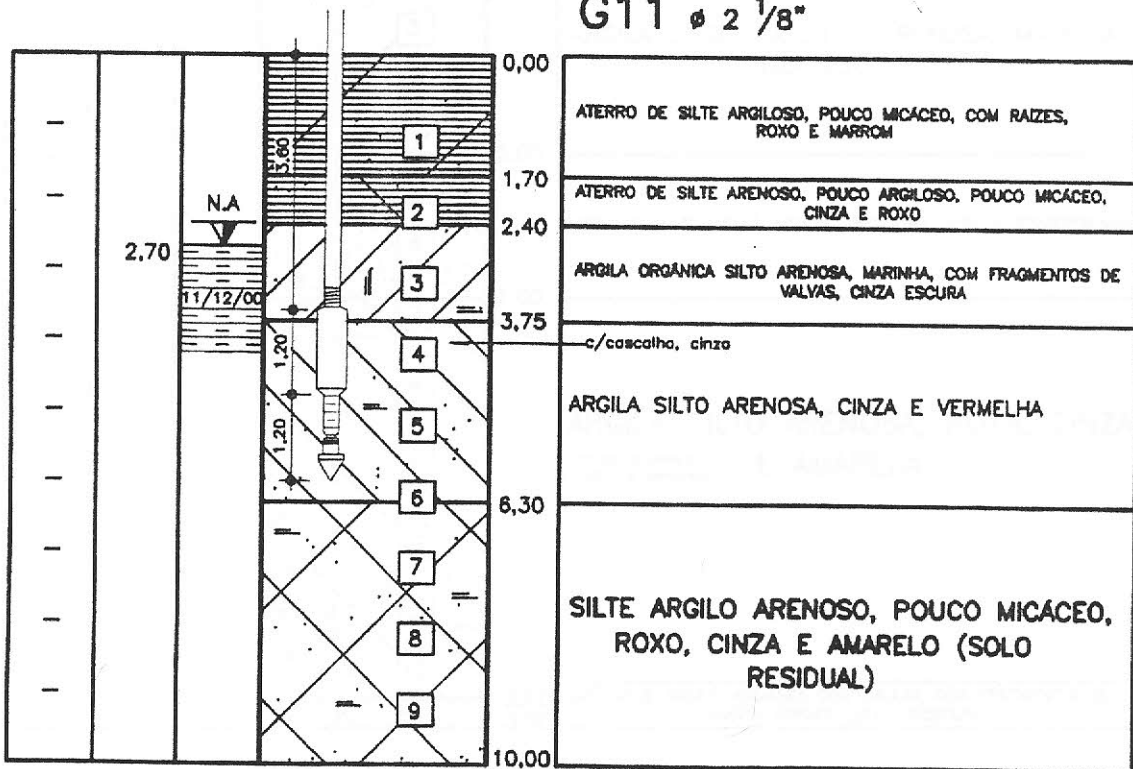
ENGE SOLOS		
ENGENHARIA DE SOLOS E FUNDAÇÕES LTDA CREA 9810		
PETROFLEX INDÚSTRIA E COMÉRCIO S/A		
Avenida Marumbi, 600 - Duque de Caxias - RJ		
Perfil individual do subsolo - G9		
Data. 16/01/01	Des. Jackson	S.P.
Escola=1:100	Eng ^o	418/00

G10 ϕ 2 1/8"



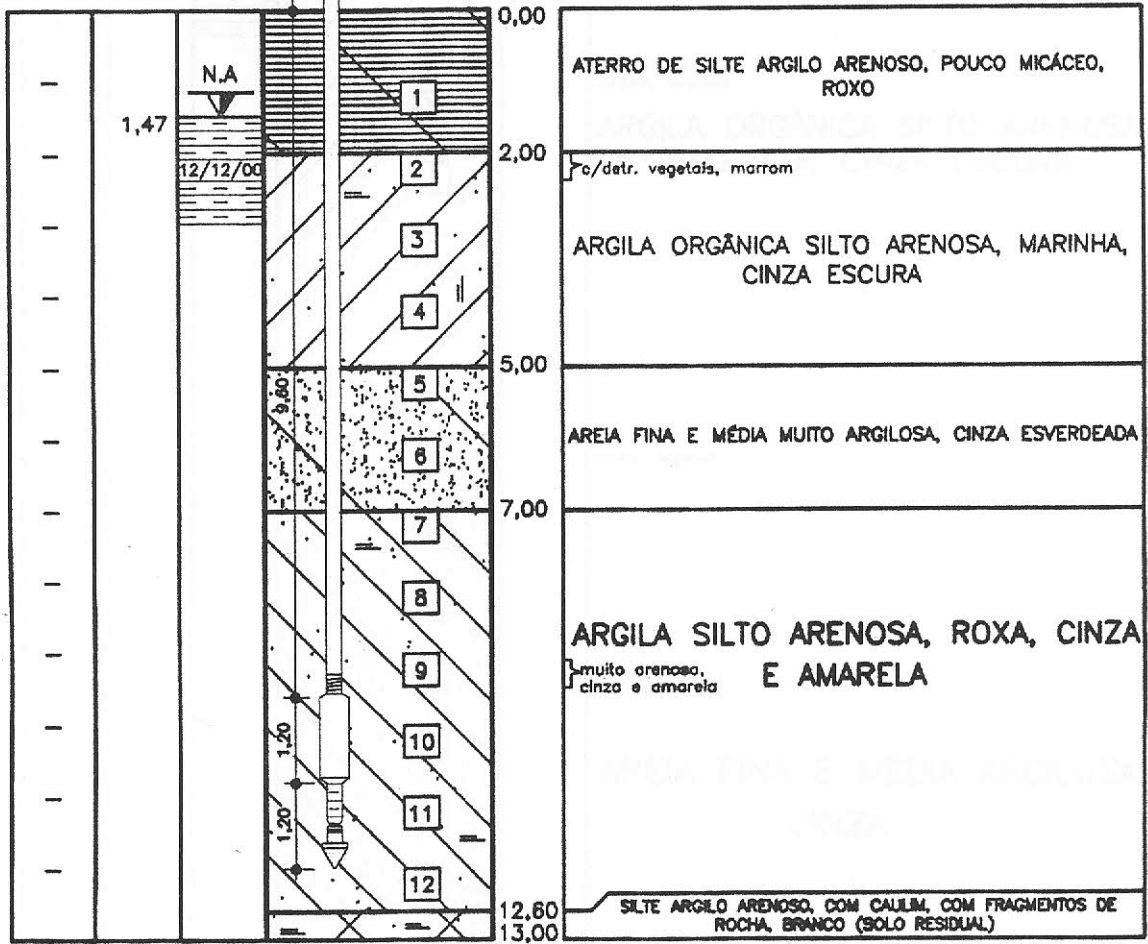
ENGE SOLOS		
ENGENHARIA DE SOLOS E FUNDACOES LTDA CREA 9810		
PETROFLEX INDÚSTRIA E COMÉRCIO S/A		
Avenida Marumbi, 600 - Duque de Caxias - RJ		
Perfil individual do subsolo - G10		
Data. 16/01/01	Des. Jackson	S.P.
Escala=1:100	Eng ^o <i>[Signature]</i>	418/00

G11 ϕ 2 1/8"



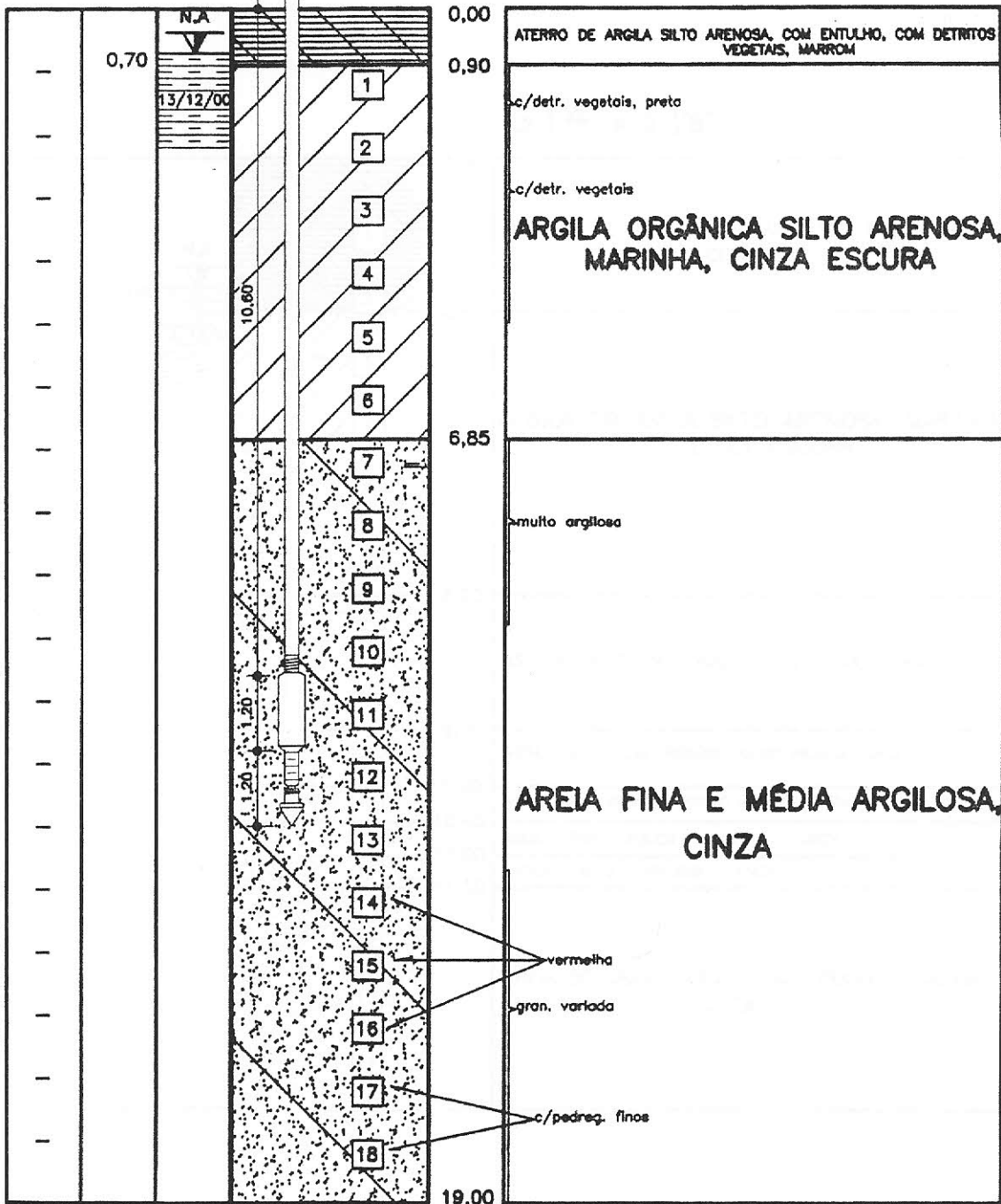
ENGESOLoS		
ENGENHARIA DE SOLOS E FUNDACOES LTDA CREA 9810		
PETROFLEX INDUSTRIA E COMERCIO S/A		
Avenida Marumbi, 800 - Duque de Caxias - RJ		
Perfil individual do subsolo - G11		
Data. 16/01/01	Des. Jackson	S.P.
Escala=1:100	Eng ^o	418/00

G12 ϕ 2 1/8"



ENGE SOLOS		
ENGENHARIA DE SOLOS E FUNDAÇÕES LTDA CREA 9810		
PETROFLEX INDÚSTRIA E COMÉRCIO S/A		
Avenida Marumbi, 600 - Duque de Caxias - RJ		
Perfil Individual do subsolo - G12		
Data. 16/01/01	Des. Jackson	S.P.
Escala=1:100	Eng ^o	418/00

G13 ϕ 2 1/8"



ENGE SOLOS

ENGENHARIA DE SOLOS E FUNDAÇÕES LTDA CREA 9810

PETROFLEX INDÚSTRIA E COMÉRCIO S/A

Avenida Marumbi, 600 - Duque de Caxias - RJ

Perfil individual do subsolo - G13

Data. 16/01/01

Des. Jaksog

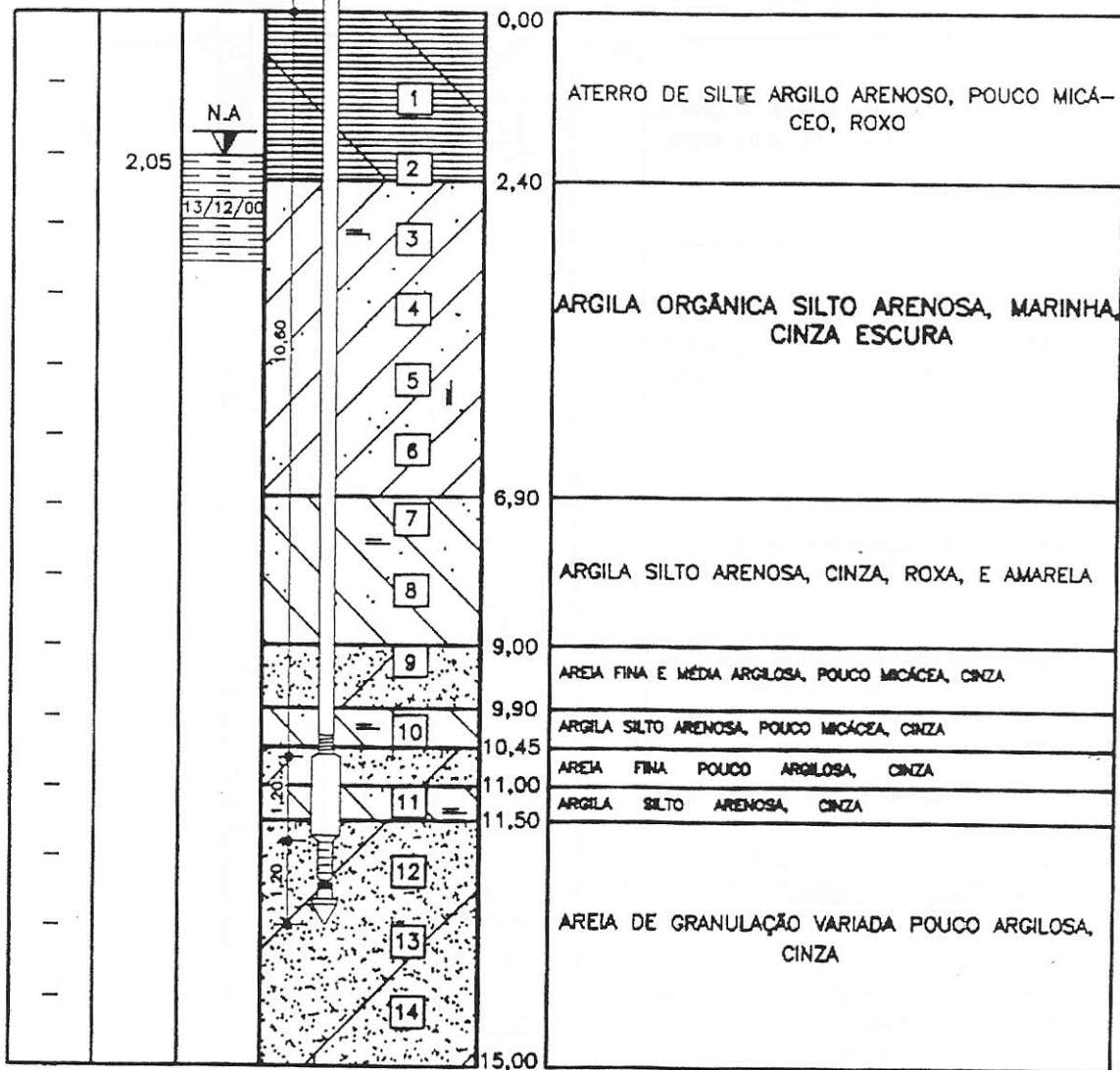
S.P.

Escala=1:100

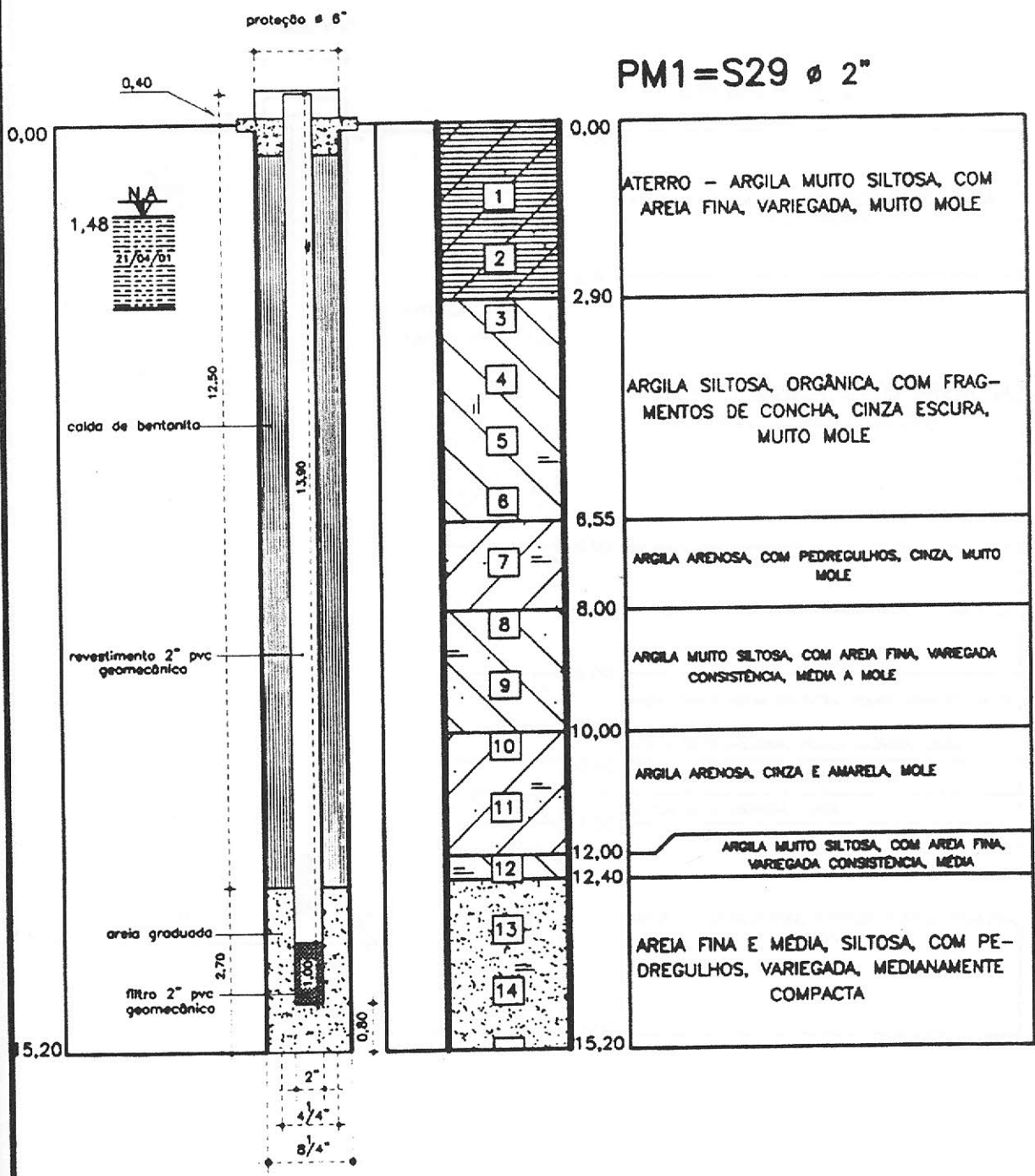
Eng^o

418/00

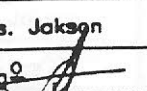
G14 ϕ 2 1/8"

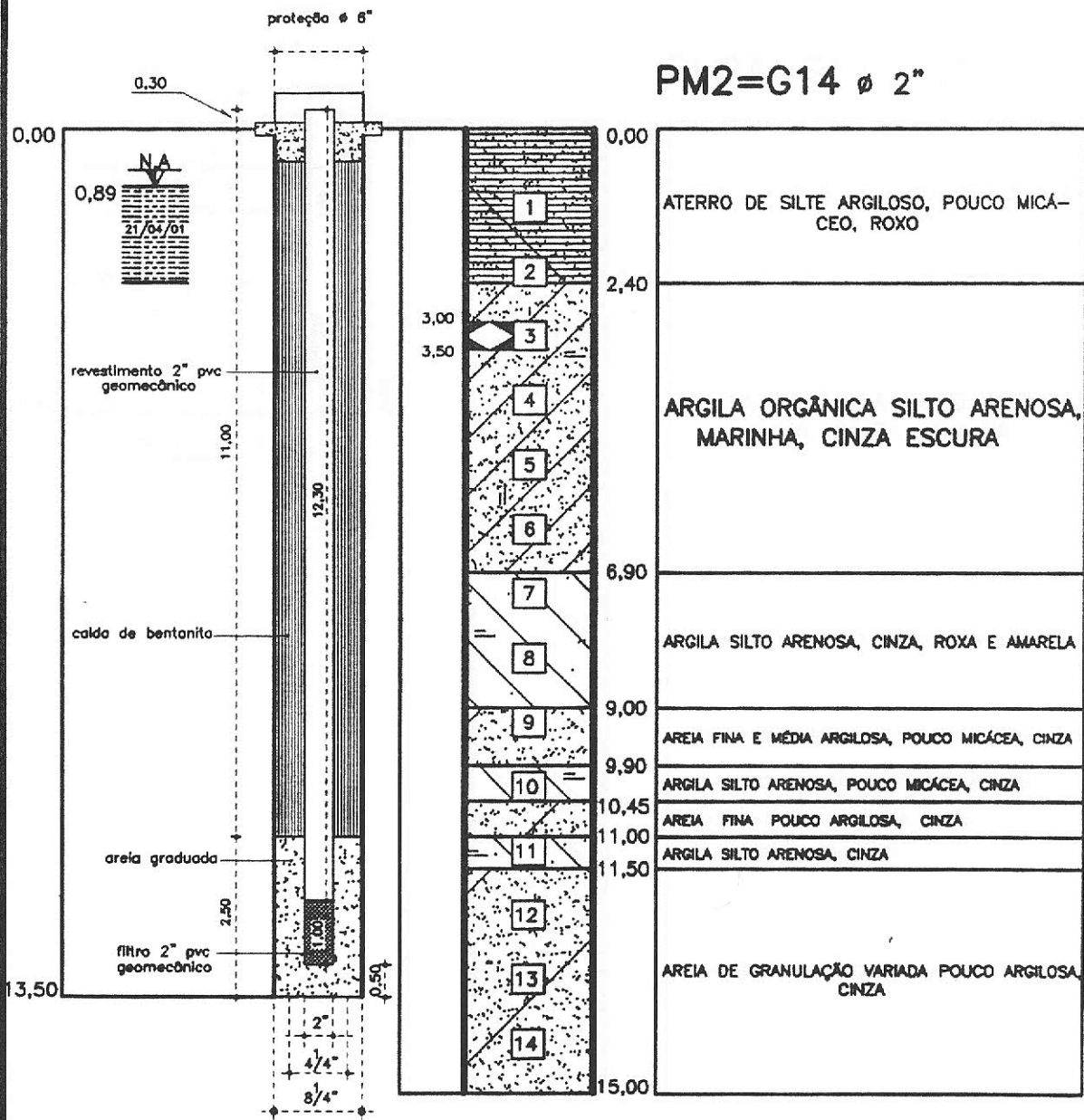


ENGESOLOS		
ENGENHARIA DE SOLOS E FUNDACOES LTDA CREA 9810		
PETROFLEX INDÚSTRIA E COMÉRCIO S/A		
Avenida Marumbi, 800 - Duque de Caxias - RJ		
Perfil individual do subsolo - G14		
Data. 18/01/01	Des. Jackson	S.P.
Escala=1:100	Eng ^o	418/00



* PERFIL DE SONDAGEM S29 - ÁREA 1 (TECNOSOLO REF: RJ-728) FORNECIDO PELO CLIENTE.

ENGESOLO S		
ENGENHARIA DE SOLOS E FUNDACÕES LTDA CREA 9810		
PETROFLEX INDÚSTRIA E COMÉRCIO S/A		
Rua Marumbi, 600 - Duque de Caxias - RJ		
Perfil Individual do subsolo - PM1=S29		
Data. 23/05/01	Des. Jackson	S.P.
Escala= 1:100	Eng. 	169/01



SHELBY ϕ 3"

ENGESOLOS
 ENGENHARIA DE SOLOS E FUNDACOES LTDA CREA 9810

PTROFLEX INDÚSTRIA E COMÉRCIO S/A

Rua Marumbi, 800 - Duque de Caxias - RJ

Perfil individual do subsolo - PM2=G14

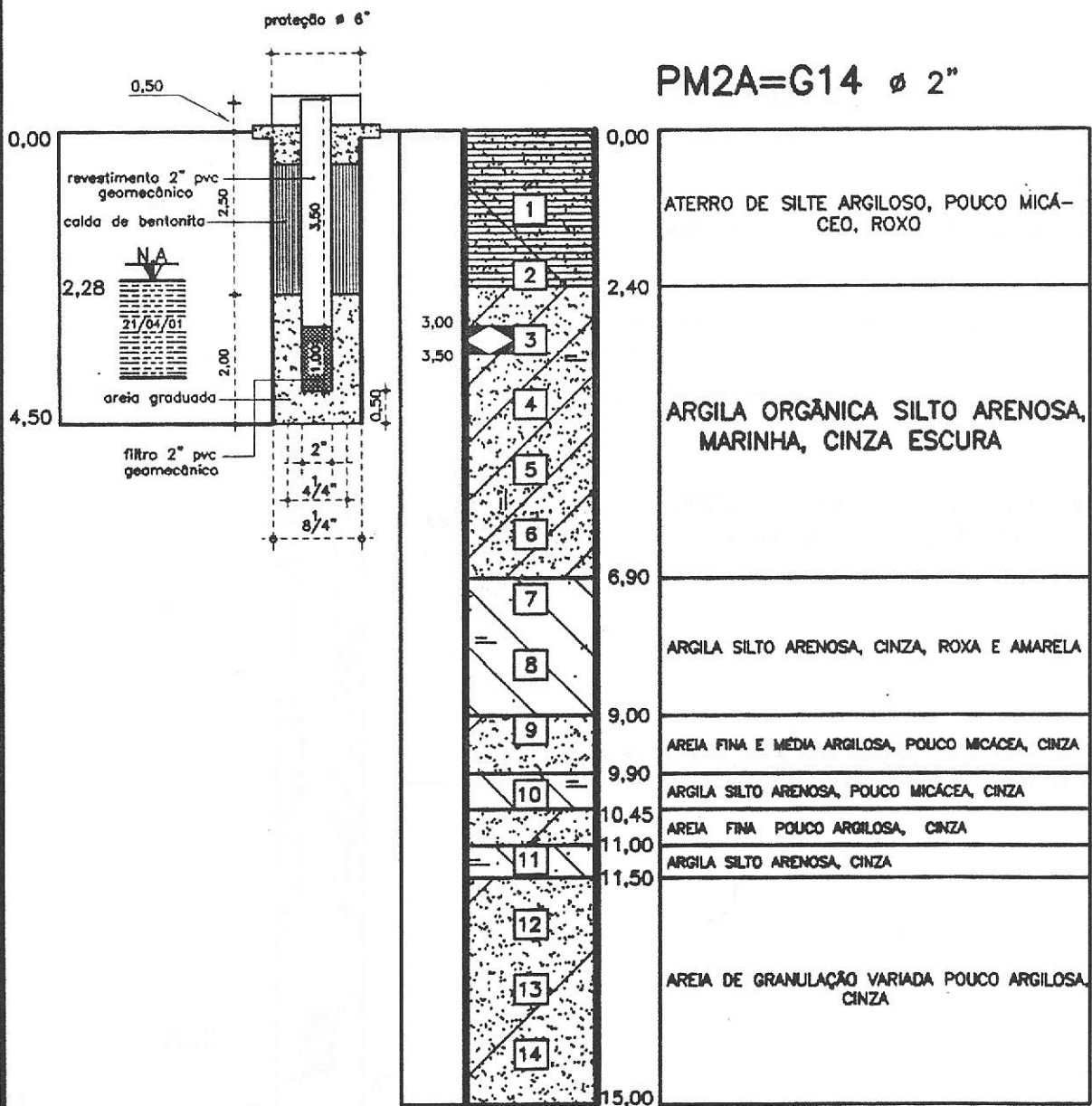
Data. 23/05/01 Des. Jackson

S.P.

Escala= 1:100

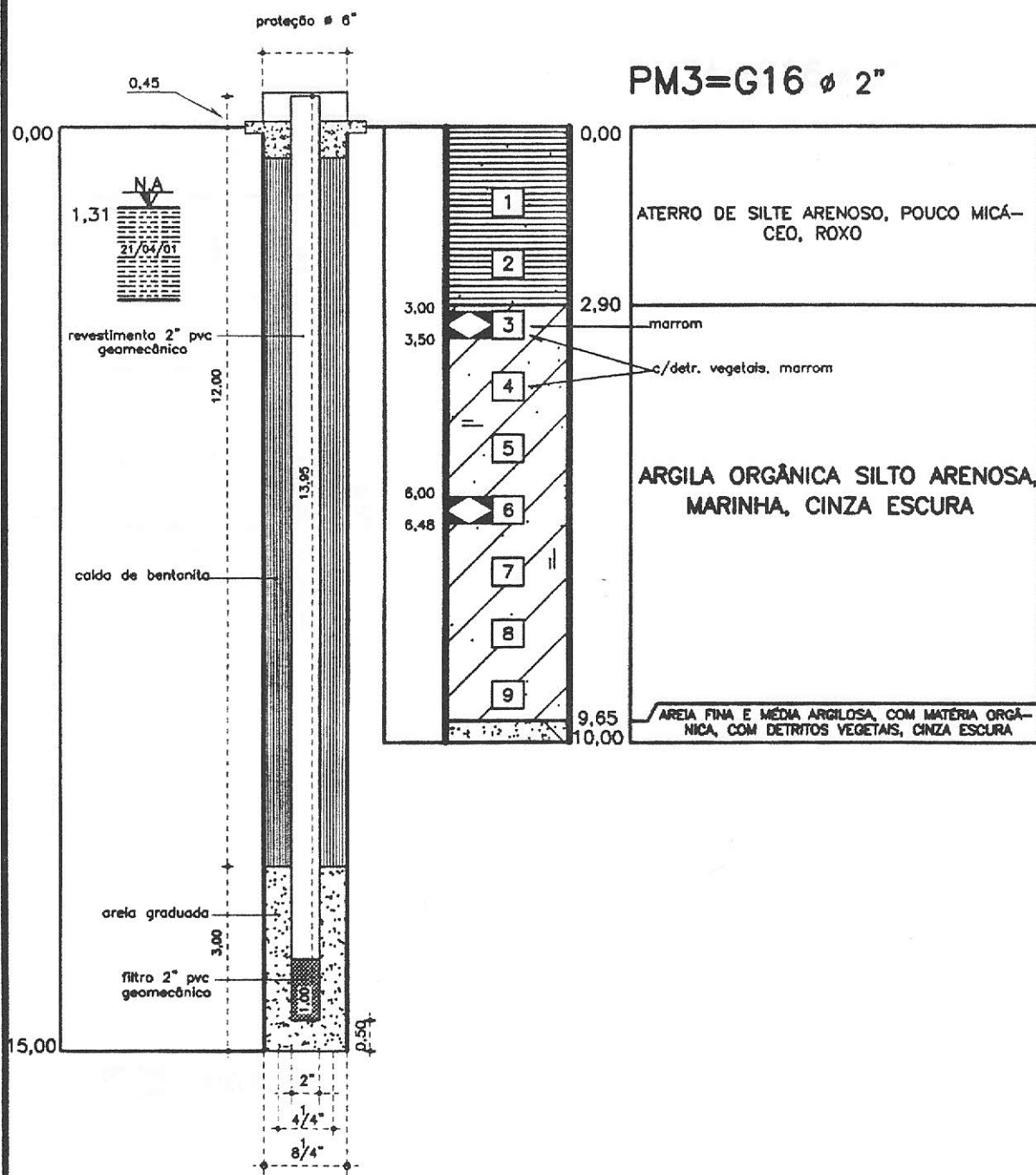
Eng.º

169/01



SHELBY ϕ 3"

ENGESOLO S		
ENGENHARIA DE SOLOS E FUNDAÇÕES LTDA CREA 9810		
PETROFLEX INDÚSTRIA E COMÉRCIO S/A		
Rua Marumbi, 800 - Duque de Caxias - RJ		
Perfil individual do subsolo - PM2A=G14		
Data. 23/05/01	Des. Jaksop	S.P.
Escala= 1:100	Eng.	169/01



SHELBY ϕ 3"

ENGESOLO S
ENGENHARIA DE SOLOS E FUNDACOES LTDA CREA 9810

PETROFLEX INDÚSTRIA E COMÉRCIO S/A

Rua Marumbi, 600 - Duque de Caxias - RJ

Perfil individual do subsolo - PM3=G16

Data. 23/05/01

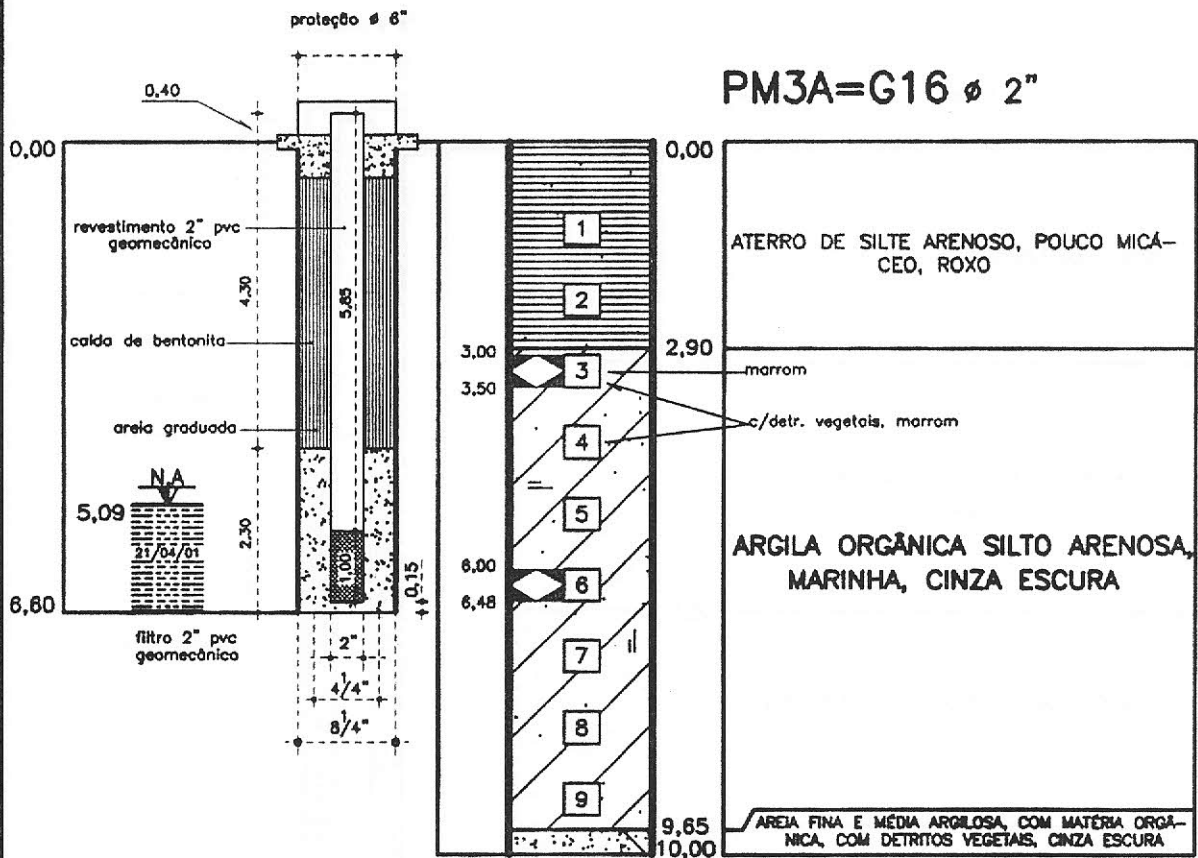
Des. Jackson

S.P.

Escala= 1:100

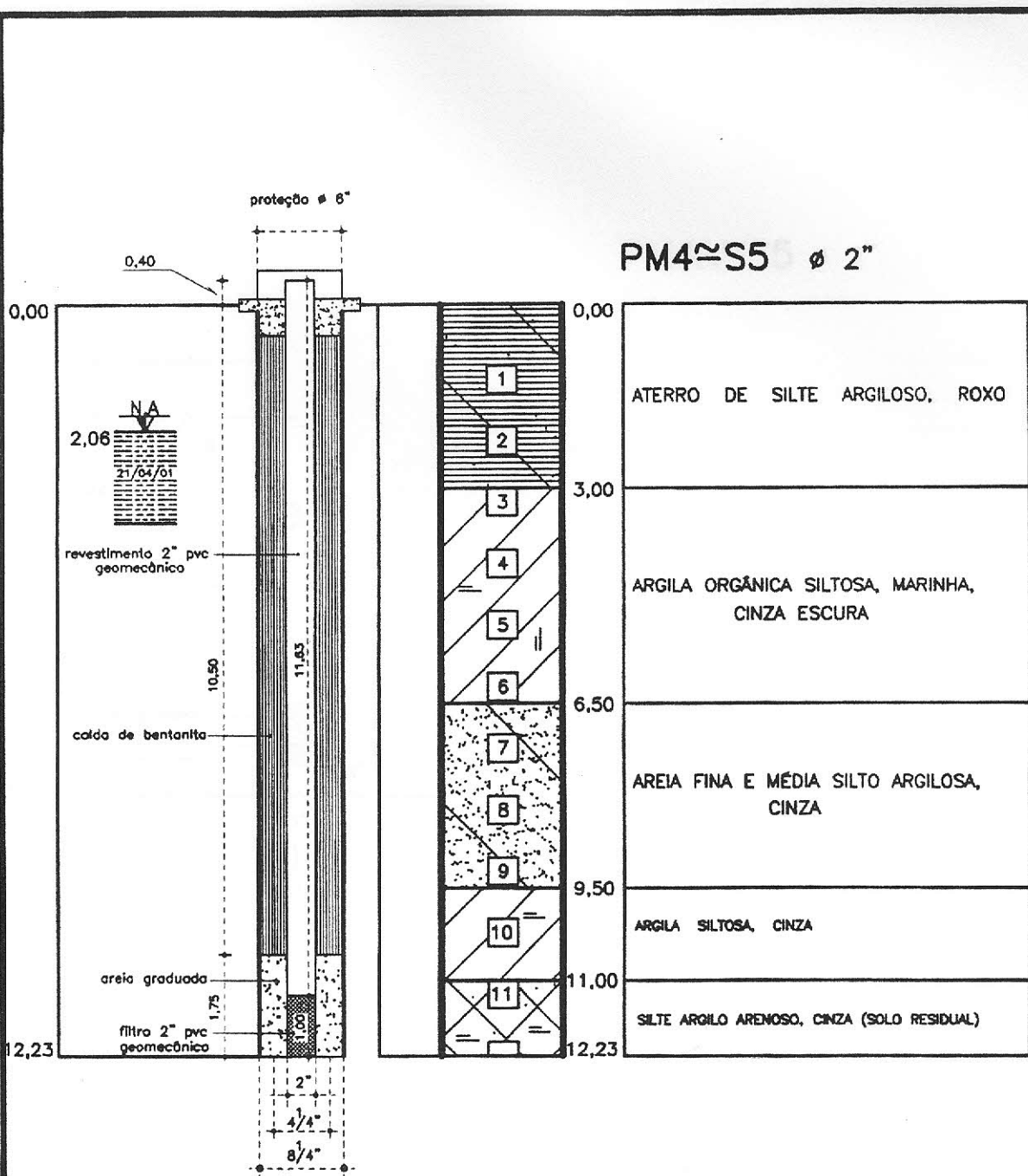
Eng^o

169/01



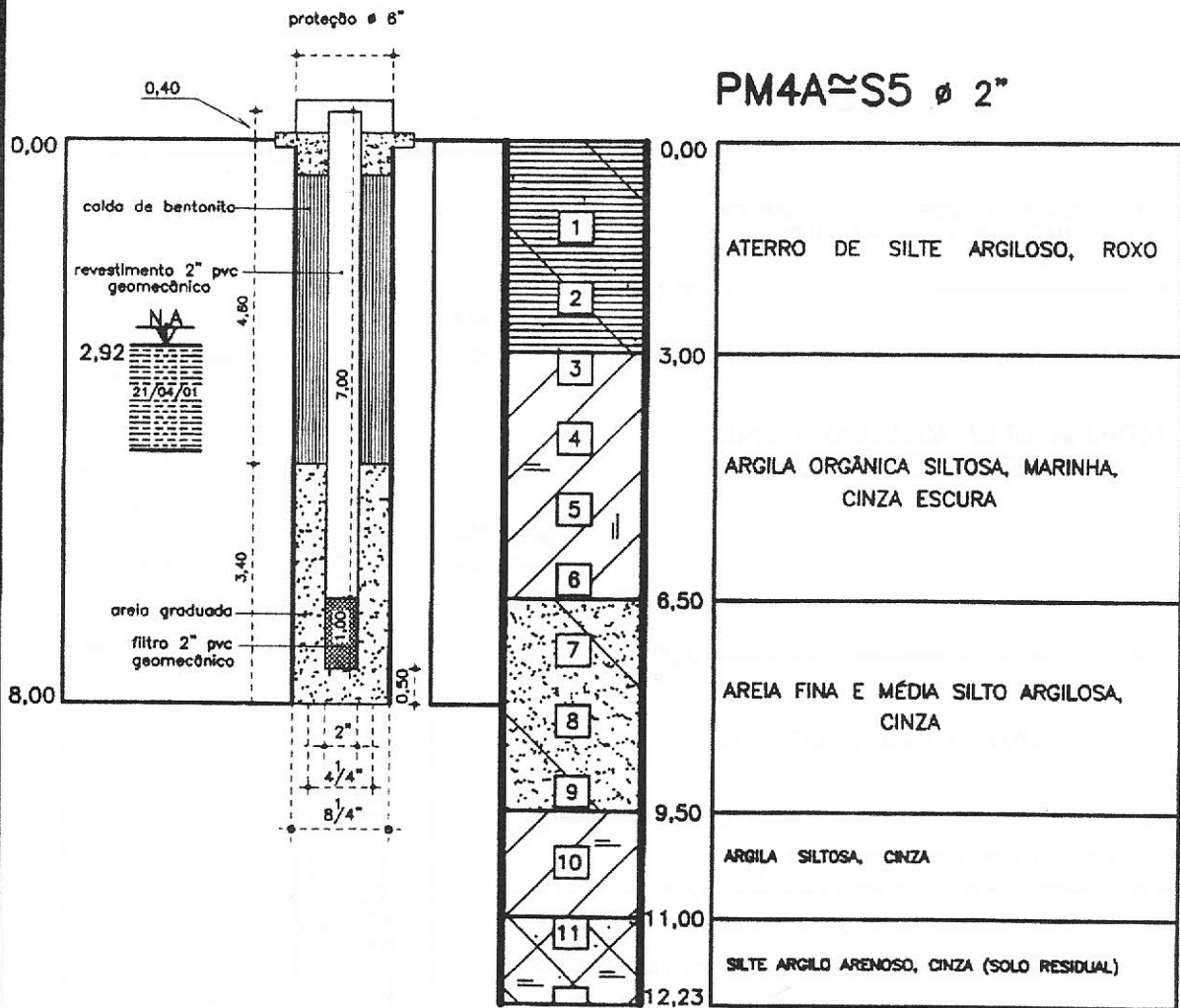
SHELBY ϕ 3"

ENGESOLOS		
ENGENHARIA DE SOLOS E FUNDACOES LTDA CREA 9810		
PETROFLEX INDÚSTRIA E COMÉRCIO S/A		
Rua Marumbi, 600 - Duque de Caxias - RJ		
Perfil individual do subsolo - PM3A=G16		
Data. 23/05/01	Des. Jackson	S.P.
Escala= 1:100	Eng ^o	169/01




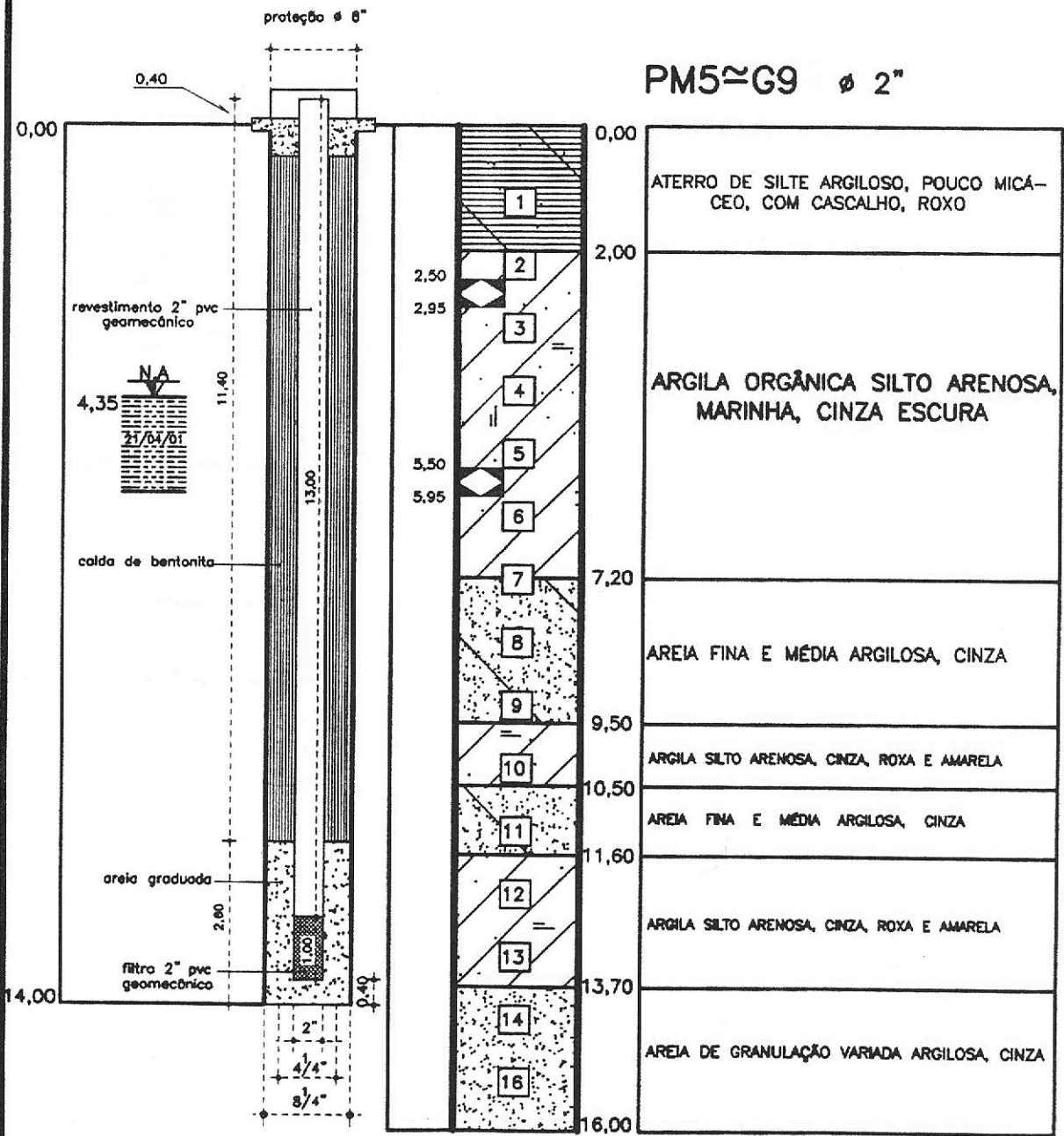
* PERFIL DESCRITIVO ADAPTADO DA SONDAGEM 5 - ÁREA 1 (TECNOSOLO REF: RJ-728) COM A OBSERVAÇÕES DOS MATERIAIS EXPULSOS PELAS HÉLICES DO HOLLOW STEM AUGER.

ENGE SOLOS		
ENGENHARIA DE SOLOS E FUNDAÇÕES LTDA CREA 9810		
PETROFLEX INDÚSTRIA E COMÉRCIO S/A		
Rua Marumbi, 600 - Duque de Caxias - RJ		
Perfil individual do subsolo - PM4 \approx S5		
Data. 23/05/01	Des. Jaksch	S.P.
Escala= 1:100	Eng ^o	169/01

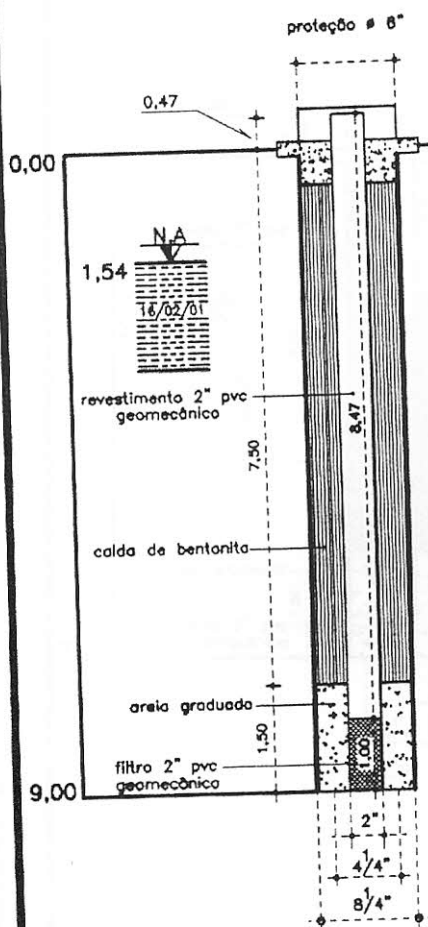


* PERFIL DESCRITIVO ADAPTADO DA SONDAGEM 5 - ÁREA 1 (TECNOSOLO REF: RJ-728) COM A OBSERVAÇÕES DOS MATERIAIS EXPULSOS PELAS HÉLICES DO HOLLOW STEM AUGER.

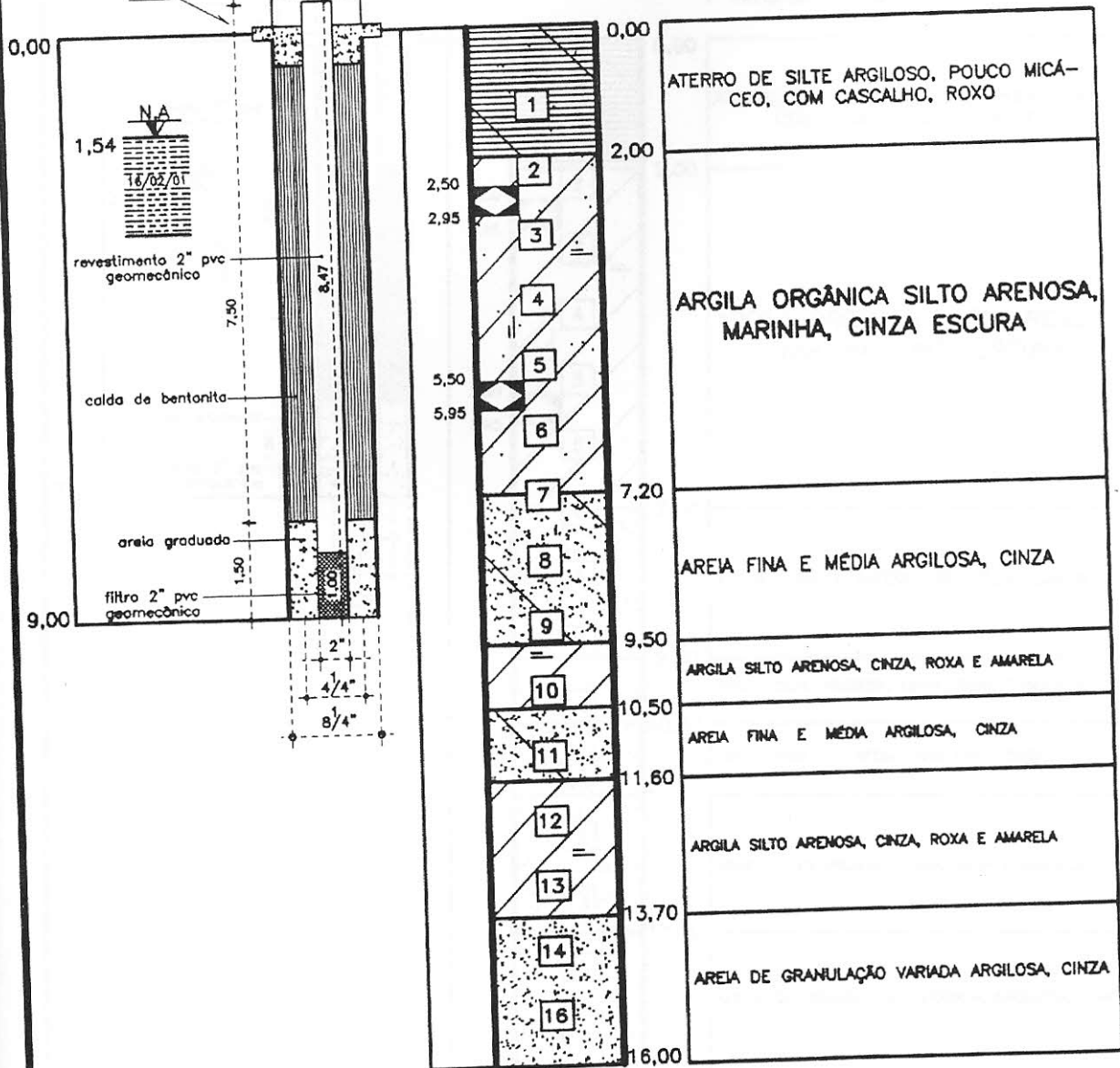
ENGESOLO S		
ENGENHARIA DE SOLOS E FUNDAÇÕES LTDA CREA 9810		
PETROFLEX INDÚSTRIA E COMÉRCIO S/A		
Rua Marumbi, 600 - Duque de Caxias - RJ		
Perfil individual do subsolo - PM4A≈S5		
Data. 23/05/01	Des. Jakson	S.P.
Escala= 1:100	Eng ^o 	169/01



ENGE SOLOS		
ENGENHARIA DE SOLOS E FUNDAÇÕES LTDA CREA 9810		
PETROFLEX INDÚSTRIA E COMÉRCIO S/A		
Rua Marumbi, 600 - Duque de Caxias - RJ		
Perfil Individual do subsolo - PM5=G9		
Data. 23/05/01	Des. Jackson	S.P.
Escala= 1:100	Eng ^o	169/01



PM5A≈G9 Ø 2"



SHELBY Ø 3"

ENGESOLOS
ENGENHARIA DE SOLOS E FUNDAÇÕES LTDA CREA 9810

PETROFLEX INDÚSTRIA E COMÉRCIO S/A

Rua Marumbi, 600 - Duque de Caxias - RJ

Perfil individual do subsolo - PM5A=G9

Data. 23/05/01

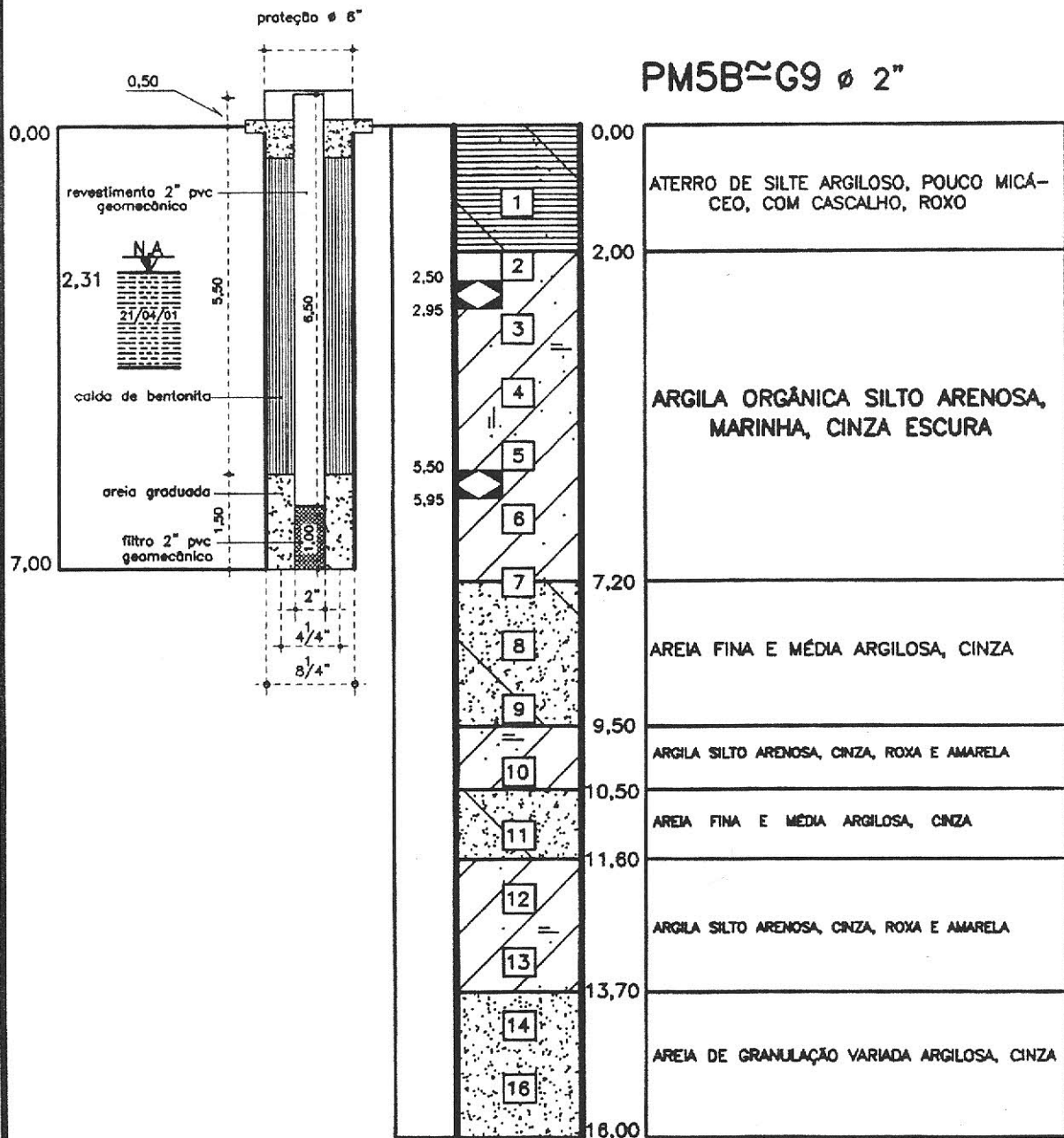
Des. Jakson

S.P.

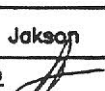
Escala= 1:100

Eng^o

169/01



 SHELBY ø 3"

ENGE SOLOS		
ENGENHARIA DE SOLOS E FUNDAÇÕES LTDA CREA 9810		
PETROFLEX INDÚSTRIA E COMÉRCIO S/A		
Rua Marumbi, 600 - Duque de Caxias - RJ		
Perfil Individual do subsolo - PM5B=G9		
Data. 23/05/01	Des. Jackson	S.P.
Escala= 1:100	Eng ^o 	169/01



PM1 = S22 - 2

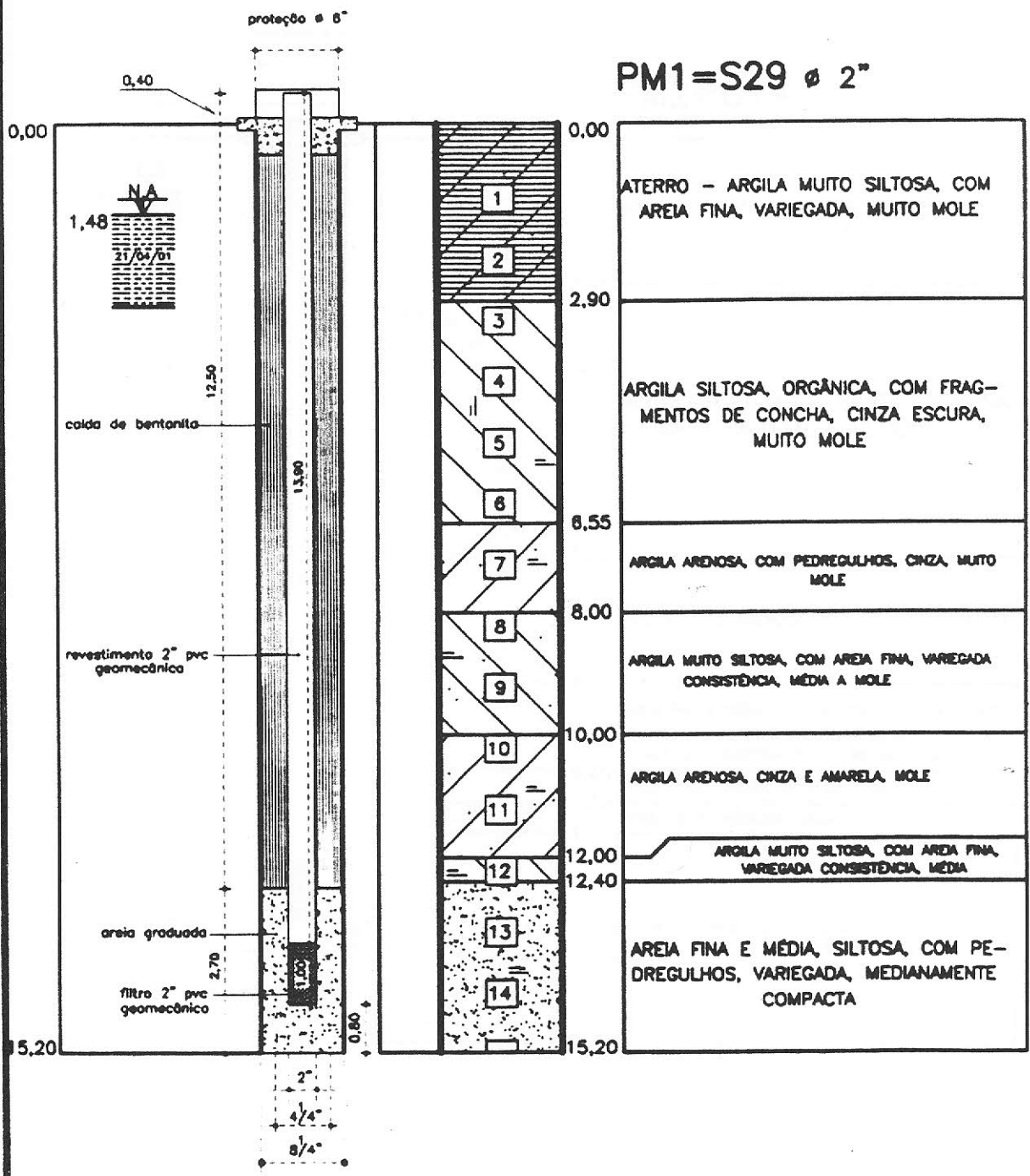


ANEXO 2

Perfis descritivos e construtivos de poços de monitoramento multiníveis

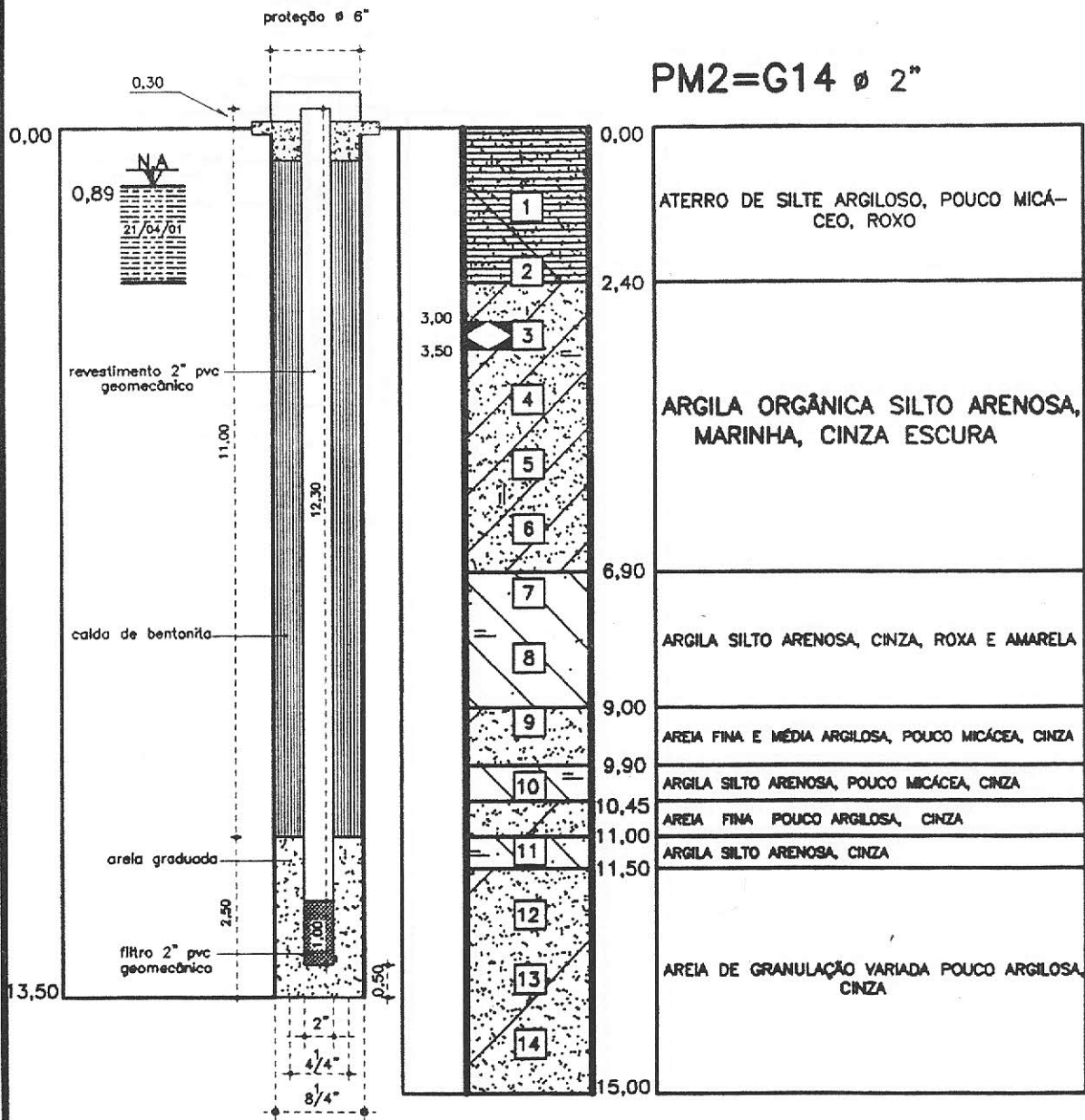
Projeto: 23/02/04	Rev: 00
Desenho: 4/100	Eng: [illegible]

PM1=S29 Ø 2"

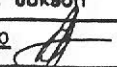


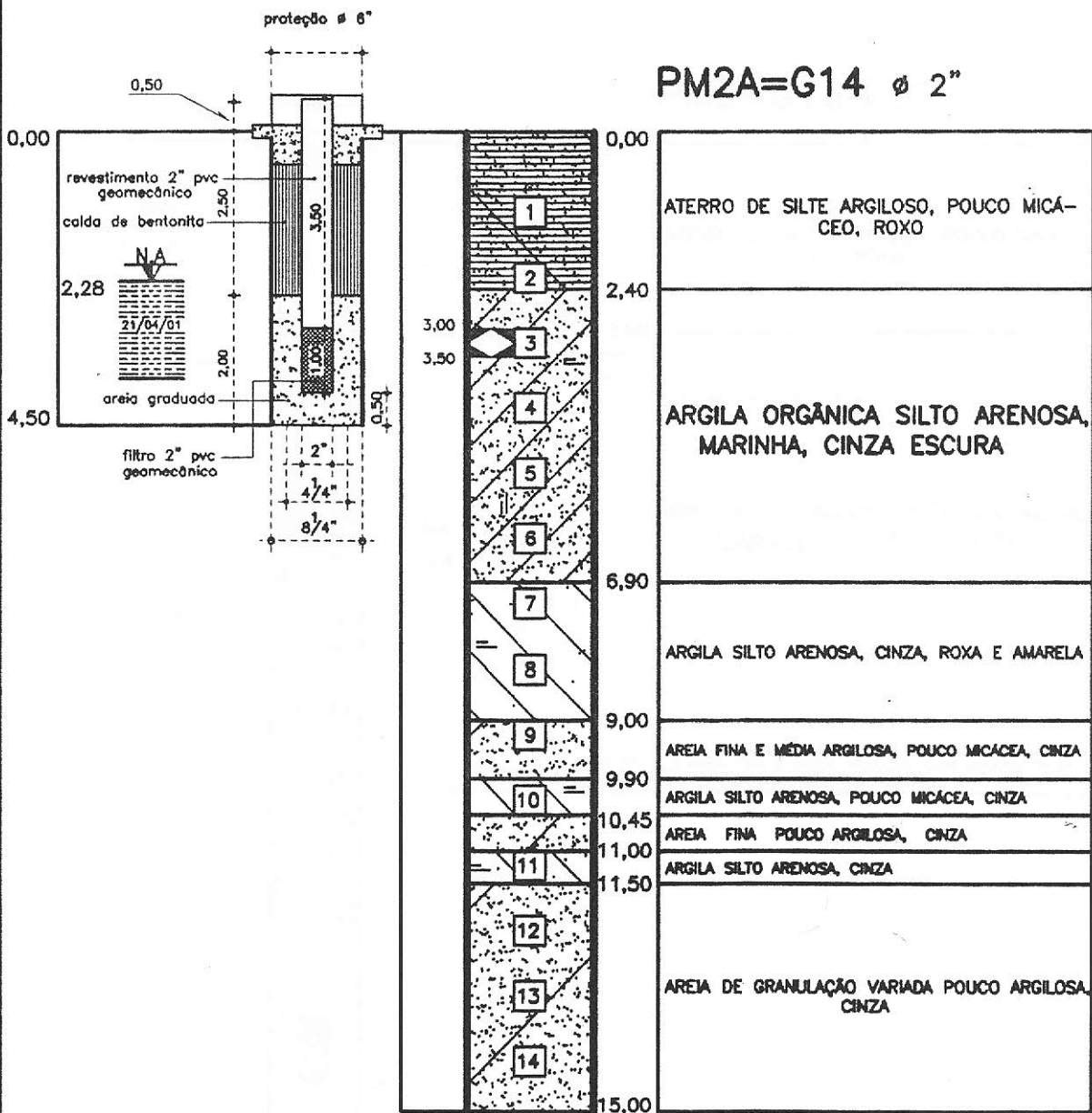
* PERFIL DE SONDAGEM S29 - ÁREA 1 (TECNOSOLO REF: RJ-728) FORNECIDO PELO CLIENTE.

ENGESOLO S		
ENGENHARIA DE SOLOS E FUNDACÕES LTDA CREA 9810		
PETROFLEX INDÚSTRIA E COMÉRCIO S/A		
Rua Marumbi, 600 - Duque de Caxias - RJ		
Perfil individual do subsolo - PM1=S29		
Data. 23/05/01	Des. Jackson	S.P.
Escala= 1:100	Eng. <i>[Signature]</i>	169/01



 SHELBY Ø 3"

ENGESOLOS		
ENGENHARIA DE SOLOS E FUNDACOES LTDA CREA 9810		
PETROFLEX INDÚSTRIA E COMÉRCIO S/A		
Rua Marumbi, 600 - Duque de Caxias - RJ		
Perfil individual do subsolo - PM2=G14		
Data. 23/05/01	Des. Jackson	S.P.
Escala= 1:100	Eng.º 	169/01



 SHELBY # 3"

ENGESOLOS
ENGENHARIA DE SOLOS E FUNDAÇÕES LTDA CREA 9810

PETROFLEX INDÚSTRIA E COMÉRCIO S/A

Rua Marumbi, 600 - Duque de Caxias - RJ

Perfil individual do subsolo - PM2A=G14

Data. 23/05/01

Des. Jaksop

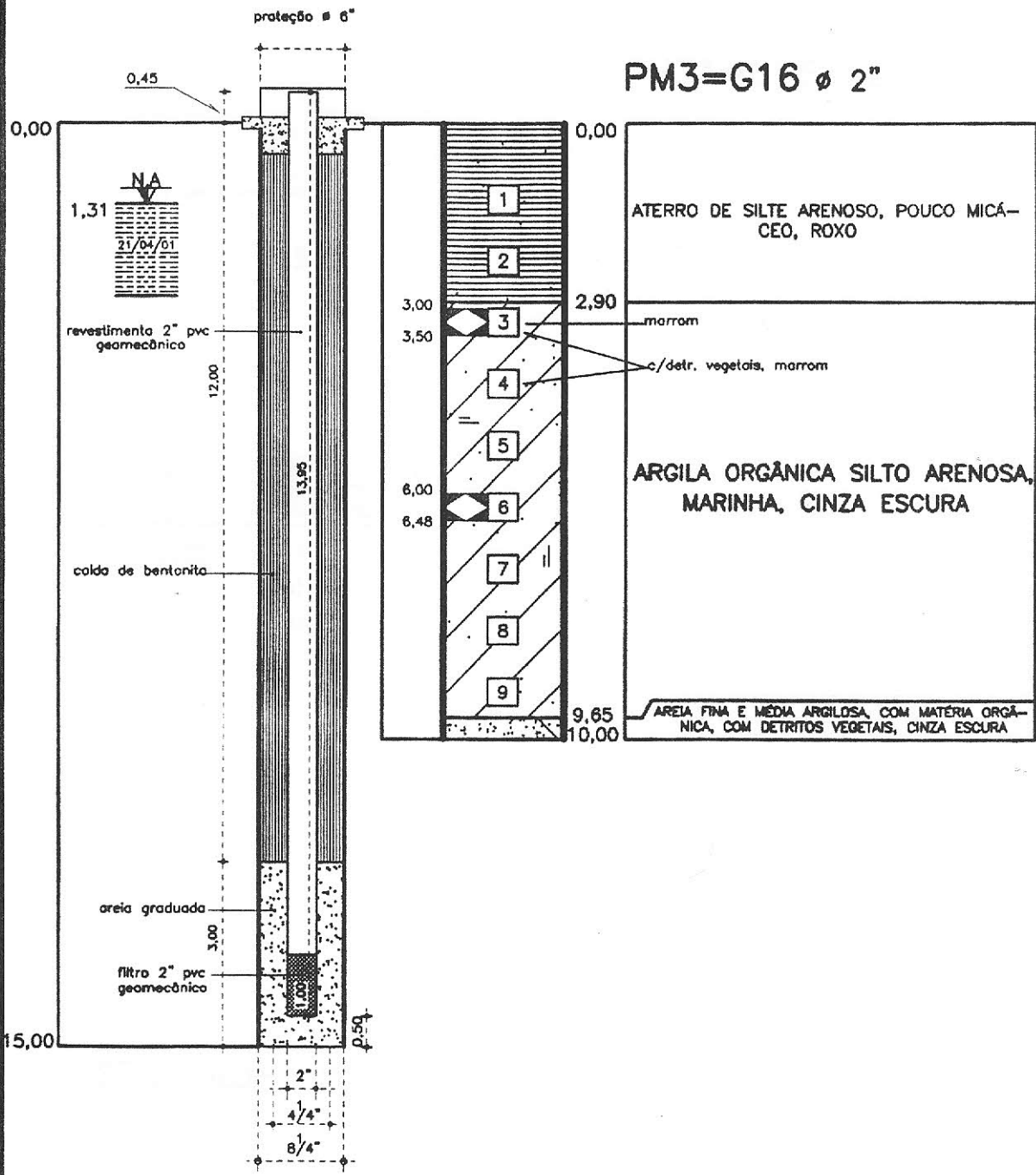
S.P.

Escala= 1:100

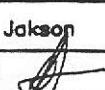
Eng^o

169/01

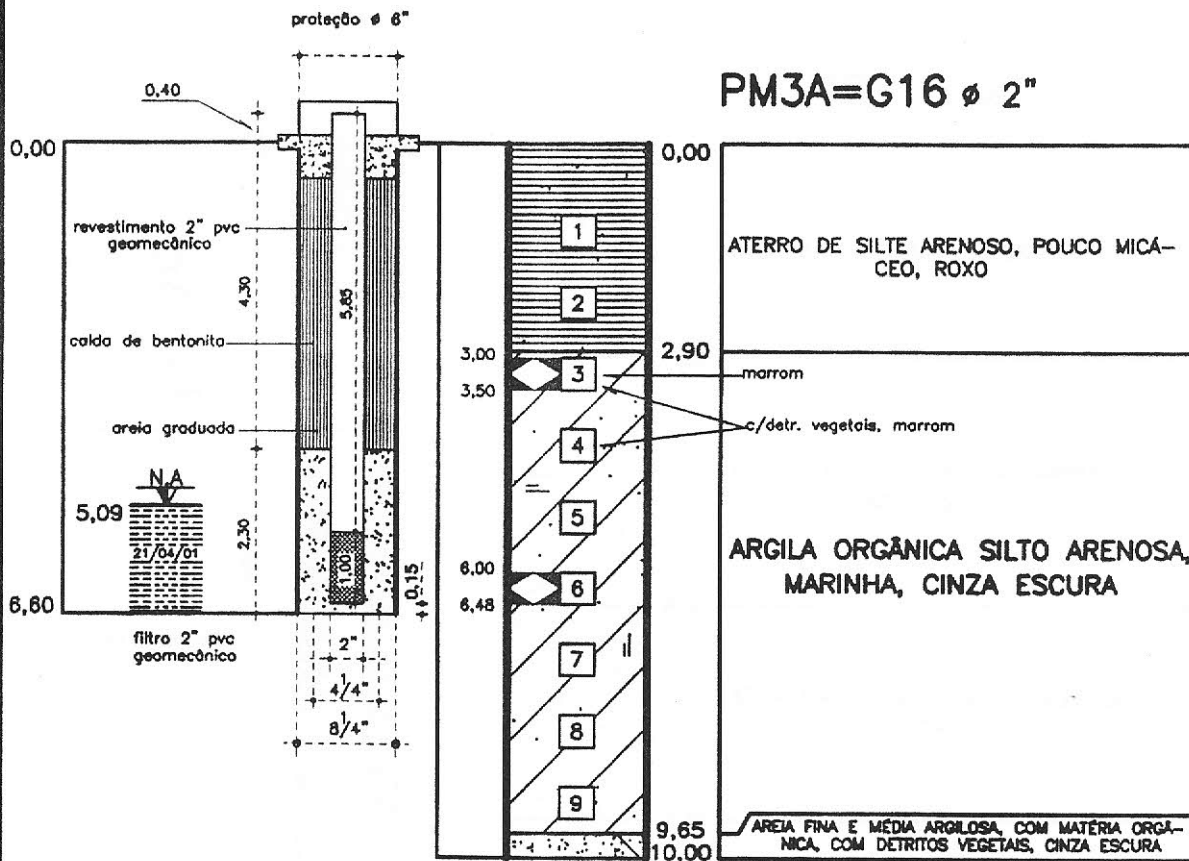
PM3=G16 ϕ 2"




 SHELBY ϕ 3"

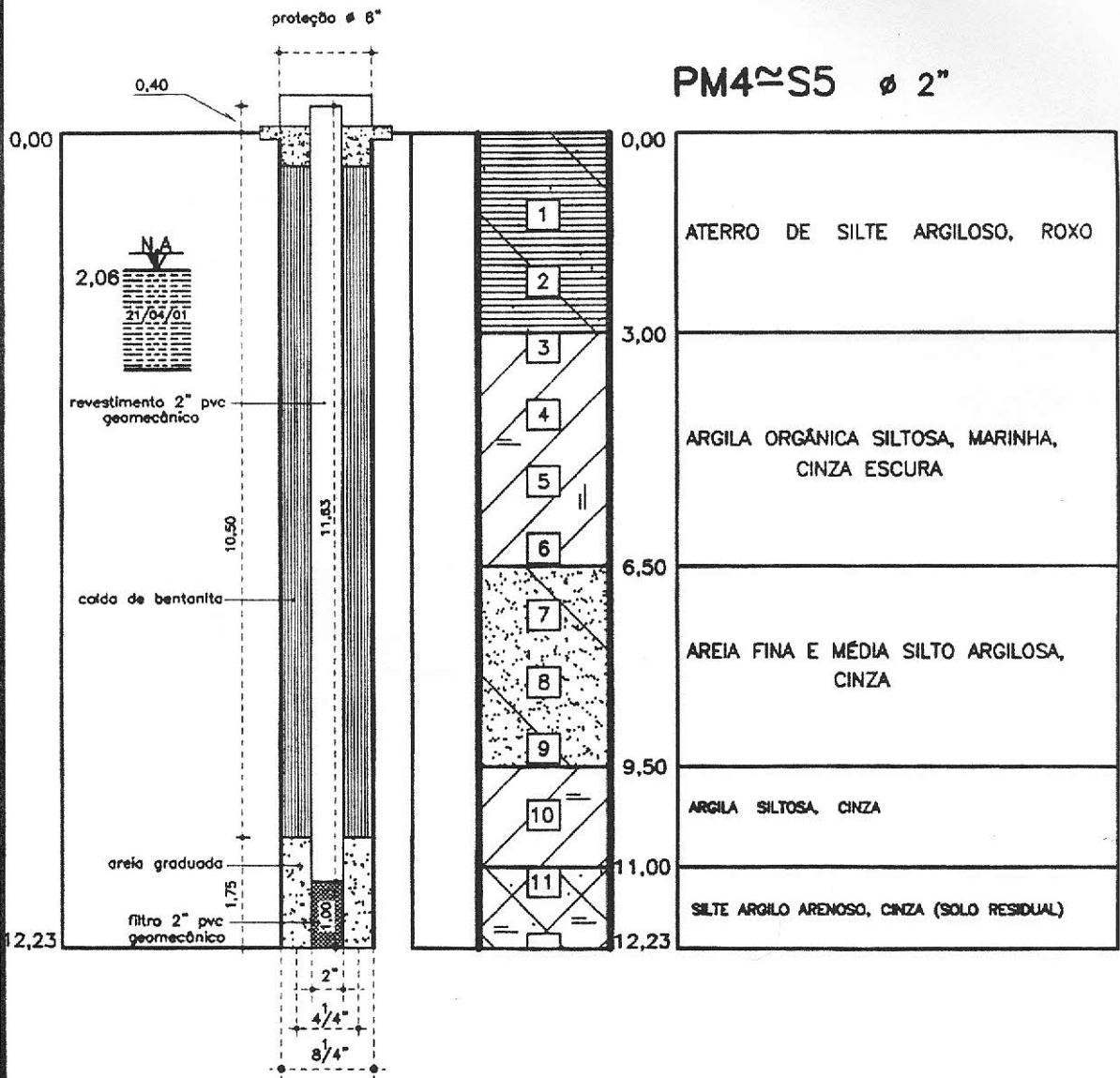
ENGE SOLOS		
ENGENHARIA DE SOLOS E FUNDAÇÕES LTDA CREA 9810		
PETROFLEX INDÚSTRIA E COMÉRCIO S/A		
Rua Marumbi, 600 - Duque de Caxias - RJ		
Perfil individual do subsolo - PM3=G16		
Data. 23/05/01	Des. Jackson	S.P.
Escala= 1:100	Eng ^o 	169/01

PM3A=G16 ϕ 2"



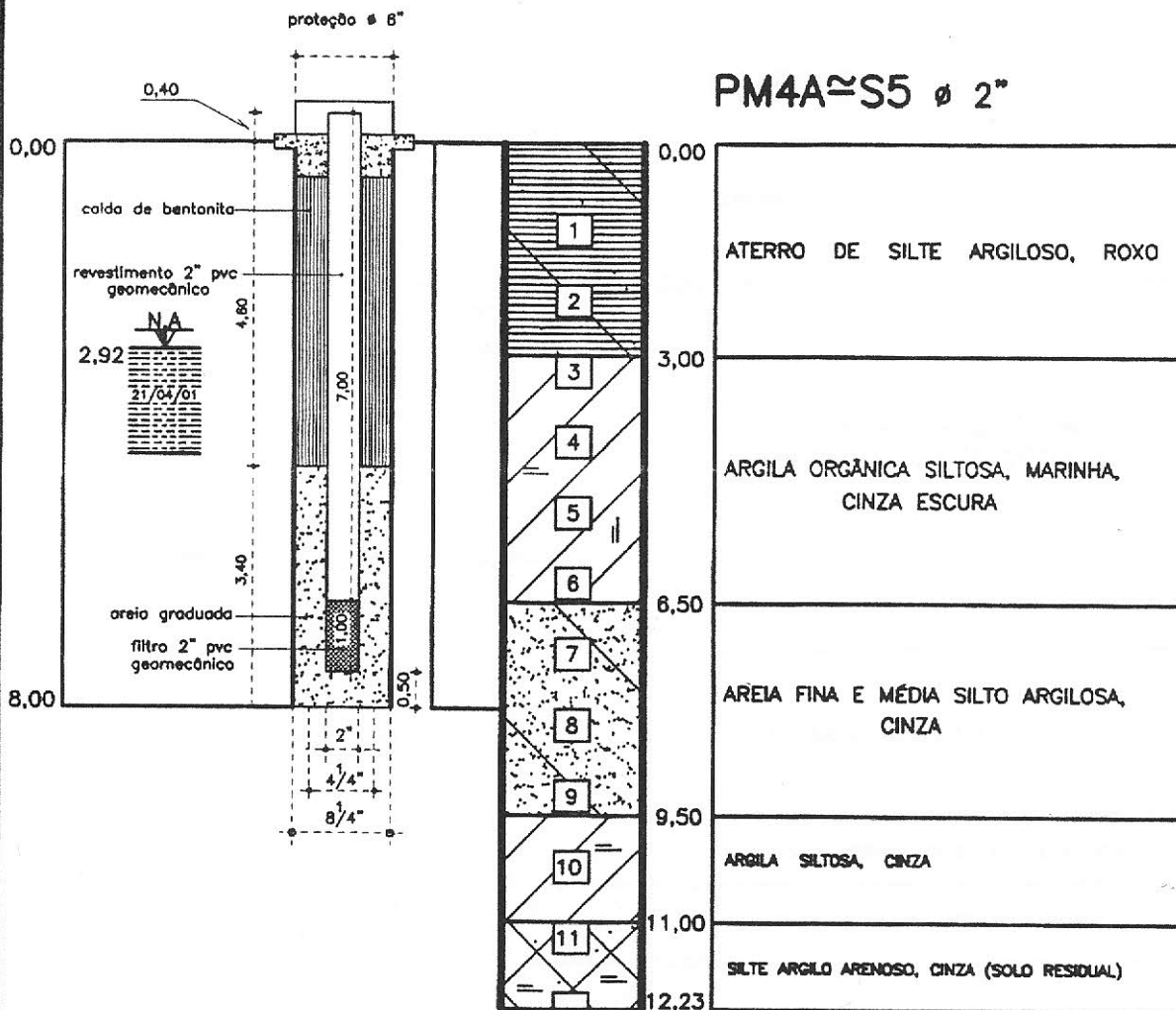
 SHELBY ϕ 3"

ENGESOLOS		
ENGENHARIA DE SOLOS E FUNDAÇÕES LTDA CREA 9810		
PETROFLEX INDÚSTRIA E COMÉRCIO S/A		
Rua Marumbi, 600 - Duque de Caxias - RJ		
Perfil individual do subsolo - PM3A=G16		
Data. 23/05/01	Des. Jackson	S.P.
Escala= 1:100	Eng. 	169/01



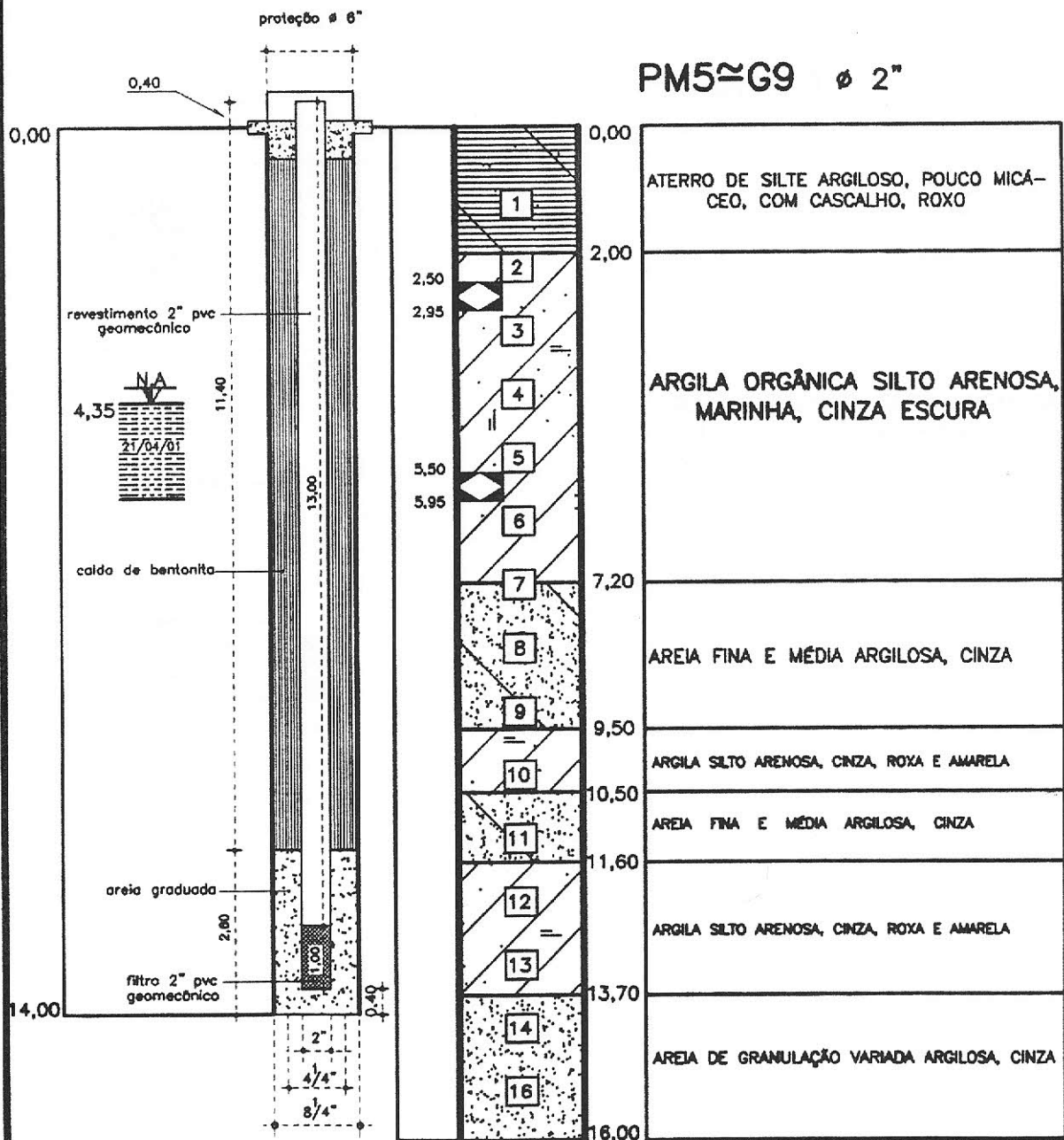
* PERFIL DESCRITIVO ADAPTADO DA SONDAGEM 5 - ÁREA 1 (TECNOSOLO REF: RJ-728) COM A OBSERVAÇÕES DOS MATERIAIS EXPULSOS PELAS HÉLICES DO HOLLOW STEM AUGER.

ENGENSOLOS		
ENGENHARIA DE SOLOS E FUNDACOES LTDA CREA 9810		
PETROFLEX INDÚSTRIA E COMÉRCIO S/A		
Rua Marumbi, 600 - Duque de Caxias - RJ		
Perfil individual do subsolo - PM4 \approx S5		
Data. 23/05/01	Des. Jaksch	S.P.
Escala= 1:100	Eng ^o	169/01



* PERFIL DESCRITIVO ADAPTADO DA SONDAGEM 5 - ÁREA 1 (TECNOSOLO REF: RJ-728) COM A OBSERVAÇÕES DOS MATERIAIS EXPULSOS PELAS HÉLICES DO HOLLOW STEM AUGER.

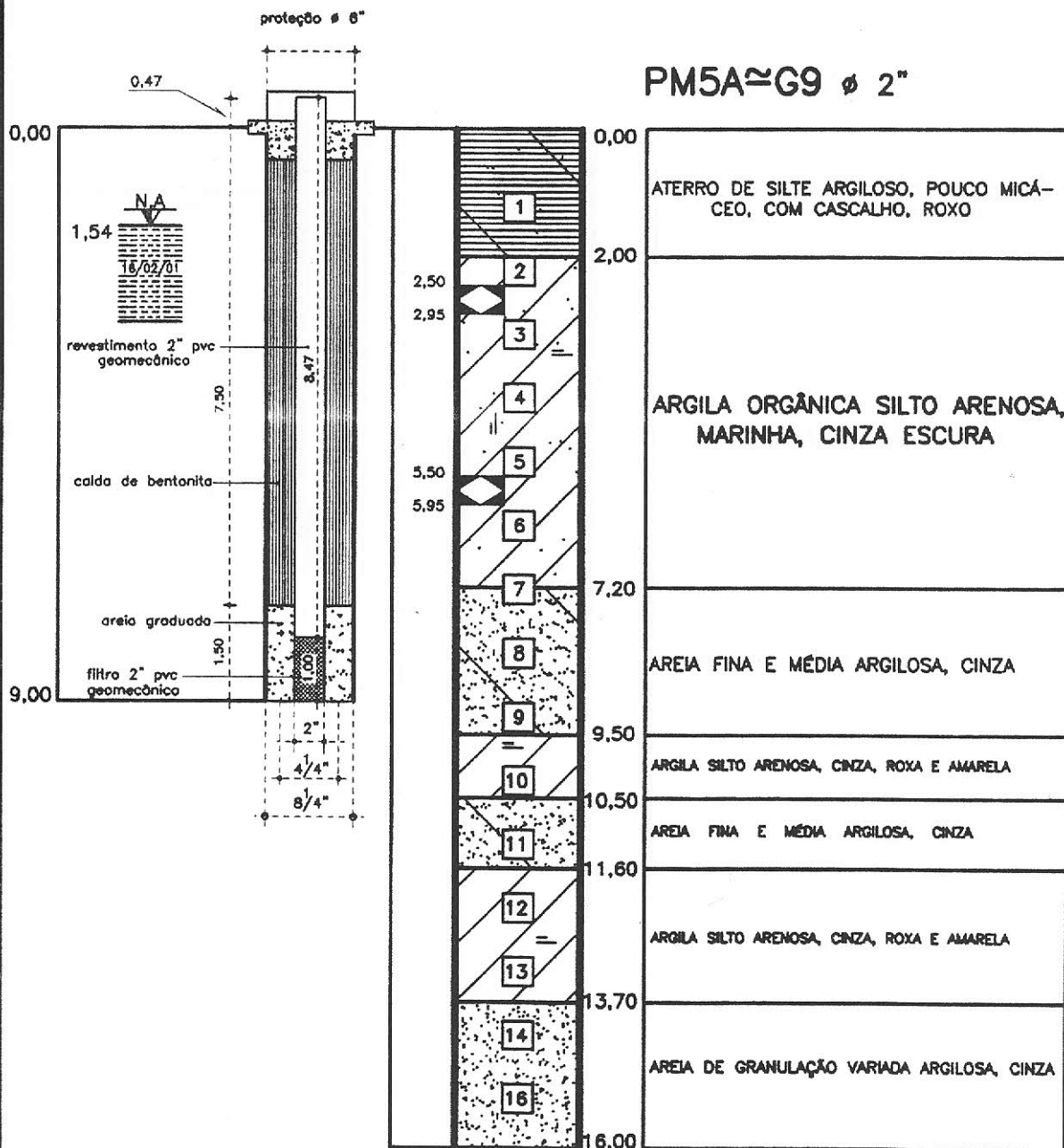
ENGE SOLOS		
ENGENHARIA DE SOLOS E FUNDAÇÕES LTDA CREA 9810		
PETROFLEX INDÚSTRIA E COMÉRCIO S/A		
Rua Marumbi, 600 - Duque de Caxias - RJ		
Perfil individual do subsolo - PM4A≈S5		
Data. 23/05/01	Des. Jakson	S.P.
Escala= 1:100	Eng ^o	169/01



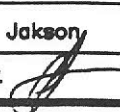
SHELBY ø 3"

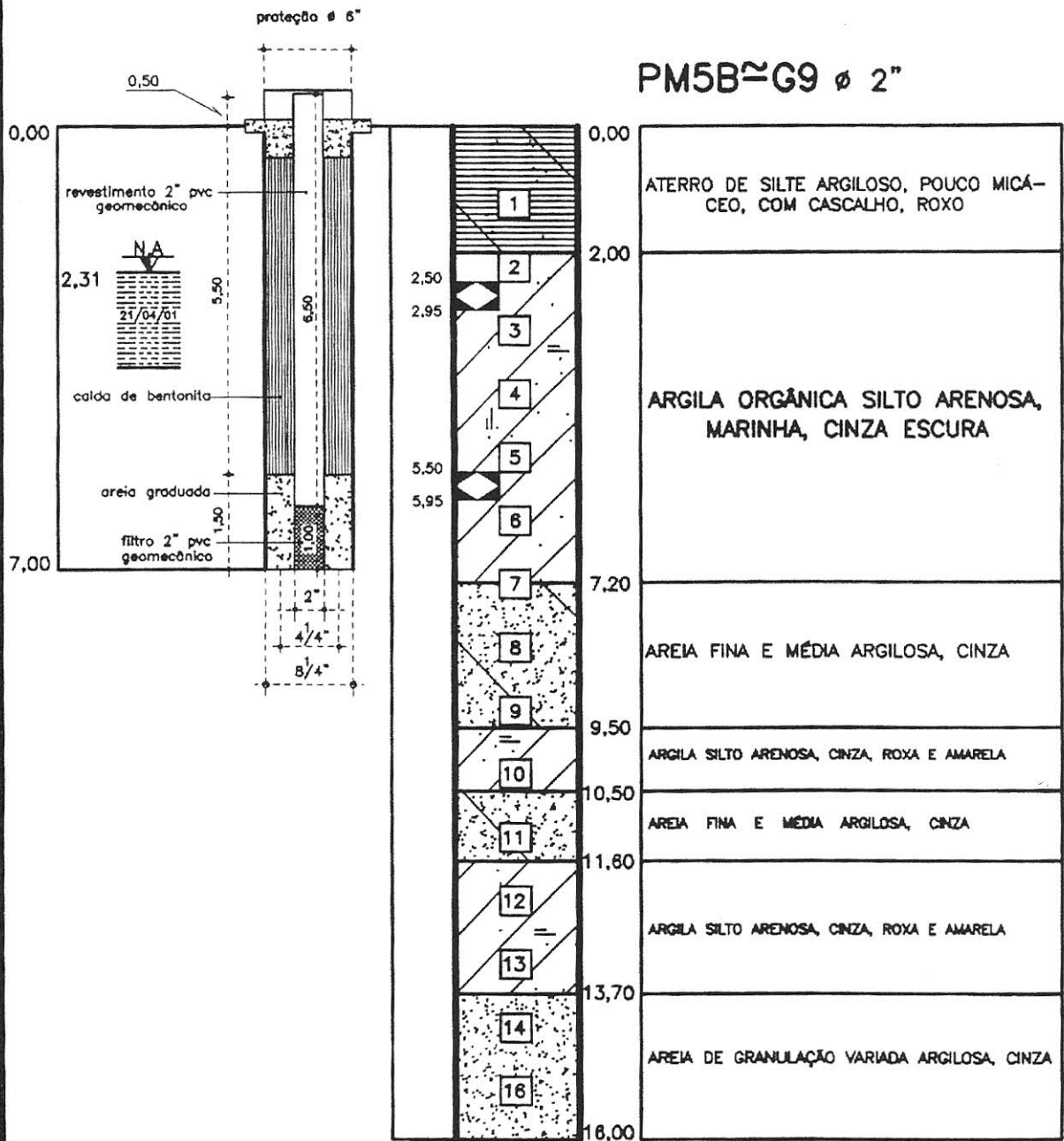
ENGE SOLOS		
ENGENHARIA DE SOLOS E FUNDAÇÕES LTDA CREA 9810		
PETROFLEX INDÚSTRIA E COMÉRCIO S/A		
Rua Marumbi, 600 - Duque de Caxias - RJ		
Perfil individual do subsolo - PM5=G9		
Data. 23/05/01	Des. Jackson	S.P.
Escala= 1:100	Eng ^o	169/01

PM5A≈G9 ø 2"



 SHELBY ø 3"

ENGESOLOS		
ENGENHARIA DE SOLOS E FUNDACOES LTDA CREA 9810		
PETROFLEX INDÚSTRIA E COMÉRCIO S/A		
Rua Marumbi, 600 - Duque de Caxias - RJ		
Perfil individual do subsolo - PM5A=G9		
Data. 23/05/01	Des. Jackson	S.P.
Escala= 1:100	Eng ^o 	169/01



◊ SHELBY Ø 3"

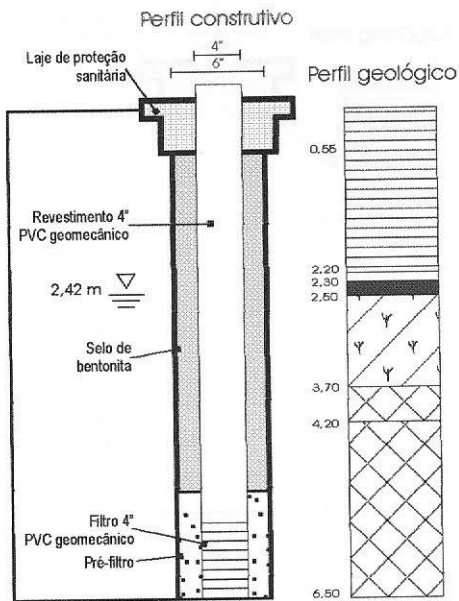
ENGE SOLOS		
ENGENHARIA DE SOLOS E FUNDAÇÕES LTDA CREA 9810		
PETROFLEX INDÚSTRIA E COMÉRCIO S/A		
Rua Marumbi, 600 - Duque de Caxias - RJ		
Perfil Individual do subsolo - PM5B=G9		
Data. 23/05/01	Des. Jackson	S.P.
Escala= 1:100	Eng ^o	169/01



ANEXO 3

Perfis descritivos e construtivos
de poços de monitoramento

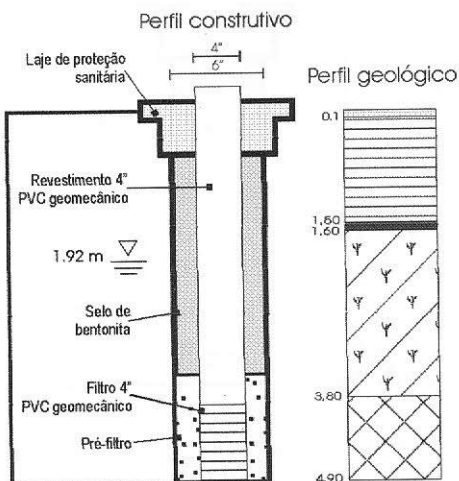
PZ-01



Descrição

Pedregulhos
Turfa
Aterro argilo-arenoso marrom-amarelado
Rocha alterada muito micácea, arenosa, com muito quartzo
turfa
Argila siltosa arenosa marinha, cinza escura, com conchas
Argila siltosa arenosa cinza claro (solo residual)
Areia siltosa micácea, variegada (solo residual)

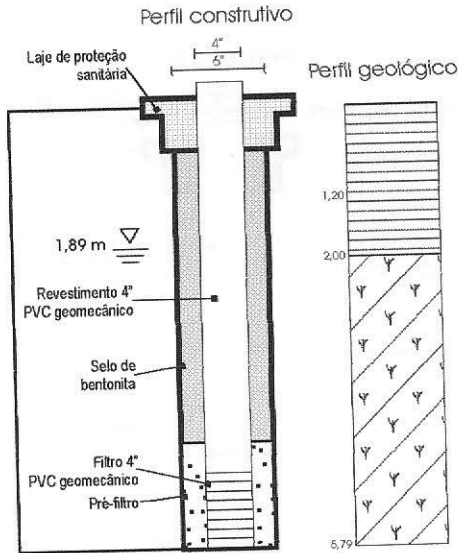
PZ-02



Descrição

Brita
Aterro argilo-arenoso avermelhado
Turfa
fragmentos vegetais
Argila orgânica marinha cinza escura
Fragmentos de conchas
Siltos argilosos micáceos amarelados (solo residual)

PZ-03



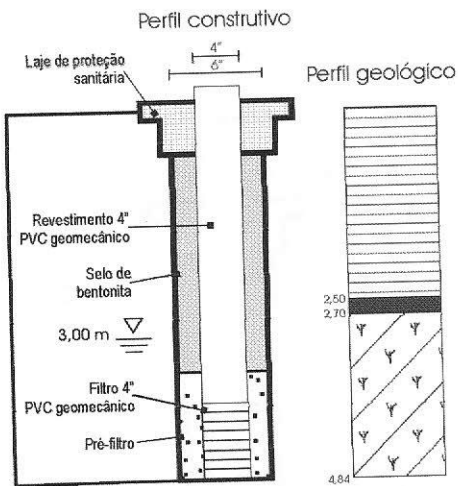
Descrição

Aterro silto-argiloso marrom avermelhado

Silto-arenoso, micáceo

Argila orgânica cinza escura, com fragmentos de conchas e vegetais

PZ-04



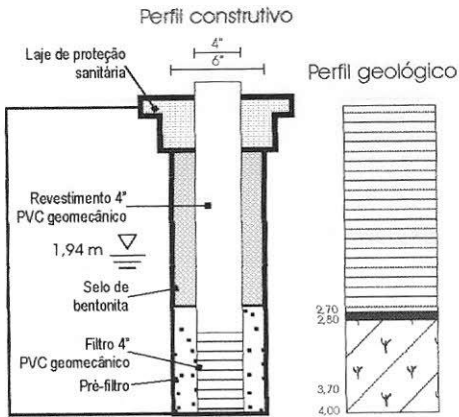
Descrição

Aterro argilo-arenoso

Turfa

Argila orgânica cinza escura

PZ-05



Descrição

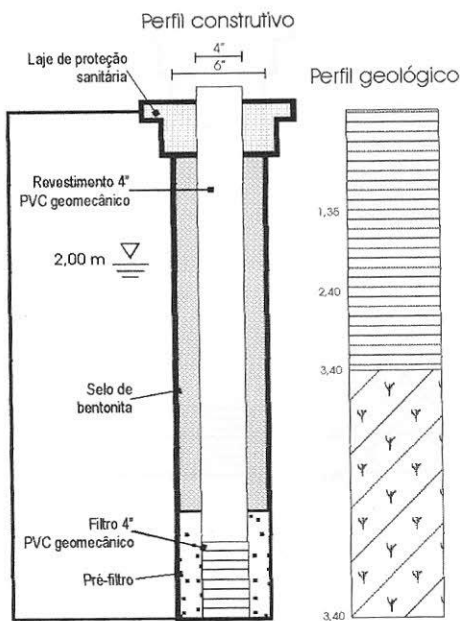
Aterro silto-argiloso vermelho, homogêneo

Turfa

Argila orgânica, cinza escura, com muitas conchas e restos vegetais

Conchas menos abundantes

PZ-06



Descrição

Pedregulhos

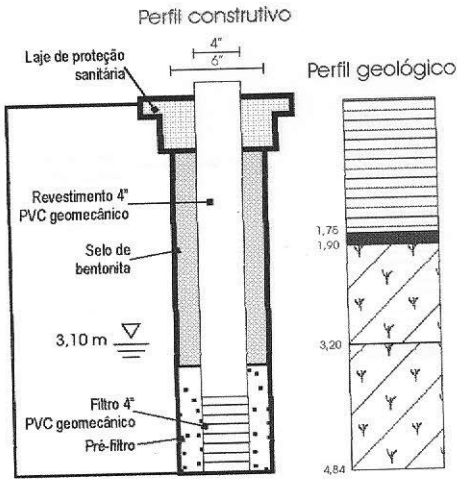
Entulho (borracha, plástico)

Aterro argilo-arenoso, marrom-avermelhado

Fragmentos vegetais

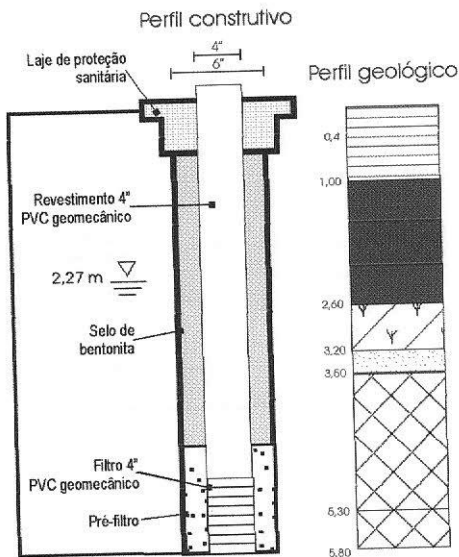
Argila orgânica marinha turfosa, cinza escura

PZ-08



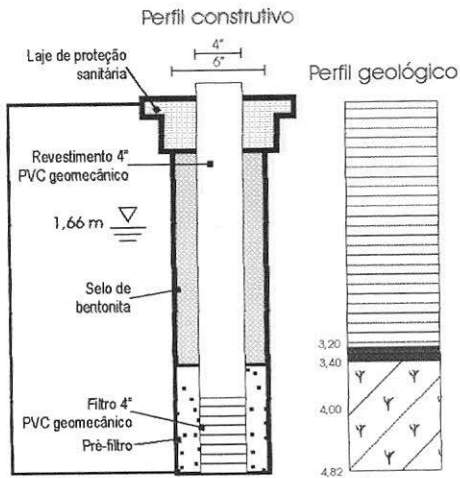
Descrição
Aterro silto-argiloso marrom avermelhado
Turfa
Argila orgânica, cinza escura, com fragmentos vegetais
Argila orgânica, cinza escura, com fragmentos vegetais e de conchas

PZ-09



Descrição
Blocos de rocha
Aterro argilo-siltoso marrom-alaranjado
Turfa
Argila orgânica, cinza escura
Areia
Argila silto-arenosa alaranjada (solo residual)
Areia siltosa mosqueada, cinza e avermelhada (solo residual)

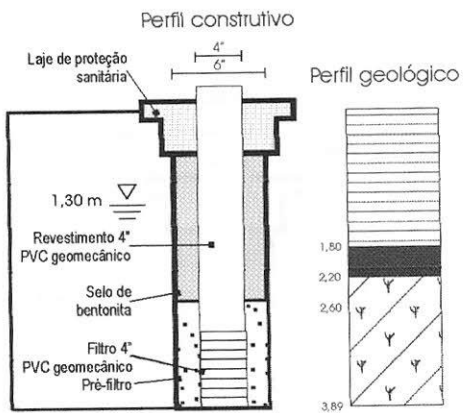
PZ-10



Descrição

Aterro silto-argiloso avermelhado
Turfa
Fragmentos de conchas
Argila orgânica, cinza escura

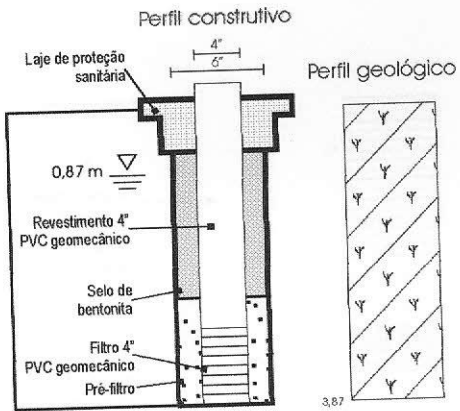
PZ-11



Descrição

Aterro silto-argiloso micáceo
Turfa
Fragmentos vegetais
Argila orgânica cinza

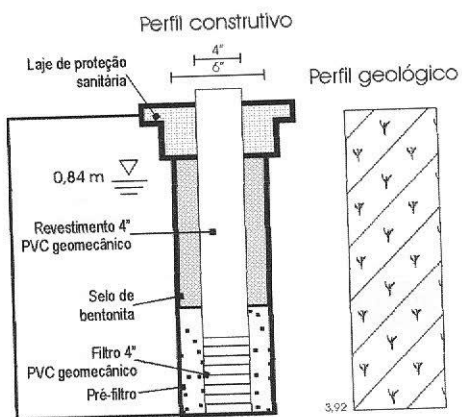
PZ-12



Descrição

Argila orgânica, cinza escura

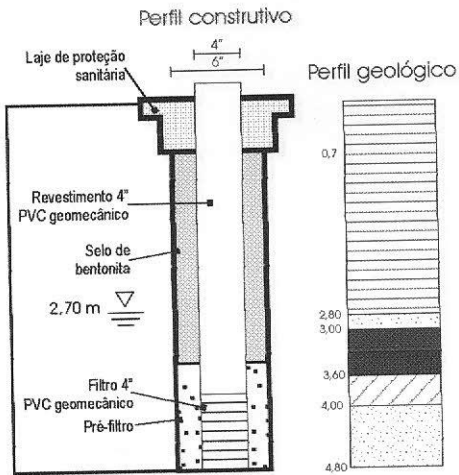
PZ-13



Descrição

Argila orgânica, cinza escura

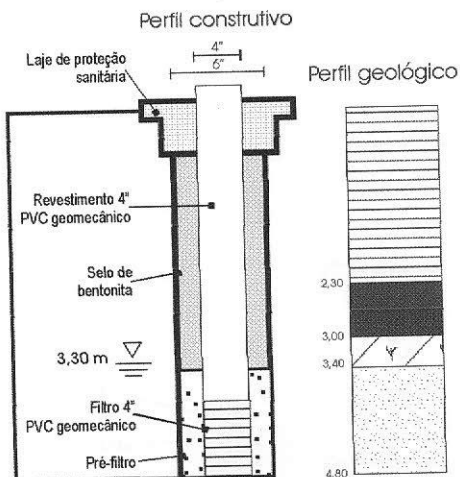
PZ-16



Descrição

Fragmentos de rochas
Aterro argilo arenoso avermelhado
Fragmentos vegetais
Areia grossa, pouco argilosa, cinza
Turfa marrom-acinzentada
Argila silto arenosa
Areia grossa, pouco argilosa, cinza

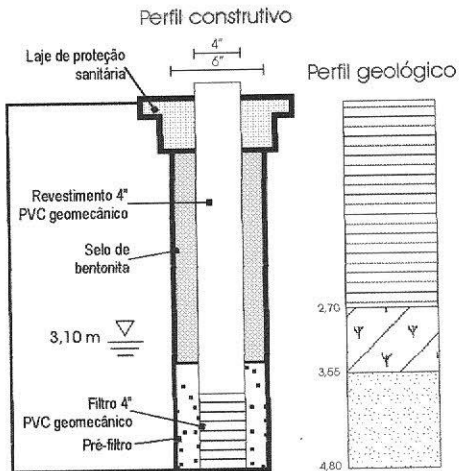
PZ-17



Descrição

Aterro argilo arenoso avermelhado
Turfa
Argila marinha turfosa, cinza escura
Areia grossa pouco argilosa, cinza, com conchas

PZ-18



Descrição

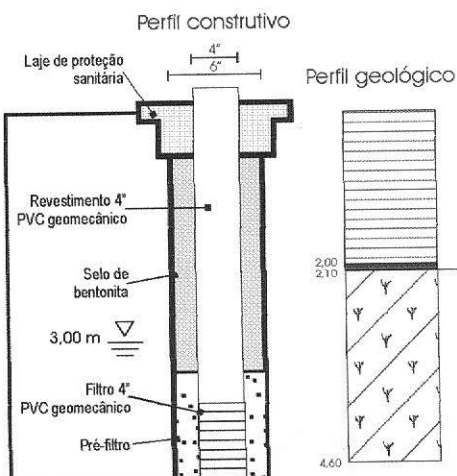
Aterro argilo siltoso avermelhado

Argila marinha cinza escura

Areia pouco argilosa cinza escura

PZ-20

PZ-19



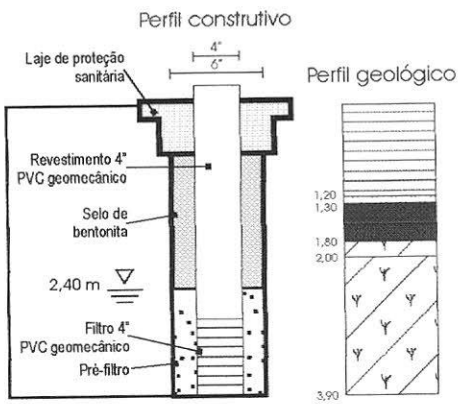
Descrição

Aterro argilo arenoso, cinza amarelado

Turfa

Argila orgânica, cinza escura

PZ-20



Descrição

Aterro silte argiloso, marrom avermelhado
Areia fina à média cinza, com fragmentos de rocha
Turfa
Argila orgânica turfosa, cinza
Argila orgânica cinza escura