

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

**EUCALYREMEDIAÇÃO: UMA NOVA TÉCNICA PARA
A LIMPEZA DE AQUÍFEROS**

Mariana Bernardino Luiz

Orientador: Prof. Dr. Ricardo Hirata

Dissertação de Mestrado

Programa de Pós-Graduação Recursos Minerais e Hidrogeologia

SÃO PAULO
2017

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

Ficha catalográfica preparada pelo Serviço de Biblioteca e Documentação do
Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo

Luiz, Mariana

Eucalyremediação: uma nova técnica para a
limpeza de aquíferos / Mariana Luiz. - São Paulo,
2017.

108 p. + anexos + mapas

Dissertação (Mestrado) : IGc/USP

Orient.: Hirata, Ricardo

1. Água subterrânea 2. Fitorremediação 3.
Eucaliptos 4. Nitrato I. Título

LUIZ, M. B. Fitorremediação de nitrato: uma nova técnica para a limpeza de aquíferos rasos. 2017. 108 f. Dissertação (Mestrado em Hidrogeologia e Meio Ambiente) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2017.

Aprovado em:

Banca Examinadora

Dr. _____
Instituição: _____
Julgamento: _____

Dedico este trabalho aos meus pais,

Pedro e Rosa,

exemplos de perseverança.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço aos meus pais, Pedro e Rosa, pelo amor, carinho, incentivo e compreensão dedicados continuamente, mas que foram intensificados durante a elaboração deste trabalho.

Agradeço ao professor Ricardo Hirata, pela oportunidade e confiança, e principalmente pela orientação, conselhos e lições que levarei para a vida.

Agradeço à minha grande família, especialmente ao irmão Marcio pelos ensinamentos sobre desenhos e projetos, e ao irmão Thiago Borba pelo envolvimento e interesse em todas as etapas da pesquisa, a minha cunhadinha Renata com as infinitas dúvidas no inglês.

Agradeço ao Élvio Saviato pelo tempo despendido na preparação e execução do campo e nas discussões durante a interpretação dos dados, mas principalmente por toda a paciência e apoio.

Agradeço aos amigos do Laboratório de Modelos Físicos – LAMO, especialmente a Ana Rios, Higor Silva, Rafael Terada e Silvia Molinas pelo apoio, carinho e amizade, e ainda mais pelas conversas e discussões que contribuíram essencialmente para melhorar meu entendimento de geologia, química e hidrogeoquímica.

Agradeço ao Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo pela infraestrutura disponibilizada. E com carinho aos funcionários Fernando Saraiva, Sônia, Lúcia, Paulo e ao Samuel que contribuíram com seus ofícios e conselhos para a elaboração deste trabalho.

Agradeço à Estação de Estudos de Ciências Florestais de Itatinga representada pelos funcionários Rildo Moreira, Elaine e Lourival que me receberam muito bem nas instalações da estação. E ao professor José Leonardo de Moraes Gonçalves do Departamento de Ciências Florestais da ESALQ/USP pela ajuda com as dúvidas sobre fisiologia dos eucaliptos.

Agradeço à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo – FAPESP – pelo apoio financeiro através do projeto nº 2012/20124-3 Fitorremediação de nitrato em aquífero freático com uso de eucalipto – FITOREM, e a Fundação CAPES pela bolsa de estudos concedida durante a pesquisa.

Obrigada!

RESUMO

A eficiência de eucaliptos adultos para remover nitrato e cloreto de um aquífero não confinado foi estudada em Itatinga (SP). Uma superfície de 400 m² foi impermeabilizada com uma lona plástica para restringir a umidade na zona não saturada, fazendo com que as raízes das árvores se aprofundassem até o nível freático, a 9 m de profundidade, e ingressassem 5 m na zona saturada. Foram realizadas três campanhas de injeção, com soluções de 500 mg/L (maio de 2015), de 2000 mg/L (outubro de 2015) e 8000 mg/L (agosto de 2016) de nitrato e cloreto. As concentrações de nitrato e cloreto foram monitoradas no tempo em 27 poços distanciados entre si em não mais que 1 m. Poços com diferentes profundidades permitiram delinear verticalmente a pluma da solução. As concentrações, tanto do cloreto como do nitrato, decresceram igualmente ao longo do tempo no poço de injeção. Já os poços a jusante não detectaram tais íons, acreditando-se que os eucaliptos tenham sido capazes da remoção dos íons no aquífero. Na terceira injeção optou-se por investigar, usando-se os isótopos ¹⁵N e ¹⁸O e do cálculo estequiométrico do consumo de nitrato no processo redox, se o processo de desnitrificação também estava ocorrendo no meio. Concluiu-se que apenas 1% do total injetado foi consumido pela desnitrificação e após 624 horas 87% da pluma já havia sido atenuada pela absorção pelas plantas. Assim, a técnica de fitorremediação – Eucalyremediation – mostrou-se uma opção excelente por seu baixo custo, fácil operação e envolver uma opção ambientalmente bem aceita pela sociedade, sem criar resíduos ou consumo de energia de origem antrópica. Particularmente, é uma alternativa em casos onde as fontes de contaminação envolvem grandes áreas e lançam contaminantes por longos períodos de tempo, o que torna métodos ativos proibitivos devido aos custos.

PALAVRAS CHAVES: Eucaliptos; fitorremediação; nitrato; água subterrânea

ABSTRACT

The efficiency of eucalyptus adults to remove nitrate and chloride from a shallow aquifer was studied in Itatinga (SP). The surface of 400 m² area was sealed with a plastic tarp to restrict moisture in the unsaturated zone, causing the roots of the trees to go deeper into the water table to 9 m deep, and would join in the saturated zone at 5 m. Three injection campaigns were carried out, with 500 mg/L solutions (May/2015), 2000 mg/L (October/2015) and 8000 mg/L (August/2016) of nitrate and chloride. Nitrate and chloride concentrations were monitored in time after injection in Wells 27 distanced each other in no more than 1 m, layered for delimitation of the vertical flow multi-level. Concentrations were detected, and it decreased over time. The downstream Wells did not detect such ions, believing that the eucalyptus trees have been capable of removing the ions in the aquifer.

In the third injection we decided to investigate using isotopes ¹⁵N and ¹⁸O and stoichiometric calculation of nitrate consumption in the redox process if the denitrification process was also taking place in the middle.

It was found that only 1% of the total injected was consumed by denitrification and after 87% of the total 624 hours had already been mitigated by absorption by plants.

The technique of phytoremediation – Eucalyremediation – proved to be a great choice for cases of contamination involving active contaminants sources for long periods (such as septic systems or black) or that there is no risk of generation of contaminant loads during the operation of the enterprise, which in the case of landfills and dumps, can span decades.

KEY WORDS: Eucalyptus Trees; phytoremediation; nitrate; groundwater

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Distribuição dos compostos de nitrogênio na natureza.....	17
Figura 2 – Faixas de composição isotópicas de $\delta^{15}\text{N}_{\text{NO}_3}$ e $\delta^{18}\text{O}_{\text{NO}_3}$ e suas origens ...	20
Figura 3 - Localização da EECFI no município de Itatinga, mostrando também seus municípios limítrofes.....	29
Figura 4 - Planimetria da EECFI mostrando as curvas de nível adensadas junto às drenagens e curvas de nível espaçadas compatíveis aos relevos planos, e a hidrografia local	32
Figura 5 - Unidades litoestratigráficas que afloram na região da área de estudo.....	34
Figura 6 - Localização da lona impermeável e das valetas escavadas em meio a plantação de eucaliptos híbridos no lote 48	38
Figura 7 – Em a) lonas de plástico impermeável cobrindo o piso da área do experimento impedindo o processo de infiltração; b) cones invertidos ao redor dos troncos dos eucaliptos impedindo o processo de escoamento pelo tronco; c) valas ao redor da lona são barreiras físicas impedindo o processo de escoamento superficial	39
Figura 8 - Localização das sondagens e poços de observação provisórios instalados nas áreas externa e interna da lona	40
Figura 9 - Perfuração das sondagens	43
Figura 10 - Distribuição dos poços de monitoramento no interior da lona.....	44
Figura 11 - Amostras de solo coletadas durante a perfuração da sondagem S19, em a coleta direta no trado; em b amostras deformadas, e em c amostra indeformada coletada em cilindro	46
Figura 12 - Verificação da topografia relativa dos poços.....	48
Figura 13 - Amostragem de água pelo método de baixa vazão	49
Figura 14 - Dispositivo desenvolvido para a injeção	53
Figura 15 – Raízes de eucaliptos envolvendo o medidor de na em ‘a’, em ‘b’ envolvendo o bailer, em abril de 2014.....	57
Figura 16 – Raízes de eucaliptos na zona não saturada em a, em b na zona saturada	58
Figura 17 - Distribuição vertical das raízes em seção, em ‘a’ raízes interceptadas durante a perfuração da sondagem, em setembro de 2014; e em ‘b’ raízes	

encontradas entre 11,70 e 12,70 m de profundidade, no filtro do PM2A, em agosto de 2016	58
Figura 18 - Abrangência horizontal das raízes na área impermeabilizada.....	59
Figura 19 – Seção do PM-15 ao PM-14	61
Figura 20 – Variação do nível d'água nos poços localizados na área de superfície coberta de outubro de 2014 a setembro de 2015.....	64
Figura 21 – Variação do nível d'água nos poços localizados na área de superfície descoberta de outubro de 2014 a setembro de 2015.....	64
Figura 22 – Média dos níveis d'água dos poços localizados na área de superfície coberta versus precipitação mensal de outubro de 2014 a setembro de 2015	65
Figura 23 – Nível d'água dos poços localizados na área de superfície descoberta versus precipitação mensal de outubro de 2014 a setembro de 2015	65
Figura 24 - Potenciometria do aquífero em janeiro de 2015, em (a) a interpolação das cargas hidráulicas dos poços com filtro de profundidade entre 8,60 e 9,80 m, em (b) dos poços com filtro entre 11,60 e 12,80 m na área coberta pela lona.....	66
Figura 25 - Potenciometria do aquífero em julho de 2015, em (a) a interpolação das cargas hidráulicas dos poços com filtro de profundidade entre 8,60 e 9,80 m, em (b) dos poços com filtro entre 11,60 e 12,80 m na área coberta pela lona	67
Figura 26 – Condutividade hidráulica horizontal (m/s)	70
Figura 27 – Volume da precipitação utilizado pelos mecanismos controladores da recarga do aquífero	73
Figura 28 – Diagrama de Piper	76
Figura 29 – Plumagens de nitrato e cloreto nos tempos 6, 72 e 168 horas após a primeira injeção	78
Figura 30 – Configuração das plumagens de nitrato (a) (6, 36, 132 e 192 horas) e cloreto (b) (18, 108, 120 e 240 horas) em seção na primeira injeção	79
Figura 31 – Decaimento das concentrações do cloreto e nitrato no tempo na primeira campanha de injeção	80
Figura 32 – Comportamento do oxigênio dissolvido nos poços PM2, PM2A e PM2B na segunda injeção	81
Figura 33 – Comportamento do ORP nos poços PM2, PM2A e PM2B na segunda injeção.....	81
Figura 34 - Concentração do cloreto e nitrato no PM-02 no tempo na segunda campanha de injeção	82

Figura 35 – Pluma de nitrato e cloreto nos tempos 6 e 24 horas após a segunda injeção	83
Figura 36 – Configuração das plumas de nitrato (a) e cloreto (b) em seção na segunda injeção	84
Figura 37 - Concentração do cloreto e nitrato no PM-02 no tempo na terceira injeção	85
Figura 38 - Gráfico de isótopos de ^{18}O e ^{15}N mostrando a posição das amostras em relação as assinaturas isotópicas e suas origens	88
Figura 39 – Evolução do nitrato vs nitrito no tempo	89
Figura 40 – Pluma de nitrato e cloreto nos tempos 3 e 552 horas após a terceira injeção	90
Figura 41 - Evolução da pluma de cloreto e nitrato em seção nos tempos 3 e 552 horas após a terceira injeção	92

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Espécies de nitrogênio, estados de oxidação e origens.....	16
Tabela 2 – Casos de fitorremediação.....	24
Tabela 3 – Casos de fitorremediação por eucaliptos	25
Tabela 4 - Usos do solo ao redor do lote 48.....	30
Tabela 5 - Informações das sondagens perfuradas e dos poços instalados na área do experimento em janeiro de 2014	41
Tabela 6 - Informações das sondagens perfuradas na área do experimento entre janeiro de 2014 e julho de 2016	42
Tabela 7 - Características dos poços de monitoramento instalados	45
Tabela 8 - Características das amostras de solo e métodos analíticos adotados para determinação dos parâmetros.....	47
Tabela 9 - Faixas de leitura da sonda multiparamétrica para os parâmetros físico-químicos.....	49
Tabela 10 - Limite de quantificação do equipamento DIONEX	50
Tabela 11 - Métodos analíticos seguidos para análise da água subterrânea.....	51
Tabela 12 - Equipamentos utilizados para determinação dos compostos nas campanhas de injeção	55
Tabela 13 - Descrição dos compostos e métodos de análises utilizados nas campanhas de injeção	56
Tabela 14 - Periodicidade e intervalos dos trabalhos realizados.....	56
Tabela 15 - Quantidade de partículas em porcentagem, segundo o seu tamanho, distribuídas em amostras de solo coletadas durante a perfuração da sondagem S19 em profundidades nas quais foram observadas visualmente mudança na textura ...	62
Tabela 16 - Porosidade efetiva e porosidade real determinada em amostra indeformada de solo (AI-01) coletada na zona capilar do perfil (9 m de profundidade) durante a perfuração da sondagem S19	62
Tabela 17 - Quantidade de carbono orgânico em g.Kg ⁻¹ em amostras de solo coletadas durante a perfuração da sondagem S-19 de metro em metro nas zonas saturada e insaturada do solo	63
Tabela 19 – Comparativo entre carga hidráulica e profundidade da seção filtrante..	68
Tabela 20 - Condutividade hidráulica	69

Tabela 21 - Velocidade do fluxo da água subterrânea	70
Tabela 22 - Valores de C e α	71
Tabela 23 - Água disponível em mm na zona não saturada do solo.....	72
Tabela 41 - Teor de carbono orgânico dissolvido nas amostras coletadas no PM-02 408 e 624 após a injeção e na solução (mg/L).....	86
Tabela 42 - Valores das análises de isótopos de ^{18}O e ^{15}N	87

ANEXOS

ANEXO 1 – Tabelas

Tabela 18 – Dados de nível d'água e carga hidráulica nos poços de outubro de 2014 à janeiro de 2017

Tabela 24 - Concentração de cátions e ânions (mg/L) em amostras de água subterrânea coletadas nos poços de monitoramento em outubro de 2014

Tabela 25 - Concentrações de compostos (mg/L) em amostras de água subterrânea coletadas nos poços de monitoramento antes da injeção

Tabela 26 – Parâmetros físico-químicos na campanha background

Tabela 27 - Físico-químicos da primeira campanha de injeção – maio de 2015

Tabela 28 - Concentração de nitrato (mg/L) em amostras de água subterrânea coletadas nos poços de monitoramento em diferentes momentos (horas) após a primeira campanha de injeção da solução rica em nitrato e cloreto no PM-02 realizada em maio de 2015

Tabela 29 - Concentração de cloreto (mg/L) em amostras de água subterrânea coletadas nos poços de monitoramento em diferentes momentos (horas) após a primeira campanha de injeção da solução rica em nitrato e cloreto no PM-02 realizada em maio de 2015

Tabela 30 - Concentração de amônio (mg/L) em amostras de água subterrânea coletadas nos poços de monitoramento em diferentes momentos (horas) após a primeira campanha de injeção da solução rica em nitrato e cloreto no PM-02 realizada em maio de 2015

Tabela 31 - Físico-químicas da segunda campanha de injeção – agosto de 2015

Tabela 32 - Concentração de nitrato (mg/L) em amostras de água subterrânea coletadas nos poços de monitoramento em diferentes momentos (horas) após a segunda campanha de injeção da solução rica em nitrato e cloreto no PM-02 realizada em agosto de 2015

Tabela 33 - Concentração de cloreto (mg/L) em amostras de água subterrânea coletadas nos poços de monitoramento em diferentes momentos (horas) após a segunda campanha de injeção da solução rica em nitrato e cloreto no PM-02 realizada em agosto de 2015

Tabela 34 - Concentração de amônio (mg/L) em amostras de água subterrânea coletadas nos poços de monitoramento em diferentes momentos (horas) após a segunda campanha de injeção da solução rica em nitrato e cloreto no PM-02 realizada em agosto de 2015

Tabela 35 - Físico-químicos da terceira campanha de injeção – Condutividade Elétrica ($\mu\text{s}/\text{cm}$) – agosto de 2016

Tabela 36 - Físico-químicos da terceira campanha de injeção – ORP (m/V) – agosto de 2016

Tabela 37 - Físico-químicos da terceira campanha de injeção – Oxigênio Dissolvido (mg/L) – agosto de 2016

Tabela 38 - Físico-químicos da terceira campanha de injeção – pH – agosto de 2016

Tabela 39 - Físico-químicos da terceira campanha de injeção – Temperatura ($^{\circ}\text{C}$) – agosto de 2016

Tabela 40 - Concentração de nitrato (mg/L) em amostras de água subterrânea coletadas nos poços de monitoramento em diferentes momentos (horas) após a terceira campanha de injeção da solução rica em nitrato e cloreto no PM-02 realizada em agosto de 2016

Tabela 41 - Concentração de cloreto (mg/L) em amostras de água subterrânea coletadas nos poços de monitoramento em diferentes momentos (horas) após a terceira campanha de injeção da solução rica em nitrato e cloreto no PM-02 realizada em agosto de 2016

ANEXO 2 – Perfis

ANEXO 3 – Ensaio de permeabilidade

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	14
1.1	JUSTIFICATIVA.....	14
1.2	OBJETIVOS.....	15
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
2.1	NITRATO	16
2.1.1	Fontes de NO₃ e seu comportamento	16
2.1.2	Isótopos de N	19
2.1	MÉTODOS DE FITORREMEDIAÇÃO NA RECUPERAÇÃO DE RECURSOS NATURAIS CONTAMINADOS POR ATIVIDADES ANTRÓPICAS.....	20
2.2	A FISILOGIA DOS EUCALIPTOS E SUA ADEQUAÇÃO COMO AGENTE FITORREMEIADOR	26
3	DESCRIÇÃO DA ÁREA.....	29
3.1	LOCALIZAÇÃO E USO E OCUPAÇÃO.....	29
3.2	FISIOGRAFIA.....	31
3.2.1	Hidrografia e clima.....	31
3.2.2	Geomorfologia.....	33
3.2.3	Geologia.....	33
3.2.4	Hidrogeologia e hidrogeoquímica	35
4	MATERIAIS E MÉTODOS	38
4.1	FASE I – PREPARAÇÃO DA ÁREA ANTES DA IMPLANTAÇÃO DO EXPERIMENTO	38
4.2	FASE II – CARACTERIZAÇÃO PRELIMINAR DO SUBSOLO LOCAL	39
4.3	FASE III – CARACTERIZAÇÃO DA HIDROGEOLOGIA E DA HIDROGEOQUÍMICA DO AQUÍFERO LOCAL.....	41
4.3.1	Perfuração de sondagens e instalação de poços de monitoramento ...	41
4.3.2	Amostragem de solo.....	46
4.3.3	Levantamento planialtimétrico.....	48
4.3.4	Amostragem de água.....	48
4.3.4.1	Caracterização hidrogeoquímica do aquífero local.....	48
4.3.4.2	Background para os parâmetros de interesse	50
4.3.5	Ensaio de permeabilidade – Slug Test.....	51

4.4	INJEÇÃO DA PLUMA DO NUTRIENTE NITRATO E DO TRAÇADOR CLORETO, E MONITORAMENTO DA ÁGUA SUBTERRÂNEA.....	53
4.4.1	Instalação do equipamento para injeção	53
4.4.2	Preparação da solução de injeção e injeção	54
4.4.3	Monitoramento da água subterrânea, métodos de análises e calibração dos equipamentos.....	55
5	RESULTADOS	57
5.1	INTERAÇÃO DAS RAÍZES COM O AQUÍFERO.....	57
5.2	CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA	60
5.2.1	Litologia e características hidráulicas	60
5.2.1.1	Variação dos níveis d'água em resposta à precipitação	63
5.2.1.2	Potenciometria do aquífero.....	66
5.2.1.3	Parâmetros hidráulicos	68
5.2.1.4	Balanço hídrico e cálculo da recarga	71
5.2.1.5	Modelo conceitual de circulação	74
5.2.2	Caracterização hidrogeoquímica.....	74
5.3	TESTES DE FITORREMEDIAÇÃO	76
5.3.1	Primeira injeção	76
5.3.2	Segunda injeção.....	80
5.3.3	Terceira injeção	84
5.3.3.1	Parâmetros físico-químicos.....	84
5.3.3.2	Evolução das concentrações de nitrato e cloreto.....	85
6	CONCLUSÕES.....	93
7	REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA	95

1 INTRODUÇÃO

1.1 JUSTIFICATIVA

O nitrato é um dos contaminantes mais comuns em aquíferos freáticos em todo o mundo; sendo particularmente um grande problema tanto em áreas urbanas como rurais. Sua origem está associada ao esgotamento sanitário, e no segundo caso, pelo uso inadequado de fertilizantes. A rede de monitoramento das águas subterrâneas do Estado de São Paulo (CETESB, 2012) tem detectado o nitrato em um número cada vez maior de poços e em concentrações cada vez mais elevadas, que em alguns casos, faz com que poços de abastecimento público sejam abandonados.

O nitrato é um sério contaminante em aquíferos não tanto pela sua toxicidade, que é baixa (45 mg/L – NO₃; MS Portaria 2914), mas porque a pluma contaminante, geralmente associada a fontes multipontuais ou dispersas, atinge grandes áreas (em oposição às plumas de fontes pontuais), encarecendo ou impossibilitando tecnicamente a remediação das águas subterrâneas (FOSTER & HIRATA, 1988; FOSTER et al., 2002). O grande volume de água contaminada impossibilita que técnicas convencionais de limpeza de aquíferos *in situ* sejam viáveis e cria a necessidade de desenvolver técnicas de baixo custo e de fácil operação no campo. Estes foram os principais motivadores desta pesquisa.

Essa dissertação apresenta os resultados obtidos durante experimentos que testaram a eficiência da fitorremediação, para reduzir concentrações de nitrato em aquíferos rasos. Os trabalhos foram realizados em uma fazenda de eucaliptos híbridos no município de Itatinga (SP), área de propriedade da Universidade de São Paulo – USP, entre novembro de 2013 e janeiro de 2017.

1.2 OBJETIVOS

O principal objetivo desta pesquisa foi o de desenvolver um processo de limpeza de aquíferos não confinados, contaminados por nutrientes, particularmente o nitrato, através do uso de eucaliptos.

Os objetivos específicos foram: i) entender a habilidade e a profundidade que o eucalipto tem de absorver água da zona saturada de um aquífero; ii) calcular a capacidade de ingestão de nitrato pelo eucalipto, buscando estabelecer as concentrações máximas de absorção pela planta e a sua eficiência na limpeza do aquífero.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 NITRATO

2.1.1 Fontes de NO_3 e seu comportamento

O nitrogênio (N) é um elemento essencial ao crescimento de todas as formas de vida do planeta (OVERBACK, 1970). Ocorre entre os estados de oxidação de -3 (NH_4), sua forma mais reduzida, até +5 (NO_3), sua forma mais oxidada (**Tabela 1**) (KEHEW, 2001). Entretanto, quando as concentrações superam a 10 mg/L de N- NO_3 (Ministério da Saúde 2011), a ingestão de água de pode causar doenças como metahemoglobina, conhecida como síndrome do bebe azul, e câncer (WHO, 2011).

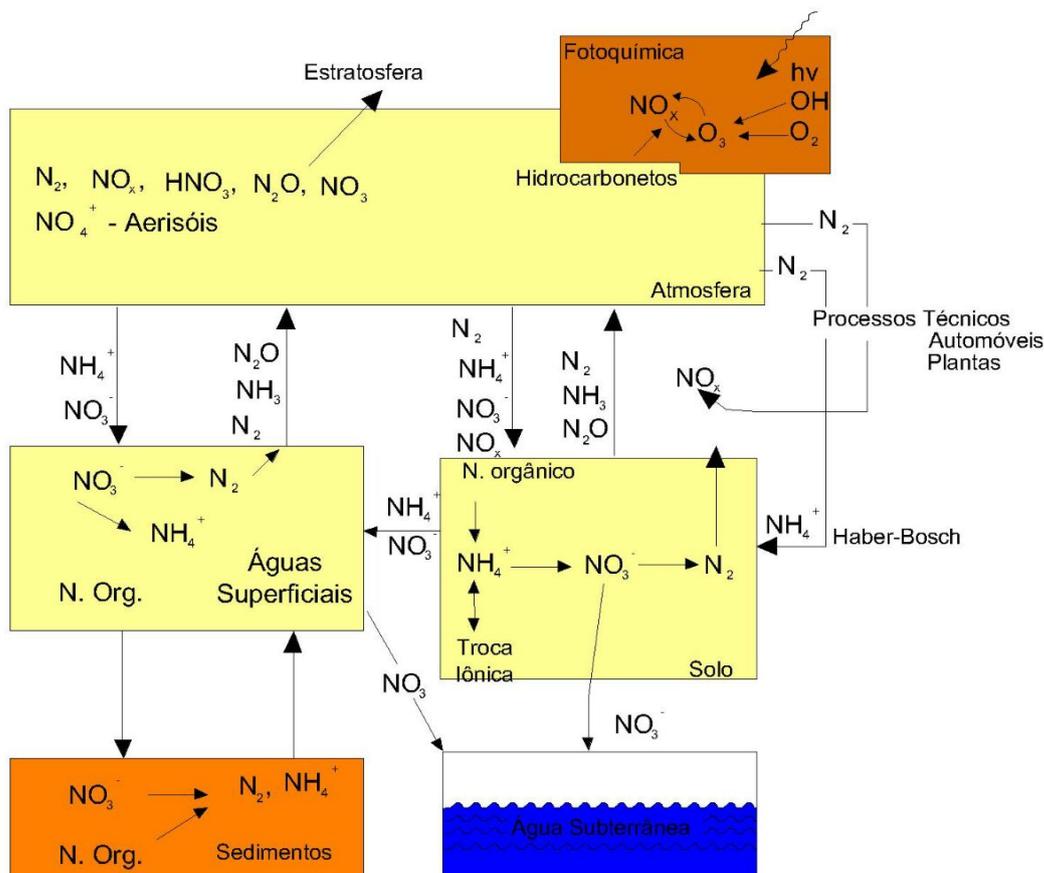
Tabela 1 - Espécies de nitrogênio, estados de oxidação e origens

Espécie	Nome	Estado de oxidação	Fonte
NO_3^-	Nitrato	+5	Fertilizantes, efluentes domésticos e industriais
NO_2 (g)	Dióxido de nitrogênio	+4	Combustíveis fósseis
NO_2^-	Nitrito	+3	Fase intermediária da nitrificação e desnitrificação
NO (g)	Óxido nitroso	+2	Combustíveis fósseis
N_2O (g)	Óxido nítrico	+1	Combustíveis fósseis (fase intermediária da nitrificação)
N_2 (g)	Gás nitrogênio	0	Fertilizante, atividade biológica, atmosfera
NH_4^+ , NH_3 (g)	Amônio, Amônia	-3	Fertilizantes, excremento de animais, efluentes domésticos e industriais

Fonte: STUMM & MORGAN, 1996

Esse elemento na natureza, é encontrado com abundância na atmosfera, ocupa cerca de 80 % do seu volume principalmente na forma de N_2 , mas também pode ser encontrado no solo, oceanos, lagos, águas superficiais e subterrânea (**Figura 1**) (HEM, 1989).

Figura 1 - Distribuição dos compostos de nitrogênio na natureza



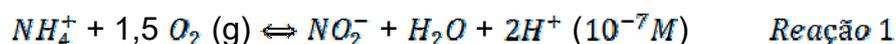
Fonte: modificado de STUMM & MORGAN, 1996

Essa movimentação do elemento entre os ecossistemas é conhecida como Ciclo do Nitrogênio, no qual os principais agentes de transporte são o vento a água e as atividades microbiológicas (STUMM & MORGAN, 1996). Nele o N_2 encontrado na atmosfera, quando chega ao solo é *fixado* pelas bactérias cianobactérias e simbiontes, presentes nos nódulos das raízes de leguminosas e outras plantas no processo denominado Fixação do nitrogênio (MOTTA, 2001).

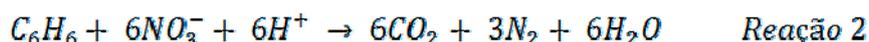
Com a morte desses microrganismos, o nitrogênio na forma de gás amônia NH_3 é liberado no solo, e em ambientes alcalinos ($pH > 8$) se equilibra para a espécie iônica NH_4 no processo de Amonificação (SCHMIDT, 1982).

Outras fontes de NH_4 no solo são os fenômenos meteorológicos (raios), liberação do nitrogênio encontrado na crosta pelos vulcões, a fixação industrial pelo processo chamado Haber-Bosch na produção de fertilizantes (BERKOWITZ et al., 2008), e a decomposição da matéria orgânica depositada no solo (estrupe animal, esgotos, lodos, resíduos de culturas agrícolas e raízes) (VARNIER, 2007).

Em ambientes oxidantes o NH_4 é oxidado para NO_3 no processo de nitrificação (HEM, 1989). Esse processo é fundamental para a disponibilização de nutrientes no solos, nos ecossistemas terrestre e aquático e em sedimentos, em duas etapas: 1) a oxidação de NH_4 para nitrito NO_2 e na sequência 2) a oxidação do NO_2 para NO_3 (SCHMIDT, 1982).



O NO_3 pode ser consumido pelas plantas no processo de Assimilação assim como o NH_4 , mas por ser móvel e pouco reativo pode chegar aos corpos d'água superficial e subterrânea (SCHMIDT, 1982). Mas naturalmente o NO_3 pode ser reduzido a NO_2 , e em seguida a N_2O e N_2 , (Reação 2) sendo o processo completo denominado desnitrificação (KEHEW, 2001).



A redução do NO_3 ocorre em ambientes anaeróbicos em solos, sedimentos marinhos e aquíferos, onde estão as bactérias anaeróbicas e facultativas (BERKOWITZ et al., 2008) que possuem as enzimas necessárias à reação (KEHEW, 2001). Como as bactérias necessitam de energia para realizar a desnitrificação, a quantidade de carbono orgânico disponível no meio (BERKOWITZ et al., 2008) pode limitar a reação, porém o ferro e o enxofre também podem suprir essa necessidade (PEDERSEN et al., 1991).

Segundo Firestone (1982) a temperatura e o pH também são fatores limitantes a atividade microbiana. O pH ótimo para a atividade dos microrganismos desnitrificantes é entre 7 e 8 pH e, em solos ácidos essa atividade é inibida, ou seja, em pH < 5 forma-se NO₂ e N₂O.

Concentrações de NO₃ muito altas, cerca de 4 mg/L inibem a formação de N₂, resultando na formação de NO₂ e N₂O (MAGALHÃES et al., 2003).

2.1.2 Isótopos de N

O Nitrogênio é um elemento não metálico que possui dois isótopos estáveis: o ¹⁴N e o ¹⁵N. De ocorrência natural, estes estão disponíveis no meio na proporção de 99,6 % e 0,34 %, respectivamente (REIMANN, 1998).

A quantidade dos δ¹⁵N_{NO3} e δ¹⁸O_{NO3} é empregado para estudos hidrogeológicos principalmente para a identificação das fontes de nitrato em contaminações da água subterrânea e processos associados, como a desnitrificação (CLARK e FRITZ, 1997). O uso dos isótopos possibilita a reconstrução dos caminhos do nitrogênio dentro do ciclo do nitrogênio a partir das razões isotópicas.

A razão isotópica sempre se dá entre os isótopo raro e o abundante, porém como esse valor de diferença de massa é muito pequeno, é usado como valor uma razão relativa entre os isótopos, entre a amostra e um padrão (IAEA, 2001). Este valor é chamado de delta (δ), medido em permil (‰) e pode ser representado pela equação 1.1 (CLARK e FRITZ, 1997).

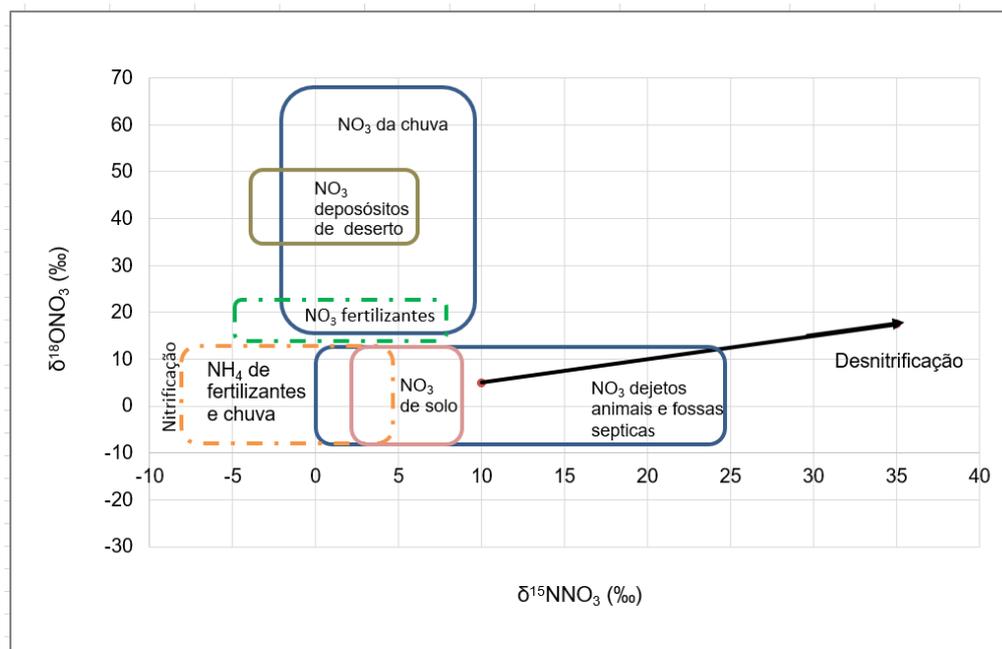
$$\delta_{amostra} = \left[\frac{R_{amostra} - R_{padrão}}{R_{padrão}} - 1 \right] \times 100\text{‰}$$

Os padrões adotados internacionalmente para análises dos isótopos estudados são o nitrogênio atmosférico e o VSOMW (CLARK e FRITZ, 1997). Os processos de nitrificação e desnitrificação são os principais processos que modificam a composição isotópica do nitrogênio na água subterrânea (CLARK e FRITZ, 1997).

A nitrificação pode empobrecer ou enriquecer a amônia residual em ^{15}N . No caso da desnitrificação, o ^{15}N e o ^{18}O são empobrecidos no produto e enriquecidos no residual, por isso o nitrato que é isotopicamente enriquecido é utilizado como evidência da desnitrificação microbiológica (CLARK e ARAVENA, 2005). O fracionamento isotópico dos compostos de nitrogênio no nitrato na água subterrânea também pode ocorrer durante a volatilização, a mineralização e na mistura de águas subterrânea (KENDAL e ARAVENA, 2000).

Em cada um desses processos, os isótopos de $\delta^{15}\text{N}_{\text{NO}_3}$ e $\delta^{18}\text{O}_{\text{NO}_3}$ possuem composições isotópicas em faixas de valores que podem caracterizam a sua origem (**Figura 2**).

Figura 2 – Faixas de composição isotópicas de $\delta^{15}\text{N}_{\text{NO}_3}$ e $\delta^{18}\text{O}_{\text{NO}_3}$ e suas origens



Fonte: Clark e Aravena, 2005

2.1 MÉTODOS DE FITORREMEDIAÇÃO NA RECUPERAÇÃO DE RECURSOS NATURAIS CONTAMINADOS POR ATIVIDADES ANTRÓPICAS

Fitorremediação é um conjunto de tecnologias ambientais que utiliza plantas (phyto) para descontaminar (remediation) ambientes como o solo, águas superficiais e subterrâneas (EPA, 2012).

Possuir mecanismos para degradar, extrair e conter muitas substâncias, conforme já sabido pela agricultura, silvicultura e horticultura, é o que confere às plantas o caráter fitorremediador (EPA, 2001).

Diferentes técnicas de fitorremediação foram classificadas pela forma como as plantas relacionam-se com os contaminantes e o meio em: (ITRC, 2009; ETIM, 2012, EPA, 2000):

- 1) Fitoextração: é a técnica em que a planta absorve contaminantes pelas raízes, nas quais a acumula. Quando esses compostos não são eliminados pelos seus mecanismos fisiológicos, a planta deve ser destinada como resíduo.
- 2) Rizofiltração: é a técnica na qual as raízes das plantas absorvem ou precipitam os contaminantes contidos na solução ao seu redor. Para isso são empregadas plantas terrestres ou aquáticas dentro de tanques preparados para receber águas superficiais, subterrâneas e águas residuais contaminadas.
- 3) Fitovolatilização: a planta absorve o composto que será convertido e liberado na atmosfera durante a evapotranspiração do vapor de água pelas folhas.
- 4) Fitoestabilização: é a técnica onde os contaminantes são absorvidos e acumulados nas raízes, adsorvidos, ou precipitados na rizosfera reduzindo assim a mobilidade dos mesmos. Usada também para reflorestar áreas onde o solo está contaminado, pode remediar solo, sedimentos e lodo ao mudar o estado químico do solo.
- 5) Fitodegradação: é a técnica onde os compostos absorvidos pela planta, são degradados no seu interior. Quando as moléculas dos contaminantes chegam aos tecidos das plantas, estes são convertidos a moléculas simples, menos nocivas.
- 6) Fitoestimulação ou rizodegradação: é a técnica onde os contaminantes são degradados dentro das raízes ou rizosfera, por meio de microrganismos ou bactérias.

Dentro dessas técnicas, o documento “A Citizen's Guide to Phytoremediation” da EPA (EPA, 2012), enumera as características que uma planta fitorremediadora deve: 1) ser capaz de desenvolver-se mesmo na presença do contaminante; 2) ser planta típica da área de estudo ou se desenvolver no solo e clima local; e 3) atuar na profundidade contaminada.

A fitorremediação acontece em virtude de as plantas absorverem do meio os nutrientes essenciais aos seus processos bioquímicos. Esses nutrientes são classificados em macronutrientes (nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, enxofre, carbono, oxigênio e hidrogênio (MALAVOLTA, 1998)), e micronutrientes, devido a importância de cada um na fisiologia das plantas (OVERBEEK, 1970).

Além dos nutrientes, trabalhos de campo e pesquisas em laboratórios confirmam que as plantas são capazes de absorver contaminantes como metais pesados (COVARRUBIAS e CABRIALES, 2017), hidrocarbonetos, compostos aromáticos, solventes clorados, explosivos e bifenilos policlorados (PCB) (SUSARLA, 2002 e EPA, 2010).

Barac et al. (2009) avaliou a eficiência do *Poplars trees* e de microorganismos presentes em suas raízes na remoção do BTX na água subterrânea.

Mcmullin (1993) patenteou o processo de uso de cenouras para absorver diclorodifenil-tricloro-etano. Porém, com o término da fitorremediação as cenouras deveriam ser secas e incineradas.

Em 2008, Nalon concluiu que as espécies *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna* destacaram-se como hiperacumuladoras de chumbo na região das raízes, nessa pesquisa ele demonstrou que a mobilidade do chumbo para as partes aéreas da planta foi baixa.

Buosi & Felfili (2004) constataram a eficiência das espécies *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus citriodora* em absorver os compostos organoclorados do solo.

Marchiol et al. (2013) estudaram a fitoextração de antimônio pela espécie *Eucalyptus camaldulensis*. Ele observou que o antimônio fica acumulado nas folhas da planta.

Zhang (1999) realizou um experimento em laboratório para tratar MTBE (éter metil terbutílico) na água subterrânea, utilizando a técnica de fitorremediação. Neste caso, foi utilizada a alfafa associada a bactérias *Rhodococcus* e *Arthobacter*, capazes de degradar o MTBE.

A pesquisa de Hong (2001) avaliou em campo e em laboratório a capacidade do *Populus* de absorver MTBE. Os resultados preliminares mostraram que o MTBE encontrado no aquífero (nível d'água a 3 m) pode ser removido pelo *Populus*. A **Tabela 2** apresenta a eficiência de algumas espécies para a fitorremediação e a **Tabela 3** apresenta casos de fitorremediação por eucaliptos.

Tabela 2 – Casos de fitorremediação

Local	Meio	Contaminante	Eficiência	Referência
Brasil	Solo – Casa de vegetação	Cromo, Zinco, Chumbo, Níquel e Cádmiio	Mostarda da Índia: Cr 37%, Pb 39%, Ni 68%, Cd 0% Capim Braquíaria: Pb 40%, Cr 62%, Ni 88%, Cd 0%	Martinez, 2013
Sri Lanka	Água – Casa de vegetação	Nitrogênio-Nitrato, Fosforo	Alface d'água: N-NO3 91%, P 99% Espinafre d'água: N-NO3 75%, P 83% Aguapé: N-NO3 63%, P 97%	Sundaralingam, 2014
EUA	Água subterrânea	Hidrocarbonetos (gasolina, diesel e combustível de avião)	3.250 Choupos híbridos, Álamos e Pinheiros diminuíram de 99% a massa de BTEX e 95% de TPH. Os Choupos resistiam a toxicidade. Alguns álamos e o pinheiros morreram com a exposição aos contaminantes	Nichols <i>et al.</i> 2014
Índia	Água residual de mina – teste de bancada	Cromo hexavalente	Aguapé (<i>Eichhornia crassipes</i>): 99,5%, Ca 37%, Mg 22%, Si 20%, SO₄²⁻ 18%, STD 19%	Saha <i>et al.</i> 2016
Japão	Solo – Casa de vegetação	TPH (diesel)	Gazania: TPH 45 a 49% Minosa, Zinnia e Esqueletinho-de-jardim morreram	Ikeura <i>et al.</i> 2016

Tabela 3 – Casos de fitorremediação por eucaliptos

O que	Como	Onde	Quando	Resultados	Referência	Autor
Avaliar a resistência do eucalipto <i>Grandis</i> à ambientes concentrados em chumbo	Foram criadas 3 réplicas de ambientes hidropônicos com soluções ricas em chumbo com concentrações de 7, 14, 28 e 56 mg/L. Neles foram plantadas árvores de 5 semanas de idades retiradas de uma fazenda.	China	2011	Não foram verificados sintomas de toxicidade nas árvores de <i>E. urophylla</i> X <i>E. Grandis</i> (espécie híbrida) cultivadas na solução de 59 mg/L, as plantas continuaram crescendo.	Lead tolerance and accumulation in three cultivars of <i>Eucalyptus urophylla</i> X <i>E. grandis</i> : implication for phytoremediation	Xiaochun Peng • Bing Yang • Dongmei Deng • Jiahua Dong • Zhiliang Chen
Avaliar se o eucalipto híbrido é capaz de extrair metais pesados (arsênio (As), cádmio, cromo (Cr), chumbo (Pb), cobre (Cu) e zinco (Zn)) do solo agrícola contaminado	Foram cultivados clones de <i>Eucalyptus</i> em potes por 8 semanas. O solo contaminado por metais utilizado para o cultivo foi transportado do município de Scarlino na Itália. A quantidade de contaminante na planta foi acompanhada.	Itália	2009	O aumento das concentrações de metais nas folhas, caule e ramos evidenciam que essa espécie pode atuar como fitorremediador.	Clonal variation in growth, arsenic and heavy metal uptakes of hybrid <i>Eucalyptus</i> clones in a Mediterranean environment	Giovanni Mughini • Francesco Alianiello • Anna Benedetti • Lapo Mughini Gras • Maria A. Gras • Luca Salvati
Avaliar o potencial dos eucaliptos como fitorremediador de organoclorados no solo	Os eucaliptos foram plantados em uma área contaminada por DDT oriundos de inseticidas. Foram analisadas a evolução da contaminação no solo e o desenvolvimento da planta.	Brasil	2000	As plantas continuaram a se desenvolver; Houve redução na concentração do solo; Detectou-se organoclorados nas folhas.	Recuperação de áreas contaminadas por pesticidas organoclorados na cidade dos Meninos, Município de Duque de Caxias, RJ	Daniela Buosi • Jeanine Maria Felfili
Comparar o potencial das espécies de <i>Eucalyptus Saligna</i> e <i>Eucalyptus urophylla</i> em remediar contaminação de zinco no solo	Em uma casa de vegetação foram plantados eucaliptos em substrato contaminados por Zinco. Este oriundo de escavações de solo de um pátio de mineração oriundo de Itaguaí-RJ.	Brasil	-	A espécie <i>Eucalyptus Saligna</i> acumulou maior concentração de zinco em relação ao <i>Eucalyptus urophylla</i> . Porém ambas possuem potencial para a fitorremediação do solo.	Potencial de duas espécies de eucaliptos na fitoestabilização de solo contaminado com zinco	Marcio O. Lima Magalhães • Nelson M. Brasil do Amaral Sobrinho • Fátima S. dos Santos • Nelson Mazur

Matthews *et. al.* (2003) avaliou como as propriedades do aquífero modificariam a eficiência da fitorremediação utilizando software de modelagem. Os parâmetros testados foram a condutividade hidráulica, a espessura da zona saturada, o gradiente hidráulico, e adicionalmente a evapotranspiração. Dentre eles apenas a evapotranspiração influenciou a eficácia da técnica, visto que ela regula quanta água e nutrientes serão absorvidos pelas plantas.

A fitorremediação vem como uma tecnologia ampla e barata para atender sobretudo áreas pobres no mundo, sobretudo porque as outras técnicas utilizam complexos aparatos mecânicos e hidráulicos, ou a aplicação de agentes químicos, que acabam por gerar outros efluentes, e necessitar de mão de obra especializada (SCHNOOR, 2005). O custo com destinação de resíduos também diminui, principalmente quando o composto absorvido não intoxica a planta (EPA, 2010).

2.2 A FISILOGIA DOS EUCALIPTOS E SUA ADEQUAÇÃO COMO AGENTE FITORREMEIADOR

A revisão da literatura levou a optar-se pelo eucalipto como agente descontaminador. Embora Bilal (2014), que analisou a planta em sua capacidade de se adaptar a diferentes ambientes e em absorver diferentes contaminantes, incluindo metais pesados advoga pela necessidade de aprofundar os estudos, sobretudo nos limites de sua capacidade de adsorção do contaminante.

A cultura do eucalipto no Brasil representa 71 % do total plantado para consumo de madeira. Está distribuída por todo o território nacional e com área plantada maior que 5 milhões de hectares, têm seus maiores produtores os estados de Minas Gerais e São Paulo (ABRAF, 2013). No mundo, o eucalipto é espécie nativa da Austrália, e tem sido cultivada com êxito em países da África como o Moçambique, nas Américas há cultivos no Chile, México, Estados Unidos, na Europa como na Escócia e Itália (ANDRADE, 1961).

Os eucaliptos possuem características fisiológicas e ambientais que permitem uma invejável capacidade de adaptação a diferentes climas e solos. Entre eles está o mecanismo de fechamento dos estômatos (GRIEVE, 1956, SHEA et al. 1975, NACOB, 1956) na ausência de água, o que aumenta a sua tolerância a ambientes de déficit hídrico. O estômato é responsável por controlar a saída da água da planta pela folha durante o processo de transpiração. Ele é capaz de abrir quando há acúmulo de soluto e água ou fechar diante da sua diminuição (HAVEN, 2007). Navarro (1961) cita espécies capazes de suportar temperaturas de até 50°C encontradas no centro da Austrália.

Em casos onde há água e soluto disponíveis o fator controlador da evapotranspiração é a temperatura, pois quanto maior a temperatura das folhas, maior a taxa de evapotranspiração (HAVEN, 2007). A quantidade de água consumida por uma árvore em um plantio de eucaliptos pode variar entre 1,2 e 46,2 litros por dia, a depender a área foliar de cada planta (EMBRAPA, 2015 e LIMA, 1976).

Por crescerem rapidamente, os eucaliptos demandam grandes quantidades de água, e em ambientes áridos, para sobreviverem, o sistema radicular das espécies passou a desenvolver-se ocupando grandes volumes de solo. Sua preferência é por solos profundos e permeáveis, mas em ambientes hidraulicamente e nutricionalmente pobres; a única exigência é que tenha grande massa de solo a explorar (NAVARRO, 1961). A capacidade de desenvolver raízes em profundidades superiores a 10 m foi observada por diversos autores (CHRISTINA et al. 2011; LACLAU et al. 2013; PINHEIRO et al. 2016; LINTER et al. 2013).

O eucalipto mostrou-se capaz de absorver água e nutrientes tanto em ambientes quentes e úmidos, como em ambientes frios e áridos (BILAL, 2014). Além disso pode utilizar águas salobras de regiões áridas, como na Austrália, onde eucaliptos absorveram água de condutividade elétrica média de 40 dS/m (40000 μ S/cm) (THORBURN & WALKER, 1994; MENSFORTH et al. 1994). Tal tolerância à salinidade também foi observada em experimento realizado por Mendonça et al. (2007).

A planta absorve os elementos essenciais do solo sem muita discriminação, e quanto maior a disponibilidade, maior o consumo. Quanto as necessidades são supridas, estabelecida pela constante de Michaelis-Menten, a planta estabiliza tal absorção (MALAVOLTA,1998).

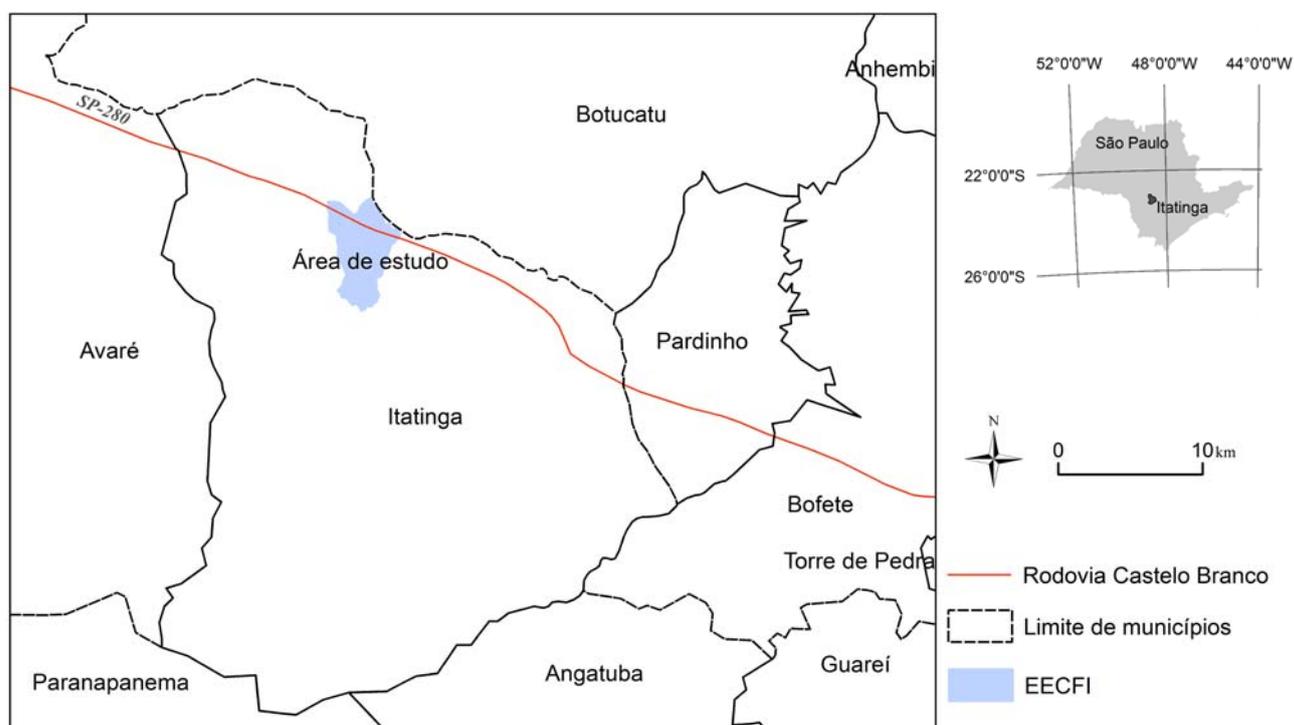
A fertilização em eucaliptos normalmente utilizada é entre 120 e 180 kg/ha de K_2O , na forma de KCl, e 60 a 100 kg/ha de N, na forma de $NaNO_3$ ou $(NH_4)_2 SO_4$. As árvores rapidamente absorvem esses nutrientes, os quais passam a fazer parte das ciclagens bioquímica e biogeoquímica (GONÇALVES et al., 2011). Pesquisas comprovam que a adubação potássica exclusiva eleva a capacidade de eficiência no uso da água, e assim aumenta a absorção dos nutrientes, resultando em boas produtividade de madeira na colheita (SILVA, 2002). Quanto ao fósforo, mesmo sob quantidades mínimas, como observado em solos florestais, o eucalipto é capaz de desenvolver-se (GONÇALVES et al., 2011; FERNANDES, 2015).

3 DESCRIÇÃO DA ÁREA

3.1 LOCALIZAÇÃO E USO E OCUPAÇÃO

A área de estudo compreende um terreno de 50 m², denominado de lote 48, no interior da Estação Experimental de Ciências Florestais de Itatinga (EECFI) (**Figura 3**). O município de Itatinga, localizada na região noroeste do Estado de São Paulo, a uma distância de 260 km da capital, é acessada pela Rodovia Castelo Branco.

Figura 3 - Localização da EECFI no município de Itatinga, mostrando também seus municípios limítrofes



Fonte: Banco de dados de geoprocessamento da EECFI

Atualmente sob a administração da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz (ESALQ), a estação pertence à Universidade de São Paulo (USP) desde 1988. Anterior à essa aquisição, esta pertencia à Ferrovias Paulista S.A. (FEPASA), que cultivava eucaliptos para utilizá-los como dormentes das estradas de ferro.

A ESALQ, em 2013, caracterizou os principais usos e ocupação das terras da EECFI: 47% são arrendamentos para cultivo de culturas comerciais como eucaliptos e pinus; 21% são talhões experimentais, com cerca de 130 pesquisas sendo desenvolvidas; 20% são Reserva Legal (RL); 7% Área de Preservação Permanente (APP); e 5% infraestrutura e benfeitorias voltadas às atividades acadêmicas.

O lote 48 é denominado na EECFI também pelo número I21G139 para identificação dos manejos nele praticados. As mudas de eucaliptos foram plantadas na área em abril de 2010. Imediatamente aplicaram-se nutrientes ricos em nitrogênio, fósforo e potássio (NPK) na proporção de 6-30-10 na primeira aplicação (350 kg/ha), e 18-6-24 na segunda aplicação (250 kg/ha). As 120 mudas plantadas eram clones híbridos das espécies *Eucalyptus urophylla* e *Eucalyptus grandis*, comercialmente denominada de *Eucalyptus urograndis*.

Um círculo de 1000 m de raio foi estabelecido ao redor do lote 48, no qual foram caracterizados os tipos de uso do solo, a partir dos dados obtidos ao entrevistar o engenheiro florestal MSc. Rildo Moreira e Moreira o administrador da EECFI.

O foco da entrevista foi identificar atividades com potencial de contaminação do solo e da água subterrânea, como o uso de fertilizantes e, principalmente o uso de nitrogênio (N) e seus possíveis receptores e bens a proteger (**Tabela 4**).

Tabela 4 - Usos do solo ao redor do lote 48

Localização em relação ao lote 48	Uso
Norte	Pinus e eucaliptos voltados à pesquisa acadêmica
Sul	Pinus e eucaliptos voltados a pesquisa acadêmica; Córrego Ita
Leste	Fazenda de eucaliptos; Área de APP
Oeste	Pinus e eucaliptos voltados a pesquisa acadêmica; Córrego Tinga

Fonte: Dados coletados na campanha de 2016

3.2 FISIOGRAFIA

A caracterização do meio físico da área de estudo consistiu no levantamento de dados de bases cartográficas regionais, e na consulta de bibliografias locais e regionais, com ênfase nos aspectos climáticos, geomorfológicos e litológicos, geológicos, hidrogeológicos e hidrogeoquímicos.

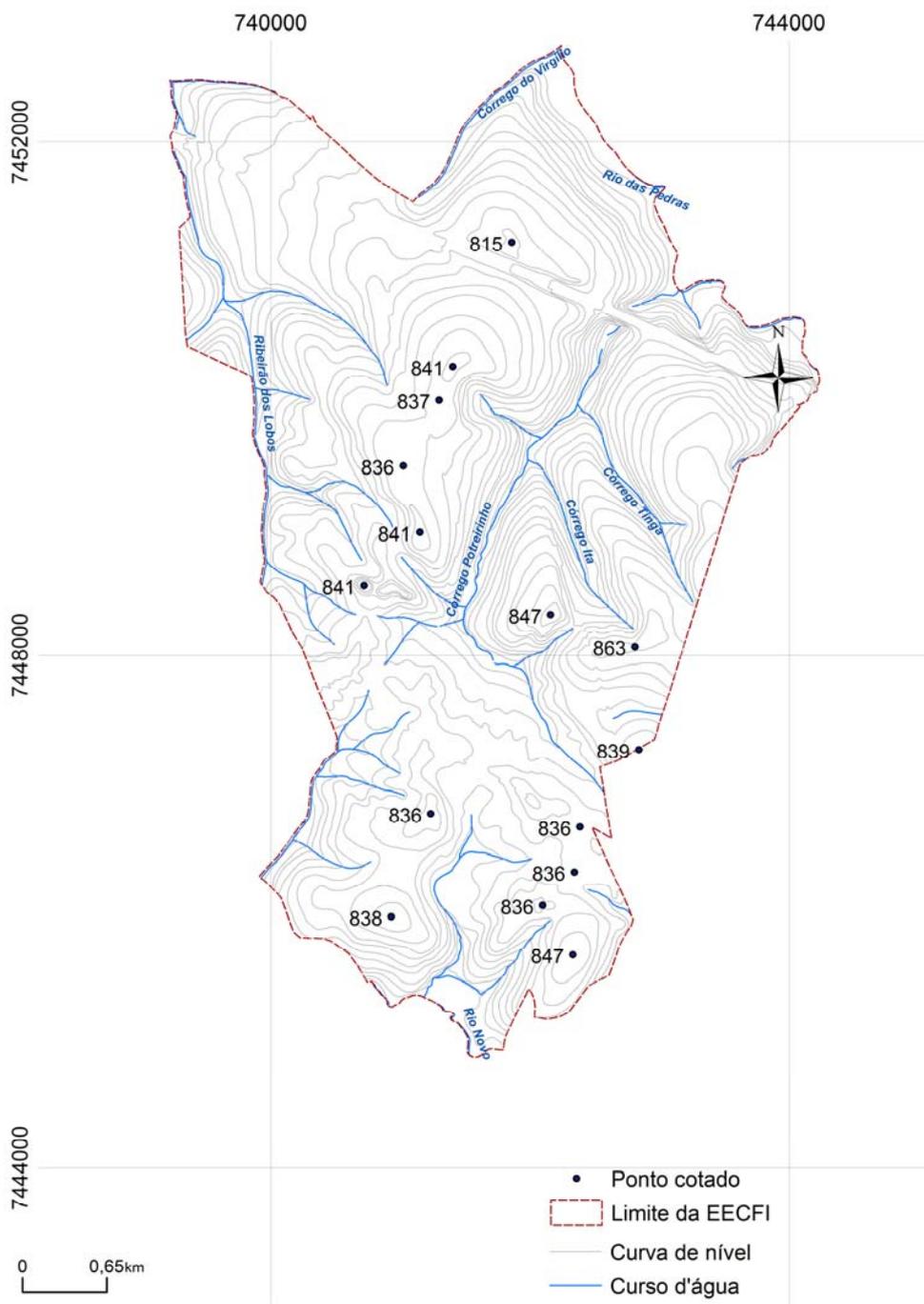
3.2.1 Hidrografia e clima

O município de Itatinga está inserido na Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Médio Paranapanema (UGRHI – 17), que abrange os cursos d'água localizados à margem direita do rio Paranapanema, tendo como unidades hidrográficas principais os rios Pardo, Turvo, Novo, Pari e Capivara (CBH-MP, 2016).

Localizada na sub-bacia do rio Pardo, a área da EECFI é cortada pelos córregos Tinga, Ita, Forquilha, Monjolinho, Potreirinho, Chacrinha; pelo ribeirão dos Lobos e pelos rios Novo e das Pedras, além de outros corpos d'água sem nome oficial (**Figura 4**).

O clima de Itatinga é do tipo tropical de altitude (Cwa), segundo a classificação climática de Köppen (1936). No verão ocorrem as chuvas e no inverno, a estiagem, com média anual de 1635 mm. O padrão médio de pluviosidade mostra que há um excedente hídrico entre os meses de outubro a março, enquanto os meses de abril a setembro apresentaram déficit hídrico (MOSTER *et al.*, 2003). A temperatura média anual é 19,7°C, com média mínima de 13,5°C e média máxima de 25,8°C (CEPAGRI, 2016) e a evapotranspiração potencial de 1084 mm (LIMA *et al.*, 1996);.

Figura 4 - Planimetria da EECFI mostrando as curvas de nível adensadas junto às drenagens e curvas de nível espaçadas compatíveis aos relevos planos, e a hidrografia local



Fonte: modificado de Gonçalves, 2012

3.2.2 Geomorfologia

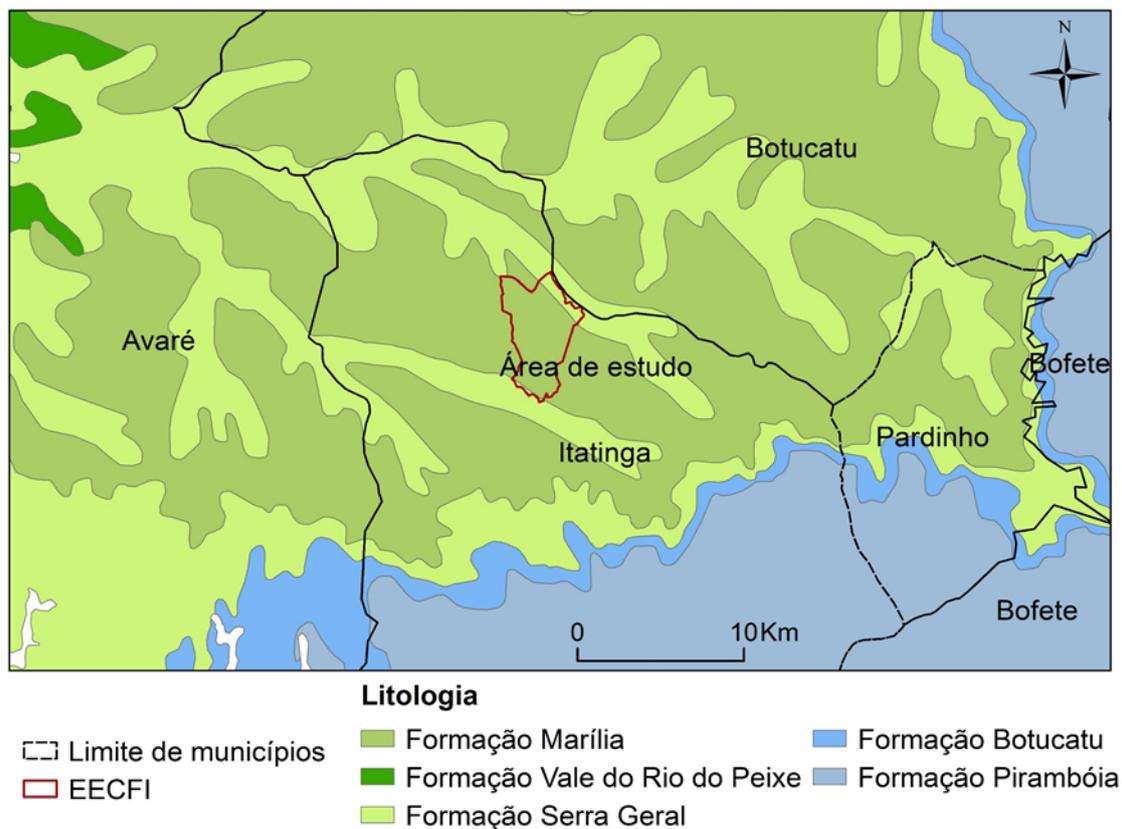
De acordo com a classificação geomorfológica do Estado de São Paulo, a área de estudo encontra-se no Planalto Residual de Botucatu; unidade morfológica ocupada por colinas com topos amplos convexos e tabulares de altitudes variando entre 600 e 900 m. Esses terrenos elevados que constituem a Bacia do Paraná atuam como área dispersora de drenagens contribuindo para uma drenagem de densidade média a alta na região (ROSS e MOROZ, 1997).

Localmente, dois padrões de relevo foram descritos por Gonçalves *et al.* (2012) no interior da EEFCI; no primeiro ocorrem terrenos de maior altitude (> 800 m), relevo plano e suavemente ondulado, enquanto no segundo padrão ocorrem terrenos de menor altitude (775 a 800 m), de relevo íngreme circundante a rede de drenagem (**Figura 4**); litologicamente os solos foram classificados como Latossolos de texturas média ou argilosas, Gleissolo e Neossolo flúvico (GONÇALVES, 2012).

3.2.3 Geologia

No município de Itatinga ocorrem rochas das Formações Pirambóia, Botucatu e Serra Geral, do Grupo São Bento, e a Formação Marília, do Grupo Bauru. Os terrenos que afloram na EEFCI são caracterizados por duas unidades geológicas do Mesozoico, a Formação Serra Geral e a Formação Marília (**Figura 5**).

Figura 5 - Unidades litoestratigráficas que afloram na região da área de estudo



Fonte: Modificado de CPRM, 2006

As rochas do Grupo São Bento, que ocupam estreitas faixas ao sul e a noroeste da EECFI, são da Formação Serra Geral. Esta é resultado de um conjunto de derrames de basaltos, ocorridos entre o Jurássico e o Cretáceo, com ocorrências pontuais de intercalações de arenitos com características similares às encontradas na Formação Botucatu, ou seja, arenitos intertrapianos, finos a médios de estratificação cruzada tangencial e esparsos níveis vitróficos não individualizados; aos quais se associam corpos intrusivos como diques e *sills* de mesma composição (IPT, 1981).

A Formação Serra Geral é recoberta pela pelas rochas do Grupo Bauru acumuladas durante o Cretáceo Superior em grande parte do Estado de São Paulo.

Segundo Soares *et al.* (1980), o Grupo Bauru é constituído pelas formações Caiuá, Santo Anastácio, Adamantina e Marília.

Em 1992, Fernandes propôs uma nova divisão na estratigrafia do Grupo Bauru, elevando a Formação Caiuá à condição de Grupo, com a Bacia Bauru sendo então composta pelos grupos Caiuá e Bauru. E em 1998, Fernandes novamente redefiniu as unidades do Grupo Bauru, substituindo a Formação Adamantina pelas Formações Vale do Rio do Peixe e Presidente Prudente.

A Formação Marília ocorre em cerca de 90 % da área da EECFI, e sua classificação continua a mesma desde a divisão inicial proposta por Soares (1980). Composta por arenitos de granulação fina a grossa compreende a bancos maciços com tênues estratificações cruzadas de médio porte, incluindo lentes e intercalações subordinadas de siltitos, argilitos e arenitos muito finos com estratificações plana e paralela. Ocorrem comumente cimento e nódulos carbonáticos (IPT, 1981). Ainda segundo Silva (2003) o teor da matriz é rica em feldspatos, minerais pesados e instáveis.

A espessura máxima atingida por essa formação é de 160 m no município de Marília, e partir daí no sentido sul a sua espessura reduz (SOARES, 1980).

3.2.4 Hidrogeologia e hidrogeoquímica

Dois são os aquíferos que abrangem o município, o Sistema Aquífero Guarani (SAG) na porção sul e o Sistema Aquífero Bauru (SAB), onde se localiza a EECFI (IG, DAEE, CPRM, 2005).

Na área de estudo, os dois principais aquíferos são: Aquífero Marília, que pertence ao SAB superior e é constituído pelas rochas da formação homônima, e logo abaixo há o Aquífero Serra Geral, um aquífero fraturado composto pelas rochas basálticas da formação de mesmo nome.

A espessura saturada média do SAB é de aproximadamente 75 m, porém nas proximidades dos afloramentos da Formação Serra Geral, nos limites sul, leste e norte do SAB são onde ocorrem as menores espessuras observadas (DAEE, 2005).

Regionalmente, suas águas ocorrem de forma livre, podendo localmente, se apresentar de forma semi-confinada a confinada por conta da heterogeneidade geológica do próprio aquífero. O sentido regional do escoamento das águas subterrânea se dá no sentido leste-oeste, em direção aos rios Paraná e Paranapanema (DAEE, 2005).

A unidade hidroestratigráficas do SAB superior ocorre de forma livre a confinada e apresenta porosidade granular e contínua e não uniforme. Suas rochas constituintes são arenitos grossos imaturos, com abundantes nódulos e cimentos calcíferos, com bancos de arenitos finos intercalados com lamitos e siltitos; possui permeabilidade de 0,1 a 0,4 m/d e transmissividade de 10 a 50 m²/d (DAEE, 2005).

As propriedades hidráulicas do SAB são: capacidade específica (Q/s) apresenta valores na faixa de 0,002 m³/h/m a 4,9 m³/h/m, com predominância de valores inferiores a 0,5 m³/h/m; condutividade hidráulica (K) varia de 0,002 m/d a 3,66 m/d; e o coeficiente de armazenamento (S), representado pela porosidade efetiva é 5 % no SAB superior (DAEE, 2005).

As vazões exploráveis (Q) do SAB variam de 10 a 120 m³/h, sendo que na região da EECFI onde ocorre o domínio Bauru/Superior o potencial de exploração é inferior a 10 m³/h (DAEE, 2005).

A unidade hidroestratigráfica do Aquífero Serra Geral ocorre em extensão regional, livre a semiconfinada, sendo que por conta de sua geologia é heterogêneo, anisotrópico, fraturado, por vezes sendo um aquitarde, confinando o Aquífero Guarani (IPT, 1981).

Onde esta unidade comporta-se como aquífero, tem como propriedades hidráulicas uma vazão média de 37,5 m³/h, porosidade efetiva média de 0,08 e recarga 150 mm/ano (MACIEL et al., 2012).

As águas subterrâneas retiradas pela SABESP do Aquífero Serra Geral, por meio de poço no município de Itatinga, segundo o relatório de qualidade de águas subterrâneas da CETESB de 2012, apresentaram não conformidade para o composto boro com concentrações superiores a 0,591 mg/L (CETESB, 2012).

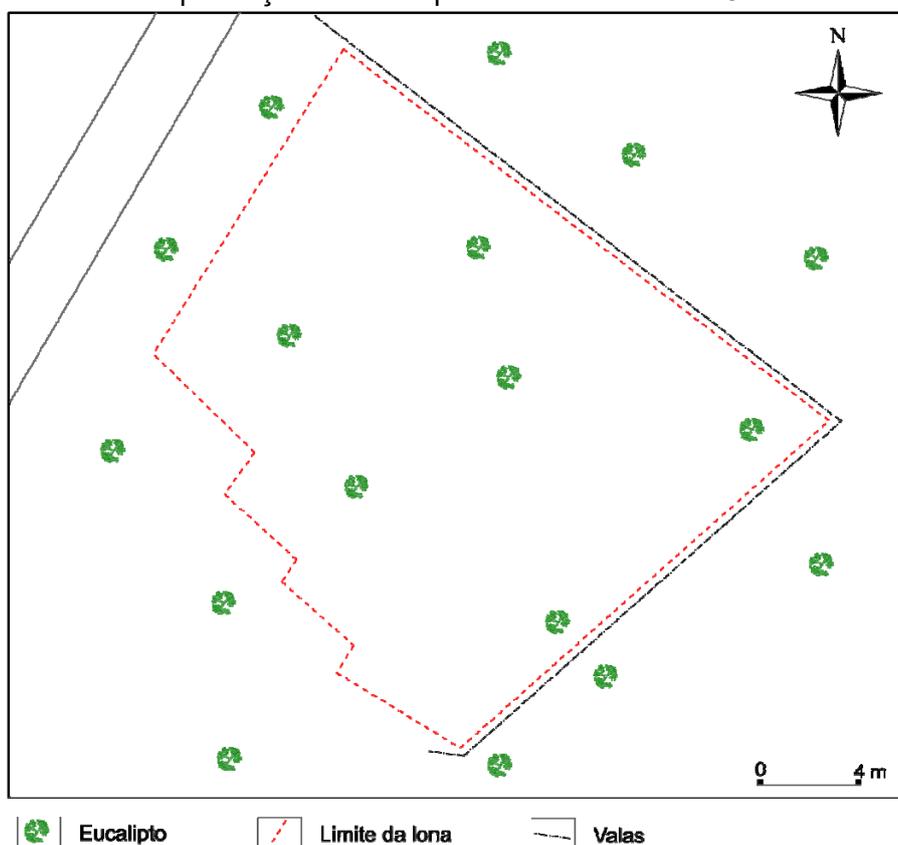
4 MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia deste trabalho compreendeu as fases: i) preparação da área para implementação do experimento; ii) caracterização preliminar do subsolo iii) caracterização da hidrogeologia e da hidrogeoquímica do aquífero; iv) execução do experimento de fitorremediação; e v) tratamento e análise dos dados.

4.1 FASE I – PREPARAÇÃO DA ÁREA ANTES DA IMPLANTAÇÃO DO EXPERIMENTO

Com o objetivo de reduzir a disponibilidade de água para as raízes das árvores na zona não saturada, optou-se pela impermeabilização do piso com o uso de lona plástica, abrangendo a área de poços e também o seu entorno, totalizando 30 m² (**Figuras 6 e 7a**), em outubro de 2013.

Figura 6 - Localização da lona impermeável e das valetas escavadas em meio a plantação de eucaliptos híbridos no lote 48



Fonte: Trabalho de campo

Para interceptar a água vinda do escoamento pelo tronco e redirecioná-la para cima da lona, foram instalados cones invertidos nos troncos, a uma altura de 1,20 m de altura. Os cones foram confeccionados com a mesma lona impermeável utilizada para cobrir o piso (**Figura 7b**). Calcula-se que cerca de 1 a 15% do total precipitado infiltra no solo pelo processo de escoamento pelo tronco (TUCCI, 2002).

Figura 7 – Em a) lonas de plástico impermeável cobrindo o piso da área do experimento impedindo o processo de infiltração; b) cones invertidos ao redor dos troncos dos eucaliptos impedindo o processo de escoamento pelo tronco; c) valas ao redor da lona são barreiras físicas impedindo o processo de escoamento superficial



a.



b.



c.

Fonte: Trabalho de campo

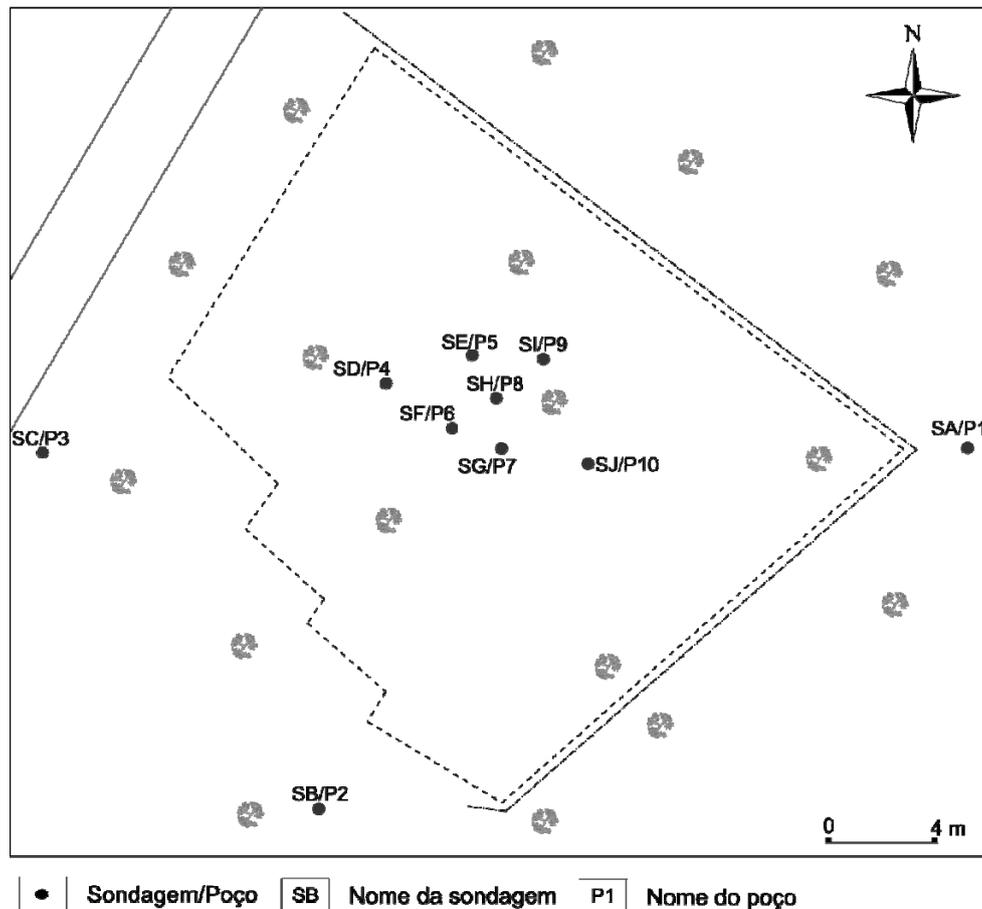
E, para interceptar a água vinda do escoamento superficial natural em episódios de chuvas, a montante da lona foram escavadas três valas com aproximadamente 0,40 m de profundidade e 0,30 m de largura (**Figuras 6 e 7c**).

4.2 FASE II – CARACTERIZAÇÃO PRELIMINAR DO SUBSOLO LOCAL

Para conhecer as características do subsolo, após a instalação das lonas, foram perfurados e instalados poços de observação do nível d'água. Uma primeira série de poços provisórios foram perfurados para o reconhecimento inicial da hidrogeologia da área e permitir que os poços definitivos fossem melhor posicionados para a consecução do experimento.

Os trabalhos executados em janeiro de 2014 incluíram a perfuração de dez sondagens nas áreas externa da lona (SA a SC) e interna (SD a SJ) com trado manual do tipo helicoidal de 3 polegadas de diâmetro. Seguido da instalação de dez poços de observação (**Figura 8**). Não foram descritas as litologias interceptadas durante a perfuração.

Figura 8 - Localização das sondagens e poços de observação provisórios instalados nas áreas externa e interna da lona



Fonte: Trabalho de campo

Por serem poços provisórios, estes foram instalados com tubo de PVC marrom de 2 polegadas de diâmetro, nos quais a seção filtrante foi ranhurada manualmente em campo (**Tabela 5**).

Tabela 5 - Informações das sondagens perfuradas e dos poços instalados na área do experimento em janeiro de 2014

Identificação da sondagem	Profundidade da sondagem (m)	Nível d'água dinâmico (m)	Identificação do poço	Profundidade do poço (m)	Seção filtrante (m)
SA	11,50	10,00	P1	10,90	3,00
SB	9,50	8,00	P2	8,90	3,00
SC	9,50	8,00	P3	9,30	3,00
SD a SJ	8,50	7,00	P4 a P10	8,50	2,00

Em julho de 2014, os poços provisórios (P5 a P10) foram substituídos por outros durante os trabalhos de caracterização da hidrogeologia e hidrogeoquímica do aquífero local por estarem secos e fora da legislação vigente, conforme será descrito no item a seguir. Os poços P1 a P3, localizados na área externa a lona e P4 localizado na área interna foram mantidos para a observação do comportamento do nível d'água.

4.3 FASE III – CARACTERIZAÇÃO DA HIDROGEOLOGIA E DA HIDROGEOQUÍMICA DO AQUÍFERO LOCAL

4.3.1 Perfuração de sondagens e instalação de poços de monitoramento

As sondagens de investigação (S) tiveram como objetivos: a descrição do perfil litológico do subsolo local, a coleta de amostras de solo para análises químicas e físicas, verificar a presença de raízes por meio de observação tátil-visual e a instalação de poços de monitoramento.

Os métodos utilizados para a execução das perfurações e instalação de poços seguiram as referências estabelecidas nas normas NBR 15.495-1 (ABNT, 2007) (Poços de Monitoramento de Águas subterrâneas em Aquíferos Granulares – Parte 1: Projeto e Execução) e NBR 15.485-2 (ABNT, 2008) (Poços de Monitoramento de Águas subterrâneas em Aquíferos Granulares – Parte 2: Desenvolvimento).

As sondagens foram executadas em três campanhas em setembro de 2014 (S1 a S22), julho de 2015 (S23 e S24) e julho de 2016 (S25 a S27). Foram perfuradas 27 sondagens com profundidades entre 10,00 e 17,00 m (**Tabela 6**).

Tabela 6 - Informações das sondagens perfuradas na área do experimento entre janeiro de 2014 e julho de 2016

Sondagem	Profundidade da sondagem (m)	Período da perfuração	Método de perfuração
S1 a S22	10,00 a 13,00	Setembro de 2014	Trado mecanizado
S23 e S24	15,20	Julho de 2015	Trado manual
S25 a S27	13,00 a 17,30	Julho de 2016	Trado manual

Fonte: Trabalho de campo

As 27 sondagens foram perfuradas no interior da lona pelo método de trado mecanizado rotativo de aço inoxidável com diâmetro de quatro polegadas na campanha de setembro de 2014, e trado manual tipo concha com diâmetro de quatro polegadas nas campanhas de julho de 2015 e julho de 2016.

A máquina utilizada foi a melhor opção entre os equipamentos disponíveis no mercado devido ao seu tamanho (1,20 x 0,80 x 3,50m), pois o pequeno espaçamento entre os eucaliptos ($\approx 2,00\text{m}$ entre plantas e $\approx 3,00\text{m}$ entre ruas) impossibilitava a entrada de máquinas maiores no local (**Figura 9**).

Como foram atravessadas camadas arenosas, fez-se necessário o uso de revestimentos de metal no furo, de modo a impedir o desmoronamento das paredes. O material perfurado foi caracterizado tátil-visualmente e descrito na forma de perfis litológicos, os quais estão apresentados no **Anexo 4**.

Figura 9 - Perfuração das sondagens



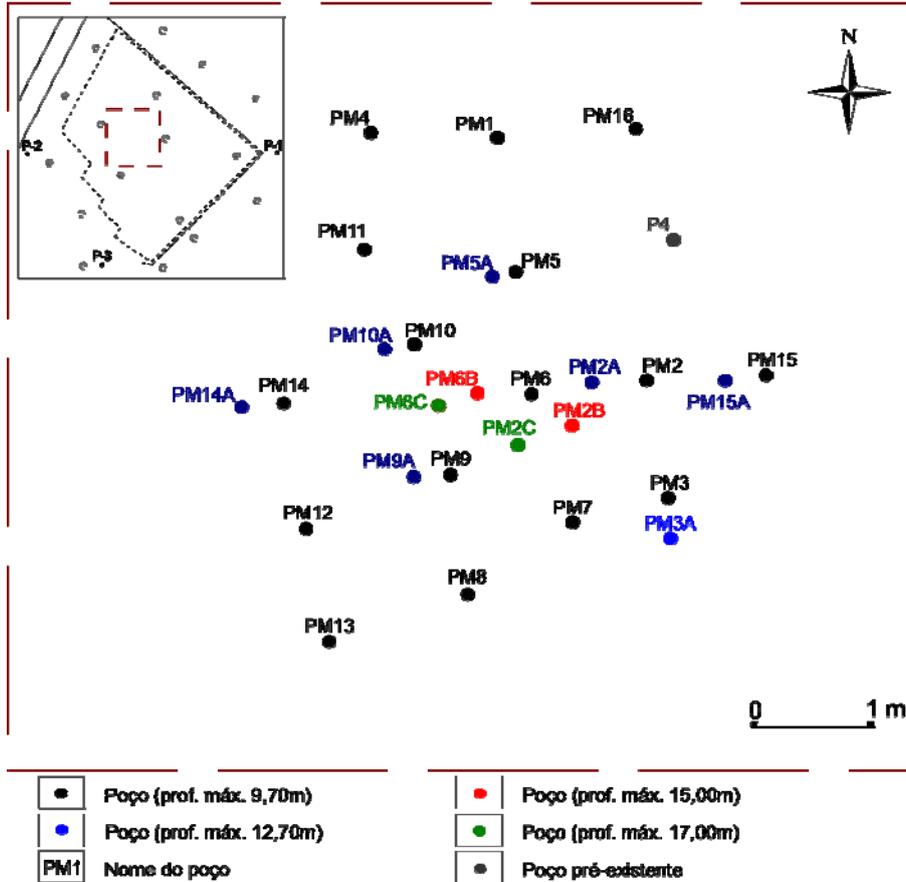
Fonte: Trabalho de campo

A perfuração foi seguida da instalação de 27 poços de monitoramento com profundidades variando entre 9,6 e 17,00 m. O material de instalação compreendeu revestimentos e filtros de PVC geomecânicos de 2 polegadas, cap para fechamento do fundo do poço, grip de pressão para fechamento do topo do poço, areia tipo pré-filtro, calda de bentonita e cimento como selo anelar, todos conforme preconizado na norma NBR 15.495-1 (ABNT, 2007).

Após a instalação, os poços foram desenvolvidos com mangueiras e válvulas de sucção (válvula pé) visando a retirada de partículas sólidas, de acordo com a NBR 15.495-2 (ABNT, 2008).

A distribuição e o espaçamento dos poços levaram em consideração as seguintes premissas: i) o menor tempo de ensaio para verificação da atuação da fitorremediação; ii) o tempo de deslocamento da pluma a ser injetada; iii) a atuação de anisotropia no sentido do fluxo; e iv) a delimitação do fluxo horizontal (**Figura 10**).

Figura 10 - Distribuição dos poços de monitoramento no interior da lona



Fonte: Trabalho de campo

Por considerar a possibilidade da pluma dispersar-se verticalmente durante o teste de fitorremediação, foram instalados poços com seções filtrantes com profundidades superiores àquelas instaladas no topo do aquífero nos poços PM1 ao PM16 (8,60 a 9,70m). Foram eles os poços PM3A, PM5A, PM9A, PM10A, PM11A, PM14A e PM15A com filtros entre as profundidades 11,60 a 12,70m; os poços PM2B e PM6B com filtros entre as profundidades 14,00 e 15,00m; e os poços PM2C e PM6C com filtros entre a profundidade 16,00 e 17,00m (**Tabela 7**). Para identificar a profundidade dos filtros foram acrescentados os sufixos A, B e C aos seus nomes.

Tabela 7 - Características dos poços de monitoramento instalados

Sondagem	Nome do poço	Profundidade instalada (m)	Profundidade do filtro (m)
S1	PM1	9,80	8,80 - 9,80
S2	PM2	9,70	8,70 - 9,70
S3	PM3	9,60	8,60 - 9,60
S4	PM4	9,70	8,70 - 9,70
S5	PM5	9,70	8,70 - 9,70
S6	PM6	9,70	8,70 - 9,70
S7	PM7	9,70	8,70 - 9,70
S8	PM8	9,60	8,60 - 9,60
S9	PM9	9,60	8,60 - 9,60
S10	PM10	9,60	8,60 - 9,60
S11	PM11	9,70	8,70 - 9,70
S12	PM12	9,70	8,70 - 9,70
S13	PM13	9,70	8,70 - 9,70
S14	PM14	9,70	8,70 - 9,70
S15	PM15	9,70	8,70 - 9,70
S16	PM16	9,70	8,70 - 9,70
S17	PM2A	12,70	11,70 - 12,70
S18	PM5A	12,70	11,70 - 12,70
S19	PM9A	12,70	11,70 - 12,70
S20	PM10A	12,60	11,60 - 12,60
S21	PM14A	12,70	11,70 - 12,70
S22	PM15A	12,70	11,70 - 12,70
S23	PM2B	15,00	14,00 - 15,00
S24	PM6B	15,00	14,00 - 15,00
S25	PM2C	17,00	16,00 - 17,00
S26	PM6C	17,00	16,00 - 17,00
S27	PM3A	12,60	11,60 - 12,60

Fonte: Trabalho de campo

4.3.2 Amostragem de solo

O método de amostragem adotado foi a coleta direta no trado. Este método substituiu a técnica de cravação de *liner* que apresentou problemas no momento da retirada do amostrador da sondagem, uma vez que o solo arenoso que o preenchia caía, voltando para a sondagem.

Para caracterizar os parâmetros físico-químicos das litologias predominantes da área, foram coletadas na sondagem S19 amostras deformadas e indeformada (**Figura 11**). O interesse neste ponto deveu-se por localizar-se próximo à área de injeção da solução de nutrientes e possuir uma profundidade de investigação superior ao do poço de injeção.

Figura 11 - Amostras de solo coletadas durante a perfuração da sondagem S19, em a coleta direta no trado; em b amostras deformadas, e em c amostra indeformada coletada em cilindro



Fonte: Trabalho de campo

Todas as análises químicas e físicas foram realizadas pelo laboratório do Departamento de Ciências de Solo da ESALQ, obedecendo aos procedimentos e métodos propostos pela Empresa Brasileira Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA (1997), no documento Manual de Métodos de Análise de Solo.

Foram coletadas quatro amostras deformadas na sondagem S19 nas profundidades de 1,00, 8,00, 9,00 e 12,00 m para determinação da granulometria. Estas foram selecionadas após a caracterização tátil-visual do material, sendo enviada ao laboratório e apenas uma para cada tipo de solo observado ao longo da perfuração que chegou até 13,00 m. As amostras coletadas a 1,00 m e 8,00 m de profundidade, caracterizaram a zona não saturada, e as amostras coletadas a 9,00 e 12,00 m de profundidade, caracterizaram a zona saturada (**Tabela 8**).

Também foram coletadas 13 amostras, uma a cada metro perfurado (de 1,00 a 13,00 m), para quantificar a matéria orgânica e o carbono orgânico disponíveis, ambos determinantes para os processos bioquímicos que podem estar ocorrendo no meio.

Tabela 8 - Características das amostras de solo e métodos analíticos adotados para determinação dos parâmetros

Identificação da sondagem	Profundidade da coleta (m)	Tipo de amostra	Quantidade de amostras	Parâmetros analisados	Tipo de preservação	Método analítico
S19	1,00 a 13,00	Deformada	13 (1 por metro)	Matéria orgânica	Sem preservação	pH em água
S19	1,00 a 13,00	Deformada	13 (1 por metro)	Carbono orgânico	Sem preservação	Tímulometria
S19	1,00, 8,00, 9,00 e 12,00	Deformada	4 (1 por litologia)	Granulometria	Sem preservação	Buyoucos (densímetro)
S19	9,00	Indeformada	1 (1 réplica adicional)	Densidade real e aparente	Papel alumínio	Picnometro
S19	9,00	Indeformada	1 (1 réplica adicional)	Porosidade real e efetiva	Papel alumínio	Anel volumétrico

Fonte: Trabalho de campo e EMBRAPA, 1997

A amostra indeformada foi coletada na sondagem S19 a 9,00 m de profundidade, na franja capilar, a fim de caracterizar as propriedades da zona saturada. O método utilizado para a coleta seguiu as referências estabelecidas na norma NBR 9820 (ABNT, 1997) (coleta de amostras indeformadas de solos de baixa consistência em furos de sondagem). Foram coletados em 2 cilindros de aço inoxidável com 50 mm de diâmetro, 51 mm de altura e volume de 100 cm³ com anéis para conservar a amostras no momento da retirada do amostrador.

Ao atingir 9,00 m, colocaram-se as hastes prolongadoras no copo coletor, e o batedor na outra extremidade, e com a sondagem nivelada e limpa posicionou-se a ferramenta no fundo e bateu-se com a marreta até encher o anel principal, conforme a marca especificada no copo batedor, para que não compactar a amostra no cilindro. O segundo cilindro foi coletado ao lado, na mesma sondagem, como réplica.

4.3.3 Levantamento planialtimétrico

O levantamento planialtimétrico visou à obtenção das cotas relativas das bocas dos poços de monitoramento instalados, utilizando o nivelador a laser modelo AutoLaser® 3175 da marca David White, considerando uma cota arbitrária de 100,00m referenciada no P1 (**Figura 12**).

Figura 12 - Verificação da topografia relativa dos poços



Fonte: Trabalho de campo

4.3.4 Amostragem de água

4.3.4.1 Caracterização hidrogeológica do aquífero local

As amostras da água subterrânea foram coletadas nos 27 poços de monitoramento e enviadas ao Laboratório de Hidrogeologia do Centro de Pesquisas de Águas Subterrâneas (CEPAS|USP) para análise dos cátions maiores (NH_4 , Mg_2 , K , Na , Li , Ca_2), ânions maiores (F , Cl , NO_2 , Br , SO_4 , HPO_4 , NO_3) e alcalinidade, com o intuito de caracterizar a hidrogeologia do aquífero.

A execução dos trabalhos ocorreu entre os dias 10 e 20 de outubro de 2014. E foram complementadas posteriormente, devido a instalação de poços adicionais.

A coleta foi realizada utilizando-se a metodologia de amostragem em baixa vazão (*Low Flow*) através de bomba de bexiga descartável acoplada a uma célula de fluxo, conforme o recomendado na norma técnica NBR 15.847 (Amostragem de água subterrânea em poços de monitoramento – Métodos de purga) (ABNT, 2010) (**Figura 13**).

Figura 13 - Amostragem de água pelo método de baixa vazão



Fonte: Trabalho de campo

Durante a purga foram monitorados o nível d'água – NA (m) com um medidor de fita, e os parâmetros físico-químicos indicadores de qualidade: temperatura - T (°C), condutividade elétrica – CE ($\mu\text{S}/\text{cm}$), potencial hidrogeniônico – pH (UpH), potencial de óxido-redução – ORP (mV), e oxigênio dissolvido – OD (mg/L) com uma sonda multiparamétrica da marca YSI Professional Plus. As faixas de leitura desse equipamento estão expressas na **Tabela 9**.

Tabela 9 - Faixas de leitura da sonda multiparamétrica para os parâmetros físico-químicos

Parâmetro	Faixa de leitura
Temperatura	0 – 40 °C
Condutividade elétrica	0 – 200 mS/cm
Potencial hidrogeniônico	0 - 14
Potencial de óxido-redução	-1999 – 1999 mV
Oxigênio dissolvido	0 – 50 mg/L

Fonte: YSI, 2009

A estabilização do nível da água subterrânea e dos parâmetros indicadores foi utilizada para determinar o momento em que a água da formação é acessada, eliminando a possibilidade de coleta de água estagnada no poço e na região do pré-filtro.

O equipamento utilizado para analisar as amostras foi o cromatógrafo de íons da marca DIONEX modelo ICS900. A metodologia utilizada para as análises é interna, e os limites de detecção do equipamento para cada substância estão expressos na **Tabela 10**.

Tabela 10 - Limite de quantificação do equipamento DIONEX

Compostos	Limite de quantificação do equipamento (mg/L)
NH_4^+ , Mg_2^+ ,	
K^+ , Na^+ , Li^+ , Ca_2^+ ,	0,001
NO_2^- , Br^-	
F^- , Cl^- , HPO_4^{2-}	0,010
SO_4^{2-}	0,020
NO_3^-	0,011

Fonte: Laudos CEPAS|USP

4.3.4.2 Background para os parâmetros de interesse

Seguindo os mesmos procedimentos de amostragem descritos anteriormente, foram coletadas amostras de água para determinar os valores naturais dos compostos que compõem a solução de injeção (NH_4 , Cl , NO_3 , Ca , K) e a presença de matéria orgânica por este ser determinante aos processos bioquímicos na água subterrânea. A execução da coleta ocorreu entre os dias 8 e 9 de novembro de 2014. A repetição das análises desses parâmetros serviu como réplica/duplicada para conferência dos dados obtidos na primeira campanha.

As amostras de água subterrânea proveniente de todos os poços da área interna da Iona (**Figura 10**) foram analisadas para os compostos NH_4 , Cl , NO_3 . Para a analisar os compostos Ca , K e matéria orgânica foram selecionados os poços PM1, PM7, PM14, PM14A, PM15 e PM15A pois estes abrangem toda a área estudada.

As amostras foram enviadas ao laboratório *Analytical Technology*[®], o qual possui a certificação ISO/IEC 17.025 (ABNT, 2005) para compostos mencionados. Os limites de detecção dos compostos e as metodologias analíticas utilizadas pelo laboratório estão expressos na **Tabela 11**.

Tabela 11 - Métodos analíticos seguidos para análise da água subterrânea

Composto	Método	Limite de quantificação do método (mg/L)
Cl^-	USEPA 9056A	0,030
NO_3^-	USEPA 9056A	0,030
K^+	USEPA 1060C	0,050
NH_4^+	SM – 21st – 4500.NH3-F	0,064
Na^+	USEPA 1060C	0,030
Matéria orgânica	ABNT NBR 15900-3	ne

ne: não estabelecido

Fonte: Laudos da Analytical Solutions, 2014

4.3.5 Ensaios de permeabilidade – *Slug Test*

Visando calcular as condutividades hidráulicas para a área, foram realizados ensaios de permeabilidade do tipo *Slug test* em vinte poços de monitoramento (PM1, PM2, PM3, PM3A PM4, PM5, PM5A, PM6, PM9, PM11, PM14, PM15, PM15A, PM16, PM2A, PM2B, PM2C, PM5A, PM9A, PM14A, PM6B, PM6C).

A realização do slug test seguiu os seguintes procedimentos: i) mediu-se o nível d'água estático do poço com o medidor de nível eletrônico graduado; ii) introduziu-se um cilindro de 1,00 m de comprimento e 1,5 polegada de diâmetro no poço; ii) mediu-se imediatamente o nível d'água em intervalos regulares com o auxílio de um medidor automático do nível d'água (Dipperlog e barlog – Heron INC.).

Os dados obtidos em campo foram pós-processados através do software *Aquifer Test* versão 2014 da Waterloo Hydrogeology Inc. que oferece ferramentas de análise, interpretação e visualização de dados de bombeamento de aquíferos, permitindo que os dados sejam interpretados por diferentes métodos.

Os dados obtidos durante os ensaios foram analisados utilizando-se equações que regem o fluxo da água subterrânea, considerando um aquífero homogêneo, isotrópico, infinito e com espessura constante, segundo a metodologia proposta por Hvorslev (1951 *apud* FETTER, 1994):

$$K = \left[\frac{r^2 \times \ln \times \left(\frac{L_e}{R} \right)}{2 \times L_e \times t_0} \right]$$

Onde:

K = condutividade hidráulica (cm/s);

r = raio do poço de monitoramento (cm);

R = raio de perfuração do poço de monitoramento (cm);

L_e = comprimento da seção filtrante do poço de monitoramento (cm);

t₀ = tempo de recuperação do nível estático inicial.

4.4 INJEÇÃO DA PLUMA DO NUTRIENTE NITRATO E DO TRAÇADOR CLORETO, E MONITORAMENTO DA ÁGUA SUBTERRÂNEA

4.4.1 Instalação do equipamento para injeção

O sistema de injeção da solução de nutrientes consistiu de uma bombona plástica de 100 L, com um furo na parte inferior a direita, onde se conectou um tubo de PVC de ¾" e uma válvula reguladora da vazão da água. O dispositivo foi fixado em um suporte de 0,50 m de altura garantindo um gradiente hidráulico. Por fim, uma mangueira cristal foi instalada na saída do dispositivo até o nível d'água (cerca de 8,00m), já na seção filtrante do poço PM2 (**Figura 14**).

Figura 14 - Dispositivo desenvolvido para a injeção



Fonte: Trabalho de campo

4.4.2 Preparação da solução de injeção e injeção

Para estudar a relação nitrato, eucalipto e aquífero optou se pelo uso de uma área ausente de contaminação por qualquer composto, o que permitiu a criação de uma pluma controlada em um ambiente já caracterizado.

Seguindo essa ideia inicial foram definidos os sais de nitrato e cloreto para preparação da solução. O cloreto foi utilizado pela sua característica de traçador ideal para estudo em água subterrânea e solos por não ser adsorvido pelo solo e não sofrer reações químicas e biológicas. O nitrato é o composto de interesse. O potássio e o sódio associados aos sais de interesse foram aceitos por não causar intoxicação à planta, pois são elementos essenciais ao seu desenvolvimento (OVERBEEK, 1970).

Foram realizadas três campanhas de injeção para verificar as respostas do aquífero e dos eucaliptos as diferentes concentrações de NO_3 .

A primeira campanha de injeção foi realizada em maio de 2015. A solução foi preparada pela mistura de 67 L de água deionizada com 54,73 g de KNO_3 e 55,34 g de NaCl para uma concentração de 500 mg/L de NO_3 e Cl . A mistura foi agitada por 10 min e em seguida injetada no PM2 com vazão de 13 L/mim.

A segunda campanha de injeção foi executada em agosto de 2015, porém com concentração 2.000 mg/L de NO_3 e 2.000 mg/L de Cl . A solução foi preparada pela mistura de 30 L de água deionizada com 54,73 g de KNO_3 e 55,34 g de NaCl . A mistura foi agitada por 10 min e em seguida injetada no poço com vazão de 13 L/mim.

A terceira campanha de injeção foi executada em agosto de 2016, com concentração 8.000 mg/L de NO_3 e 8.000 mg/L de Cl . A solução foi preparada pela mistura de 15 L de água deionizada com 164,51 g de NaNO_3 e 251,83 g de KCl . A mistura foi agitada por 10 min e em seguida injetada no poço com vazão de 15 L/mim.

4.4.3 Monitoramento da água subterrânea, métodos de análises e calibração dos equipamentos

Logo após a injeção da solução foram monitorados os níveis d'água dos poços com o auxílio de medidor de nível d'água eletrônico, os parâmetros físico-químicos: T (°C), CE ($\mu\text{S}/\text{cm}$), pH (UpH), ORP (mV) e OD (mg/L) com sonda multiparamétrica YSI Professional Plus; e as concentrações NO_3 e Cl, e eventualmente as concentrações de NH_4 .

As amostras de água foram coletadas pelo método de baixa vazão utilizando a bomba peristáltica, com mangueira exclusiva para cada poço para evitar contaminação cruzada.

Os métodos de análises químicas foram modificados ao longo do experimento (**Tabela 12**), devido a necessidade de um limite de detecção menor. Os métodos e faixas de leitura desses equipamentos são descritos na **Tabela 13**.

Tabela 12 - Equipamentos utilizados para determinação dos compostos nas campanhas de injeção

Composto	1º injeção	2º injeção	3º injeção
Cl^-	DR2800	DR2800	DIONEX modelo ICS900
NO_3^-	RQflex Plus e DR2800	RQflex Plus	DIONEX modelo ICS900
NH_4^+	RQflex Plus	RQflex Plus	na
$\delta^{18}\text{O}_{\text{NO}_3}$, $\delta^{15}\text{N}_{\text{NO}_3}$ na não analisado	na	na	IRMS – Delta Plus

Tabela 13 - Descrição dos compostos e métodos de análises utilizados nas campanhas de injeção

Composto	Equipamento	Faixa de leitura	Método
NO_3^-	RQflex Plus	5,00 – 225,00 mg/L	Reflectômetro
NO_3^-	DR2800	0,30 – 30,00 mg/L	8039 - espectrometria do infravermelho
NO_3^-	DIONEX modelo ICS900	0,011 mg/L ¹	Cromatografia de íons
NH_4^+	RQflex Plus	0,20 – 7,00 mg/L	Reflectômetro
Cl^-	DR2800	0,10 – 25,00 mg/L	8113 - espectrometria do infravermelho
Cl^-	DIONEX modelo ICS900	0,010 mg/L ¹	Cromatografia de íons
$\delta^{18}O_{NO_3}$, $\delta^{15}N_{NO_3}$	IRMS	$\pm 0,5\%$	Espectrômetro de massa

¹ Limite de detecção do equipamento

O intervalo entre as medições (**Tabela 14**) foi adequado entre cada campanha, levando em conta as respostas obtidas nas primeira e segunda campanhas.

Tabela 14 - Periodicidade e intervalos dos trabalhos realizados

Parâmetros	1º injeção	2º injeção	3º injeção
Duração do monitoramento	300 horas	120 horas	624 horas
Nível d'água	48 horas	24 horas	A cada 168 horas (1 X por semana)
Físico-químicos	48 horas	24 horas	Em todas as coletas
Químicos	6, 12, 24 e 48 horas	6 horas	3, 12, 24 e 72 horas

Fonte: Trabalho de campo

A sonda multiparamétrica da YSI foi calibrada com as soluções padrões da HANNA para todos os parâmetros medidos.

A precisão e a acurácia dos RQflex e DR2800 foram verificadas através de medições de soluções com concentrações conhecidas nos dias das medições. As soluções com concentrações conhecidas foram preparadas no laboratório de hidrogeoquímica do CEPAS|USP misturando-se água deionizada e sais com grau de pureza próximo a 100%.

5 RESULTADOS

5.1 INTERAÇÃO DAS RAÍZES COM O AQUÍFERO

As primeiras evidências de que as raízes estavam em profundidades maiores que oito metros, foram observadas em abril de 2014, durante o monitoramento do nível d'água dos poços P1 a P10. Ao retirar os equipamentos dos poços, observou-se que elas os envolviam (**Figura 15**). Porém, a presença de raízes deu-se apenas nos poços localizados no interior da lona (P4 ao P10).

Figura 15 – Raízes de eucaliptos envolvendo o medidor de na em 'a', em 'b' envolvendo o bailer, em abril de 2014



Fonte: Trabalho de campo

Em setembro de 2014, quando os poços P4 a P10 foram substituídos por seus filtros estarem obstruídos por partículas finas, as raízes foram observadas nas zonas não saturada e zona saturada (**Figura 16**).

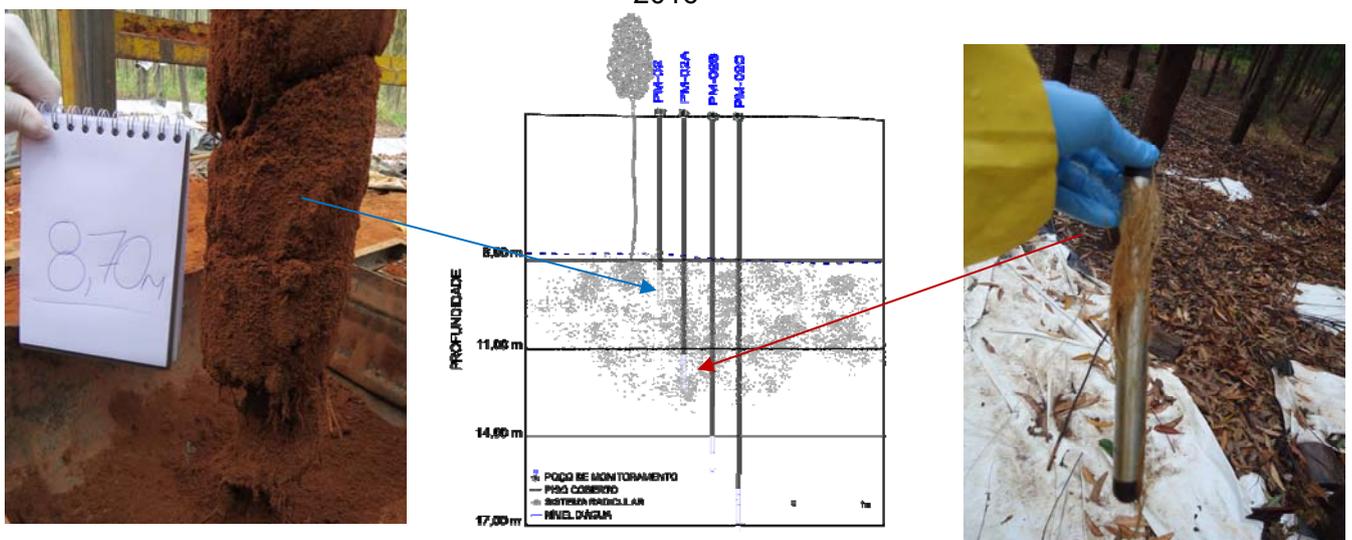
Figura 16 – Raízes de eucaliptos na zona não saturada em a, em b na zona saturada



Fonte: Trabalho de campo

Essas evidências confirmam a eficiência da interrupção da infiltração das chuvas, pela manta plástica. Tal técnica intensificou o crescimento das raízes até profundidades de 12,70 m e cerca de 5 m dentro da zona saturada (**Figura 17**). Cabe ressaltar que a seção filtrante desses poços é de apenas um metro, e não há outra forma das raízes acessá-lo exceto pela zona saturada do aquífero na própria profundidade do filtro.

Figura 17 - Distribuição vertical das raízes em seção, em 'a' raízes interceptadas durante a perfuração da sondagem, em setembro de 2014; e em 'b' raízes encontradas entre 11,70 e 12,70 m de profundidade, no filtro do PM2A, em agosto de 2016

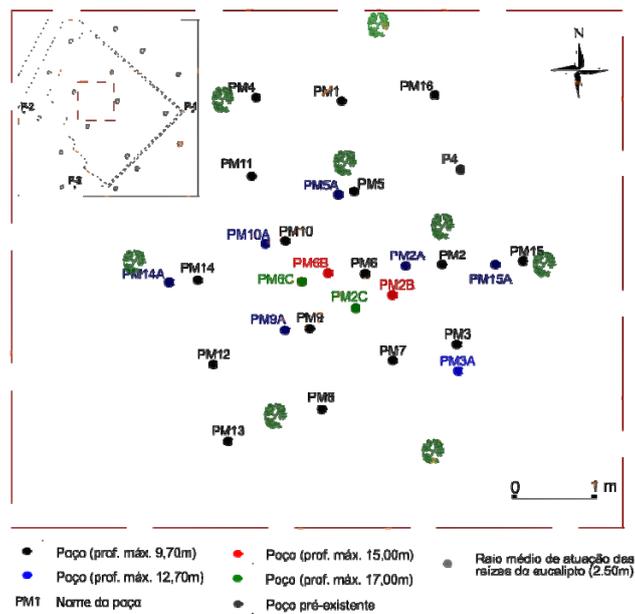


Fonte: Trabalho de campo

Verticalmente, as raízes cresceram da parte superior do solo (ocupavam profundidade média de 1,00 m) até a zona não saturada (8,00 m) de outubro de 2013 até julho de 2014, cerca de 0,9 m por mês. E continuaram adentrando à zona saturada por mais 5,00 m. Horizontalmente as raízes ocuparam toda a área da rede de poços. As raízes observadas ao longo do perfil eram espessas e ao chegar no nível d'água eram finas e em grande volume.

Em relação à distribuição horizontal das raízes, a localização dos eucaliptos e dos poços de monitoramento foi considerada para calcular o raio de atuação das mesmas (**Figura 18**) em 2,50 m do centro do tronco. Esse valor foi obtido ao observar raízes no poço mais distante de um eucalipto, o PM3 localizado a leste da área. Contudo a presença das raízes no PM3 pode ser proveniente de outra árvore.

Figura 18 - Abrangência horizontal das raízes na área impermeabilizada

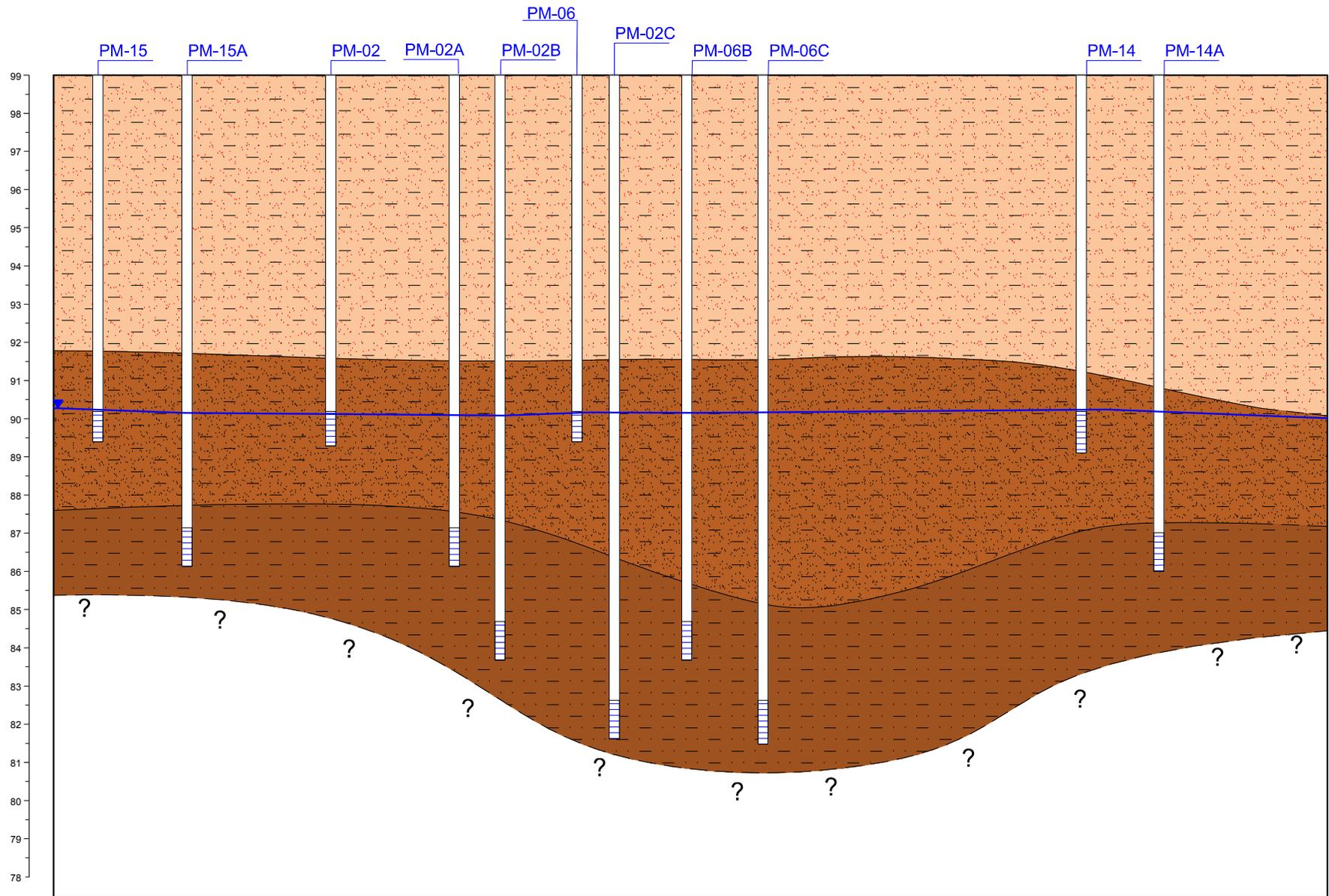


5.2 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA

5.2.1 Litologia e características hidráulicas

A litologia descrita durante a perfuração das sondagens é predominantemente arenosa, homogênea em profundidade e lateralmente (**Figura 19**) Na profundidade de aproximadamente 17,3 m uma camada de solo mais resistente foi interceptado pelo trado manual. Neste caso, optou-se por interromper a perfuração, assumindo-se que a partir dessa profundidade há um aquífero que deveria ser preservado.

Análises químicas e físicas realizadas em amostras de solo coletada durante a perfuração, mostrou que o solo tem frações de cerca de 80% de areia, 18% de argila e 2% de silte (**Tabela 15**), o valor de porosidade efetiva é de 28% (**Tabela 16**), e a quantidade de matéria orgânica foi de 1 a 4 g.kg⁻¹ (**Tabela 17**).



LEGENDA

-  Areia média argilosa vermelha.
-  Areia média argilosa marrom.
-  Areia média a fina marrom com porções vinho.

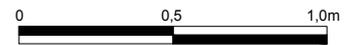


Tabela 15 - Quantidade de partículas em porcentagem, segundo o seu tamanho, distribuídas em amostras de solo coletadas durante a perfuração da sondagem S19 em profundidades nas quais foram observadas visualmente mudança na textura

Amostra	Profundidade (m)	Areia Total	Argila	Silte	Classe de textura
S19/1,00	1,00	77	20	3	média-arenosa
S19/8,00	8,00	74	25	1	média-arenosa
S19/9,00	9,00	89	9	2	arenosa
S19/12,00	12,00	74	24	2	média-arenosa

A amostra de solo coletada a 9,00 m de profundidade, na zona saturada, possui mais areia em relação às amostras mais rasas e mais profundas. Tal observação também se estende por toda a área.

Tabela 16 - Porosidade efetiva e porosidade real determinada em amostra indeformada de solo (AI-01) coletada na zona capilar do perfil (9 m de profundidade) durante a perfuração da sondagem S19

Parâmetros físicos	AI-01
Porosidade efetiva (cm ³ /cm ³)	0,28
Porosidade total (cm ³ /cm ³)	0,47

Os valores de porosidade efetiva e porosidade total são condizentes com as descrições litológicas e com os ensaios de granulométrica realizados na mesma amostra.

Tabela 17 - Quantidade de carbono orgânico em g.Kg⁻¹ em amostras de solo coletadas durante a perfuração da sondagem S-19 de metro em metro nas zonas saturada e insaturada do solo

Amostra	Profundidade (m)	Carbono orgânico (g.kg ⁻¹)
S19/1,00	1,00	3
S19/2,00	2,00	3
S19/3,00	3,00	4
S19/4,00	4,00	2
S19/5,00	5,00	2
S19/6,00	6,00	3
S19/7,00	7,00	2
S19/8,00	8,00	4
S19/9,00	9,00	2
S19/10,00	10,00	1
S19/11,00	11,00	1
S19/12,00	12,00	2
S19/13,00	13,00	1

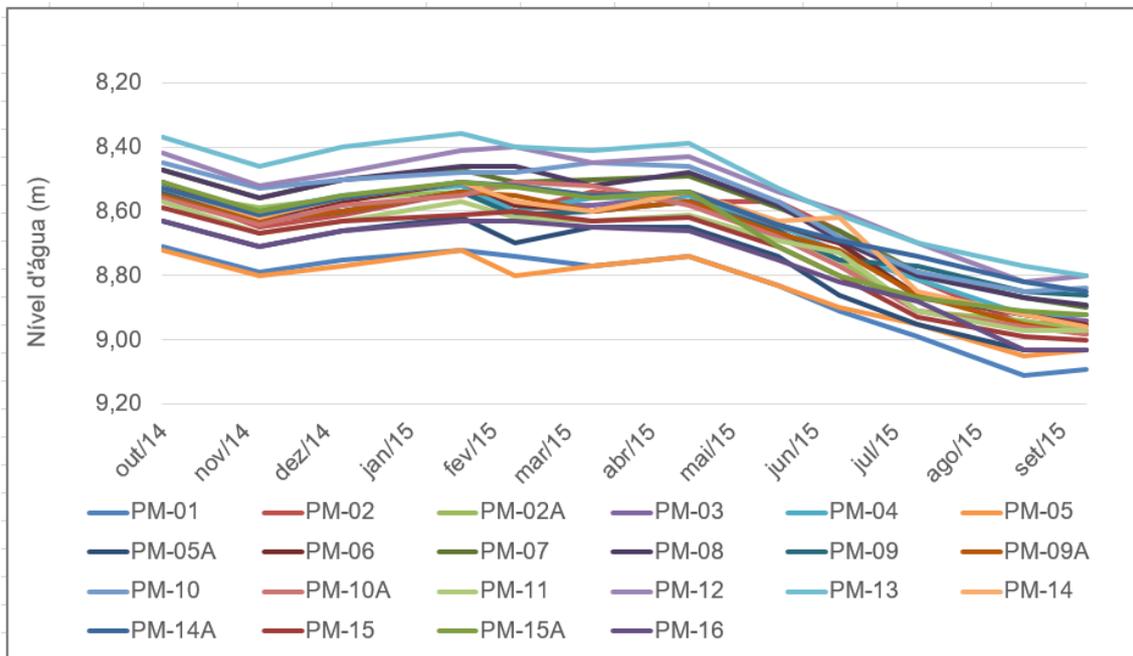
Observam-se poucas diferenças nos teores de carbono orgânico ao longo do perfil, com ligeiro predomínio próximo à superfície, provavelmente associado à serapilheira.

5.2.1.1 Variação dos níveis d'água em resposta à precipitação

Os níveis d'água nos poços de monitoramento foram medidos em período de chuvas e estiagem durante um ano hidrológico (outubro de 2014 a agosto de 2015), em agosto de 2016 (3º injeção) e janeiro de 2017 (monitoramento) (**Tabela 18 – Anexo 1**).

O nível d'água nos poços da área coberta em outubro de 2014 variaram de 8,37 m a 8,72 m, já em maio de 2015 variaram de 8,53 m a 8,83 m, e continuaram a rebaixar até setembro 2015 (**Figura 20**).

Figura 20 – Variação do nível d'água nos poços localizados na área de superfície coberta de outubro de 2014 a setembro de 2015



Na área descoberta os níveis d'água variaram de 7,63 m a 9,72 m em outubro de 2014, enquanto em maio variaram de 7,81 m a 9,48 m (**Figura 21**). Há uma diferença topográfica entre os poços P1, localizado a montante da lona, e os poços P2 e P3 localizados a jusante da lona.

Figura 21 – Variação do nível d'água nos poços localizados na área de superfície descoberta de outubro de 2014 a setembro de 2015



Neste período o volume de precipitação foi de 1338 mm no EECFI, segundo os dados registrados na estação meteorológica localizada na sua sede, a cerca de 500 m do lote 48. O período de seca foi marcado por dois meses anômalos (julho e setembro de 2015) em que o volume de chuva acumulado chegou próximo a 150 mm (**Figuras 22 e 23**).

Figura 22 – Média dos níveis d'água dos poços localizados na área de superfície coberta versus precipitação mensal de outubro de 2014 a setembro de 2015

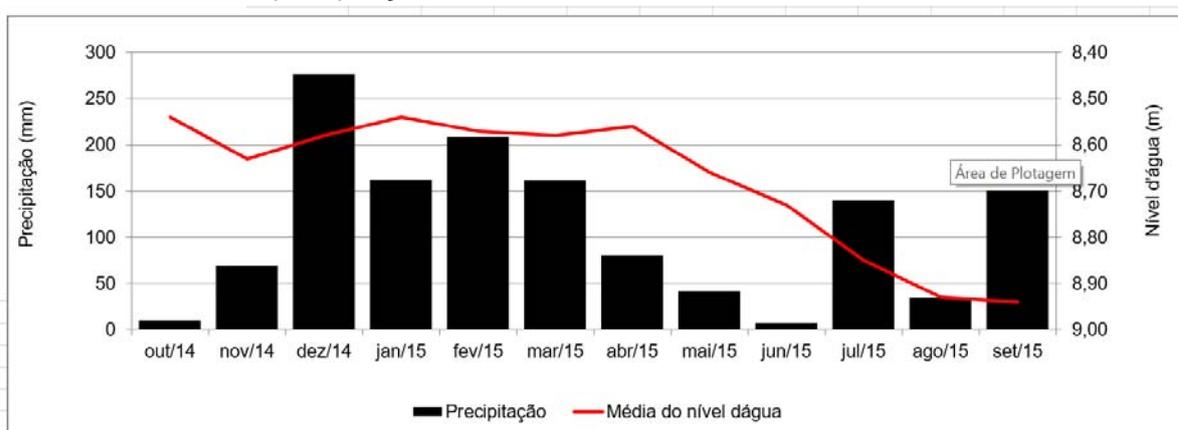
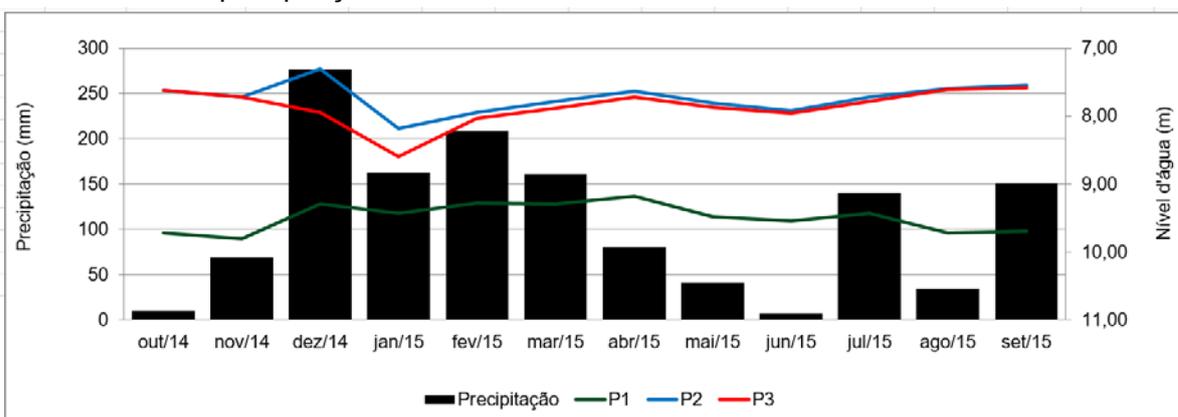


Figura 23 – Nível d'água dos poços localizados na área de superfície descoberta versus precipitação mensal de outubro de 2014 a setembro de 2015



Na área descoberta, as variações de nível d'água foram caracterizadas pela intensidade dos eventos de precipitação (**Figura 22**). Nesta área, com o aumento do volume precipitado nas estações chuvosas os níveis de água dos poços elevaram tanto os poços P2 e P3 (jusante da lona), como a montante da lona, como no P1.

Entretanto, na área coberta, o fator controlador das variações de nível d'água foi a evapotranspiração, pois com a escassez de outras fontes de água, os eucaliptos passaram a retirá-la do aquífero. Tanto que o rebaixamento dos níveis d'água, iniciado em maio de 2015 com o período de seca, prolongou-se até setembro de 2015, apesar do aumento no volume de chuvas a partir de julho de 2015 (**Figura 23**).

5.2.1.2 Potenciometria do aquífero

Foram calculadas as cargas hidráulicas (**Tabela 18**) a partir dos dados de nível d'água e cota relativa das bocas dos poços de monitoramento concentrados na área de superfície coberta para os meses de janeiro de 2015 (época de chuvas) e julho de 2015 (época de estiagem). A interpolação das cargas hidráulicas permitiu a elaboração de mapas potenciométricos dos respectivos meses (**Figuras 24 e 25**).

Figura 24 - Potenciometria do aquífero em janeiro de 2015, em (a) a interpolação das cargas hidráulicas dos poços com filtro de profundidade entre 8,60 e 9,80 m, em (b) dos poços com filtro entre 11,60 e 12,80 m na área coberta pela lona

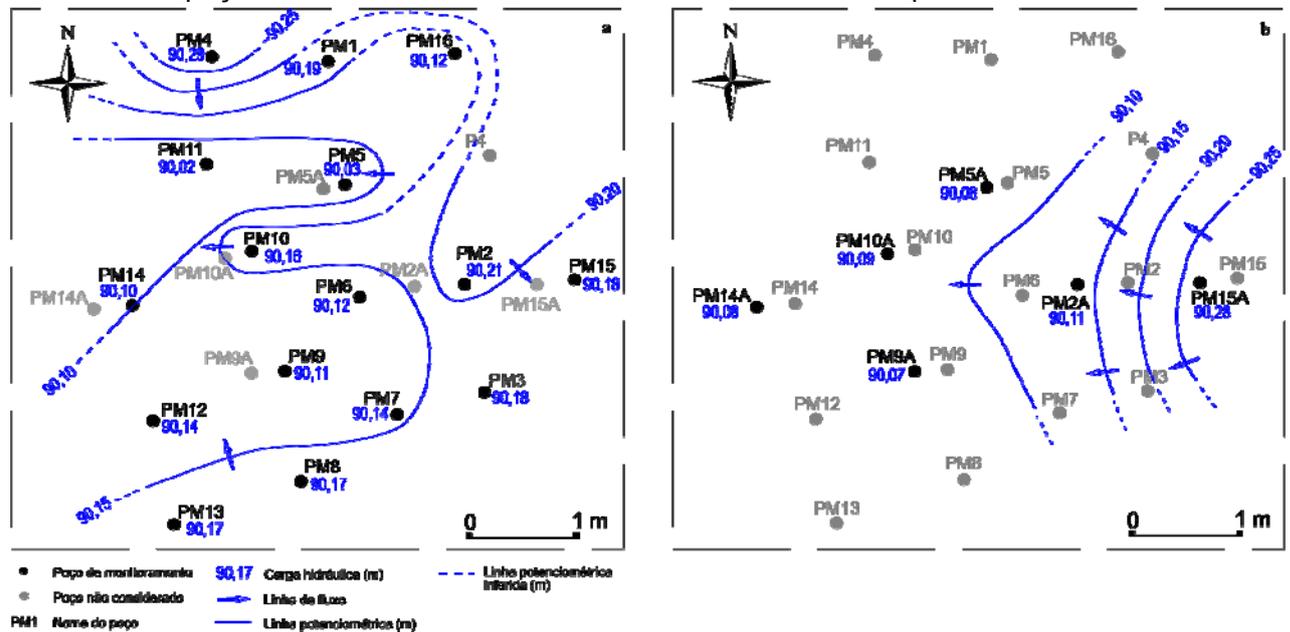
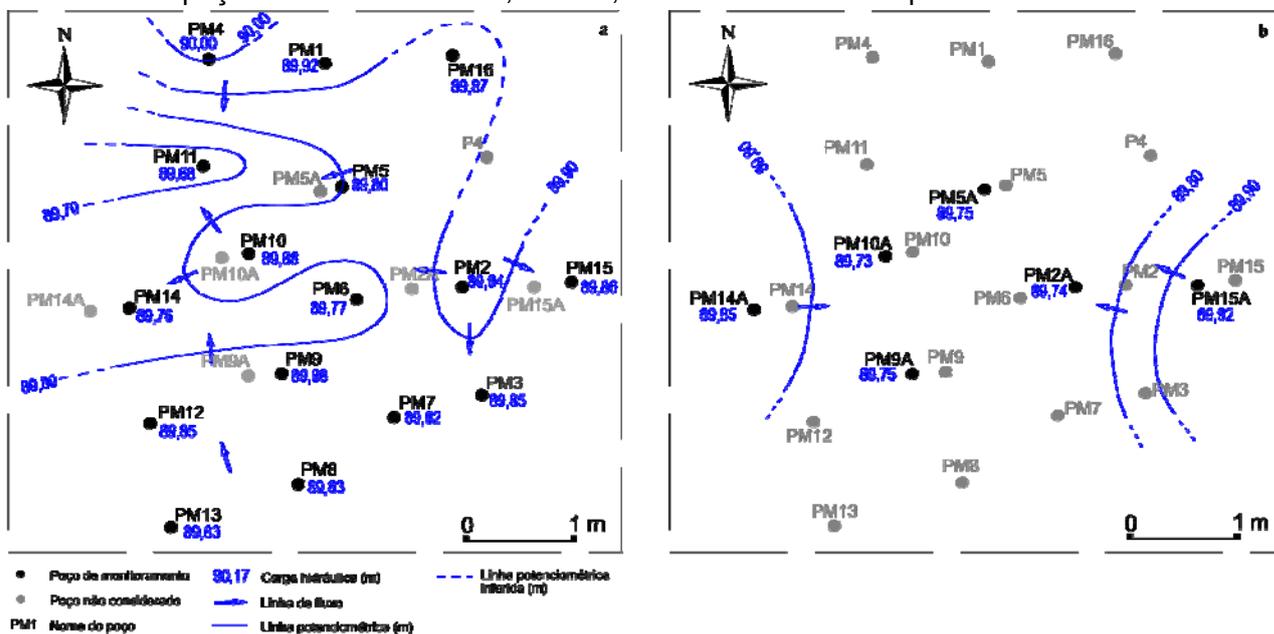


Figura 25 - Potenciometria do aquífero em julho de 2015, em (a) a interpolação das cargas hidráulicas dos poços com filtro de profundidade entre 8,60 e 9,80 m, em (b) dos poços com filtro entre 11,60 e 12,80 m na área coberta pela lona



Os resultados obtidos a partir das cargas hidráulicas de janeiro de 2015 e julho de 2015, apontaram que o fluxo ocorre preferencialmente de leste para oeste nos poços com filtro entre 8,60 e 9,80 m, porém com componentes em outras direções. Essa mudança de direção de fluxo pode ser em resposta à absorção da água subterrânea pelas raízes dos eucaliptos.

Ao mesmo tempo, as cargas hidráulicas nos poços de filtro intermediário (11,60 a 12,80 m) as linhas equipotenciais indicam fluxo de leste para oeste ocorrendo de forma mais uniforme.

No caso dos fluxos verticais, os conjuntos de poços PM-02, PM-06, PM-09 e PM-10, localizados no centro do experimento, o fluxo é descendente; nos conjuntos PM-03, PM-14 e PM-15 o fluxo é horizontal; e apenas no conjunto PM-05 o fluxo é ascendente.

Tabela 19 – Comparativo entre carga hidráulica e profundidade da seção filtrante

Poço	Carga Hidráulica (m)	Sentido do Fluxo	Poço	Carga Hidráulica (m)	Sentido do Fluxo	Poço	Carga Hidráulica (m)	Sentido do Fluxo
PM02 ¹	90,75	Descendente	PM06 ¹	90,66	Descendente	PM09 ¹	90,62	Descendente
PM02A	90,64		PM06B	90,39		PM09A	90,58	
PM02B	90,55		PM06C	90,33		PM10 ¹	90,72	Descendente
PM02C	90,33		PM05 ¹	90,56	PM10A	90,60		
PM03 ¹	90,73	Horizontal	PM14	90,59	Horizontal	PM15 ¹	90,74	Horizontal
PM03A	90,73		PM14A	90,59		PM15A	90,74	

¹ Filtro de 8,60 a 9,80 m; A filtro de 11,60 a 12,80 m; B filtro de 14,00 a 15,00 m; C filtro de 16,00 a 17,00 m.

5.2.1.3 Parâmetros hidráulicos

Os 21 ensaios de permeabilidade do tipo *Bail Test* realizados foram interpretados com o software *Aquifer Test*, da Schumberger, pelo método de Hvorslev. Segundo HVORSLEV (FETTER, 1994) condutividade hidráulica (K) pode ser obtida pela equação:

$$K = \frac{r^2 \chi \ln \left(\frac{L_e}{R} \right)}{2L_e T_o}$$

Onde:

K= condutividade hidráulica (L/T)

R= raio do revestimento (L)

R= raio do furo (L)

L_e= comprimento da seção filtrante (L)

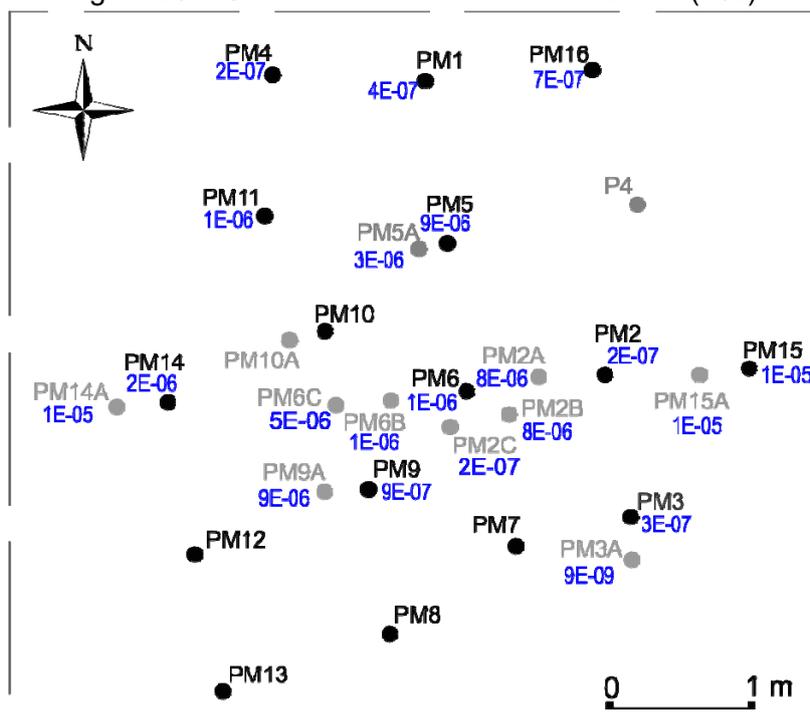
T_o= tempo que o nível d'água leva para retornar ao inicial (h/h₀).

Os resultados mostram uma condutividade hidráulica média variando de 10⁻⁶ a 10⁻⁹ m/s (**Tabela 20**). Tal heterogeneidade pode ser visualizada na **Figura 26**.

Tabela 20 - Condutividade hidráulica

Poço	Litologia na seção filtrante	Profundidade do filtro	Valores de K (m/s)
PM-01	Areia média argilosa vermelha	8,80 à 9,80 m	4,08E-07
PM-02	Areia média argilosa vermelha	8,70 à 9,70 m	2,38E-07
PM-03	Areia média argilosa vermelha	8,60 à 9,60 m	3,45E-07
PM-04	Areia média argilosa vermelha	8,70 à 9,70 m	2,18E-07
PM-05	Areia média argilosa vermelha	8,70 à 9,70 m	9,73E-06
PM-06	Areia média argilosa vermelha	8,70 à 9,70 m	1,48E-06
PM-09	Areia média argilosa vermelha	8,70 à 9,70 m	6,19E-07
PM-11	Areia média argilosa vermelha	8,70 à 9,70 m	1,45E-06
PM-14	Areia média argilosa vermelha	8,80 à 9,80 m	2,17E-06
PM-15	Areia média argilosa vermelha	8,70 à 9,70 m	1,49E-05
PM-16	Areia média argilosa vermelha	8,70 à 9,70 m	7,37E-07
	Média geométrica		1,08E-06
PM-02A	Areia média argilosa marrom	11,70 à 12,70 m	8,68E-06
PM-03A	Areia média argilosa marrom	11,60 à 12,60 m	9,74E-09
PM-05A	Areia média argilosa marrom	11,70 à 12,70 m	3,22E-06
PM-09A	Areia média argilosa marrom	11,70 à 12,70 m	9,60E-06
PM-14A	Areia média argilosa marrom	11,80 à 12,80 m	1,35E-05
PM-15A	Areia média argilosa marrom	11,70 à 12,70 m	1,48E-05
	Média geométrica		2,84E-06
PM-02B	Areia média variegada com porções de argila	14,00 à 15,00 m	1,43E-07
PM-02C	Areia média variegada com porções de argila	14,00 à 15,00 m	2,62E-07
PM-06B	Areia média variegada com porções de argila	16,00 à 17,00 m	1,87E-06
PM-06C	Areia média variegada com porções de argila	16,00 à 17,00 m	5,76E-06

Figura 26 – Condutividade hidráulica horizontal (m/s)



Observam-se duas áreas onde a água flui com maior resistência. Estes locais estão próximos ao PM-02, e ao PM16 onde o valor de K é na ordem de magnitude 1×10^{-7} . Nota-se que estes valores de K influenciam diretamente o fluxo da água subterrânea (**Figuras 24 e 25**).

A velocidade de migração da água subterrânea do aquífero livre foi calculada a partir da equação de Darcy.

O gradiente hidráulico (i) foi calculado entre os poços PM-02 e PM-06 para os filtros de 8,60 a 9,80 m, e PM-15A e PM-02A para os filtros de 11,60 – 12,80, com piezometria de julho de 2015 (Tabela 21).

Cabe ressaltar que essa velocidade de deslocamento é calculada para a água subterrânea, porém como o aquífero local está ocupado pelas raízes dos eucaliptos esse valor pode variar, pois essas podem criar fluxos preferenciais.

Tabela 21 - Velocidade do fluxo da água subterrânea

Profundidade da seção filtrante (m)	k (cm/s)	i (m/m)	Ne (%)	V (cm/s)	V (m/ano)
8,60 a 9,80	$8,42 \times 10^{-5}$	0,18	28	$5,11 \times 10^{-5}$	16,12
11,60 a 12,80	$1,92 \times 10^{-4}$	0,17	28	$1,23 \times 10^{-4}$	38,92

5.2.1.4 Balanço hídrico e cálculo da recarga

Entende-se que o balanço hídrico é um dos métodos para se estimar as entradas e saídas de água no ciclo hidrológico e pode ser usado desde a escala de uma bacia como localmente. Este método considera os termos: precipitação (P), evapotranspiração (ET), escoamento superficial (ESC), capacidade de campo - armazenamento de solo na camada superficial do solo (ARM) e recarga (R), na equação:

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

O escoamento superficial (ESC) é mensurado pelo coeficiente de escoamento superficial C':

$$ESC = C' \cdot P$$

Onde C determina quanto da precipitação, em volume, escorrerá pelo piso em função da litologia, e da função da declividade e da estação do ano (seca ou úmida) α , ou seja:

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

Tabela 22 - Valores de C e α

Tipo de solo	Declividade %	Coeficiente α	
		Estação seca	Estação úmida
Arenoso C = 0,30	0 - 2	0,17	0,34
	2 - 7	0,34	0,50
Argiloso C = 0,40	0 - 2	0,33	0,43
	2 - 7	0,45	0,55

Na área do experimento a litologia predominante é arenosa de C = 0,30, a declividade é 4% (GONÇALVES, 2014), e o coeficiente α 0,34 na estação seca e 0,50 na estação úmida, resultando em um escoamento superficial de 182 mm.

A capacidade de campo na camada superficial do solo (ARM) é a função da água disponível por tipo de solo (arenoso) e sua espessura ocupada pelas raízes (0,50 m):

ARM = água disponível em função do tipo de solo X espessura da camada de solo

Tabela 23 - Água disponível em mm na zona não saturada do solo

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

A precipitação (P) foi obtidas a partir dos dados coletados na estação meteorológicas da sede da EECFI, entre os meses de setembro de 2014 e outubro de 2015, totalizando 1.338 mm/ano.

Para determinar a evapotranspiração para área foi utilizado o cálculo proposto pela Embrapa (2010) em evapotranspiração da cultura:

$$ET_c = ET_o \times K_c$$

Onde:

ET_c = evapotranspiração potencial da cultura (mm/dia)

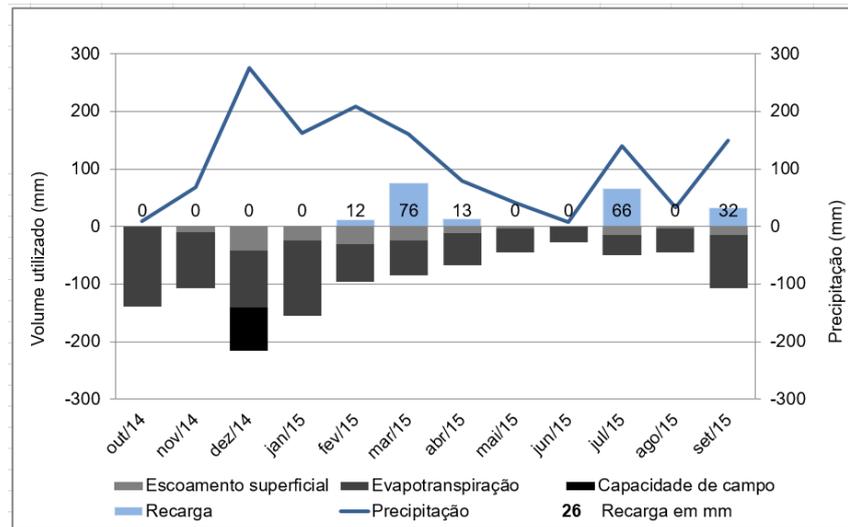
ET_o = evapotranspiração de referência (mm/dia)

K_c = coeficiente da cultura (eucaliptos idade média 0,82 (Alves, 2010))

Entre os métodos disponíveis para se determinar a evapotranspiração de referência (ET_o), Penman-Monteith (Embrapa, 2010) é o utilizado como base para o desenvolvimento de culturas por recomendação da FAO (Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura). Segundo os dados obtidos da estação meteorológicas da EECF instalada a 22 m de altura, em um lote ocupado por eucaliptos, a ET_o no período foi de 1.075 mm/ano. Sendo assim, a ET_c igual a 881,5 mm/ano.

A **Figura 27** mostra a água precipitada e evapotranspirada mês a mês segundo o balanço hídrico e as recargas e déficits, estabelecidas a partir da capacidade de campo, 75 mm, e do escoamento superficial, 182 mm.

Figura 27 – Volume da precipitação utilizado pelos mecanismos controladores da recarga do aquífero



De acordo com o balanço hídrico, 882 mm (65%) retornaram a atmosfera pela evapotranspiração, de um precipitado no período de 1338 mm. Apenas nos meses de fevereiro, março, abril, julho e setembro o volume precipitado supriu a demanda da evapotranspiração, da capacidade de campo e contribuiu para a recarga do aquífero, com excedente hídrico de 199 mm. Concordante com o comportamento, que pode se observar na elevação do nível d'água dos poços da área descoberta (**Figura 23**).

5.2.1.5 Modelo conceitual de circulação

A área do experimento localiza-se em um aquífero livre de sedimentos arenosos, associados aos sedimentos da Formação Marília (Grupo Bauru), com recarga direta associada à precipitação, e sua descarga ocorre nas drenagens superficiais, nos córregos Ita, localizado a 20 m do experimento. A espessura total deste aquífero é de 17,50 m e encontra-se por sobre um aquífero argiloso pouco permeável.

Na área não coberta pela lona, há tanto a infiltração da água no solo, como a evaporação do solo, a interceptação e a transpiração dos eucaliptos. Já na área coberta pela lona, não há a infiltração e a evaporação do solo, e as árvores removem a água diretamente da zona saturada, causando nitidamente um cone de rebaixamento nos meses de menor disponibilidade de água de maior gradiente hidráulico. Bilal (2014) reportou esse processo de absorção da água subterrânea pelos eucaliptos como biodrenagem.

5.2.2 Caracterização hidrogeoquímica

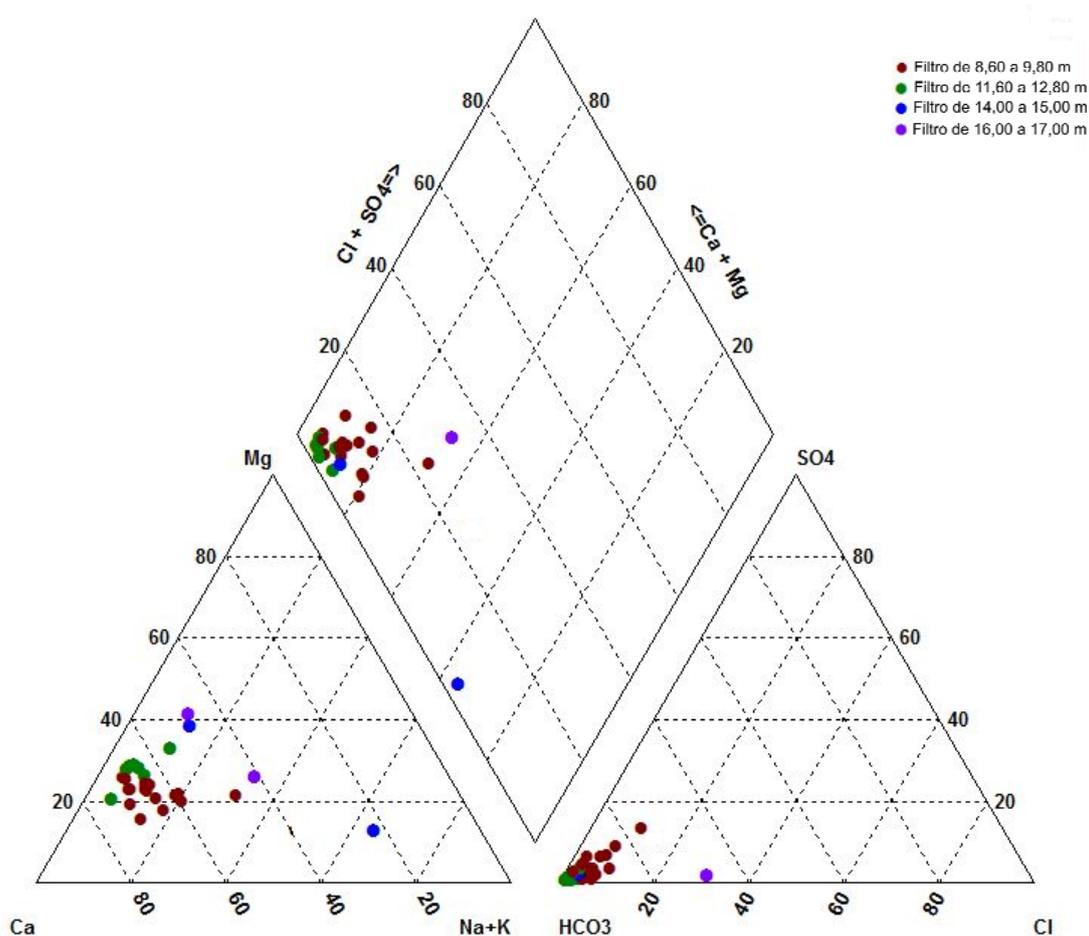
Com os resultados da campanha de amostragem de água de *background*, foram calculados os erros de balanço iônico, de forma a garantir a qualidade dos resultados analíticos, com erro máximo permitido entre -20% e +20% (DEUTSCH, 1997). Os resultados são apresentados na **Tabela 24 (Anexo 1)**.

As concentrações dos principais elementos utilizados pelas plantas na sua nutrição (NPK), encontrados na água subterrânea na forma dos íons, foram o NH_4 , K, NO_2 , HPO_4 e NO_3 , e estes estão em concentrações inferiores aos valores comumente encontrado no SAB e aqueles definidos como valores de referência de qualidade (VRQ) da CETESB (2012). Sugere-se que este empobrecimento das concentrações desses compostos se deva à absorção dos nutrientes pelos eucaliptos. Tais valores foram confirmados em novembro de 2014, em uma segunda campanha de amostragem. A análise para verificar a presença de matéria orgânica na água subterrânea foi negativa para todos os poços amostrados (**Tabela 25 – Anexo 1**).

Os parâmetros físico-químicos de Eh (ORP), pH e CE são apresentados na **Tabela 26 (Anexo 1)** e mostraram valores de pH entre 4,07 (PM-13) e 6,28 (PM-15A) indicando um ambiente ácido, diferente dos geralmente observados para o SAB em outras áreas (7,10). Já para o .ORP, os valores médios foram de 219,25 mV e o OD, variando de 7,26 mg/L no PM13 à 2,97 mg/L no PM-03A. A condutividade elétrica apresentou valores entre 8,50 e 69,5 $\mu\text{S}/\text{cm}$, indicando baixa salinidade, e concordante com as baixas concentrações de cátions e ânions detectadas. Finalmente, a temperatura mínima observada foi de 19,90 °C no PM-13 e a máxima foi de 22,20 °C no PM-10 caracterizada pela temperatura atmosférica local.

A análise dos dados pelo diagrama de Piper (**Figura 28**) indica que as águas são predominantemente bicarbonatadas cálcicas, porém os poços com filtros nas posições 14,00 a 15,00 m e 16,00 a 17,00 m apresentam-se calco-magnesianas.

Figura 28 – Diagrama de Piper



5.3 TESTES DE FITORREMEDIAÇÃO

5.3.1 Primeira injeção

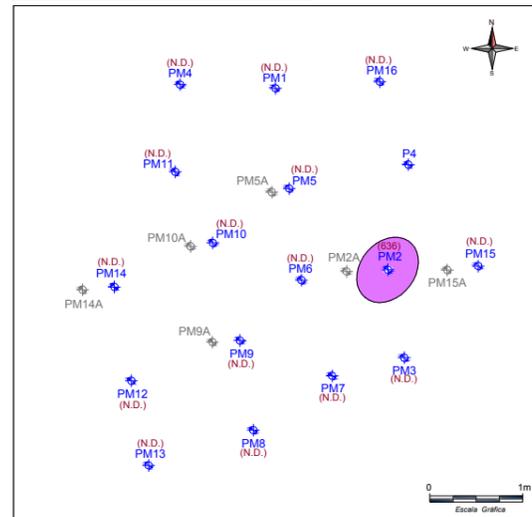
Após a injeção de uma solução de cloreto (500 mg/L) e de nitrato (500 mg/L) foram observadas mudanças na condutividade elétrica no poço de injeção PM-02, que subiu de 27,50 $\mu\text{g/L}$ (pré-injeção) para 346,30 $\mu\text{g/L}$ (22/05), vindo posteriormente (24/05) a cair para 148 $\mu\text{g/L}$ (**Tabela 27 – Anexo 1**). Nos demais poços não foram observadas modificações que representasse aporte de sais no aquífero. A mediana na temperatura manteve-se na faixa entre 22,80 e 22,50 $^{\circ}\text{C}$; o ORP no PM-02 mudou de 66,20 mV, antes da injeção, para 0,50 mV após a injeção (24/05); e o pH não mostrou alterações significativas, mesmo no poço de injeção.

O OD diminui em todos os poços ao comparar as campanhas de pré-injeção e pós-injeção, sendo no PM-02 o rebaixamento mais acentuado, variando de 6,00 para 2,53 mg/L.

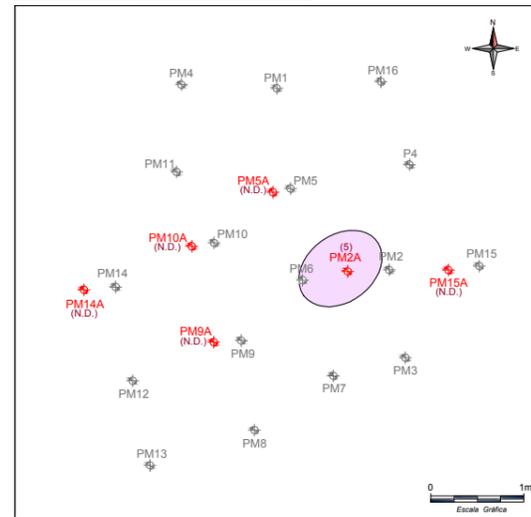
As concentrações de nitrato e cloreto no poço de injeção (PM-02) foram detectadas imediatamente após a injeção (6 horas) (**Tabelas 28 e 29 – Anexo 1**). As concentrações de nitrato variaram de 536 mg/L (3 horas) à 6 mg/L (168 horas), e para cloreto, as concentrações diminuíram de 480 mg/L (3 horas) para 10 mg/L (216 horas). A pluma de nitrato ou de cloreto não foram observadas em outros poços de monitoramento (**Figura 29**), indicando que foram totalmente consumidos pelas árvores.

As concentrações de nitrato e cloreto foram observadas no poço, PM-02A (6, 36, 132 e 192 horas para nitrato e 18, 108, 120 e 240 horas para cloreto), indicando que a pluma poderia ter migrado abaixo dos filtros do PM02A, obrigando a perfuração de poços mais profundos para delinear a pluma contaminante (**Figura 30**).

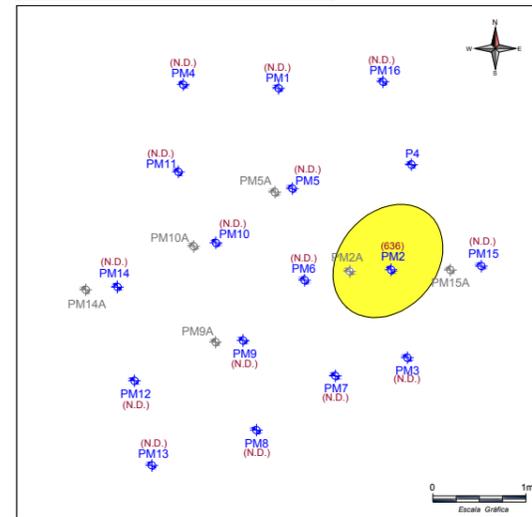
PLUMA DE NITRATO - 6 HORAS



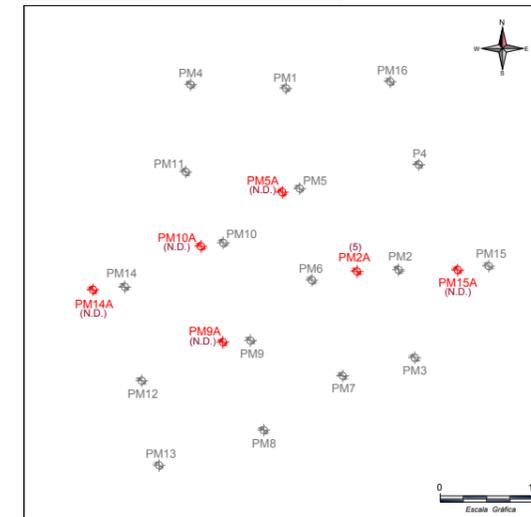
PLUMA DE NITRATO - 6 HORAS



PLUMA DE CLORETO - 72 HORAS



PLUMA DE CLORETO - 72 HORAS



LEGENDA:

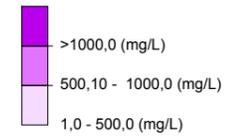
- POÇO DE MONITORAMENTO RASO
- POÇO DE MONITORAMENTO INTER. A
- POÇO DE MONITORAMENTO INTER. B
- POÇO DE MONITORAMENTO NÃO AMOSTRADO

(XX,XX) VALOR DE CONCENTRAÇÃO (mg/L)

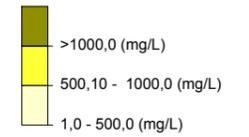
(N.D.) NÃO DETECTADO

(N.A.) NÃO ANALISADO

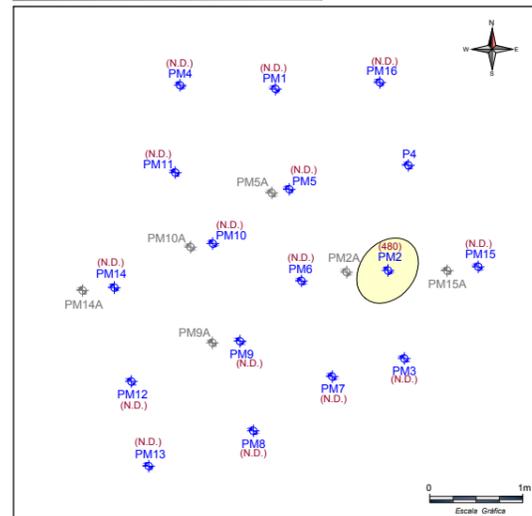
PLUMA DE NITRATO (mg/L)



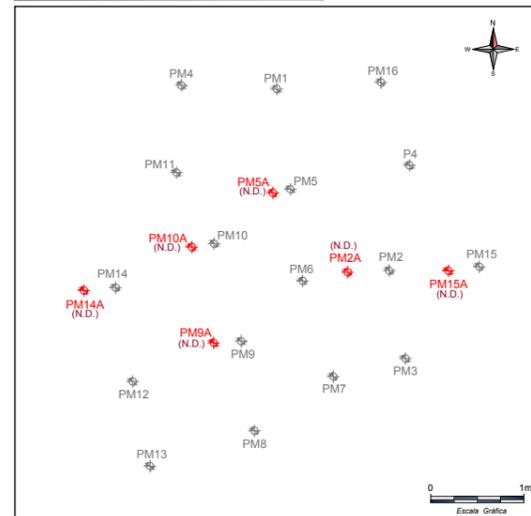
PLUMA DE CLORETO (mg/L)



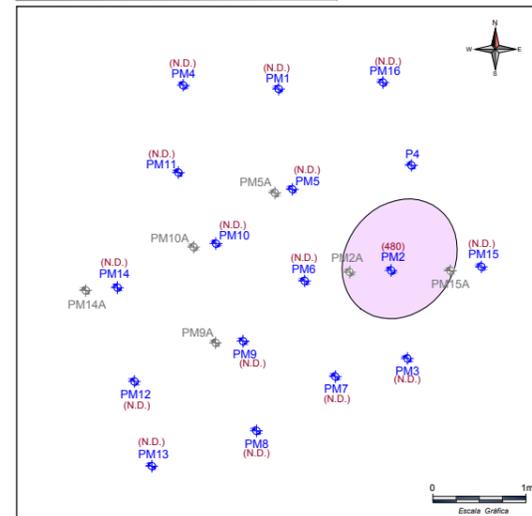
PLUMA DE CLORETO - 6 HORAS



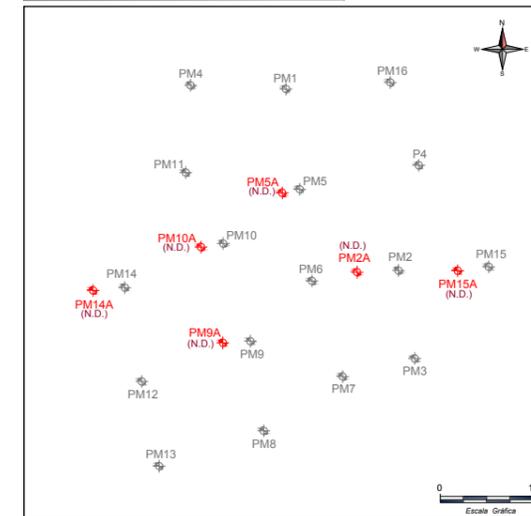
PLUMA DE CLORETO - 6 HORAS



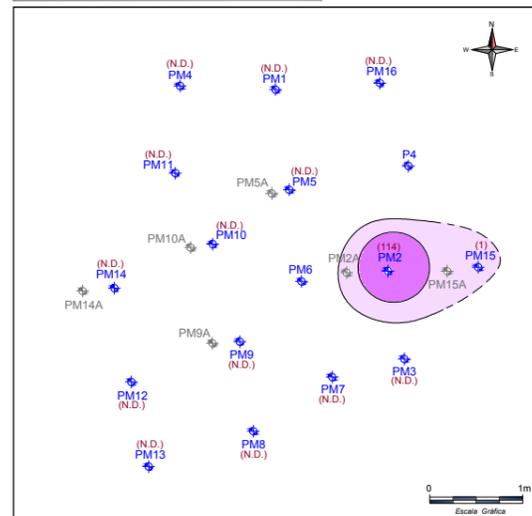
PLUMA DE NITRATO - 168 HORAS



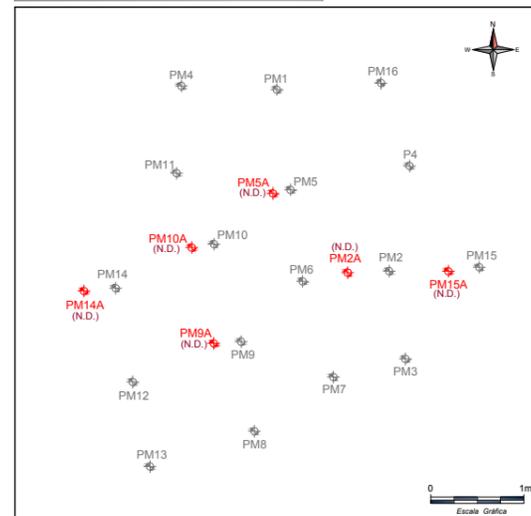
PLUMA DE NITRATO - 168 HORAS



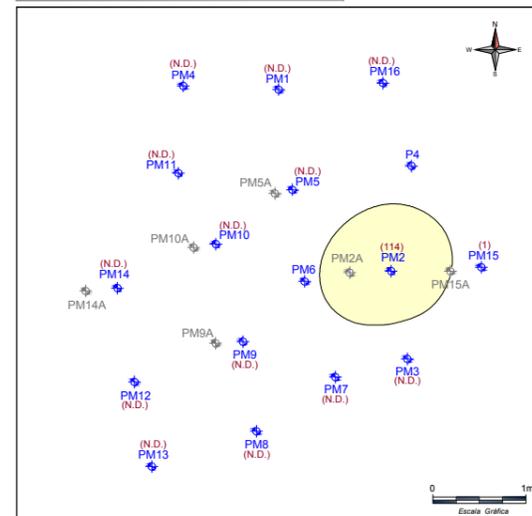
PLUMA DE NITRATO - 72 HORAS



PLUMA DE NITRATO - 72 HORAS



PLUMA DE CLORETO - 168 HORAS



PLUMA DE CLORETO - 168 HORAS

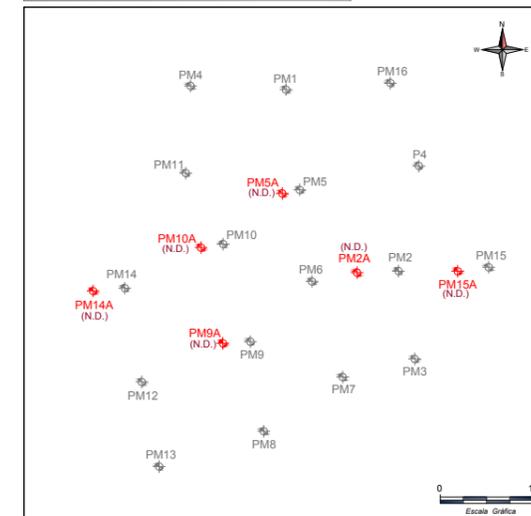
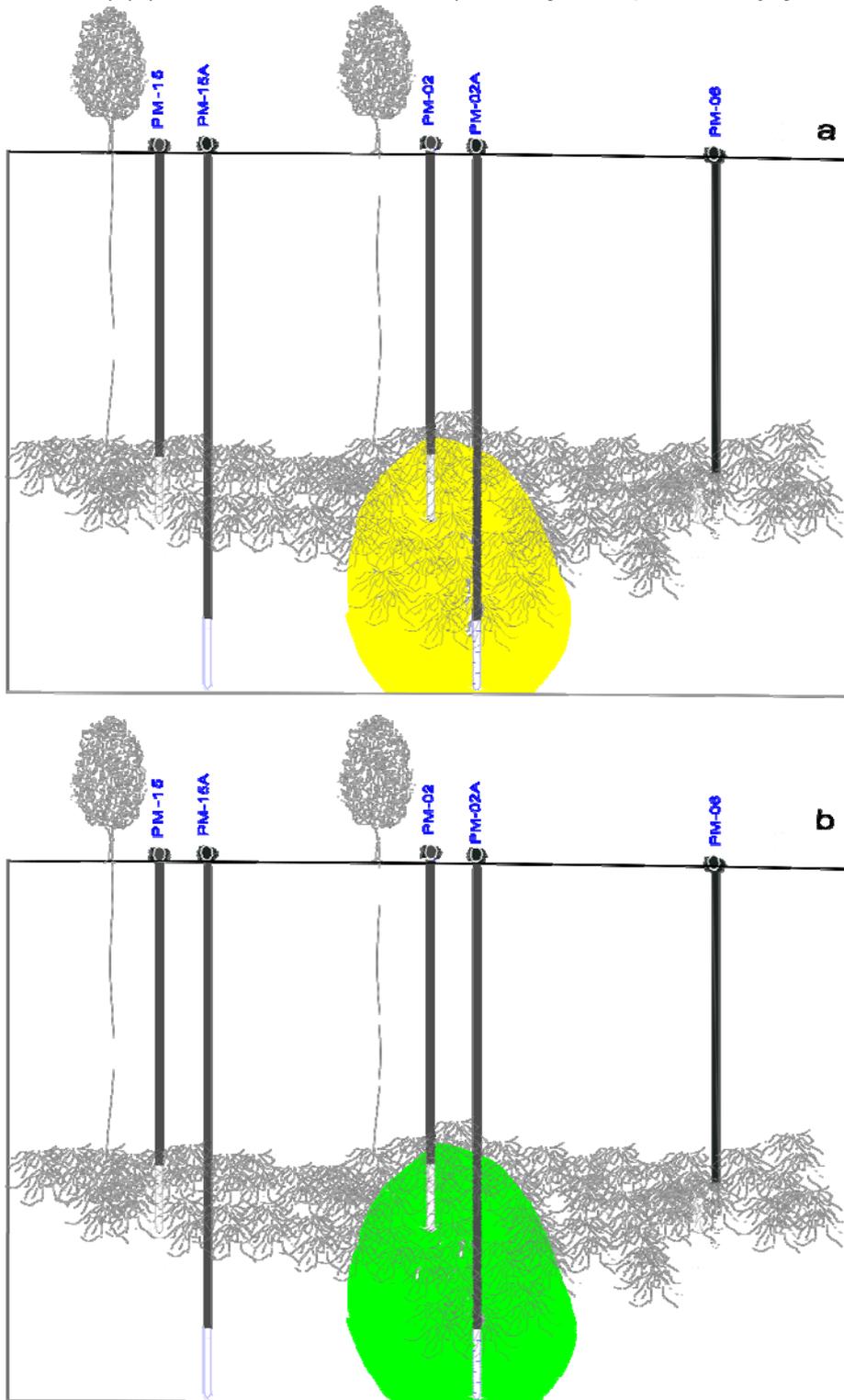
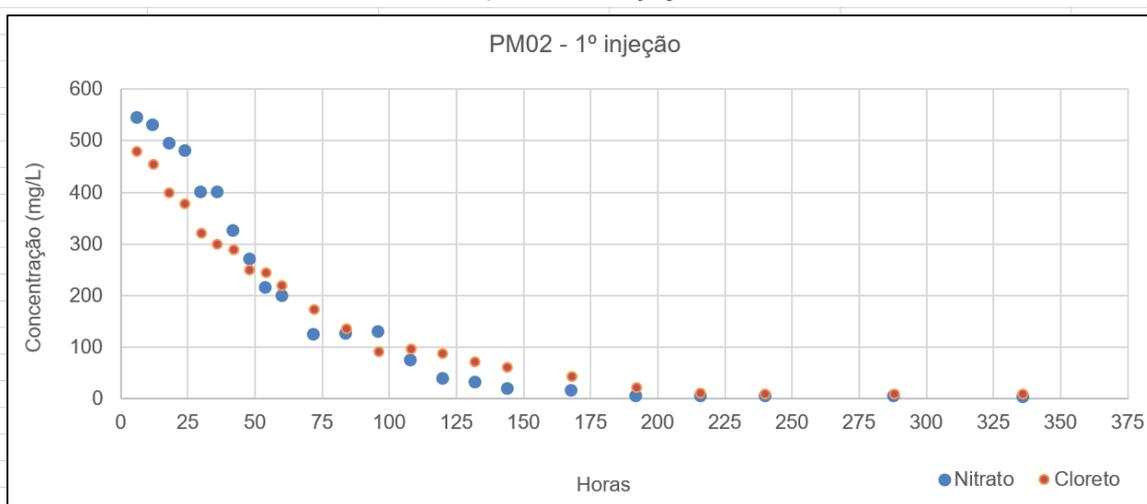


Figura 30 – Configuração das plumas de nitrato (a) (6, 36, 132 e 192 horas) e cloreto (b) (18, 108, 120 e 240 horas) em seção na primeira injeção



Ao comparar as concentrações de nitrato e de cloreto, nas primeiras horas do experimento há evidência de que ambos os íons estão sendo consumidos pela planta sem distinção. Porém a partir da 40ª hora o decaimento do nitrato é maior que o do cloreto, possivelmente devido ao processo de desnitrificação e/ou uma absorção seletiva pelas plantas (**Figura 31**).

Figura 31 – Decaimento das concentrações do cloreto e nitrato no tempo na primeira campanha de injeção

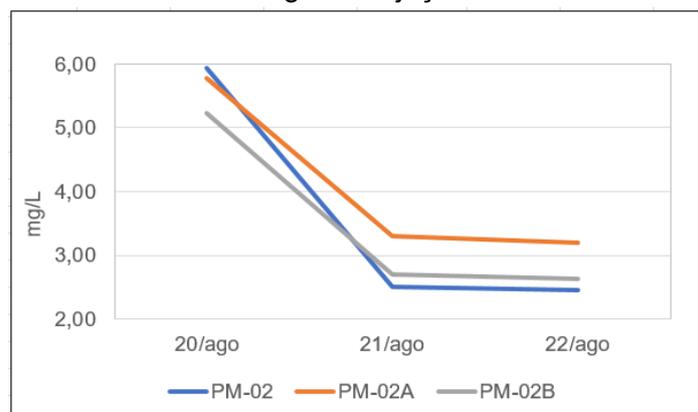


5.3.2 Segunda injeção

Uma solução de 2000 mg/L de nitrato e cloreto foi injetada no PM-02 em agosto de 2015. Como na primeira injeção a pluma não foi detectada além do PM02B.

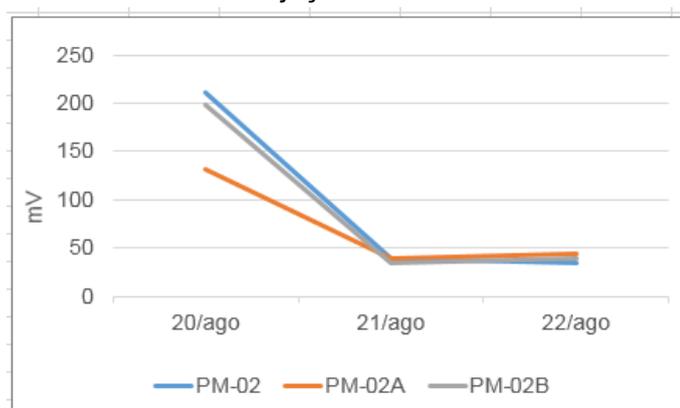
A mediana de OD na rede de poços variou antes e depois da injeção de 5,80 mg/L (21/08) para 3,53 mg/L (22/08) (**Tabela 30 – Anexo 1**). No PM-02 os valores diminuíram linearmente com o tempo, passando de 5,94 mg/L para 2,46 mg/L. O mesmo comportamento foi observado nos pares multiníveis do PM-02, PM-02A e PM-02B (**Figura 32**). O pH não mostrou alterações significativas, mesmo no poço de injeção.

Figura 32 – Comportamento do oxigênio dissolvido nos poços PM2, PM2A e PM2B na segunda injeção



O ORP no PM-02 mudou de 210,80 mV, antes da injeção, para 33,70 mV após a injeção. A mediana para todos os poços foi de 189,90 mV na pré-injeção para 32,00 mV no dia 21/08 e 51,50 mV no dia 22/08 (Figura 33).

Figura 33 – Comportamento do ORP nos poços PM2, PM2A e PM2B na segunda injeção

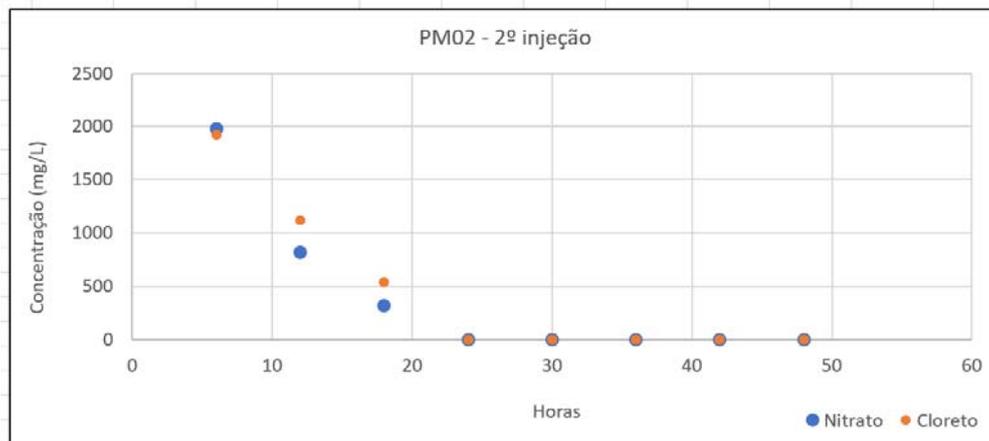


A condutividade elétrica no poço de injeção (PM-02) teve um aumento significativo após a injeção, passando de 30,10 $\mu\text{S}/\text{cm}$ para 4890,00 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Tabela 30). Contudo observasse-se que no PM-02B os valores foram maiores que no poço PM-02A. Nos demais poços não foram observadas modificações que representasse um aporte de sais ao aquífero.

A mediana da temperatura manteve-se na faixa entre 21,45 e 22,75 °C.

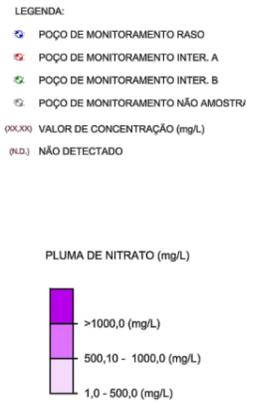
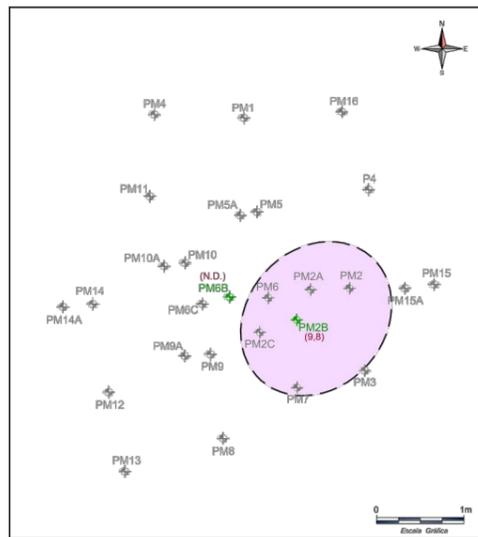
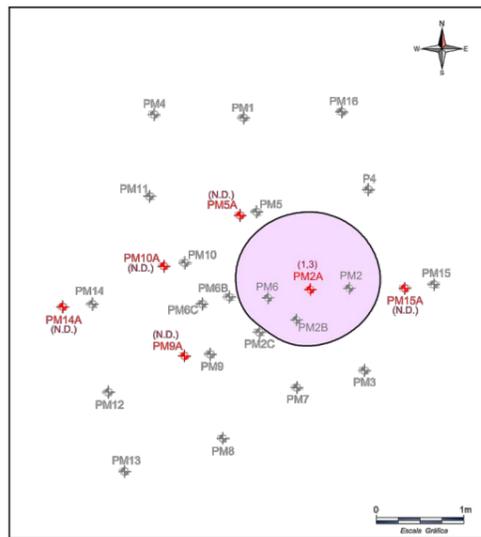
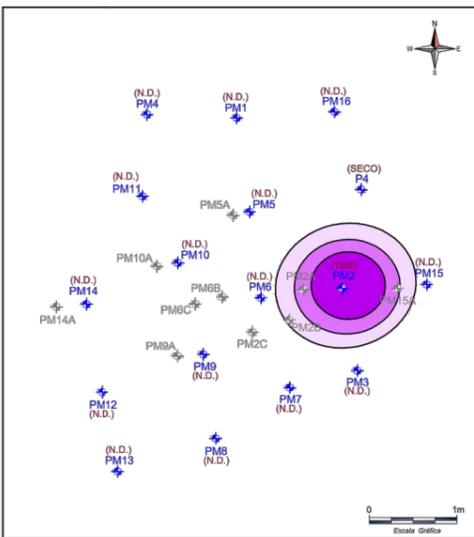
As concentrações de cloreto e nitrato se mantiveram restritas ao poço de injeção (PM-02), decaindo até atingir concentrações não detectáveis (**Figuras 34 e 35**). Apenas os multiníveis do PM-02 apresentaram concentrações de nitrato (**Tabela 31 – Anexo 1**), porém estas se mostraram abaixo do limite de detecção após 24. Já para o cloreto, além dos poços multiníveis PM-02, foram detectadas concentrações pontuais em outros pontos, configurando uma distribuição heterogênea (**Tabela 32 – Anexo 1**). Apenas no PM-07 foi detectada concentração de amônio de 1,0 mg/L no PM-07 (**Tabela 33 – Anexo 1**).

Figura 34 - Concentração do cloreto e nitrato no PM-02 no tempo na segunda campanha de injeção

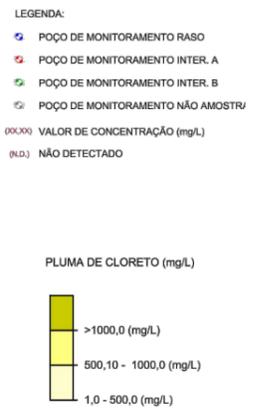
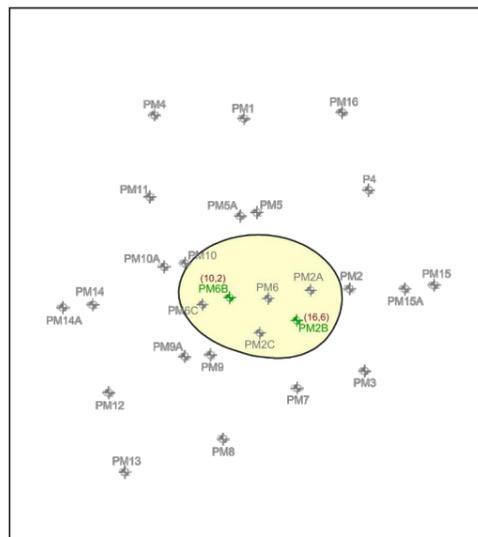
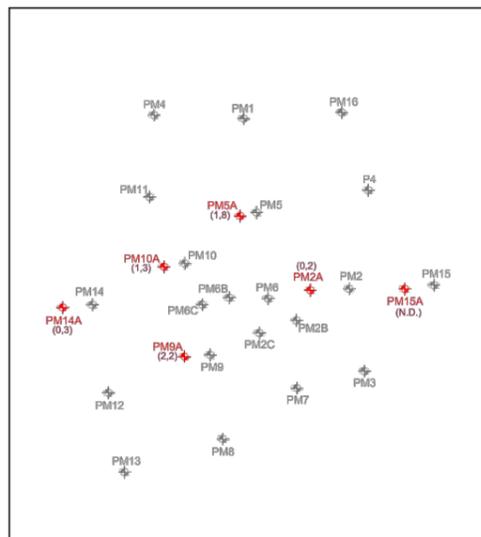
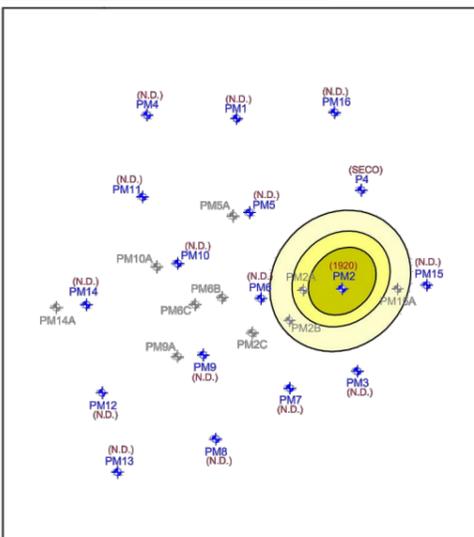


Observa-se que após 24 horas da injeção as concentrações no PM-02 atingiram valores abaixo da detecção. Contudo, concentrações de nitrato foram detectadas nos poços PM-02A e PM-02B (**Figura 36**), indicando a necessidade da instalação de mais um outro poço multinível para delimitação da pluma verticalmente.

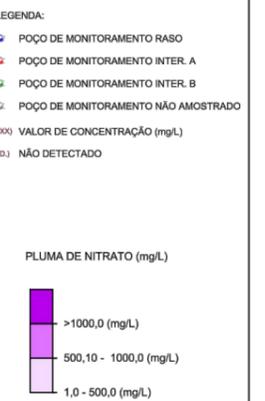
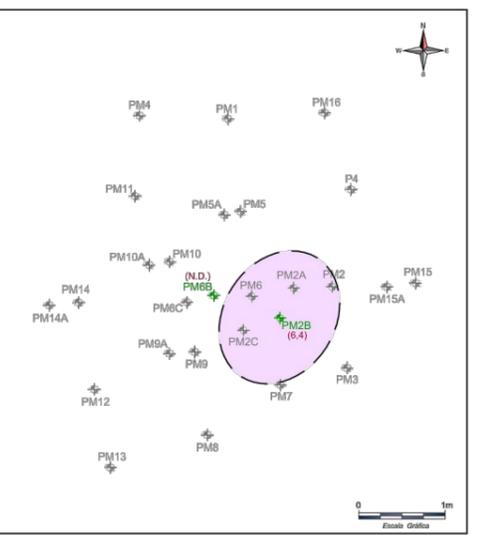
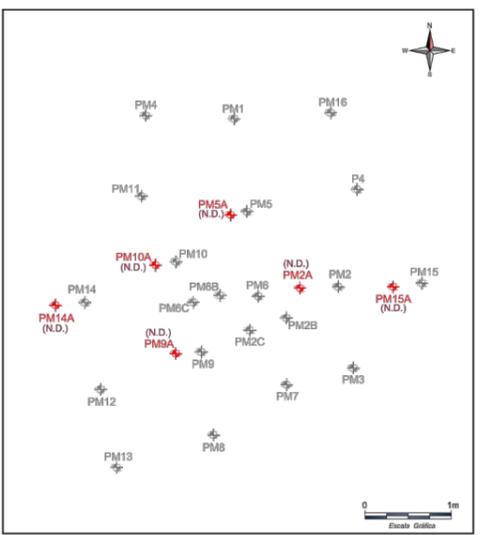
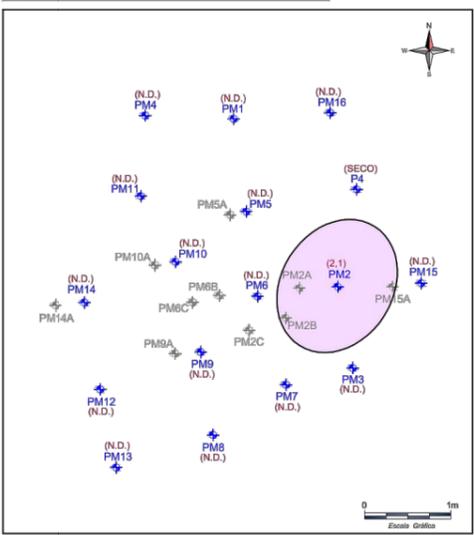
PLUMA DE NITRATO - 6 HORAS



PLUMA DE CLORETO - 6 HORAS



PLUMA DE CLORETO - 24 HORAS



PLUMA DE NITRATO - 24 HORAS

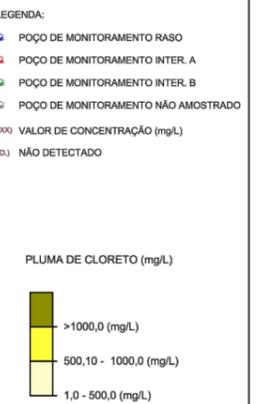
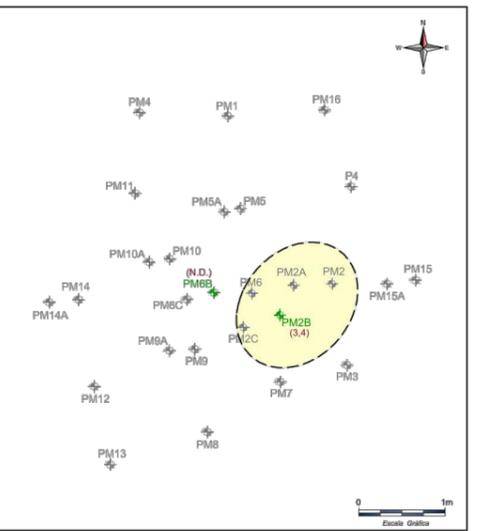
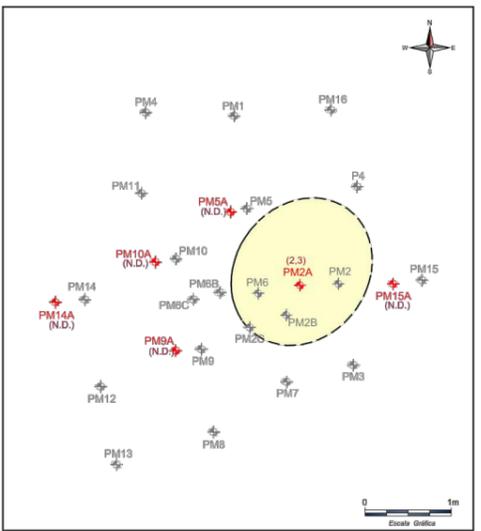
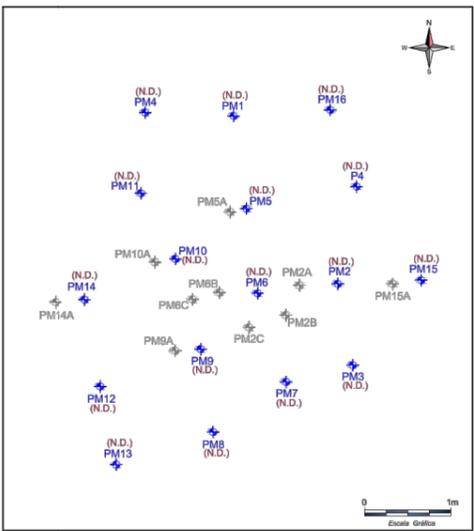
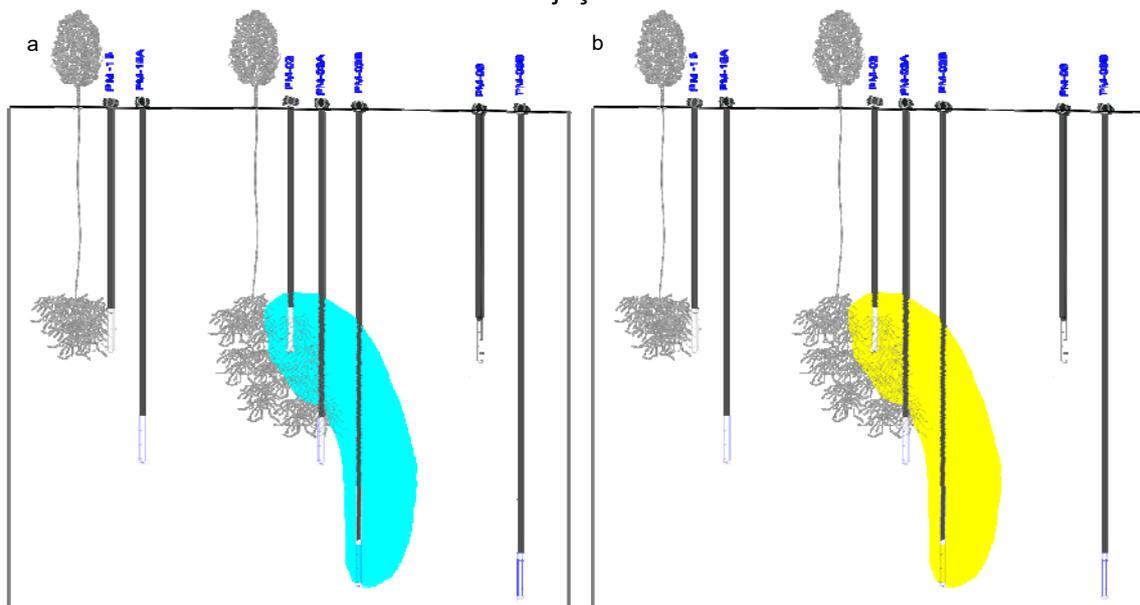


Figura 36 – Configuração das plumas de nitrato (a) e cloreto (b) em seção na segunda injeção



5.3.3 Terceira injeção

5.3.3.1 Parâmetros físico-químicos

A condutividade elétrica após a injeção da solução indicou aporte de sais nos poços PM-02, o poço de injeção, seus outros níveis PM-02A e PM-02B; PM-06 e PM-06B; PM-09A; PM-11; PM-14A e PM-15 (**Tabela 34 – Anexo 1**). Os valores no PM-02 decaíram de 35970,00 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (3 horas) para 204,80 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (624 horas). Para os demais poços que apresentaram alteração na condutividade elétrica, o máximo observado foi 341,30 mg/L (PM-09A as 3 horas).

Após a injeção, os parâmetros ORP (**Tabela 35 – Anexo 1**) e OD (**Tabela 36 – Anexo 1**) indicaram alteração do ambiente geoquímico, como se a solução injetada tivesse chegado a todos os poços, uma vez que a mudança foi homogênea. O ORP diminuiu em todos os poços após a injeção, no PM-02, onde ocorreu a injeção, diminuiu de 5,94 mV antes da injeção para 2,31 mV após 96 horas; no PM-09 diminuiu de 5,96 mV antes da injeção para 3,12 após 624 horas; e no PM-14 de 5,80 antes da injeção até 2,84 mV após 552 horas de injeção.

O OD após a injeção apresentou mediana entre a faixa 3,96 e 3,01, enquanto antes da injeção a mediana foi 5,80. Esses dados indicam um consumo de oxigênio no meio.

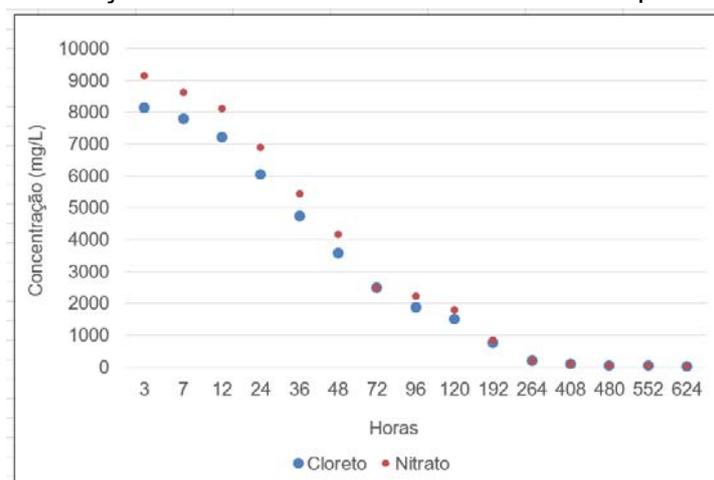
Os valores de pH mantiveram-se na mesma faixa das medições de *background* mesmo após a injeção, apesar de valores anômalos serem observados. (Tabela 37 – Anexo 1).

A variação da temperatura durante o teste de fitorremediação pode ser observado na Tabela 38 (Anexo 1), com uma amplitude térmica de 18 °C a 23 °C.

5.3.3.2 Evolução das concentrações de nitrato e cloreto

No monitoramento realizado após a terceira injeção (3 horas) foram detectadas concentrações de 9169,1 mg/L de nitrato e 8150,59 mg/L de cloreto no poço de injeção (PM-02) (Tabelas 39 e 40 – Anexo 1). E com o tempo foi observado o decaimento dessas concentrações (Figura 37).

Figura 37 - Concentração do cloreto e nitrato no PM-02 no tempo na terceira injeção



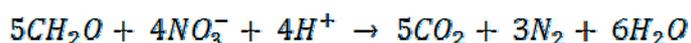
Os principais mecanismos de diminuição da concentração de nitrato na água subterrânea são: a desnitrificação, os processos físicos de transporte, e a retirada pela vegetação (ENVIRONMENT AGENCY, 2005).

Avaliação da desnitrificação

Uma vez que nas primeira e segunda campanhas de injeção foram observados decaimentos de nitrato maior que de cloreto, admitiu-se que o processo de desnitrificação pudesse estar ocorrendo simultaneamente a absorção pelas plantas. Para investigar tal hipótese foram usadas o Cálculo estequiométrico da reação de nitrato com matéria orgânica e a interpretação dos isótopos de ^{15}N e ^{18}O .

Segundo a estequiometria da equação de consumo de nitrato, a partir da matéria orgânica, 5 mols de matéria orgânica reagem com 4 mols de nitrato (ENVIRONMENT AGENCY, 2005).

Cálculo estequiométrico da reação de nitrato com matéria orgânica:



Os resultados de matéria orgânica foram obtidos através da análise das amostras de água coletadas nos poços PM-02 nos tempos 408 e 624 horas e na solução de injeção (**Tabela 41**).

Tabela 41 - Teor de carbono orgânico dissolvido nas amostras coletadas no PM-02 408 e 624 após a injeção e na solução (mg/L)

Amostra	COD
Solução	0,95
PM-02 408 horas	4,65
PM-02 624 horas	7,16

Considerando a amostra de maior valor (PM-02 após 624 horas a injeção), realizou-se o cálculo estequiométrico para se avaliar o potencial consumo de nitrato pelo processo de desnitrificação. Com isso, partindo-se do valor de 7,16mg/L, seriam consumidos 11,84 mg NO_3^- , conforme o cálculo estequiométrico a seguir:

$$\frac{7,16 \text{ mg M.O.}}{\text{L}} \cdot \frac{10^{-3} \text{ g}}{1 \text{ mg}} \cdot \frac{1 \text{ mol M.O.}}{30 \text{ g M.O.}} \cdot \frac{4 \text{ mols NO}_2^-}{5 \text{ mols M.O.}} \cdot \frac{62 \text{ g NO}_2^-}{1 \text{ mol NO}_2^-} = 11,84 \text{ mg NO}_3^-$$

Ressaltasse que o esperado com a ocorrência da desnitrificação era a diminuição da matéria orgânica pelo consumo das bactérias (ENVIRONMENT AGENCY, 2005). Porém, o total de sais injetado no aquífero pode ter intoxicado os microrganismos ali presentes levando-os à morte (ENVIRONMENT AGENCY, 2005), o que pode ter aumentado a disponibilidade de matéria orgânica.

Quanto ao valor de nitrato consumido no processo de desnitrificação, baseado na quantidade de matéria orgânica disponível, chegou-se a 11,84 mg/L. O que representa menos que 1% do total injetado (8000 mg/L).

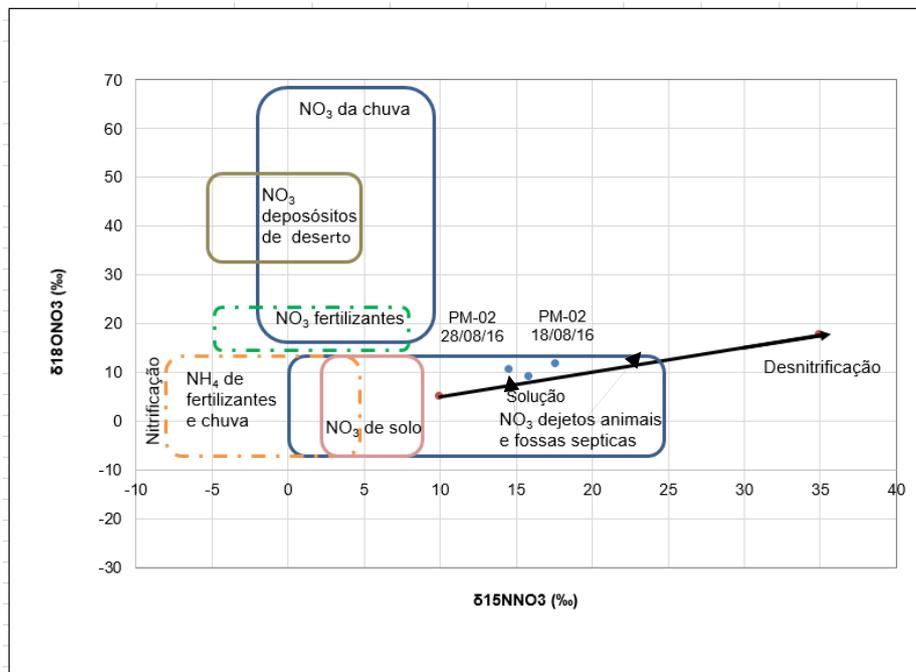
Paralelamente, foi feita a análise isotópica de ^{15}N e ^{18}O na solução injetada, e nas amostras PM-02 (408 horas) e PM-02 (624 horas) (**Tabela 42**).

Tabela 42 - Valores das análises de isótopos de ^{18}O e ^{15}N

Amostra	$\delta^{18}\text{O}_{\text{NO}_3}$ (‰)	$\delta^{15}\text{N}_{\text{NO}_3}$ (‰)
Solução	15,9	9,1
PM-02 18/08/16	17,6	11,6
PM-02 28/08/16	14,6	10,5

Ao posicionar os pontos na **Figura 38** de relação dos $\delta^{18}\text{O}_{\text{NO}_3}$ (‰) e $\delta^{15}\text{N}_{\text{NO}_3}$ (‰), observa-se que, o conjunto de dados encontram-se contíguos, apresentando pouca variação das espécies isotópicas, mas todos estão próximos à reta de desnitrificação indicando que pode que houve um pouco de enriquecimento. O $\delta^{18}\text{O}_{\text{NO}_3}$ (‰) apresentou enriquecimento de cerca de $+1,4 \pm 0,3$, enquanto $\delta^{15}\text{N}_{\text{NO}_3}$ (‰) apresentou empobrecimento $-1,4 \pm 0,5$, como valores finais. Esses valores indicam que pode ter ocorrido desnitrificação.

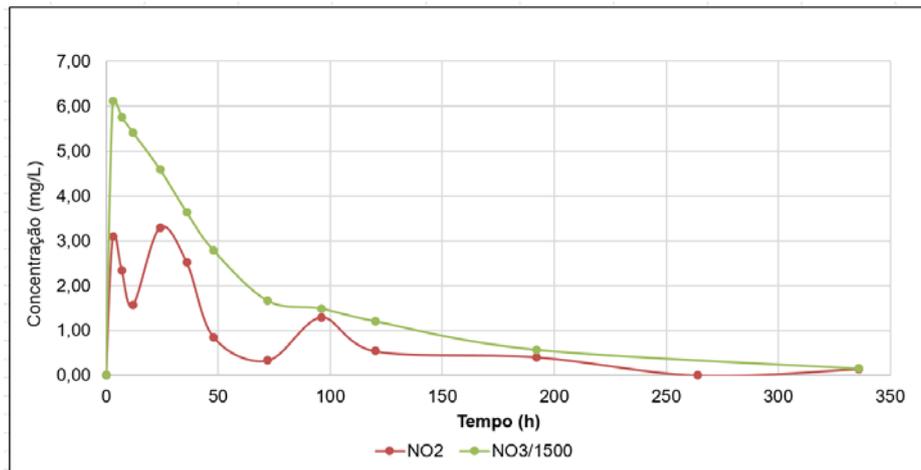
Figura 38 - Gráfico de isótopos de ^{18}O e ^{15}N mostrando a posição das amostras em relação as assinaturas isotópicas e suas origens



O processo de desnitrificação favorece o consumo do isótopo mais leve, o que enriquece o meio com o isótopo mais pesado (ARAVENA, 2009), corroborando os resultados das análises químicas. No entanto, as variações estão baixas para se assegurar que efetivamente ocorreu processo de desnitrificação neste período. Além do que fatores como a rapidez dos eucaliptos na absorção dos nutrientes e a alta concentração de sais pode ter intoxicado os microrganismos que realizam a desnitrificação podem ter inibido esse processo.

Adicionalmente foi avaliada a disponibilidade de nitrito no meio (**Figura 39**) como produto da desnitrificação. Observa-se que nas primeiras horas do teste a disponibilidade de nitrito no aquífero aumenta de forma heterogênea, atingindo valor máximo de 3,30 mg/L (background no PM-02 0,03 mg/L).

Figura 39 – Evolução do nitrato vs nitrito no tempo



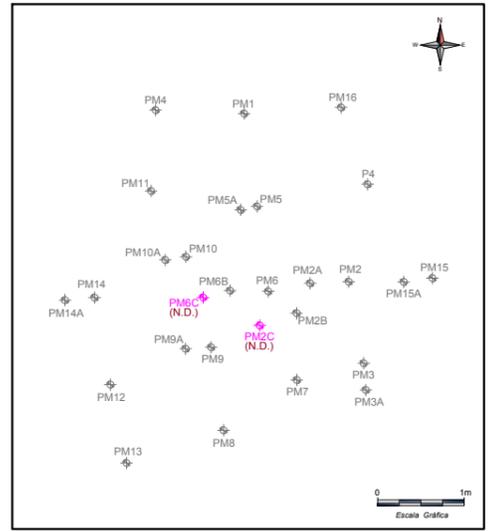
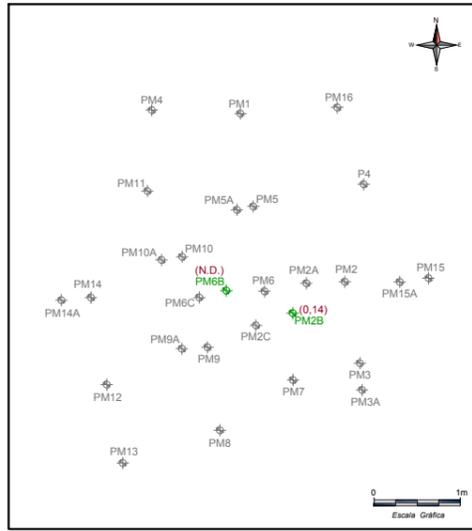
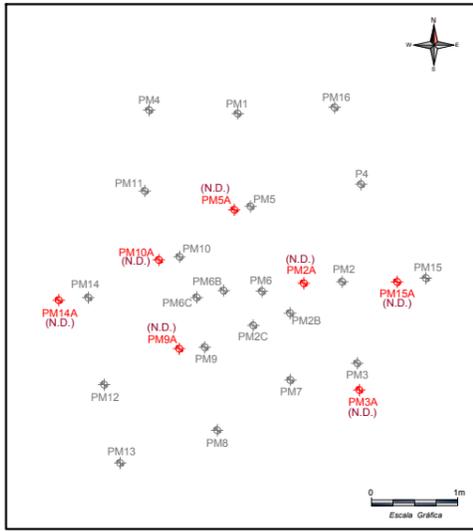
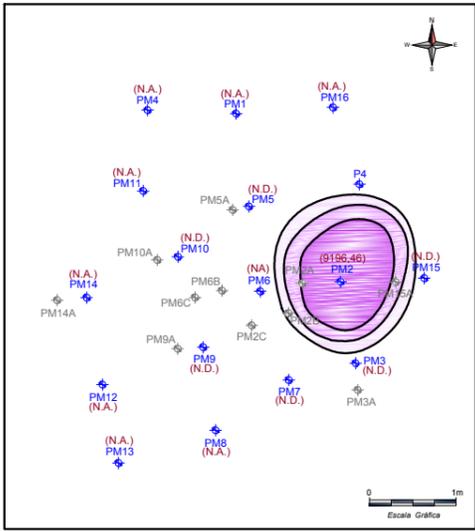
Contudo, observa-se que mesmo que tenha ocorrido a desnitrificação, esse não foi o processo preponderante no meio, uma vez que as concentrações de cloreto e nitrato continuam a diminuir na mesma proporção.

Processos físicos de transporte e retirada da solução pelas plantas

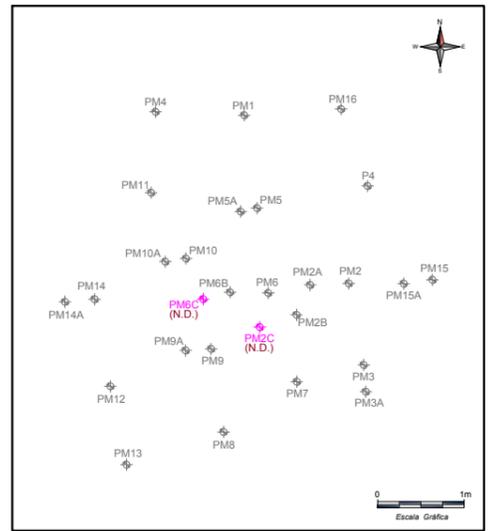
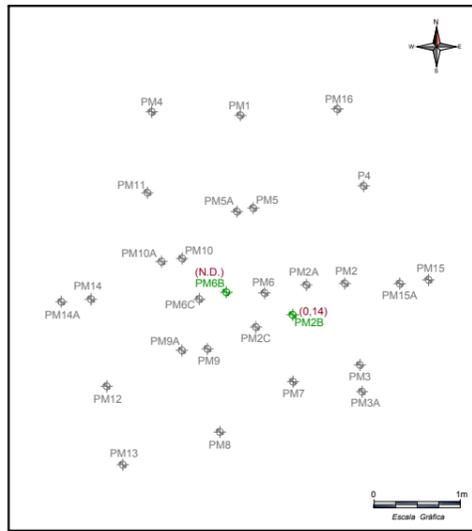
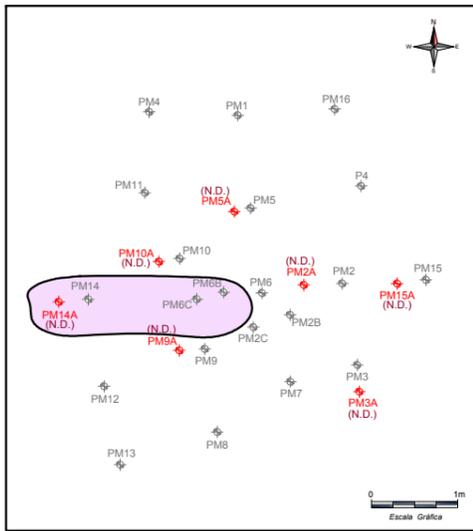
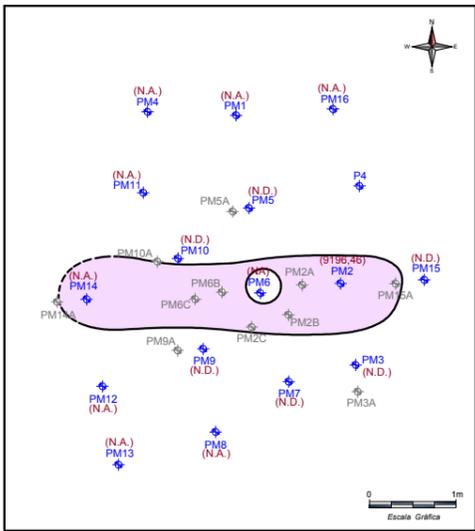
Com a carga hidráulica gerada pela injeção, a solução deslocou-se verticalmente pelos PM-02 e PM-02A, e ao atingir a camada de maior condutividade hidráulica passou a se deslocar horizontalmente (**Figura 40**). Na profundidade de 14,00 a 15,00 m a pluma evoluiu e após 7 horas de injeção, chegou no poço PM-06C; após 264 h no PM-14A e após 408 horas no PM-14. O aporte nas concentrações observadas no PM-15 e PM-15A, localizados a montante do poço de injeção, porém a apenas a 1 m de distância, pode ser resultado do potencial hidráulico criado pela injeção da solução (**Tabelas 39 e 40 – Anexo 1**).

A distribuição heterogênea das plumas foi regida pelas diferenças de condutividade hidráulica conforme observado também no sentido de fluxo da área estudo. As áreas de menor condutividade localizam-se a norte e a sul do poço de injeção, induzindo o fluxo na parte central, onde a pluma pode deslocar-se com maior facilidade.

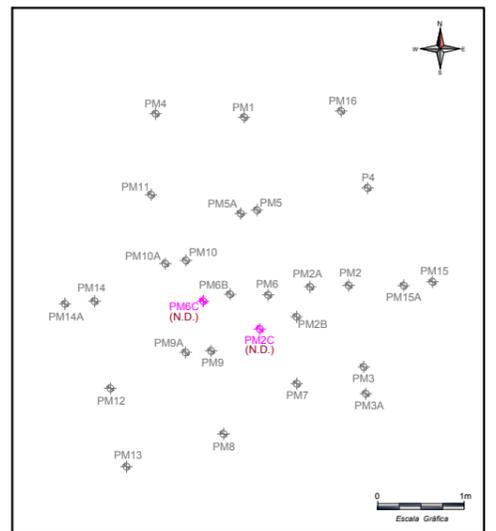
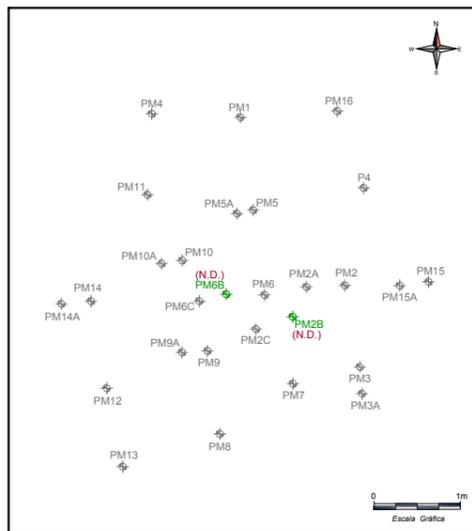
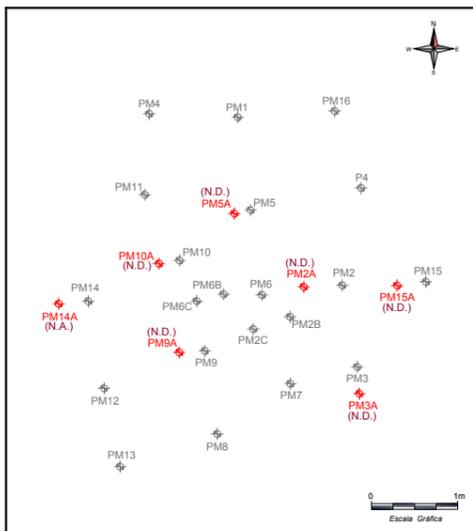
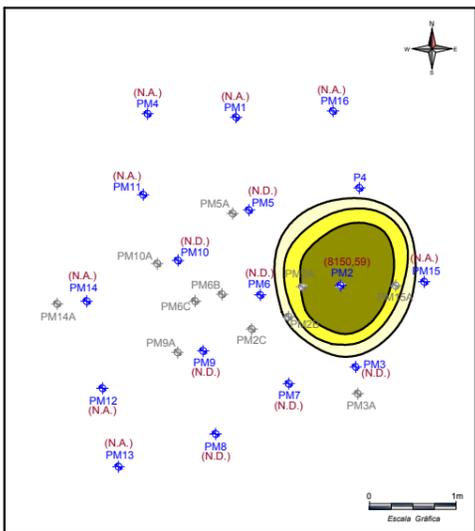
PLUMA DE NITRATO - 3 HORAS



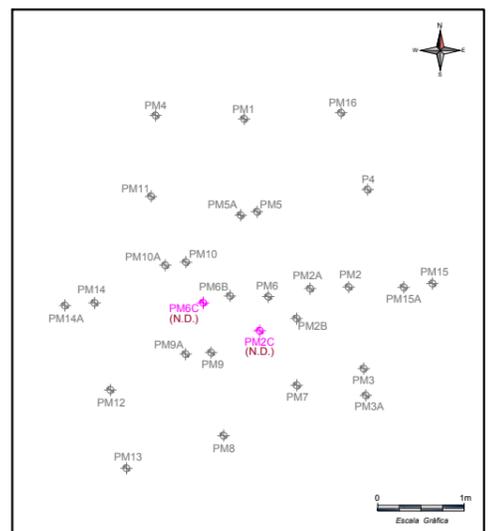
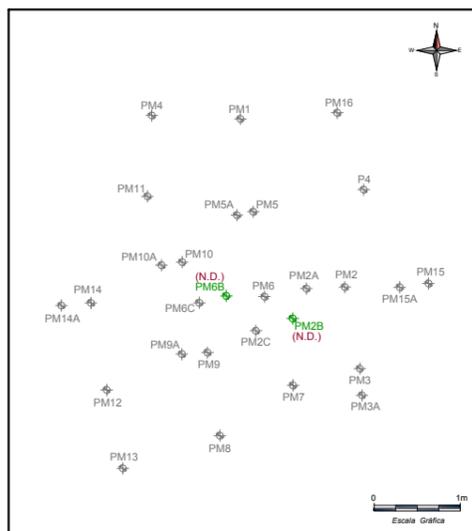
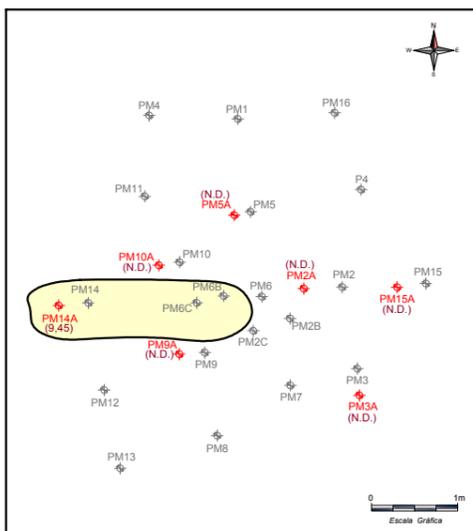
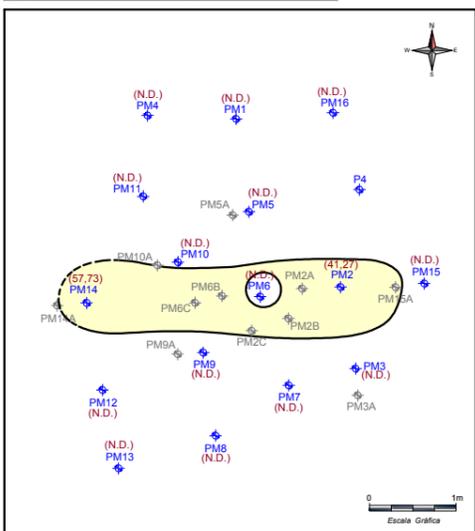
PLUMA DE NITRATO - 522 HORAS



PLUMA DE CLORETO - 3 HORAS



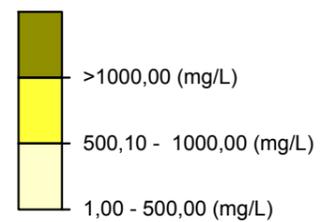
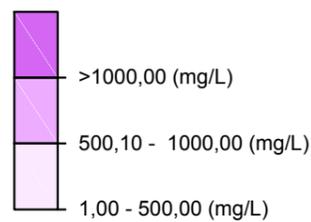
PLUMA DE CLORETO - 522 HORAS



LEGENDA:

- POÇO DE MONITORAMENTO RASO
- POÇO DE MONITORAMENTO INTER. A
- POÇO DE MONITORAMENTO INTER. B
- POÇO DE MONITORAMENTO NÃO AMOSTRADO

- (XX.XX) VALOR DE CONCENTRAÇÃO (mg/L)
- (N.D.) NÃO DETECTADO
- (N.A.) NÃO ANALISADO

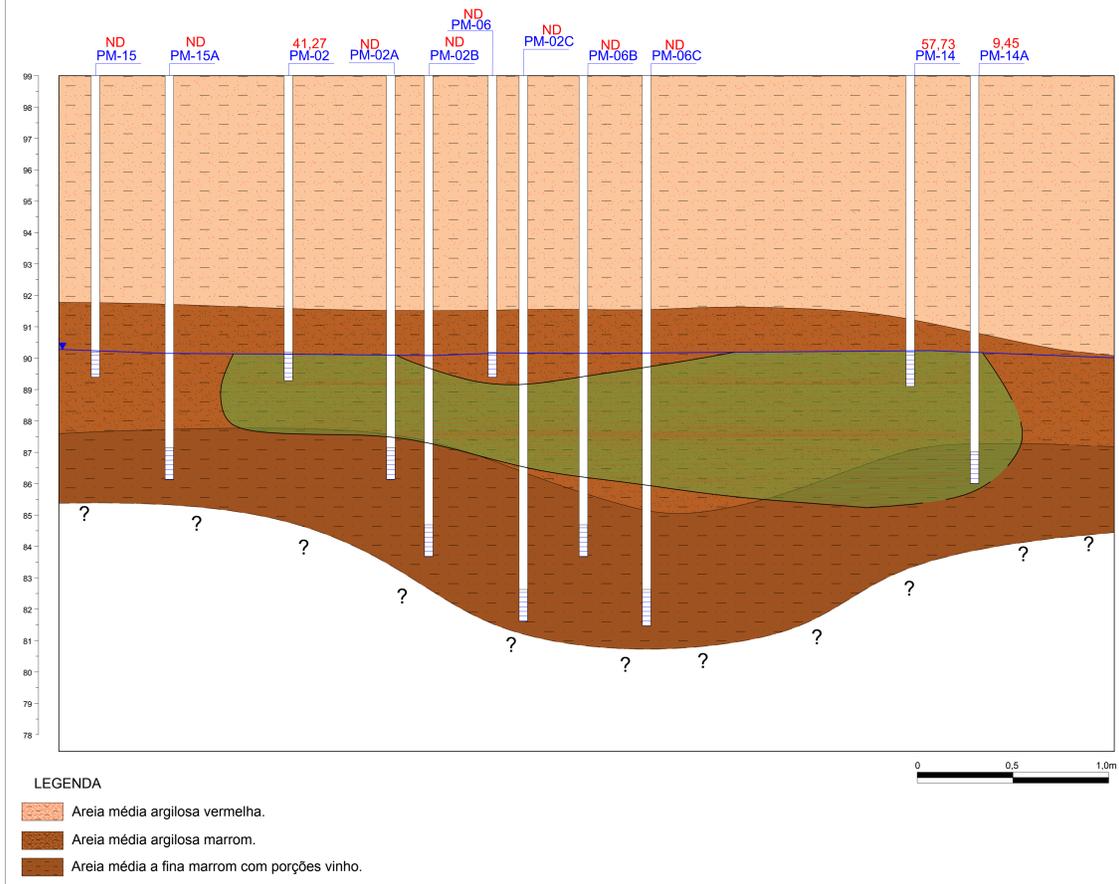


Os dados mostram que as plumas atravessaram o perfil, chegando nos PM-14 e PM-14A (**Figura 41**). Para se avaliar o quanto foi consumido da pluma entre os tempos 3 horas e 552 horas, foi calculada a massa de contaminantes para cada momento.

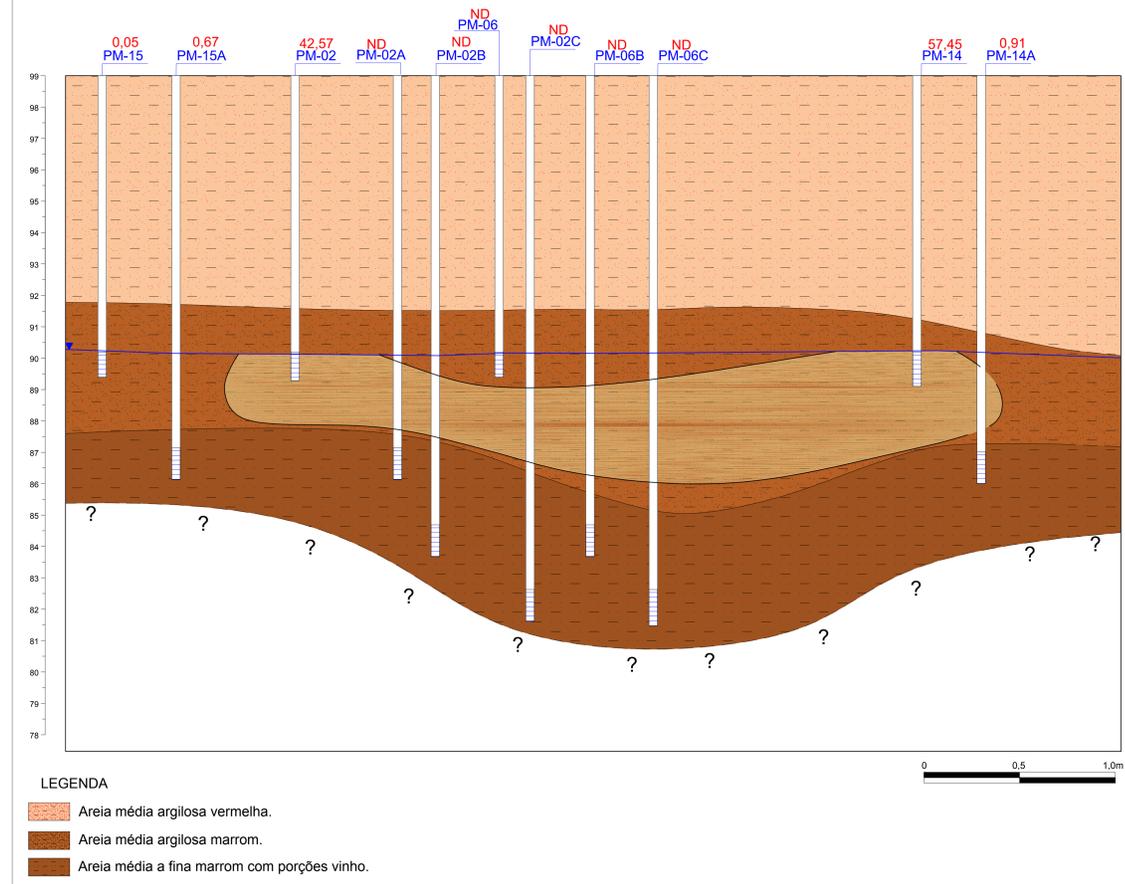
Nesta campanha, a pluma não evoluiu verticalmente até o PM-02C com filtro entre 16,00 e 17,00 m permitindo a delimitação da pluma verticalmente.

EVOLUÇÃO DAS CONCENTRAÇÕES DE NITRATO E CLORETO, EM SEÇÃO, NOS TEMPOS 3 E 552 HORAS.

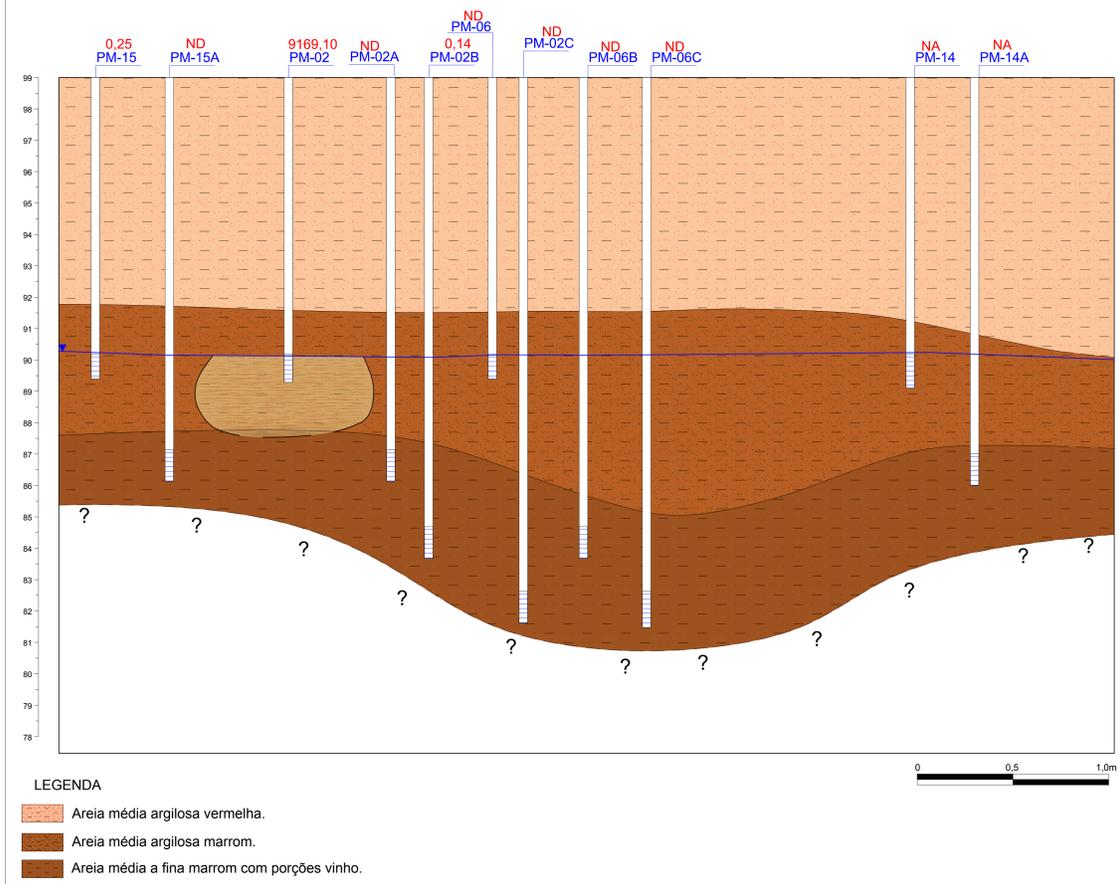
CLORETO - 552 HORAS



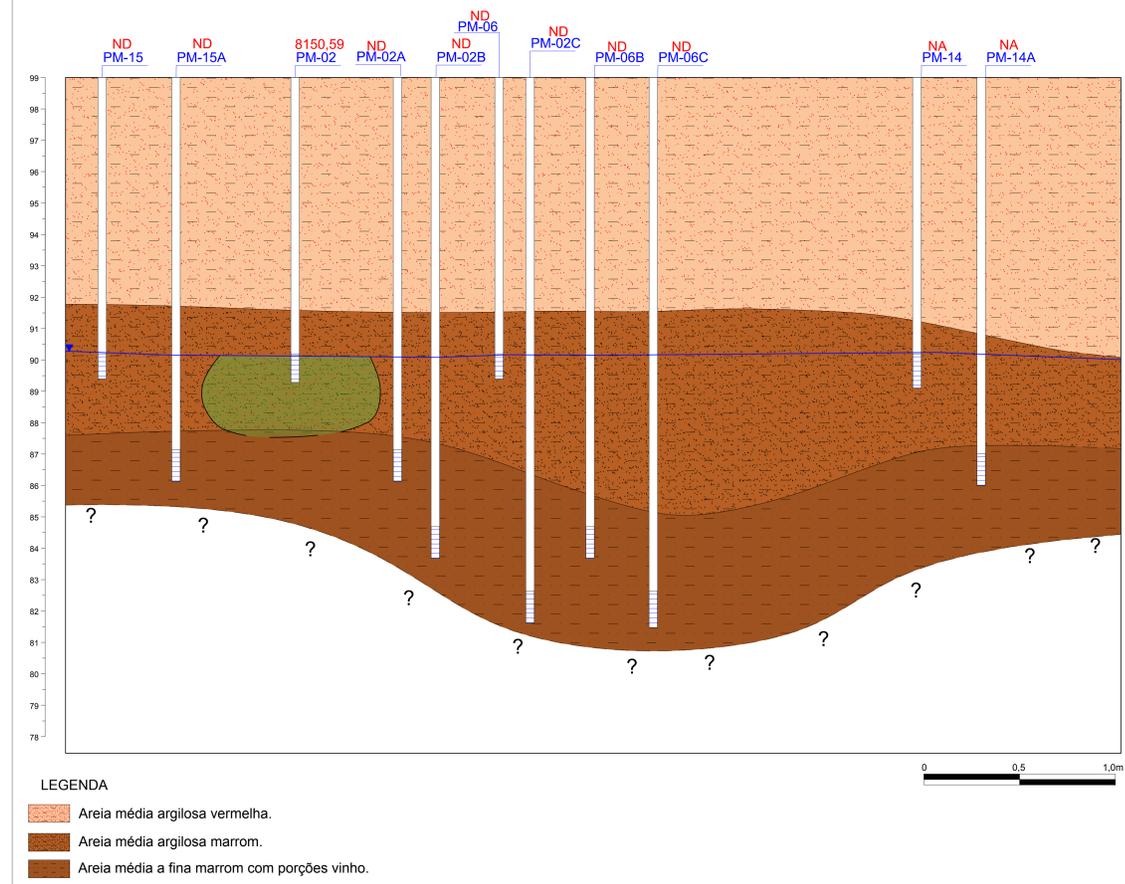
NITRATO - 552 HORAS



NITRATO - TEMPO 3



CLORETO - TEMPO 3



6 CONCLUSÕES

Mesmo com o piso coberto, os eucaliptos continuam a realizar a evapotranspiração, porque adaptam suas raízes às novas condições hidrológicas. As plantas inicialmente consomem a água armazenada na zona não saturada e posteriormente a buscam na zona saturada, que na área têm profundidades superiores a 8 m, estendendo-se em 5 m dentro da zona saturada. Essa fisiologia, aliada à grande capacidade de transpirar uma quantidade elevada de água, maior que 42,6 litros/dia por árvore, permite que os eucaliptos possam ser usados para a remediação de aquíferos livres.

No experimento, os eucaliptos foram capazes de degradarem soluções de nitrato de sódio e cloreto de potássio em concentrações de 8000 mg/L com 75% de eficiência, injetadas dentro da zona saturada do aquífero. Tais concentrações são 4 vezes maiores que as reportadas sob fossas negras na zona não saturada e 40 vezes maiores que os casos comuns reportados em aquíferos em áreas urbanas. O principal mecanismo de degradação foi a própria nutrição da planta, pois os processos de desnitrificação da pluma, calculada com isótopos de nitrogênio indicaram que esse processo foi de apenas 1%. Tal resultado é corroborado também pela própria observação de que os diâmetros dos troncos das árvores próximas ao ponto de injeção aumentaram desde o início do experimento. Tal eficiência e as características de facilidade de operação e baixos custos de instalação e manutenção fazem com que os eucaliptos possam ser uma alternativa válida para a remediação de aquíferos não confinados, contaminados por nutrientes, como o nitrato. A literatura mostra também que o eucalipto poderia ser utilizado também para a remediação de outros compostos, como metais e hidrocarbonetos clorados ou não, ampliando tremendamente o alcance de tal tecnologia.

O sucesso e eficiência de eucaliptos na remediação de contaminantes na zona saturada está associada ao manejo da área que deve incluir a cobertura da superfície com uma lona impermeável, desvio das águas de escoamento superficial. Caso a fonte de contaminação seja contínua no tempo, um programa de corte seletivo das árvores deve permitir que sempre existam árvores adultas extraindo água da zona saturada.

Outra medida, que aumentaria a rapidez do início da remediação seria plantar as mudas dentro de cilindros de concreto, reduzindo o espalhamento das raízes nas porções superiores da zona não saturada e obrigando que essas ingressem na zona saturada do aquífero.

7 REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS – ABRAF. 2013. **Anuário Estatístico da ABRAF 2012**. Viçosa: ABRAF, p. 148. Disponível em: <www.abraflor.org.br/estatisticas/ABRAF12/ABRAF12-BR.pdf>. Acesso em: 25 abr. 2014.

ANDRADE, Edmundo Navarro. **O eucalipto**. São Paulo. Cia Paulista de Estradas de Ferro, 1970. 667 p.

APELLO, C. A. J.; POSTMA, D. **Geochemistry, groundwater and pollution**. Rotterdam: A.A Balkema, 1993. 536 p.

ARAVENA, R. **Isotopes and Processes**. In: the Nitrogen and Sulfur Cycles. In: Environmental Isotopes in Biodegradation and Bioremediation, 2009. p. 203-245.

ASSIS, R. L.; PROCÓPIO, S. O.; CARMO, M. L.; PIRES, F. R.; FILHO, A. C.; BRAZ, G. B. P. Fitorremediação de solo contaminado com o herbicida picloram por plantas de capim pé de galinha gigante. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v. 14, n.11, p.1131–1135, 2010. Disponível em <<http://www.scielo.br/pdf/rbeaa/v14n11/v14n11a01.pdf>>. Acesso em: 14 mai. 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Poços de monitoramento de águas subterrâneas em aquíferos granulares - Parte 1: Projeto e construção - NBR 15495-1**. Rio de Janeiro: ABNT, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Poços de monitoramento de águas subterrâneas em aquíferos granulares - Parte 2: Desenvolvimento - NBR 15495-2**. Rio de Janeiro: ABNT, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Amostragem de água subterrânea em poços de monitoramento – Métodos de purga - NBR 15495-2**. Rio de Janeiro: ABNT, 2010.

BARAC, T.; WEYENS N.; OEYEN, L.; TAGHAVI, S.; LELIE, D.; DUBIN, D.; SPLIET, M.; VANGRONVELD, J. Field note: Hydraulic containment of a BTEX plume using poplar trees. **International Journal of Phytoremediation**. 2009. v 11, n 5, p. 416-24. Disponível em <<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/19810345>>. Acesso em: 26 mar. 2015.

BARCELLOS, D.; MORRIS, L. A.; NZENGUNG, V.; MOURA, T.; MANTRIPRAGADA, N.; THOMPSON, A. Eucalyptus urograndis and Pinus taeda Enhance Removal of Chlorobenzene and Benzene in Sand Culture: A Greenhouse Study. **International Journal of Phytoremediation**. n. 18, v. 10, P. 977-984. 2016. doi: 10.1080/15226514.2016.1183565. Disponível em <<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/27159839>>. Acesso em: 29 nov. 2011.

BERKOWITZ, B.; DROR. I.; YARON. B. **Contaminant Geochemistry: Interactions and Transport in the Subsurface Environment.** Berlin: Springer, 1.ed, p. 412, 2008.

BILAL, H.; ALI, S. S.; MIN KIM, K. Potential of Eucalyptus in the Remediation of Environmental Problems: A review. **International Journal of Innovation and Scientific Research**. V 4, n 2, 2014, p 136–144. Disponível em <<http://www.ijsr.issr-journals.org/abstract.php?article=IJISR-14-128-03>>. Acesso em: 13 jul. 2015.

BLEBY, T. M.; MCELDRONE, A. J.; JACKSON, R. B. *Water uptake and hydraulic redistribution across large woody root systems to 20 m depth*. [S.l.]: **Plant Cell Environ**, v. 33, n. 12, p. 2132-48, 2010.

BRITTO Dev T.; KRONZUCKER Hebert J. *NH₄⁺ toxicity in higher plants a critical review*. Elsevier - **JOURNAL OF PLANTS PHYSIOLOGY.**, v 159, n 6, p. 567 - 584, 2002 . Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0176161704702667>>. Acesso em: 25 abr. 2014.

BUOSI, D.; FELFILI, J. Recuperação de área contaminada por pesticidas organoclorados na Cidade dos Meninos, Município de Duque de Caxias. Rio de Janeiro: **Revista Árvore** nº 28, p. 465 – 470, 2004. Disponível em <<http://www.scielo.br/pdf/rarv/v28n3/21614.pdf>>. Acesso em 2 jan.2014.

CAMARGO, Maria Leticia Pereira de.; MORAES, Cristiano, Bueno de.; MORI, Edson Seizo.; GUERRINI, Iraê Amaral.; MELLO, Eduardo José de.; ODA, Shinitiro. *Nota científica Considerações sobre eficiência nutricional em Eucalyptus*. Jaboticabal: **Científica**, v 32, n 2, p. 191 - 196, 2004. Disponível em: <<http://cientifica.org.br/index.php/cientifica/article/view/87/70>>. Acesso em: 25 abr. 2014.

CENTRO DE PESQUISAS METEREOLÓGICAS E CLIMÁTICAS APLICADAS A AGRICULTURA – CEPAGRI. **Clima dos Municípios Paulistas**. São Paulo: Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP. Disponível em <http://www.cpa.unicamp.br/outraSinformacoes/clima_muni_271.html>. Acesso em 27 fev 2016.

CHRISTINA, M.; LACLAU, J. P.; GONÇALVES, J. L. M.; JOURDAN, C.; NOUVELLON, Y.; BOIULLET, J. P.. *Almost symmetrical vertical growth rates above and below ground in one of the most productive forests*. **Nature Commnications.**, v 2 (3), n 27, p. 10, 2011 . Disponível em: <<http://www.esajournals.org/doi/pdf/10.1890/ES10-00158.1>>. Acesso em: 25 abr. 2014.

CLARK, I. D.; FRITZ, P. **Environmental Isotopes in Hicrogeology**, Boca Raton, Florida: Lewis Publisher, 1997. 325 p.

CLARK, I. D.; ARAVENA, R. **Environmental Isotopes in Ground Water Resource and Contaminant Hydrogeology**. San Diego NGWA, 2005. 103p.

COVARRUBIAS, S. A.; PEÑA CABRIALES, J. J.. Contaminación Ambiental por metales pesados en México: Problemática y Estrategias de Fitorremediación. **Revista Internacional de Contaminación Ambiental**, Ciudad de México, v. 33, n.1, p 7-21, 2017.

COMITÊ DA BACIA HIDROGRÁFICA DO MÉDIO PARANAPANEMA – CBH-MP. **Relatório zero**. 2007. Disponível em <http://cbhmp.org/publicacoes/pbh/>. Acesso em: 01 mar. 2016

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Séries Relatórios – Qualidade das Águas Subterrâneas no Estado de São Paulo 2010-2012**. São Paulo: CETESB, 2013.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO - CETESB. **Manual de Gerenciamento de Áreas Contaminadas**. 2001. Disponível em <http://areascontaminadas.cetesb.sp.gov.br/manual-de-gerenciamento/>. Acesso em 07 ago. 2016.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO - CETESB. **Qualidade das águas subterrâneas no Estado de São Paulo: 2010 – 2012**. Disponível em <http://aguassubterraneas.cetesb.sp.gov.br/publicacaoSe-relatorios/>. Acesso em: 02 mar. 2016.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO - CETESB. **Decisão de Diretoria Nº 256/2016/E de 22 de novembro 2016 – Dispõe sobre a aprovação dos Valores Orientadores para Solo e Águas Subterrâneas no Estado de São Paulo – 2016**: 2016 Disponível em <http://www.cetesb.sp.gov.br/wp-content/uploads/sites/11/2014/12/DD-256-2016-E-Valores-Orientadores-Dioxinas-e-Furanos-2016-Intranet.pdf>. Acesso em: 30/04/2017.

COMPANHIA DE PESQUISAS E RECURSOS MINERAIS. **Geologia e Tectônica e Recursos Minerais do Brasil**. Organizadores: Luiz Augusto Bizzi, Carlos Schobbenhaus, Roberta Mary Vidotti, João Henrique Gonçalves. Brasília. 2003. 692 p.

COMPANHIA DE PESQUISAS E RECURSOS MINERAIS. Geologia e Recursos Minerais do Estado de São Paulo. **Mapa Geológico do Estado de São Paulo. Escala 1:750.000**. Ministério de Minas e Energia, Secretária de /geologia, Mineração e Transformação Mineral, Governo do Estado de São Paulo. 2006.

COMPANHIA DE SANEAMENTO BÁSICO DO ESTADO DE SÃO PAULO – SABESP. **A SABESP no município**. Disponível em <http://site.sabesp.com.br/site/interna/Municipio.aspx?secaold=18&id=515>. Acesso em: 02 mar. 2016.

COMPERNOLLE ,T.; VAN PASSEL S.; .WEYENS. N.; VANGRONSVELD. J.; LEBBE L.; THEWYS T. Groundwater remediation and the coast effectiveness of phytoremediation. **International Journal Phytoremediation**, v 14, p 861-877, 2012. Disponível em <<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/22908651>>. Acesso em: 15 jan. 2016.

COUTO, M. A. N. P.F.S.; PINTO, D.; BASTO, M. C. P.; VASCONCELOS, T. S. D. Role of natural attenuation, phytoremediation and hybrid technologies in the remediation of a refinery soil with old/recent petroleum hydrocarbons contamination. **Environmental Technology**. v. 33, n. 18, p. 2097–2104. 2012. Disponível em <<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/23240204>>. Acesso em: 07 set. 2014.

DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA – DAEE. **Mapa de águas subterrâneas do Estado de São Paulo**. São Paulo: DAEE, Instituto Geológico – IG, Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo – IPT, CPRM, 2005. Escala 1:1.000.000.

EMBRAPA EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Manual de Métodos de Análise de Solo 2ª Ed.** Rio de Janeiro: *Centro Nacional de Pesquisa de Solos*. 1997. 212 p.

EMBRAPA EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Balanço hídrico em frutífera – Circular Técnica 82. 1ª edição.** Bento Gonçalves. 2010. p. 12. Disponível em <<http://www.cnpuv.embrapa.br/publica/circular/cir082.pdf>>. Acesso em 01 fev. 2017.

ENCONTRO BRASILEIRO DE SIVICULTURA, 2., 2011, Campinas. **Anais do Encontro Brasileiro de Sivicultura**, 2011.

ENVIRONMENT AGENCY. Attenuation of nitrate in the sub-surface environment. 2005. Disponível em https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/291473/scho0605bjcs-e-e.pdf. Acesso em: 01 nov. 2016.

ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY - EPA - U. S. **Introduction to Phytoremediation**. National Risk Management Research Laboratory Office of Research and Development, Cincinnati, Ohio, fev. 2000. Disponível em <<https://clu-in.org/download/remed/introphyto.pdf>>. Acesso em: 27 fev. 2014.

ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY - EPA - U. S. **A Citizen's Guide to Phytoremediation**, 2001. Disponível em <<http://www.clu-in.org/download/citizens/citphyto.pdf>>. Acesso em: 29 mar. 2014

ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY - EPA - U. S. **Phytotechnologies for site,sep.** 2010. Disponível em <<https://clu-in.org/download/remed/phytotechnologies-factsheet.pdf>>. Acesso em: 10 fev. 2014.

ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY - EPA - U. S. **A Citizen's guide to phytoremediation**, sep. 2012. Disponível em <https://clu-in.org/download/citizens/a_citizens_guide_to_phytoremediation.pdf>. Acesso em: 27 fev. 2014.

ETIM, E. E. Phytoremediation and Its Mechanisms: A Review. **International Journal of Environment and Bioenergy**, Florida, USA, v. 2. n. 3, p. 120-136, 2012.

FERNANDES, B. E. Crescimento, características nutricionais e fisiológicas de progênies de *Eucalyptus grandis* W. Hill. Ex Maiden sob diferentes doses de fósforo. Dissertação (Mestrado), Universidade Estadual Paulista – UNESP, Jaboticabal, 2015. 45 p.

A cobertura cretácea suprbasáltica no Paraná e Pontal do Paranapanema (SP): os Grupos Bauru e Caiuá. Dissertação (Mestrado), Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 1992. 129 p.

FERNANDES, L. A. A cobertura cretácea suprbasáltica no Paraná e Pontal do Paranapanema (SP): os Grupos Bauru e Caiuá. Dissertação (Mestrado), Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 1992. 129 p.

FERNANDES, L. A. Estratigrafia e evolução geológica da parte oriental da Bacia Bauru (ks, Brasil). Tese (Doutorado), Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 1998. 216 p.

FETTER, C.W.. **Applied Hydrogeology**. 2 ed. New York: Macmillan Publishing Company. 1994.

FIRESTONE, M. K. Biological Denitrification. In: Stevenson, F. J. *Nitrogen in Agricultural Soils*. Winsconsin, **American Society of Agronomy Inc**. p. 289 – 326, 1982

FOSTER, S. & HIRATA, R. **Groundwater Pollution Risk Evaluation: A Survey Manual Using Available Data**. Lima, CEPIS-PAHO/WHO. 1988. 89 p.

FOSTER, S.; HIRATA, R.; GOMES, D.; D'ÉLIA, M.; PARIS, M. **Groundwater Quality Protection: A Guide for Water Utilities, Municipal Authorities and Environment Agencies**. 1ª ed. Washington DC, The World Bank. 2002. 103 p.

GRIEVE, B.J., 1956. **Studies in the water relations of plants. I- Transpiration of Western Australia (Swan Plain) sclerophylls**. Journal of the Royal Society of Western Australia, 40: 15-30.

GONÇALVES, J. L.; ALVARES, C. A.; GONÇALVES, T. D.; MOREIRA, R. M.; MENDES, J. C. T.; GAVA, J. L. Mapeamento de solos e da produtividade de plantações de *Eucalyptus grandis*, com o uso de sistema de informações geográfica. **Scientia Florestalis**, Piracicaba, v. 40, n. 94, p. 187-201, 2012.

HAVEN, P. H.; EVERT, R. F.; EICHHORN, S. E. **Biologia Vegetal**. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan. 7^a ed., 2007.

HEM. J. D. **Study and Interpretation of the Chemical Characteristics of Natural Water**. U.S. Geological Survey, 1989. 272 p.

HIRATA, R.; FOSTER, S.; OLIVEIRA, F. R. Águas Subterrâneas Urbanas no Brasil: Avaliação para uma gestão sustentável. 1. Ed. São Paulo: Instituto de Geociências e FAPESP, 2015. v. 1. 112 p.

HONG, Marjorie S.; FARMAYAN, Water F.; IRA J. Dortch.; CHEN Y. Chiang. *Phytoremediation of MTBE from a Groundwater Plume*. **Environ. Sci. Technol.**, v 35., n 6, p. 1231–1239, 2001.

IKEURA, H.; KAWASAKI, Y. KAIMI, E.; NISHIWAKI, J.; NOBORIO, K.; TAMAKI, M. Screening of plants for phytoremediation of oil-contaminated soil. **International Journal of Phytoremediation**. 2015. Disponível em <<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/26587892>>. Acesso em: 8 jan. 2016.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS – IPT. **Mapa Geológico do Estado de São Paulo**. São Paulo: IPT, 1981. 1v. Escala 1:500.000.

KEHEW, A. E. **Applied Chemical Hydrogeology**. New Jersey. Prentice Hall, Inc. p.368. 2001

KOROM, Scott F.; SCHUH, William M.; TEFAY Tedros; SPENCER, Eben J.. *Aquifer denitrification and in situ mesocosms: Modeling electron donor contributions and measuring rate*. Elsevier - **Journal of Hydrology**., v 432 – 433, p. 112 – 126, 2012. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022169412001230>> . Acesso em: 30 mar. 2014.

LACLAU, J.; SILVA, E. A.; LAMBAIS, G. R.; BERMOUX, M.; MAIRE, G.; STAPE J. L.; BOUILLET, J. P.; GONÇALVES, J. L. M.; JOURDAN, C.; NOUVELLON, Y. Dynamics of soil exploration by fine roots down to a depth of 10 m throughout the entire rotation in Eucalyptus grandis plantations. **Frontiers in Plant Science**. Suíça, v. 4. Artigo 243. p. 12, jul. 2013. Disponível em: <<https://archive.org/details/pubmed-PMC3705191>>. Acesso em: 30 mar. 2016.

LIMA, W. P.; MOREIRA, R. M.; SCARDUA, F. P.; MASETTO, A. V. Hidrologia de uma microbacia com cobertura de floresta de eucalipto com 50 anos de idade na estação experimental de Itatinga, Estado de São Paulo. **Scientia Florestalis**, Piracicaba, n. 50, p. 11-19, 1996.

LINTERN, M.; ANAND, R.; RYAN, C.; PATERSON, D. Natural gold particles in Eucalyptus leaves and their relevance to exploration for buried gold deposits. **Nature Communications**. p. 1-8, out. 2013. Disponível em: <<https://www.nature.com/articles/ncomms3614>>. Acesso em: 12 mar. 2017.

LUO, J.; QI, S.; PENG, L.; XIE, X. Phytoremediation Potential of Cadmium-Contaminated Soil by Eucalyptus globulus Under Different Coppice Systems. **Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology**. v. 94, n. 3, p. 321–325. 2015. Disponível em: <<http://link.springer.com/article/10.1007/s00128-014-1450-z>>. Acesso em: 30 de jan. 2015.

LUO, J.; QI, S.; PENG, L.; XIE, X. Phytoremediation efficiency OF CD by Eucalyptus globulus transplanted from polluted and unpolluted sites. **International Journal of Phytoremediation**. v 18, n. 4, p. 308-314. 2015. Disponível em: <<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/26458117>>. Acesso em: 30 de jan. 2015.

LUBCZYNSKI, M. W.. The hydrogeological role of trees in water-limited environments. **Hydrogeology Journal** 17: 247-259. 2009. Disponível em: <<http://link.springer.com/article/10.1007/s10040-008-0357-3>>. Acesso em: 30 mar. 2014.

MALAVOLTA, e.; VITTI, C. G.; OLIVEIRA, A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1998. 201p.

MAGALHÃES, M. O. L.; SOBRINHO, N. M. B. A.; SANTOS, F. S.; MAZUR, N. Potencial de duas espécies de eucaliptos na fitoestabilização de solo contaminado com zinco. **Revista de Ciências Agrônômicas**, 2011, Volume 43, n 3, p 805-812. Disponível em <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1806-66902011000300029>. Acesso em: 12 fev. 2016.

MAGALHÃES, M., 2003. Evaluation of the potential of eucalypt species in the remediation of areas contaminated with heavy metals. Dissertação de Mestrado em Agronomia e Ciências do Solo. Rio de Janeiro, Rio de Janeiro: Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro.

MARTINEZ, M. S.; CRUVINEL, D. F. C.; BARATTO, D. M. Avaliação da fitorremediação de solos contaminados com metais pelo capim braquiária e mostarda da Índia. **Revista DAE**. n. 191. 2013. Disponível em <http://revistadae.com.br/artigos/artigo_edicao_191_n_1480.pdf>. Acesso em: 07 set. 2014.

MACIEL, A. C. HIRATA, R. Avaliação de Métodos Para a Proteção de Poços de Abastecimento Público do Estado de São Paulo. **Revista do Instituto de Geociências**, 2012., 12 (1): 53-70.

MACKOVÁ, M.; VRCHOTOVÁ, B.; FRANCOVÁ, K.; SYLVESTRE, M.; TOMANIOVÁC, M.; LOVECKÁ, P.; DEMNEROVÁ, K.; MACEK, T. Biotransformation of PCBs by plants and bacteria – consequences of plant-microbe interactions. **European Journal of Soil Biology**. v. 43, n. 4, p. 233–241. 2007. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1164556307000179>>. Acesso em: 11 mai. 2014.

MCMULLIN, E., 1993. **An Absorbing idea**. California Farmer. P. 20-24.

MATHEWS, D. W., MASSMANN, J., STRAND, S. E. Influence of aquifer properties on phytoremediation effectiveness. **Groundwater** 47, nº 01: 41-47. 2003. Disponível em <<https://info.ngwa.org/GWOL/pdf/030675656.pdf>> Acesso em: 19 jan. 2016.

MILANI, E. J.. Comentários Sobre a Origem e a Evolução Tectônica da Bacia do Paraná. 2004. In: Mantesso-Neto, V.; Bartorelli, A.; Carneiro, C.D.R.; Brito-Neves, B. B. (eds.). **Geologia do continente Sul-Americano: evolução da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida**. São Paulo: Beca, p. 383-405.

MINISTÉRIO DA SAÚDE. Portaria nº 2914. Brasília, 12 de dezembro de 2011. Brasília: Diário Oficial da União, 2011.

MOSTER, C.; LIMA, W. P.; ZAKIA, M. J. B.; CÂMARA, C. D. **Determinação do ano hidrológico visando a quantificação do balanço hídrico em microbacias experimentais**. *Circular técnica Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais – IPEF*, São Paulo, n. 197, p. 1-6, 2003.

MOTTA, 2001 Metabolismo do Nitrogênio. ABRAF - Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas. *Anuário Estatístico da ABRAF 2012*. Disponível em: www.abraflor.org.br/estatisticas/ABRAF12/ABRAF12-BR.pdf

MUGHINI, G.; ALIANIELLO, F.; BENEDETTI, A.; • MUGHINI, G. L.; GRAS, M. A.; SALVATI, L. Clonal variation in growth, arsenic and heavy metal uptakes of hybrid Eucalyptus clones in a Mediterranean environment. **AgroforestSyst**, 2013, Volume 87, p 755-766. Disponível em <<http://link.springer.com/article/10.1007/s10457-013-9594-0>>. Acesso em: 21 jan. 2016.

NACOB, M. R., 1956. **Growth Habits of the Eucalypt**. Forest and Timber Bureau. Commonwealth of Australia. Camberra. 262pp.

NALON, L. **Potencial do eucalipto na fitorremediação de um solo contaminado por chumbo**. 2008. 111 f. Dissertação de Mestrado e Ciências Agrárias e Veterinárias. Universidade Estadual Paulista.

NICHOLS, E. G.; COOK, R. L.; LANDMEYER, J. E.; ATKINSON, A.; MALONE, D. R.; SHAW, G.; WOODS, L. Phytoremediation of a petroleum-hydrocarbon contaminated shallow aquifer in Elizabeth City, North Carolina, USA. **Remediation The Journal of Environmental Cleanup Costs, Technologies & Techniques**. V. 24, p. 29-46, 2014. Disponível em: < <https://pubs.er.usgs.gov/publication/70096234>>. Acesso em: 8 jan. 2017.

OVERBEEK, J. V. **Como vivem as plantas**. São Paulo: Livraria Pioneira Editora, 1970. 170 p.

PEDERSEN, J.; BJERG, P.; CHRISTENSEN, T. Correlation of nitrate profiles with groundwater and sediment characteristics in a shallow sandy aquifer. **Journal of Hydrology**. 1991. N. 124. P. 263-277.

PINHEIRO, M. B. Aplicação da fitorremediação em função de tipologias de infraestruturas verdes em microbacias urbanas da cidade de São Paulo. **Revista LABVERDE** n. 10, p. 134-154. 2015. Disponível em <<http://www.revistas.usp.br/revistalabverde/article/view/98439>>. Acesso em: 7 jan. 2016.

PINHEIRO, R. F.; DEUS, J. C.; NOUVELLON, Y.; CAMPOE, O. C.; STAPE, L.; ALÓ, L. L.; IRAÊ, A. G.; JOURDAN, C.; LACLAU, JP. A fast exploration of very deep soil layers by Eucalyptus seedlings and clones in Brazil. *Forest Ecology and Management*, April, 2016

PROCEL, S. 2011. **Contaminação por nitrato e sua relação com o crescimento urbano no Sistema Aquífero Bauru em Presidente Prudente(SP)**. 2011. 146 f. Dissertação de Mestrado - Instituto de Geociências. Universidade de São Paulo, São Paulo.

PENG, X.; YANG, B.; DENG, D.; DONG, J.; CHEN, Z. Lead tolerance and accumulation in three cultivars of Eucalyptus urophylla X E.grandis: implication for phytoremediation. **Environmental Earth Sciences, November 2012, Volume 67, Issue 5, p 1515-1520**. Disponível em <<http://link.springer.com/article/10.1007/s12665-012-1595-1>>. Acesso em: 15 jan. 2016.

REIMANN, C.; CARITAT, P. **Chemical elements in the environment**. Springer-Verlag. Berlin Heidelberg New York, 1989. 398p.

ROSS, J. L. S.; MOROZ, I. C. **Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo**. São Paulo: IPT; Fundação de Amparo a pesquisa do Estado de São Paulo - FAPESP e Departamento de Geografia da Universidade de São Paulo - USP, 1997. 1v. Escala 1:500.000.

SAHA, P.; SHINDE, O.; SARKAR, S. Phytoremediation of industrial mines wastewater using water hyacinth. **International Journal of Phytoremediation**., Ago 2016. Disponível em:

<<https://pubs.er.usgs.gov/publication/70096><http://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/15226514.2016.1216078>>. Acesso em: 8 jan. 2016.

SCHMIDT, E. L. Nitrification in Soil. In: Stevenson, F.J. *Nitrogen in Agricultural Soils*. Winsconsin, **American Society of Agronomy Inc**, 1982. p. 253-288.

SCHNOOR, J. Phytoremediation In: **Technology Evaluation Report – TE-98-0**, 1997. Disponível em: <https://clu-in.org/download/toolkit/phyto_e.pdf>. Acesso em: 01 mai. 2017.

SHEA, S.R.; Hatch, A. B., Havell, J. J., Ritson, P., 1975. The effects of changes in forest structure and composition on water quality and yield from the northern Jarrah forest. In: **Managing Terrestrial Ecosystems**. J. Kikkawa & H.A. Nix (Ed.) Proc. Of the Ecological Society of Austrália, vol. 9 p.58-73.

SILVA, F. P.; CHANG, H. K.; CAETANO-CHAND, M. R. **Perfis de referência do grupo Bauru (k) no estado de São Paulo**. UNESP Geociências. São Paulo, n. 22, p. 21-32, 2003.

SOARES, P. C.; LANDIM, P. M. B; FULFARO, V. J.; NETO, S. A. F. Ensaio de caracterização estratigráfica do cretáceo no estado de São Paulo: grupo Bauru. **Revista Brasileira de Geociências**. São Paulo, n. 10, p. 177-185, 1980.

STUMM W. & MORGAN, J.J. **Aquatic Chemistry**. 3º Ed. New York, Wiley Interscience Publication. 1996. 1022 p.

SUNDARALINGAN, T., GNANAVELRAJAH, N. Phytoremediation Potential of Selected Plants for Nitrate and Phosphorus from Ground Water. **International Journal of Phytoremediation**. 2014. v 16, n 3, p. 275-284. Disponível em < <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/24912224>>. Acesso em: 25 abr. 2016.

SUSARLA, S.; MEDINA, V. F.; MCCUTCHEON, S. C. Phytoremediation: An ecological solution to organic chemical contamination. **Ecological Engineering**, n.18, p. 647-658, 2002. Disponível em <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0925857402000265>>. Acesso em: 10 mai. 2016.

THE INTERSTATE TECHNOLOGY & REGULATORY COUNCIL – ITRC. **Phytotechnology and regulatory guidance and decision trees, revised**. fev. 2009. Disponível em <<http://itrcweb.org/GuidanceDocuments/PHYTO-3.pdf>>. Acesso em 02 fev. 2014.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: ciência e aplicação**. 3. ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS/ABRH, 2002. 943 p.

UNITED STATES ENVIROMENTAL PROTECTION AGENCY – USEPA. **Phytotechnologies for site cleanup**. 2010. Disponível em <https://clu->

in.org/download/remed/phytotechnologies-factsheet.pdf . Acesso em: 01 de mar. 2016.

VANGRONSVELD J, HERZIG R, WEYENS N, BOULET J, ADRIAENSEN K, RUTTENS A, THEWYS T, VASSILEV A, MEERS E, NEHNEVAJOVA E, VAN DER LELIE D, MENCH M. Phytoremediation of contaminated soils and groundwater: lessons from the field. **Environmental Science and Pollution Research**. 2009. Nov; 16 (7) p 765-794. doi: 10.1007/s11356-009-0213-6.

VARNIER, C.L.; GUERRA, S.P.; HIRATA, R.C.A.; VEIGA, C.; VIOTTI, M.. **Contaminação das águas subterrâneas por nitrato e a expansão urbana em Presidente Prudente (SP) (Anais)**. In: ABAS, CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, São Luís: ABAS, 2010.

VARNIER, C. L. **Avaliação da contaminação de uma fossa negra desativada na zona não-saturada do aquífero Adamantina em Urânia (SP)**. Tese (Doutorado). Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo. 2007.

ZHANG, Q.; DAVIS, L. C.; ERICKSON L.E. An Experimental Study of Pjytoremediation of Methyl-Tert- Butyl Ethet (MTBE) In Groundwater. **Conference on Hazardous Waste Reserarch**. Disponível em: <<https://www.engg.ksu.edu/HSRC/99Proceed/zhang.pdf>>. Acesso em: 01 abr. 2017.

WHO, World Health Organization. **Nitrate and nitrite in drinking-water**. Genebra: WHO Press. 2011.

ANEXO I - TABELAS

Tabela 18 – Dados de nível d'água e carga hidráulica dos poços de outubro de 2014 à janeiro de 2017

Poço	Profundidade (m)	Cota (m)	02/10/2014		07/11/2014		08/12/2014		21/01/2015		10/02/2015	
			Nível d'água	Carga Hidráulica								
PM-01	9,80	98,91	8,71	90,20	8,79	90,12	8,75	90,16	8,72	90,19	8,74	90,17
PM-02	9,70	98,75	8,54	90,21	8,65	90,10	8,61	90,14	8,54	90,21	8,60	90,15
PM-02A	12,70	98,65	8,54	90,11	8,59	90,06	8,56	90,09	8,54	90,11	8,52	90,13
PM-02B	15,00	98,54	¹	¹								
PM-02C	17,00	98,66	²	²								
PM-03	9,60	98,72	8,53	90,19	8,62	90,10	8,60	90,12	8,54	90,18	8,58	90,14
PM-03A	12,60	98,72	²	²								
PM-04	9,70	98,81	8,52	90,29	8,60	90,21	8,55	90,26	8,52	90,29	8,60	90,21
PM-05	9,70	98,75	8,72	90,03	8,80	89,95	8,77	89,98	8,72	90,03	8,80	89,95
PM-05A	12,70	98,70	8,63	90,07	8,71	89,99	8,66	90,04	8,62	90,08	8,70	90,00
PM-06	9,70	98,63	8,51	90,12	8,62	90,01	8,57	90,06	8,51	90,12	8,58	90,05
PM-06B	15,00	98,57	¹	¹								
PM-06C	17,00	98,66	²	²								
PM-07	9,70	98,61	8,47	90,14	8,56	90,05	8,50	90,11	8,47	90,14	8,51	90,10
PM-08	9,65	98,63	8,47	90,16	8,56	90,07	8,50	90,13	8,46	90,17	8,46	90,17
PM-09	9,70	98,65	8,54	90,11	8,63	90,02	8,60	90,05	8,54	90,11	8,61	90,04
PM-09A	12,70	98,61	8,55	90,06	8,63	89,98	8,60	90,01	8,54	90,07	8,55	90,06
PM-10	9,60	98,64	8,45	90,19	8,53	90,11	8,50	90,14	8,48	90,16	8,48	90,16
PM-10A	12,60	98,64	8,56	90,08	8,64	90,00	8,58	90,06	8,55	90,09	8,51	90,13
PM-11	9,70	98,59	8,57	90,02	8,67	89,92	8,63	89,96	8,57	90,02	8,62	89,97
PM-12	9,70	98,55	8,42	90,13	8,52	90,03	8,48	90,07	8,41	90,14	8,40	90,15
PM-13	9,70	98,53	8,37	90,16	8,46	90,07	8,40	90,13	8,36	90,17	8,40	90,13
PM-14	9,80	98,61	8,53	90,08	8,62	89,99	8,56	90,05	8,51	90,10	8,57	90,04
PM-14A	12,80	98,59	8,53	90,06	8,61	89,98	8,56	90,03	8,51	90,08	8,52	90,07
PM-15	9,70	98,79	8,59	90,20	8,67	90,12	8,63	90,16	8,61	90,18	8,60	90,19
PM-15A	12,70	98,79	8,51	90,28	8,60	90,19	8,55	90,24	8,51	90,28	8,53	90,27
PM-16	9,70	98,75	8,63	90,12	8,71	90,04	8,66	90,09	8,63	90,12	8,63	90,12
P1	10,90	100,00	9,72	90,28	9,81	90,19	9,29	90,71	9,43	90,57	9,28	90,72
P2	8,90	97,79	7,63	90,16	7,73	90,06	7,31	90,48	8,19	88,91	7,95	89,84
P3	9,30	98,14	7,63	90,51	7,72	90,42	7,95	90,19	8,60	88,92	8,04	90,10

¹ Instalado em julho de 2015² Instalado em julho de 2016

Tabela 18 – Dados de nível d'água e carga hidráulica dos poços de outubro de 2014 à janeiro de 2017

Poço	Profundidade (m)	Cota (m)	11/03/2015		16/04/2015		19/05/2015		11/06/2015		10/07/2015	
			Nível d'água	Carga Hidráulica								
PM-01	9,80	98,91	8,77	90,14	8,74	90,17	8,83	90,08	8,91	90,00	8,99	89,92
PM-02	9,70	98,75	8,54	90,21	8,57	90,18	8,57	90,18	8,66	90,09	8,81	89,94
PM-02A	12,70	98,65	8,55	90,10	8,57	90,08	8,67	89,98	8,75	89,90	8,91	89,74
PM-02B	15,00	98,54	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
PM-02C	17,00	98,66	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
PM-03	9,60	98,72	8,58	90,14	8,55	90,17	8,65	90,07	8,70	90,02	8,87	89,85
PM-03A	12,60	98,72	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
PM-04	9,70	98,81	8,56	90,25	8,55	90,26	8,64	90,17	8,73	90,08	8,81	90,00
PM-05	9,70	98,75	8,77	89,98	8,74	90,01	8,83	89,92	8,90	89,85	8,95	89,80
PM-05A	12,70	98,70	8,65	90,05	8,65	90,05	8,74	89,96	8,86	89,84	8,95	89,75
PM-06	9,70	98,63	8,60	90,03	8,54	90,09	8,64	89,99	8,70	89,93	8,86	89,77
PM-06B	15,00	98,57	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
PM-06C	17,00	98,66	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
PM-07	9,70	98,61	8,50	90,11	8,49	90,12	8,59	90,02	8,66	89,95	8,79	89,82
PM-08	9,65	98,63	8,52	90,11	8,48	90,15	8,58	90,05	8,69	89,94	8,80	89,83
PM-09	9,70	98,65	8,60	90,05	8,57	90,08	8,66	89,99	8,75	89,90	8,77	89,88
PM-09A	12,70	98,61	8,60	90,01	8,57	90,04	8,67	89,94	8,72	89,89	8,86	89,75
PM-10	9,60	98,64	8,45	90,19	8,46	90,18	8,57	90,07	8,68	89,96	8,79	89,85
PM-10A	12,60	98,64	8,52	90,12	8,58	90,06	8,68	89,96	8,77	89,87	8,91	89,73
PM-11	9,70	98,59	8,63	89,96	8,61	89,98	8,69	89,90	8,73	89,86	8,91	89,68
PM-12	9,70	98,55	8,45	90,10	8,43	90,12	8,54	90,01	8,60	89,95	8,70	89,85
PM-13	9,70	98,53	8,41	90,12	8,39	90,14	8,53	90,00	8,61	89,92	8,70	89,83
PM-14	9,80	98,61	8,60	90,01	8,54	90,07	8,63	89,98	8,62	89,99	8,85	89,76
PM-14A	12,80	98,59	8,55	90,04	8,54	90,05	8,64	89,95	8,69	89,90	8,74	89,85
PM-15	9,70	98,79	8,63	90,16	8,62	90,17	8,71	90,08	8,80	89,99	8,93	89,86
PM-15A	12,70	98,79	8,56	90,23	8,54	90,25	8,71	90,08	8,80	89,99	8,87	89,92
PM-16	9,70	98,75	8,65	90,10	8,66	90,09	8,75	90,00	8,82	89,93	8,88	89,87
P1	10,90	100,00	9,29	90,71	9,18	90,82	9,48	90,52	9,54	90,46	9,43	90,57
P2	8,90	97,79	7,79	90,00	7,64	90,15	7,81	89,98	7,92	89,87	7,73	90,06
P3	9,30	98,14	7,88	90,26	7,72	90,42	7,87	90,27	7,96	90,18	7,79	90,35

¹ Instalado em julho de 2015² Instalado em julho de 2016

Tabela 18 – Dados de nível d'água e carga hidráulica dos poços de outubro de 2014 à janeiro de 2017

Poço	Profundidade (m)	Cota (m)	19/08/2015		11/09/2015		01/08/2016		13/01/2017	
			Nível d'água	Carga Hidráulica						
PM-01	9,80	98,91	9,11	89,80	9,09	89,82	8,18	90,73	8,70	90,21
PM-02	9,70	98,75	8,95	89,80	8,94	89,81	8,00	90,75	8,54	90,21
PM-02A	12,70	98,65	8,94	89,71	8,97	89,68	8,01	90,64	8,55	90,10
PM-02B	15,00	98,54	¹	¹	8,95	89,59	7,99	90,55	8,46	90,08
PM-02C	17,00	98,66	²	²	²	²	8,33	90,33	8,83	89,83
PM-03	9,60	98,72	8,92	89,80	8,94	89,78	7,99	90,73	8,52	90,20
PM-03A	12,60	98,72	²	²	²	²	8,25	90,47	8,76	89,96
PM-04	9,70	98,81	8,92	89,89	8,92	89,89	7,99	90,82	8,52	90,29
PM-05	9,70	98,75	9,05	89,70	9,03	89,72	8,19	90,56	8,72	90,03
PM-05A	12,70	98,70	9,03	89,67	9,03	89,67	8,10	90,60	8,63	90,07
PM-06	9,70	98,63	8,92	89,71	8,95	89,68	7,97	90,66	8,50	90,13
PM-06B	15,00	98,57	¹	¹	9,01	89,56	8,18	90,39	8,69	89,88
PM-06C	17,00	98,66	²	²	²	²	8,33	90,33	8,84	89,82
PM-07	9,70	98,61	8,87	89,74	8,90	89,71	7,94	90,67	8,47	90,14
PM-08	9,65	98,63	8,87	89,76	8,89	89,74	7,94	90,69	8,47	90,16
PM-09	9,70	98,65	8,85	89,80	8,86	89,79	8,03	90,62	8,56	90,09
PM-09A	12,70	98,61	8,95	89,66	8,98	89,63	8,03	90,58	8,56	90,05
PM-10	9,60	98,64	8,85	89,79	8,84	89,80	7,92	90,72	8,46	90,18
PM-10A	12,60	98,64	8,96	89,68	8,98	89,66	8,04	90,60	8,56	90,08
PM-11	9,70	98,59	8,97	89,62	8,97	89,62	8,05	90,54	8,57	90,02
PM-12	9,70	98,55	8,82	89,73	8,80	89,75	7,89	90,66	8,42	90,13
PM-13	9,70	98,53	8,77	89,76	8,80	89,73	7,85	90,68	8,38	90,15
PM-14	9,80	98,61	8,92	89,69	8,96	89,65	8,02	90,59	8,52	90,09
PM-14A	12,80	98,59	8,82	89,77	8,85	89,74	8,00	90,59	8,53	90,06
PM-15	9,70	98,79	8,99	89,80	9,00	89,79	8,05	90,74	8,60	90,19
PM-15A	12,70	98,79	8,91	89,88	8,92	89,87	8,05	90,74	8,52	90,27
PM-16	9,70	98,75	9,03	89,72	9,03	89,72	8,10	90,65	8,62	90,13
P1	10,90	100,00	9,72	90,28	9,70	90,30	9,07	90,93	9,50	90,50
P2	8,90	97,79	7,60	90,19	7,55	90,24	7,71	90,08	8,17	89,62
P3	9,30	98,14	7,61	90,53	7,58	90,56	7,67	90,47	8,55	89,59

¹ Instalado em julho de 2015² Instalado em julho de 2016

Tabela 24 - Concentração de cátions e ânions (mg/L) em amostras de água subterrânea coletadas nos poços de monitoramento em outubro de 2014

Compostos Analisados	PM-01	PM-02	PM-02A	PM-02B	PM-02C	PM-03	PM-03A	VRQ 2012
Lítio Li ⁺	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,001	<0,001	0,002	0,01
Sódio Na ⁺	0,400	0,230	0,240	7,110	0,330	0,340	0,800	17,3
Amônio NH ₄ ⁺	0,007	0,008	0,006	0,003	0,002	0,002	0,001	Ne
Potássio K ⁺	0,090	0,100	0,380	0,390	0,530	0,040	0,500	5,6
Magnésio Mg ²⁺	0,480	0,720	1,320	0,770	1,250	0,220	2,110	8,14
Cálcio Ca ²⁺	2,270	3,200	5,280	2,250	2,370	1,030	12,520	27,6
Fluoreto F ⁻	0,060	0,010	0,150	0,005	0,040	0,030	0,040	0,22
Cloreto Cl ⁻	0,330	0,270	0,350	0,260	0,160	0,160	0,450	5,2
Nitrito NO ₂ ⁻	<0,001	<0,001	0,001	0,002	0,001	0,003	0,002	<0,03 ¹
Brometo Br ⁻	<0,001	<0,001	<0,001	0,002	0,002	0,002	0,003	Ne
Nitrato NO ₃ ⁻	0,350	0,360	0,250	0,060	0,090	0,100	0,070	19,70 ¹
Hidrogenofosfato HPO ₄ ²⁻	0,040	0,140	0,150	0,020	0,010	0,260	0,020	Ne
Sulfato SO ₄ ²⁻	0,070	0,100	0,160	0,110	0,300	0,060	0,160	<2
Alcalinidade CaCO ₃	8,530	10,660	18,660	19,060	8,670	3,730	35,240	105
Balanco Iônico	-4,96	-0,03	-1,08	11,27	13,98	-1,92	7,75	-

Fonte: Trabalho de campo, outubro de 2014

VRQ, 2012: Valores de referência (VRQ) e resultados de qualidade por triênio, CETESB 2013

<0,001: Concentração inferior ao limite de detecção do equipamento utilizado (DIONEX ICS-90)

ne: Valor não estabelecido no documento da CETESB

1: Valores calculados a partir dos valores de N- NO₃⁻ e N- NO₂⁻

continua

Tabela 24 - Concentração de cátions e ânions (mg/L) em amostras de água subterrânea coletadas nos poços de monitoramento em outubro de 2014

Compostos Analisados	PM-04	PM-05	PM-05A	PM-06	PM-06B	PM-06C	PM-07	VRQ 2012
Lítio Li ⁺	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,001	0,001	<0,001	0,01
Sódio Na ⁺	0,590	0,460	0,490	0,220	0,490	5,520	0,470	17,3
Amônio NH ₄ ⁺	0,005	0,020	0,005	0,004	0,002	0,007	0,005	Ne
Potássio K ⁺	0,050	0,050	0,380	0,060	0,470	0,640	0,030	5,6
Magnésio Mg ²⁺	0,320	0,480	1,030	0,150	1,190	2,440	0,290	8,14
Cálcio Ca ²⁺	1,560	2,310	2,880	1,110	2,490	6,450	1,310	27,6
Fluoreto F ⁻	0,020	0,030	0,040	0,030	0,030	0,050	0,040	0,22
Cloreto Cl ⁻	0,160	0,240	0,130	0,120	0,170	6,420	0,160	5,2
Nitrito NO ₂ ⁻	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,002	0,013	<0,001	<0,03 ¹
Brometo Br ⁻	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,004	0,009	<0,001	Ne
Nitrato NO ₃ ⁻	0,310	0,350	0,120	0,420	0,160	0,050	0,290	19,70 ¹
Hidrogenofosfato HPO ₄ ²⁻	0,310	0,030	0,040	0,180	0,020	0,040	0,150	Ne
Sulfato SO ₄ ²⁻	0,040	0,110	0,100	0,180	0,150	0,480	0,140	<2
Alcalinidade CaCO ₃	5,870	8,000	12,260	3,200	8,670	24,840	4,800	105
Balanco Iônico	-1,38	0,11	0,69	-2,23	15,77	5,94	-1,50	-

Fonte: Trabalho de campo, outubro de 2014

VRQ, 2012: Valores de referência (VRQ) e resultados de qualidade por triênio, CETESB 2013

<0,001: Concentração inferior ao limite de detecção do equipamento utilizado (DIONEX ICS-90)

ne: Valor não estabelecido no documento da CETESB

¹: Valores calculados a partir dos valores de N- NO₃⁻ e N- NO₂⁻

continua

Tabela 24 - Concentração de cátions e ânions (mg/L) em amostras de água subterrânea coletadas nos poços de monitoramento em outubro de 2014

Compostos Analisados	PM-08	PM-09	PM-09A	PM-10	PM-10A	PM-11	PM-12	VRQ 2012
Lítio Li ⁺	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,01
Sódio Na ⁺	0,290	0,630	0,390	0,320	0,300	0,240	0,270	17,3
Amônio NH ₄ ⁺	0,008	0,008	0,005	0,014	0,006	0,007	0,007	Ne
Potássio K ⁺	0,050	0,140	0,300	0,050	0,290	0,012	0,020	5,6
Magnésio Mg ²⁺	0,480	1,020	1,100	0,180	0,670	0,240	0,300	8,14
Cálcio Ca ²⁺	2,380	5,050	4,190	1,090	2,700	1,470	1,330	27,6
Fluoreto F ⁻	0,030	0,050	0,020	0,070	0,050	0,020	0,020	0,22
Cloreto Cl ⁻	0,380	0,150	0,090	0,140	0,120	0,080	0,080	5,2
Nitrito NO ₂ ⁻	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,03 ¹
Brometo Br ⁻	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	Ne
Nitrato NO ₃ ⁻	2,570	0,280	0,110	0,240	2,040	0,270	0,190	19,70 ¹
Hidrogenofosfato HPO ₄ ²⁻	0,420	0,350	0,310	0,310	0,280	0,280	0,320	Ne
Sulfato SO ₄ ²⁻	0,200	0,230	0,100	0,200	0,230	0,180	0,260	<2
Alcalinidade CaCO ₃	6,400	17,060	16,000	3,200	7,460	4,800	4,800	105
Balanco Iônico	-5,86	0,32	-1,53	-0,62	2,83	-4,36	-4,46	-

Fonte: Trabalho de campo, outubro de 2014

VRQ, 2012: Valores de referência (VRQ) e resultados de qualidade por triênio, CETESB 2013

<0,001: Concentração inferior ao limite de detecção do equipamento utilizado (DIONEX ICS-90)

ne: Valor não estabelecido no documento da CETESB

¹: Valores calculados a partir dos valores de N- NO₃⁻ e N- NO₂⁻

continua

Tabela 24 - Concentração de cátions e ânions (mg/L) em amostras de água subterrânea coletadas nos poços de monitoramento em outubro de 2014

Compostos Analisados	PM-13	PM-14	PM-14A	PM-15	PM-15A	PM-16	PM-17 (Branco de campo)	VRQ 2012
Lítio Li ⁺	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,01
Sódio Na ⁺	0,240	0,240	0,190	0,230	0,160	0,200	0,030	17,3
Amônio NH ₄ ⁺	0,007	0,008	0,007	0,007	0,014	0,008	0,002	Ne
Potássio K ⁺	0,020	0,020	0,280	0,050	0,290	0,020	0,120	5,6
Magnésio Mg ²⁺	0,090	0,300	0,990	0,190	0,800	0,460	0,014	8,14
Cálcio Ca ²⁺	0,330	1,330	3,830	0,980	3,000	2,060	0,070	27,6
Fluoreto F ⁻	0,030	0,020	0,040	0,020	0,040	0,010	0,010	0,22
Cloreto Cl ⁻	0,130	0,150	0,110	0,160	0,100	0,070	0,030	5,2
Nitrito NO ₂ ⁻	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,03 ¹
Brometo Br ⁻	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	Ne
Nitrato NO ₃ ⁻	0,210	0,240	0,890	0,260	0,050	0,300	<0,001	19,70 ¹
Hidrogenofosfato HPO ₄ ²⁻	0,130	0,110	0,110	0,320	0,060	0,090	0,030	Ne
Sulfato SO ₄ ²⁻	0,220	0,140	0,150	0,270	0,090	0,160	0,030	<2
Alcalinidade CaCO ₃	1,600	4,800	14,400	3,200	11,200	6,930	0,270	105
Balanco Iônico	-15,56	-3,42	-4,00	-6,07	-0,42	-0,27	-	-

Fonte: Trabalho de campo, outubro de 2014

VRQ, 2013: Valores de referência (VRQ) e resultados de qualidade por triênio, CETESB 2013

<0,001: Concentração inferior ao limite de detecção do equipamento utilizado (DIONEX ICS-90)

ne: Valor não estabelecido no documento da CETESB

conclusão

Tabela 25 - Concentrações de compostos (mg/L) em amostras de água subterrânea coletadas nos poços de monitoramento antes da injeção

Compostos Analisados	PM-01	PM-02	PMN-02A	PM-03	PM-04	PM-05	PMN-05A	PM-06	PM-07	PM-08	PM-09
Sódio Na ⁺	0,3330	1	1	1	1	1	1	1	0,3220	1	1
Amônio NH ₄ ⁺	0,0990	0,0960	<0,077	<0,077	0,1080	<0,077	<0,077	<0,077	0,1180	<0,077	<0,077
Potássio K ⁺	0,1620	1	1	1	1	1	1	1	0,1390	1	1
Cloreto Cl ⁻	0,1550	0,1020	0,0610	0,0550	0,0770	0,1220	0,1670	0,0750	0,1550	0,2640	0,0540
Nitrato NO ₃ ⁻	0,0467	0,0240	<0,0001.	0,0215	0,3221	0,0571	<0,001.	0,0308	0,0314	0,0345	0,1637
Matéria Orgânica	Ausente	1	1	1	1	1	1	1	Ausente	1	1

<0,001 – Concentração inferior ao limite de detecção do equipamento utilizado

¹ Composto não analisado

Tabela 25 - Concentrações de compostos (mg/L) em amostras de água subterrânea coletadas nos poços de monitoramento antes da injeção

Compostos Analisados	PMN-09A	PM-10	PMN-10A	PM-11	PM-12	PM-13	PM-14	PMN-14A	PM-15	PMN-15A	PM-16
Sódio Na ⁺	1	1	1	1	1	1	0,382	0,271	0,358	0,270	1
Amônio NH ₄ ⁺	<0,077	<0,077	<0,077	<0,077	<0,077	<0,077	0,1388	0,1504	<0,077	0,0951	<0,077
Potássio K ⁺	1	1	1	1	1	1	0,163	0,519	0,231	0,350	1
Cloreto Cl ⁻	0,068	0,069	0,635	0,072	0,256	0,091	0,065	0,077	0,086	0,102	0,101
Nitrato NO ₃ ⁻	<0,0150	<0,015 0	0,2727	<0,015 0	0,0282	<0,015 0	0,0844	<0,0150	<0,0150	<0,0150	0,0308
Matéria Orgânica	1	1	1	1	1	1	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	1

<0,001 – Concentração inferior ao limite de detecção do equipamento utilizado

¹ Composto não analisado

Tabela 26 – Parâmetros físico-químicos na campanha background

Poço	OD (mg/L)	ORP (mV)	pH	Cond, (μ S/cm)	Temp, ($^{\circ}$ C)
PM-01	5,80	196,20	5,40	21,90	20,70
PM-02	5,94	273,10	5,14	26,70	21,30
PM-02A	5,78	236,30	5,89	41,50	21,70
PM-02B	3,19	73,30	5,86	38,30	21,30
PM-02C	3,67	104,40	5,22	16,40	22,10
PM-03	5,57	196,20	5,71	11,70	20,50
PM-03A	2,97	75,60	5,84	66,80	21,80
PM-04	5,80	198,50	5,50	14,60	21,50
PM-05	5,69	192,90	5,58	22,20	21,50
PM-05A	5,47	210,50	5,76	28,10	22,00
PM-06	6,41	196,50	5,32	12,20	21,60
PM-06B	3,31	83,60	5,45	16,70	21,80
PM-06C	3,12	72,40	5,87	69,50	21,90
PM-07	6,65	225,40	5,37	13,60	21,80
PM-08	6,42	233,80	5,55	20,70	21,60
PM-09	5,96	231,70	6,18	42,00	21,70
PM-09A	6,15	238,00	5,83	34,70	21,70
PM-10	5,90	229,10	5,30	10,90	22,20
PM-10A	5,15	227,00	5,53	22,20	21,70
PM-11	5,67	197,90	5,30	16,80	21,60
PM-12	6,20	243,90	5,22	12,60	21,40
PM-13	7,26	248,20	4,07	8,50	19,90
PM-14	5,80	236,90	4,67	13,20	21,40
PM-14A	5,78	218,00	5,56	37,60	20,90
PM-15	6,80	197,00	5,70	10,50	20,70
PM-15A	6,82	194,00	6,28	28,50	20,50
PM-16	6,13	202,50	4,95	18,70	21,30
Média	6,05	219,25	5,45	21,34	21,33
VRQ	ne	ne	7,10	252,00	26,00

Fonte: Trabalho de campo, maio de 2015

Valores de referência (VRQ) e resultados de qualidade por triênio, CETESB 2012

Tabela 27 - Físico-químicos da primeira campanha de injeção – maio de 2015

Poço	OD (mg/L)				ORP (mV)				pH			
	pré-injeção	20/05	22/05	24/05	pré-injeção	20/05	22/05	24/05	pré-injeção	20/05	22/05	24/05
PM-01	5,75	5,20	5,44	4,58	1,27	-10,30	41,20	28,40	5,21	5,58	4,94	5,23
PM-02	6,00	3,30	3,00	2,53	66,20	8,90	36,30	0,50	5,88	5,81	5,45	5,81
PM-02A	5,60	4,46	4,16	4,46	26,40	-10,90	35,50	-9,90	5,42	5,39	5,80	5,75
PM-03	5,23	4,69	4,20	4,69	-1,80	-6,60	47,60	-6,60	5,67	5,27	4,37	5,27
PM-04	5,60	4,70	4,60	3,69	-1,50	-16,00	4,50	32,90	5,50	5,40	5,10	5,29
PM-05	5,59	5,30	4,60	3,91	-6,30	3,50	44,60	34,50	5,50	5,30	4,75	5,08
PM-05A	5,62	5,10	4,34	4,01	8,70	-1,08	32,00	29,50	5,26	5,74	3,82	5,81
PM-06	6,23	4,46	4,58	4,46	-2,50	-15,30	39,40	-15,30	5,88	5,37	4,58	5,37
PM-07	6,55	4,33	4,84	4,33	24,50	-5,50	38,20	-5,50	5,17	5,27	4,93	5,27
PM-08	5,42	3,25	4,50	3,25	28,30	-10,10	49,90	-10,10	5,12	4,92	4,78	4,92
PM-09	4,96	3,41	4,40	3,91	27,10	-16,30	48,80	-16,30	5,12	5,41	5,47	5,41
PM-09A	5,12	4,65	4,57	4,65	18,00	-13,00	44,70	-13,00	5,13	5,40	5,41	5,40
PM-10	4,97	5,10	4,13	4,50	19,20	5,50	36,10	41,50	5,30	5,01	4,80	4,80
PM-10A	3,15	5,40	8,08	3,88	25,90	12,80	43,80	35,20	5,66	5,12	4,80	5,13
PM-11	4,91	5,40	4,10	3,75	-4,80	-8,70	36,20	31,70	5,16	5,35	4,74	5,12
PM-12	4,33	4,90	5,71	3,85	33,90	-19,80	50,50	-19,80	5,22	4,80	4,60	4,80
PM-13	4,66	4,65	5,14	3,80	38,50	-16,00	45,00	37,10	4,78	4,94	4,72	4,58
PM-14	4,80	4,90	4,69	3,84	39,70	20,10	45,30	34,00	4,97	4,90	4,73	5,00
PM-14A	4,78	4,65	4,70	4,60	28,00	17,50	45,00	45,50	5,69	5,44	5,25	6,07
PM-15	5,69	4,64	4,66	4,65	-5,70	-8,10	43,10	-81,00	5,83	4,89	4,62	4,39
PM-15A	5,31	4,12	5,22	4,80	-9,40	-16,70	43,10	-16,70	5,82	5,08	4,90	4,60
PM-16	5,22	4,20	5,22	3,80	-10,70	-9,80	43,00	31,40	5,25	5,48	5,00	5,23
Mediana	5,27	4,65	4,60	3,96	18,60	-9,25	43,10	14,45	5,28	5,33	4,80	5,23

Fonte: Trabalho de campo

Tabela 27- Físico-químicos da primeira campanha de injeção – maio de 2015

Poço	Cond. ($\mu\text{S}/\text{cm}$)				Temp. ($^{\circ}\text{C}$)			
	pré-injeção	20/05	22/05	24/05	pré-injeção	20/05	22/05	24/05
PM-01	20,70	14,00	11,80	12,10	22,00	23,40	22,00	22,50
PM-02	27,50	146,00	346,30	148,00	22,70	23,82	23,60	23,80
PM-02A	31,80	31,00	21,50	31,00	22,30	23,10	23,00	22,70
PM-03	10,80	24,00	8,70	24,00	22,67	22,27	21,10	22,20
PM-04	16,50	13,00	10,80	14,10	23,00	23,10	22,80	22,50
PM-05	21,30	8,00	10,50	7,70	22,80	22,90	23,00	22,50
PM-05A	27,90	27,00	35,90	23,50	22,00	22,50	23,90	22,40
PM-06	10,20	10,00	7,90	10,00	23,10	23,44	22,50	23,40
PM-07	11,80	15,60	8,70	15,60	21,80	21,81	20,90	21,81
PM-08	19,30	15,00	9,30	15,00	22,64	22,74	21,50	22,70
PM-09	31,90	15,00	16,30	15,00	22,89	22,62	22,20	22,60
PM-09A	27,80	17,00	14,90	17,00	22,70	25,52	21,80	23,50
PM-10	12,70	7,00	13,30	7,60	22,64	22,80	24,00	22,10
PM-10A	24,80	10,00	12,30	11,50	22,70	22,90	23,00	22,20
PM-11	18,70	7,00	48,90	7,00	22,60	23,30	24,00	22,50
PM-12	13,70	11,00	7,80	11,00	22,48	22,76	21,70	23,70
PM-13	11,70	7,00	9,10	7,30	20,97	23,40	21,40	22,40
PM-14	11,30	15,00	8,70	11,80	22,60	22,10	23,40	21,80
PM-14A	27,40	18,00	23,80	30,10	22,83	22,80	23,70	21,50
PM-15	16,80	8,00	7,00	0,80	22,40	22,90	22,50	23,60
PM-15A	18,50	12,00	6,00	12,00	22,10	22,74	22,10	22,80
PM-16	15,20	14,10	15,22	13,80	22,00	22,50	22,40	22,70
Mediana	18,60	13,50	10,60	12,05	22,60	22,80	22,60	22,50

Fonte: Trabalho de campo

Tabela 28 - Concentração de nitrato (mg/L) em amostras de água subterrânea coletadas nos poços de monitoramento em diferentes momentos (horas) após a primeira campanha de injeção da solução rica em nitrato e cloreto no PM-02 realizada em maio de 2015

Momento do monitoramento (horas)	PM-01	PM-02	PM-02A	PM-03	PM-04	PM-05	PM-05A	PM-06	PM-07	PM-08	PM-09
0	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
6	ND	536	5	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
12	ND	521	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
18	ND	486	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
24	ND	471	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
30	ND	391	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
36	ND	391	5	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
42	ND	316	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
48	ND	261	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
54	ND	205	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
60	ND	189	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
72	ND	114	5	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
84	ND	116	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
96	ND	120	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
108	ND	64	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
120	ND	29	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
132	ND	23	5	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
144	ND	10	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
168	ND	6	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
192	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
216	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
240	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	4
288	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
336	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND

ND – Concentração inferior ao limite de detecção do equipamento utilizado (DR-2800)

Fonte: Trabalho de campo, maio de 2015

continua

continuação

Tabela 28 - Concentração de nitrato (mg/L) em amostras de água subterrânea coletadas nos poços de monitoramento em diferentes momentos (horas) após a primeira campanha de injeção da solução rica em nitrato e cloreto no PM-02 realizada em maio de 2015

Momento do monitoramento (horas)	PM-09A	PM-10	PM-10A	PM-11	PM-12	PM-13	PM-14	PM-14A	PM-15	PM-15A	PM-16
0	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
6	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
12	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
18	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
24	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	9	ND	ND
30	ND	ND	ND	ND	8	ND	ND	ND	ND	ND	ND
36	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
42	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
48	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
54	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
60	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
72	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
84	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
96	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
108	ND	7	ND	3	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
120	ND	ND	ND	4	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
132	ND	ND	ND	ND	ND	4	ND	ND	ND	ND	ND
144	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
168	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
192	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
216	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
240	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
288	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
336	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND

ND – Concentração inferior ao limite de detecção do equipamento utilizado (DR-2800)

Fonte: Trabalho de campo, maio de 2015.

conclusão

Tabela 29 - Concentração de cloreto (mg/L) em amostras de água subterrânea coletadas nos poços de monitoramento em diferentes momentos (horas) após a primeira campanha de injeção da solução rica em nitrato e cloreto no PM-02 realizada em maio de 2015

Momento do monitoramento (horas)	PM-01	PM-02	PM-02A	PM-03	PM-04	PM-05	PM-05A	PM-06	PM-07	PM-08	PM-09
0	0,300	0,300	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
6	ND	480	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
12	ND	455	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
18	ND	400	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
24	ND	378	12	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
30	ND	320	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
36	ND	300	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
42	ND	288	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
48	ND	250	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
54	ND	244	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
60	ND	220	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
72	ND	173	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
84	ND	135	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
96	ND	90	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
108	9	97	6	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
120	4	88	6	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
132	ND	72	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
144	ND	60	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
168	ND	42	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
192	13	21	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
216	ND	10	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
240	6	ND	7	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
288	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
336	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND

ND – Concentração inferior ao limite de detecção do equipamento utilizado (DR-2800)

Fonte: Trabalho de campo, maio de 2015

continua

continuação

Tabela 29 - Concentração de cloreto (mg/L) em amostras de água subterrânea coletadas nos poços de monitoramento em diferentes momentos (horas) após a primeira campanha de injeção da solução rica em nitrato e cloreto no PM-02 realizada em maio de 2015

Momento do monitoramento (horas)	PM-09A	PM-10	PM-10A	PM-11	PM-12	PM-13	PM-14	PM-14A	PM-15	PM-15A	PM-16
0	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
6	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	1
12	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
18	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
24	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
30	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
36	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
42	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
48	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
54	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
60	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
72	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
84	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
96	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
108	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
120	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
132	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
144	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
168	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
192	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
216	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
240	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
288	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
336	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND

ND – Concentração inferior ao limite de detecção do equipamento utilizado (DR-2800)

Fonte: Trabalho de campo, maio de 2015.

conclusão

Tabela 30 - Concentração de amônio (mg/L) em amostras de água subterrânea coletadas nos poços de monitoramento em diferentes momentos (horas) após a primeira campanha de injeção da solução rica em nitrato e cloreto no PM-02 realizada em maio de 2015

Momento do monitoramento (horas)	PM-01	PM-02	PM-02A	PM-03	PM-04	PM-05	PM-05A	PM-06	PM-07	PM-08	PM-09
6	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0,2	ND	0,2
12	ND	0,2	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
18	ND	0,7	ND	0,8	ND	ND	ND	0,3	ND	ND	0,7
24	ND	0,4	0,3	1,0	ND	ND	ND	ND	0,6	ND	ND
30	ND	ND	0,5	ND	ND	ND	ND	ND	0,2	ND	ND
72	ND	0,3	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
192	ND	ND	ND	0,6	ND	ND	ND	0,3	ND	0,2	ND

ND – Concentração inferior ao limite de detecção do equipamento utilizado (RQflex Plus)

Fonte: Trabalho de campo, maio de 2015

Tabela 30 - Concentração de amônio (mg/L) em amostras de água subterrânea coletadas nos poços de monitoramento em diferentes momentos (horas) após a primeira campanha de injeção da solução rica em nitrato e cloreto no PM-02 realizada em maio de 2015

Momento do monitoramento (horas)	PM-09A	PM-10	PM-10A	PM-11	PM-12	PM-13	PM-14	PM-14A	PM-15	PM-15A	PM-16
6	0,2	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0,5
12	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
18	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
24	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0,5	ND	ND
30	ND	ND	ND	ND	0,2	ND	ND	ND	ND	ND	ND
72	ND	ND	ND	0,2	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
192	0,3	0,2	0,2	ND	0,2	ND	ND	ND	ND	ND	ND

ND – Concentração inferior ao limite de detecção do equipamento utilizado (RQflex Plus)

Fonte: Trabalho de campo, maio de 2015.

Tabela 31 - Físico-químicas da segunda campanha de injeção – agosto de 2015

Poço	OD (mg/L)			ORP (mV)			pH			Cond. (µS/cm)			Temp. (°C)		
	pré- injeção	21/08	22/08	pré- injeção	21/08	22/08	pré- injeção	21/08	22/08	pré- injeção	21/08	22/08	pré- injeção	21/08	22/08
PM-01	5,80	3,90	3,60	177,10	29,70	51,50	5,44	5,07	5,09	28,50	10,10	9,00	20,90	22,30	23,50
PM-02	5,94	2,50	2,46	210,80	39,40	33,70	5,43	4,72	4,86	30,10	4890,00	2238,00	20,50	21,30	22,70
PM-02A	5,78	3,30	3,20	131,20	39,20	44,70	5,49	5,47	5,42	30,40	88,01	58,50	21,60	21,40	23,00
PM-02B	5,23	2,70	2,64	198,50	34,20	39,00	5,77	6,40	6,40	40,70	200,20	184,50	21,40	21,00	21,20
PM-03	5,57	3,90	4,60	168,40	34,90	51,50	5,60	4,93	4,65	15,40	7,60	7,30	21,69	21,60	22,20
PM-04	5,80	2,76	3,10	134,80	30,20	49,50	5,41	4,90	4,94	22,20	8,50	8,50	21,30	22,20	23,30
PM-05	5,69	3,50	3,60	210,80	29,30	53,50	5,33	5,09	5,03	24,70	8,50	8,40	21,50	22,40	22,90
PM-05A	5,47	3,40	3,40	241,90	32,10	53,50	5,47	5,46	5,45	23,60	16,50	16,50	21,20	22,30	23,40
PM-06	6,41	3,70	3,65	194,50	31,00	51,50	5,89	5,06	4,86	25,80	7,60	7,60	21,90	22,20	22,50
PM-06B	5,44	4,05	3,86	188,40	38,20	46,70	5,44	6,01	5,87	24,90	31,20	28,30	22,00	21,10	21,30
PM-07	6,65	3,95	3,45	155,80	30,00	49,30	4,89	4,90	4,85	22,50	7,80	7,90	21,30	21,90	21,90
PM-08	6,42	4,20	3,55	184,60	92,50	44,00	5,53	5,14	5,03	21,80	9,00	8,50	21,00	21,90	22,00
PM-09	5,96	3,80	3,50	187,60	32,80	52,50	5,41	5,31	5,05	23,50	10,50	10,00	22,40	21,60	22,00
PM-09A	6,15	4,00	3,70	199,10	36,30	48,40	5,66	5,32	5,21	22,60	11,30	11,20	22,80	21,60	22,50
PM-10	5,90	3,90	3,70	188,70	32,40	54,80	5,61	5,11	5,10	22,70	29,60	33,50	22,90	22,40	23,10
PM-10A	5,15	3,60	3,60	210,80	28,20	57,50	5,23	5,24	5,20	22,00	9,80	9,80	21,30	22,50	23,00
PM-11	5,67	3,65	3,40	226,40	31,60	52,50	5,88	5,00	5,00	22,10	8,00	7,80	21,80	22,40	23,20
PM-12	6,20	4,01	3,70	220,30	31,50	50,40	5,46	4,95	4,77	23,50	12,50	7,50	20,90	21,90	22,10
PM-13	5,21	3,50	3,43	145,80	31,90	50,50	5,20	4,74	4,70	25,30	7,80	8,00	20,90	21,70	22,50
PM-14	5,80	3,85	3,50	174,60	28,90	60,70	5,22	5,02	4,95	19,80	8,00	7,80	21,60	21,90	22,50
PM-14A	5,78	3,80	3,40	200,80	31,90	62,10	5,08	5,50	5,32	14,50	14,50	13,50	21,40	21,70	22,80
PM-15	5,80	4,60	3,80	243,70	41,40	62,40	5,56	5,92	5,13	16,30	20,00	50,50	21,50	21,40	23,30
PM-15A	5,83	3,90	3,50	184,50	42,30	61,40	5,30	5,43	5,18	18,70	10,50	13,80	21,30	21,70	23,10
PM-16	5,13	3,55	3,61	191,10	28,90	54,10	5,25	5,10	5,02	15,10	8,50	8,00	22,00	21,10	23,30
Mediana	5,80	3,80	3,53	189,90	32,00	51,50	5,44	5,11	5,03	22,65	10,30	9,40	21,45	21,80	22,75

Tabela 32 - Concentração de nitrato (mg/L) em amostras de água subterrânea coletadas nos poços de monitoramento em diferentes momentos (horas) após a segunda campanha de injeção da solução rica em nitrato e cloreto no PM-02 realizada em agosto de 2015

Momento do monitoramento (horas)	PM-01	PM-02	PM-02A	PM-02B	PM-03	PM-04	PM-05	PM-05A	PM-06	PM-06B	PM-07	PM-08
0	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5
6	<5	1980	1,3	9,8	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5
12	<5	820	<5	10,1	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5
18	<5	317	1,7	1,2	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5
24	<5	<5	2,3	3,4	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5
30	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5
36	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5
42	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5
48	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5

<5 – Concentração inferior ao limite de detecção do equipamento utilizado (RQflex Plus)

Fonte: Trabalho de campo, agosto de 2015

continua

Tabela 32 - Concentração de nitrato (mg/L) em amostras de água subterrânea coletadas nos poços de monitoramento em diferentes momentos (horas) após a segunda campanha de injeção da solução rica em nitrato e cloreto no PM-02 realizada em agosto de 2015

Momento do monitoramento (horas)	PM-09	PM-09A	PM-10	PM-10A	PM-11	PM-12	PM-13	PM-14	PM-14A	PM-15	PM-15A	PM-16
0	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5
6	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5
12	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5
18	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5
24	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5
30	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5
36	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5
42	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5
48	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5

<5 – Concentração inferior ao limite de detecção do equipamento utilizado (RQflex Plus)

Fonte: Trabalho de campo, agosto de 2015.

conclusão

Tabela 33 - Concentração de cloreto (mg/L) em amostras de água subterrânea coletadas nos poços de monitoramento em diferentes momentos (horas) após a segunda campanha de injeção da solução rica em nitrato e cloreto no PM-02 realizada em agosto de 2015

Momento do monitoramento (horas)	PM-01	PM-02	PM-02A	PM-02B	PM-03	PM-04	PM-05	PM-05A	PM-06	PM-06B	PM-07	PM-08
0	0,3	0,3	<0,09	0,3	<0,09	<0,09	<0,09	<0,09	<0,09	0,6	0,3	<0,09
6	<0,09	1920	<0,09	16,6	<0,09	<0,09	<0,09	<0,09	<0,09	10,2	<0,09	2,4
12	<0,09	1120	5,9	25,2	<0,09	<0,09	<0,09	<0,09	<0,09	<0,09	<0,09	<0,09
18	<0,09	537,0	<0,09	52,5	<0,09	<0,09	<0,09	<0,09	<0,09	<0,09	<0,09	<0,09
24	<0,09	2,1	<0,09	6,4	<0,09	<0,09	<0,09	<0,09	<0,09	<0,09	<0,09	<0,09
30	<0,09	<0,09	<0,09	<0,09	<0,09	<0,09	<0,09	<0,09	<0,09	2,6	<0,09	<0,09
36	<0,09	<0,09	<0,09	<0,09	<0,09	<0,09	<0,09	<0,09	<0,09	<0,09	<0,09	<0,09
42	<0,09	<0,09	<0,09	<0,09	<0,09	<0,09	<0,09	<0,09	<0,09	<0,09	<0,09	<0,09
48	<0,09	<0,09	<0,09	<0,09	<0,09	<0,09	<0,09	<0,09	<0,09	<0,09	<0,09	<0,09

<0,09 – Concentração inferior ao limite de detecção do equipamento utilizado (DR-2800)

Fonte: Trabalho de campo, agosto de 2015

continua

Tabela 33 - Concentração de cloreto (mg/L) em amostras de água subterrânea coletadas nos poços de monitoramento em diferentes momentos (horas) após a segunda campanha de injeção da solução rica em nitrato e cloreto no PM-02 realizada em agosto de 2015

Momento do monitoramento (horas)	PM-09	PM-09A	PM-10	PM-10A	PM-11	PM-12	PM-13	PM-14	PM-14A	PM-15	PM-15A	PM-16
0	<0,09	<0,09	<0,09	2,4	0,7	<0,09	<0,09	<0,09	<0,09	<0,09	<0,09	<0,09
6	<0,09	<0,09	<0,09	<0,09	<0,09	1,0	1,0	<0,09	<0,09	<0,09	<0,09	<0,09
12	<0,09	<0,09	<0,09	<0,09	<0,09	<0,09	<0,09	<0,09	<0,09	<0,09	0,1	<0,09
18	<0,09	<0,09	<0,09	<0,09	<0,09	<0,09	<0,09	<0,09	<0,09	<0,09	<0,09	<0,09
24	<0,09	<0,09	<0,09	<0,09	<0,09	<0,09	<0,09	<0,09	<0,09	<0,09	<0,09	<0,09
30	<0,09	<0,09	<0,09	0,9	<0,09	<0,09	<0,09	<0,09	<0,09	<0,09	<0,09	<0,09
36	<0,09	0,3	<0,09	<0,09	0,9	<0,09	0,6	0,8	0,9	1,0	<0,09	<0,09
42	<0,09	0,3	<0,09	<0,09	<0,09	<0,09	<0,09	<0,09	0,7	0,2	<0,09	<0,09
48	0,5	<0,09	1,7	<0,09	<0,09	<0,09	0,7	0,9	<0,09	<0,09	<0,09	<0,09

<0,09 – Concentração inferior ao limite de detecção do equipamento utilizado (DR-2800)

Fonte: Trabalho de campo, agosto de 2015.

conclusão

Tabela 34 - Concentração de amônio (mg/L) em amostras de água subterrânea coletadas nos poços de monitoramento em diferentes momentos (horas) após a segunda campanha de injeção da solução rica em nitrato e cloreto no PM-02 realizada em agosto de 2015

Momento do monitoramento (horas)	PM-01	PM-02	PM-02A	PM-02B	PM-03	PM-04	PM-05	PM-05A	PM-06	PM-06B	PM-07	PM-08
0	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	0,4	<0,2
6	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2
24	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2
48	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	1,0	<0,2

<0,2 – Concentração inferior ao limite de detecção do equipamento utilizado (RQflex Plus)

Fonte: Trabalho de campo, agosto de 2015

continua

Tabela 34 - Concentração de amônio (mg/L) em amostras de água subterrânea coletadas nos poços de monitoramento em diferentes momentos (horas) após a segunda campanha de injeção da solução rica em nitrato e cloreto no PM-02 realizada em agosto de 2015

Momento do monitoramento (horas)	PM-09	PM-09A	PM-10	PM-10A	PM-11	PM-12	PM-13	PM-14	PM-14A	PM-15	PM-15A	PM-16
0	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2
6	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2
24	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2
48	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2

<0,2 – Concentração inferior ao limite de detecção do equipamento utilizado (RQflex Plus)

Fonte: Trabalho de campo, agosto de 2015.

conclusão

Tabela 35 - Físico-químicos da terceira campanha de injeção – Condutividade Elétrica (µs/cm) – agosto de 2016

Poço	0	3	7	12	24	36	48	72	96	120	192	264	366	408	480	552	624
PM-01	21,90	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	9,00	1		1		1
PM-02	26,70	35970,00	35837,00	34645,00	25462,00	20370,00	15753,00	12460,00	9573,00	5297,00	3799,00	2342,00	1070,90	640,00	400,00	288,40	204,80
PM-02A	41,50	31,40	55,40	36,60	29,40	12,10	56,10	60,60	70,40	50,10	40,30	29,90	30,10	25,30	19,00	22,30	21,40
PM-02B	38,30	39,10	36,60	196,60	36,00	16,90	36,10	16,10	35,80	36,10	38,50	36,10	35,60	31,90	33,70	35,00	34,70
PM-02C	16,40	16,00	16,10	14,00	15,90	14,80	15,10	14,40	14,00	15,70	17,20	17,70	15,40	15,00	12,80	14,60	15,90
PM-03	11,70	8,40	8,50	8,00	8,00	8,10	7,70	8,20	8,30	9,30	1	9,40	1	8,60	1	9,20	1
PM-03A	66,80	65,80	65,80	55,20	59,20	56,90	56,70	58,50	53,80	55,40	1	57,90	1	52,10	1	55,50	1
PM-04	14,60	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	7,50	1	10,30	1	9,20	1
PM-05	22,20	10,50	9,90	9,20	9,70	9,00	9,40	10,50	8,80	10,70	1	8,80	1	10,20	1	9,00	1
PM-05A	28,10	25,90	24,00	23,20	22,40	23,60	22,40	24,10	22,20	23,10	1	22,60	1	25,80	1	22,90	1
PM-06	12,20	9,90	9,30	9,20	9,70	11,00	10,50	9,20	9,50	9,00	9,50	8,80	8,70	9,40	7,90	8,50	9,60
PM-06B	16,70	17,00	19,40	36,30	15,90	36,40	56,40	36,50	15,30	16,80	15,30	17,00	17,40	16,80	15,10	16,30	17,10
PM-06C	69,50	59,90	61,40	51,40	57,00	52,80	16,40	49,60	46,20	42,10	40,70	43,20	39,10	26,10	18,00	20,10	19,40
PM-07	13,60	12,70	11,70	10,90	10,70	10,70	10,50	11,00	10,10	10,90	1	11,10	1	10,40	1	10,10	1
PM-08	20,70	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	26,40	1	25,30	1	22,70	1
PM-09	42,00	12,60	11,60	11,10	12,30	11,40	11,50	11,70	11,30	12,80	1	12,30	1	10,70	1	11,40	1
PM-09A	34,70	341,30	326,40	316,10	317,70	311,10	310,00	303,90	284,10	286,30	1	291,00	1	205,90	1	159,30	1
PM-10	10,90	9,20	8,80	8,60	9,70	9,30	9,60	8,90	8,13	9,10	1	8,40	1	9,60	1	8,70	1
PM-10A	22,20	20,70	23,60	26,00	32,20	25,00	23,60	19,40	17,10	21,80	1	19,00	1	18,30	1	21,20	1
PM-11	16,80	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	58,70	1	50,30	1	55,70	1
PM-12	12,60	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	9,80	1	9,00	1	10,50	1
PM-13	8,50	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	9,10	1	8,50	1	8,10	1
PM-14	13,20	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	18,00	1	19,40	1	22,50	1
PM-14A	37,60	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	331,30	1	302,60	1	288,50	1
PM-15	10,50	80,20	80,40	74,30	67,20	70,50	19,60	60,30	57,60	55,80	1	51,50	1	50,30	1	48,10	1
PM-15A	28,50	11,40	10,90	11,50	10,20	10,90	19,70	10,80	10,12	10,90	1	11,40	1	9,90	1	8,70	1
PM-16	18,70	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	27,00	1	23,60	1	20,40	1

¹ - Dado não monitorado

Tabela 36 - Físico-químicos da terceira campanha de injeção – ORP (m/V) – agosto de 2016

Poços	0	3	7	12	24	36	48	72	96	120	192	264	366	408	480	552	624
PM-01	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	66,00	1		1		1
PM-02	72,60	9,00	51,40	17,10	17,80	12,10	25,20	24,20	13,70	25,10	17,90	27,00	17,90	17,10	10,50	17,70	24,80
PM-02A	88,20	35,20	47,30	32,30	34,40	42,50	37,50	33,90	32,00	50,10	35,70	34,40	10,30	27,30	35,90	25,40	21,40
PM-02B	73,30	47,30	58,20	71,10	53,00	50,90	58,00	63,50	61,20	36,10	58,70	42,80	15,60	36,70	44,30	31,90	34,70
PM-02C	104,40	60,50	66,20	68,70	65,20	59,40	63,10	65,90	68,90	15,70	10,70	51,40	9,40	15,10	35,30	15,50	15,90
PM-03	94,00	31,80	67,10	57,10	60,40	46,30	52,80	58,30	53,40	9,30	1	56,70	1	9,10	1	12,50	1
PM-03A	75,60	33,70	45,60	57,60	52,00	40,80	47,50	47,70	55,90	55,40	1	41,70	1	56,40	1	60,70	1
PM-04	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	68,10	1	8,60	1	10,20	1
PM-05	98,60	69,40	69,10	65,70	58,60	61,30	65,40	54,60	69,80	10,70	1	68,70	1	10,70	1	11,10	1
PM-05A	87,50	23,50	62,90	70,40	57,00	62,70	56,50	53,70	67,30	23,10	1	52,90	1	20,80	1	22,90	1
PM-06	97,50	56,10	57,60	42,70	52,90	51,20	57,60	56,70	50,30	9,00	10,50	53,60	8,70	8,20	26,60	10,30	9,60
PM-06B	83,60	57,20	60,10	60,50	61,80	54,10	56,40	53,40	64,90	16,80	13,80	52,50	17,40	16,00	23,70	19,70	17,10
PM-06C	72,40	50,80	50,30	65,00	54,70	56,40	61,70	56,30	60,70	42,10	40,70	45,70	41,70	29,50	18,30	18,70	19,40
PM-07	119,30	65,10	7,30	69,50	61,40	65,70	70,30	69,40	76,00	10,90	1	62,50	1	10,20	1	10,10	1
PM-08	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	51,60	1	22,50	1	25,90	1
PM-09	83,00	66,70	79,80	74,20	62,40	68,90	65,90	70,20	75,30	12,80	1	56,50	1	10,50	1	10,40	1
PM-09A	38,10	28,30	43,60	57,40	41,40	50,90	38,20	32,50	49,90	286,30	1	24,80	1	50,60	1	42,80	1
PM-10	95,90	69,30	75,70	75,60	60,40	66,70	71,00	66,50	78,20	9,10	1	72,80	1	9,70	1	10,40	1
PM-10A	92,10	68,40	74,40	81,00	59,60	66,20	68,90	60,20	83,50	21,80	1	63,60	1	22,90	1	26,00	1
PM-11	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	54,40	1	30,70	1	37,40	1
PM-12	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	62,80	1	12,40	1	15,40	1
PM-13	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	60,70	1	10,80	1	11,60	1
PM-14	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	63,80	1	20,00	1	18,30	1
PM-14A	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	43,50	1	50,70	1	39,70	1
PM-15	72,30	39,20	46,20	40,00	34,40	28,90	40,70	41,10	40,10	55,80	1	34,90	1	44,70	1	40,80	1
PM-15A	97,40	56,80	64,80	55,70	53,10	49,20	57,10	60,10	56,50	10,90	1	54,00	1	12,70	1	16,40	1
PM-16	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	54,70	1	33,40	1	31,40	1

¹ - Dado não monitorado

Tabela 37 - Físico-químicos da terceira campanha de injeção – Oxigênio Dissolvido (mg/L) – agosto de 2016

Poço	0	3	7	12	24	36	48	72	96	120	192	264	366	408	480	552	624
PM-01	5,80	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	4,32	1	4,01	1	3,94	1
PM-02	5,94	4,08	3,37	2,91	2,75	2,33	2,56	2,39	2,31	2,45	2,82	3,02	3,66	3,20	3,71	3,60	3,43
PM-02A	5,78	3,25	3,59	3,58	3,70	3,69	3,26	3,89	3,80	3,77	3,92	3,29	3,89	3,01	4,52	3,00	4,10
PM-02B	3,19	4,10	3,52	3,67	3,21	3,41	3,20	3,98	3,32	3,64	3,51	2,80	3,55	3,00	3,40	3,78	3,09
PM-02C	3,67	3,86	3,25	4,03	3,56	4,06	3,48	3,60	3,68	4,03	4,08	3,10	3,98	2,98	4,02	2,31	3,54
PM-03	5,57	2,15	2,08	2,13	2,06	1,98	1,92	2,00	1,88	2,06	1	2,38	1	2,46	1	2,19	1
PM-03A	2,97	3,08	2,59	3,13	3,17	3,05	3,13	4,08	3,66	3,16	1	2,86	1	2,97	1	2,77	1
PM-04	5,80	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2,93	1	2,66	1	2,98	1
PM-05	5,69	2,65	2,22	2,33	2,30	2,37	2,66	2,54	2,65	2,12	1	2,79	1	2,89	1	2,14	1
PM-05A	5,47	2,25	2,70	3,23	2,79	2,84	2,64	2,56	2,89	2,67	1	2,85	1	2,44	1	2,64	1
PM-06	6,41	3,47	3,55	3,53	3,78	3,73	3,60	3,53	3,42	3,55	4,00	3,72	4,11	3,21	4,30	3,01	3,95
PM-06B	3,31	3,64	3,09	3,74	3,39	3,78	3,97	3,67	3,63	3,59	3,84	3,35	3,84	3,31	3,93	3,25	3,77
PM-06C	3,12	3,33	3,40	3,38	3,33	3,54	3,42	3,21	3,66	3,51	3,88	3,30	3,99	3,33	3,96	3,03	3,74
PM-07	6,65	4,12	4,14	4,06	3,85	4,12	3,78	4,00	4,03	3,68	1	3,72	1	3,97	1	2,88	1
PM-08	6,42	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	4,15	1	4,01	1	3,57	1
PM-09	5,96	3,87	4,15	3,98	3,80	3,71	3,39	3,58	3,48	3,44	1	3,52	1	3,68	1	3,12	1
PM-09A	6,15	2,56	2,83	2,45	2,79	2,65	2,79	2,69	2,93	2,54	1	2,33	1	2,67	1	2,51	1
PM-10	5,90	3,76	3,49	4,34	3,93	3,87	2,99	3,82	3,83	2,53	1	3,58	1	3,39	1	2,84	1
PM-10A	5,15	4,27	4,05	4,17	4,17	4,18	4,26	4,50	4,66	4,21	1	4,26	1	3,81	1	4,01	1
PM-11	5,67	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	4,25	1	4,06	1	4,17	1
PM-12	6,20	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	4,37	1	3,76	1	3,38	1
PM-13	7,26	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2,98	1	2,68	1	2,77	1
PM-14	5,80	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3,14	1	3,09	1	2,83	1
PM-14A	5,78	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3,76	1	3,99	1	3,46	1
PM-15	6,80	3,58	2,91	3,26	3,28	3,03	3,51	3,51	3,80	3,17	1	3,40	1	3,21	1	3,39	1
PM-15A	6,82	3,62	3,40	3,47	3,65	3,53	3,53	3,32	3,68	3,28	1	3,39	1	3,08	1	2,92	1
PM-16	6,13	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	4,23	1	4,57	1	4,03	1

¹ - Dado não monitorado

Tabela 38 - Físico-químicos da terceira campanha de injeção – pH – agosto de 2016

Poço	0	3	7	12	24	36	48	72	96	120	192	264	366	408	480	552	624
PM-01	5,40	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	6,03	1	6,00	1	6,00	1
PM-02	5,14	5,63	5,48	6,40	5,69	4,84	5,32	5,10	5,25	5,23	5,52	5,88	5,90	5,70	7,09	6,98	6,94
PM-02A	5,89	6,43	6,30	7,35	6,34	5,66	5,99	6,04	6,07	6,00	6,22	6,40	6,54	6,66	6,79	6,88	6,80
PM-02B	5,86	5,91	5,67	5,37	5,88	5,49	5,87	5,48	5,86	5,58	5,97	5,89	5,91	5,75	5,90	5,83	5,62
PM-02C	5,22	5,44	5,40	5,34	5,48	5,36	5,51	5,40	5,46	5,40	5,86	5,90	5,77	5,80	5,45	5,12	5,59
PM-03	5,71	5,12	5,03	5,16	4,98	4,87	5,12	5,05	5,05	5,01	1	5,14	1	5,09	1	5,45	1
PM-03A	5,84	6,08	6,01	5,84	6,04	5,75	6,03	6,05	5,83	5,90	1	5,97	1	6,01	1	5,80	1
PM-04	5,50	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	5,31	1	5,42	1	5,94	1
PM-05	5,58	5,57	5,83	5,81	5,87	5,43	5,49	6,15	5,62	5,02	1	4,86	1	5,00	1	5,41	1
PM-05A	5,76	5,66	5,59	5,62	5,60	5,55	5,63	5,66	5,62	5,54	1	5,44	1	5,59	1	5,79	1
PM-06	5,32	5,82	5,81	6,81	5,81	5,23	5,39	5,67	5,66	5,60	5,70	5,83	6,01	6,00	6,12	6,41	6,19
PM-06B	5,45	5,48	5,50	5,92	5,61	5,88	5,89	5,91	5,37	5,21	5,40	5,52	5,55	5,59	5,70	5,80	5,93
PM-06C	5,87	5,83	5,89	5,79	5,92	5,79	5,46	5,82	5,82	5,51	5,44	5,80	5,61	5,60	5,75	5,50	5,80
PM-07	5,37	5,50	5,36	5,53	5,49	5,38	5,35	5,40	5,35	5,12	1	5,46	1	5,55	1	5,20	1
PM-08	5,55	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	6,04	1	6,00	1	6,12	1
PM-09	6,18	5,34	5,26	5,37	5,42	5,28	5,34	5,38	5,33	5,30	1	5,45	1	5,59	1	5,60	1
PM-09A	5,83	7,05	6,75	6,64	6,61	6,63	5,95	6,96	6,70	6,01	1	6,79	1	6,37	1	6,41	1
PM-10	5,30	5,41	5,27	5,36	5,21	5,27	5,23	5,36	5,24	6,34	1	5,12	1	6,21	1	6,39	1
PM-10A	5,53	5,48	5,52	5,44	5,21	5,37	5,39	5,58	5,55	5,62	1	5,45	1	5,77	1	5,12	1
PM-11	5,30	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	6,01	1	5,88	1	6,08	1
PM-12	5,22	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	5,09	1	4,89	1	5,01	1
PM-13	4,07	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	5,43	1	5,41	1	5,49	1
PM-14	4,67	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	5,37	1	5,19	1	5,44	1
PM-14A	5,56	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	6,80	1	6,33	1	6,01	1
PM-15	5,70	6,13	6,01	6,49	6,28	6,01	6,19	6,21	6,19	6,00	1	6,18	1	6,00	1	6,11	1
PM-15A	6,28	5,54	5,37	5,66	5,20	5,11	5,32	5,32	5,41	5,33	1	5,41	1	5,50	1	5,59	1
PM-16	4,95	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	6,46	1	6,09	1	6,10	1

¹ - Dado não monitorado

Tabela 39 - Físico-químicos da terceira campanha de injeção – Temperatura (°C) – agosto de 2016

Poços	0	3	7	12	24	36	48	72	96	120	192	264	366	408	480	552	624
PM-01	20,70	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	19,00	1	20,10	1	21,20	1
PM-02	21,30	20,80	22,60	20,60	19,30	20,60	18,90	19,40	18,60	19,60	18,90	20,20	19,00	18,10	20,20	20,70	20,00
PM-02A	21,70	20,70	22,50	20,10	19,20	20,60	19,20	19,30	18,20	19,40	18,90	20,50	19,30	19,10	20,30	20,70	19,80
PM-02B	21,30	21,90	21,90	19,60	20,70	20,40	20,80	20,00	19,30	19,30	18,70	22,30	19,40	19,00	20,10	20,40	20,10
PM-02C	22,10	21,50	22,30	19,70	20,70	20,40	21,00	20,90	18,90	19,40	18,50	22,40	19,00	19,40	20,00	21,00	20,10
PM-03	20,50	21,00	22,30	20,10	19,40	20,40	19,80	19,80	18,60	19,90	1	21,90	1	19,40	1	21,10	1
PM-03A	21,80	21,20	22,70	20,10	19,80	20,50	20,20	19,80	19,10	19,70	1	21,90	1	19,70	1	21,00	1
PM-04	21,50	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	19,00	1	20,10	1	21,00	1
PM-05	21,50	21,90	21,30	20,10	21,40	20,40	21,20	21,50	19,00	19,20	1	22,50	1	20,50	1	21,50	1
PM-05A	22,00	21,90	21,40	20,10	21,20	20,40	21,40	21,60	19,30	19,30	1	22,50	1	20,20	1	21,20	1
PM-06	21,60	21,00	22,50	20,30	19,40	20,70	19,50	19,70	18,80	19,10	19,00	21,50	19,10	20,00	20,10	21,90	20,30
PM-06B	21,80	21,40	22,80	20,00	20,50	20,60	20,50	20,80	18,30	19,00	19,10	22,00	19,00	20,10	20,30	21,40	20,70
PM-06C	21,90	21,70	22,70	20,10	20,40	20,60	20,50	21,20	18,70	19,00	18,90	22,40	19,00	19,80	20,20	21,30	20,40
PM-07	21,80	21,50	21,70	19,90	20,90	20,40	20,60	21,00	19,50	19,60	1	22,10	1	19,60	1	21,00	1
PM-08	21,60	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	20,10	1	20,60	1	21,00	1
PM-09	21,70	21,50	21,50	19,40	21,00	20,30	20,80	21,30	19,30	19,90	1	21,80	1	20,30	1	21,40	1
PM-09A	21,70	21,90	21,70	19,60	21,40	20,90	21,20	21,70	18,00	20,00	1	22,30	1	20,90	1	21,40	1
PM-10	22,20	21,90	21,30	20,00	21,40	20,60	21,30	21,40	19,20	19,70	1	22,20	1	20,90	1	21,30	1
PM-10A	21,70	21,90	22,40	20,20	22,70	20,40	22,00	22,20	19,70	19,40	1	23,10	1	20,70	1	21,50	1
PM-11	21,60	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	19,30	1	20,00	1	21,60	1
PM-12	21,40	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	20,30	1	20,30	1	21,00	1
PM-13	19,90	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	19,80	1	20,30	1	21,20	1
PM-14	21,40	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	19,80	1	20,00	1	21,40	1
PM-14A	20,90	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	20,10	1	20,60	1	21,80	1
PM-15	20,70	21,10	22,50	20,50	19,10	20,60	19,60	19,80	18,60	19,50	1	21,10	1	20,40	1	21,80	1
PM-15A	20,50	21,10	22,40	20,30	18,10	20,30	19,70	19,60	18,90	19,90	1	21,30	1	20,70	1	21,30	1
PM-16	21,30	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	18,50	1	21,20	1	21,00	1

¹ - Dado não monitorado

Tabela 40 - Concentração de nitrato (mg/L) em amostras de água subterrânea coletadas nos poços de monitoramento em diferentes momentos (horas) após a terceira campanha de injeção da solução rica em nitrato e cloreto no PM-02 realizada em agosto de 2016

Momento do monitoramento (horas)	PM-01	PM-02	PM-02A	PM-02B	PM-02C	PM-03	PM-03A	PM-04	PM-05	PM-05A
0	0,35	0,36	0,25	0,06	0,09	0,1	0,07	0,31	0,35	0,12
3	na	9169,10	ND	0,14	ND	ND	ND	na	ND	ND
7	na	8632,82	1,70	1,00	ND	ND	ND	na	ND	ND
12	na	8115,91	ND	0,05	ND	ND	ND	na	ND	ND
24	na	6890,95	ND	0,92	ND	ND	ND	ND	ND	0,11
36	na	5444,35	ND	0,02	ND	ND	ND	na	ND	ND
48	na	4172,71	ND	1,50	ND	ND	ND	na	ND	ND
72	na	2496,74	ND	2,30	ND	ND	ND	na	ND	ND
96	na	2230,08	ND	3,10	ND	0,15	ND	na	ND	ND
120	na	1809,04	0,70	1,50	ND	ND	ND	na	ND	ND
192	na	855,62	ND	ND	ND	na	na	na	na	na
264	ND	na	ND	ND	ND	0,16	ND	ND	ND	ND
336	na	221,19	0,30	ND	ND	na	na	na	na	na
408	ND	106,07	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0,03
480	na	62,39	ND	0,02	ND	na	na	na	na	na
552	ND	42,57	ND	ND	ND	0,04	ND	ND	ND	ND
624	na	31,07	ND	ND	ND	na	na	na	na	na

Fonte: Trabalho de campo, agosto de 2016

ND – Não Detectado, concentração abaixo ao limite de detecção do equipamento utilizado (Dionex ICS-90)

na – Não amostrado

continua

continuação

Tabela 40 - Concentração de nitrato (mg/L) em amostras de água subterrânea coletadas nos poços de monitoramento em diferentes momentos (horas) após a terceira campanha de injeção da solução rica em nitrato e cloreto no PM-02 realizada em agosto de 2016

Momento do monitoramento (horas)	PM-06	PM-06B	PM-06C	PM-07	PM-08	PM-09	PM-09A	PM-10	PM-10A	PM-11
0	0,42	0,16	0,05	0,29	2,57	0,28	0,11	0,24	2,04	0,27
3	ND	ND	ND	ND	na	ND	ND	ND	ND	na
7	ND	ND	ND	ND	na	ND	ND	ND	ND	na
12	ND	ND	ND	ND	na	ND	ND	ND	ND	na
24	ND	ND	ND	ND	na	ND	ND	ND	ND	na
36	0,12	0,05	ND	ND	na	ND	ND	ND	ND	na
48	0,07	0,06	ND	ND	na	ND	ND	ND	ND	na
72	ND	0,07	ND	ND	na	ND	ND	ND	ND	na
96	ND	0,08	ND	ND	na	ND	0,90	ND	ND	na
120	ND	0,09	ND	ND	na	ND	0,03	ND	ND	na
192	ND	0,10	ND	na	na	na	na	na	na	na
264	ND	0,02	ND	ND	ND	ND	0,07	ND	ND	ND
336	ND	0,03	ND	na	na	na	na	na	na	na
408	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0,02	ND	ND	ND
480	ND	ND	ND	na	na	na	na	na	na	na
552	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0,04	ND	ND	ND
624	ND	ND	ND	na	na	na	na	na	na	na

Fonte: Trabalho de campo, agosto de 2016

ND – Não Detectado, concentração abaixo ao limite de detecção do equipamento utilizado (Dionex ICS-90)

na – Não amostrado

continua

conclusão

Tabela 40 - Concentração de nitrato (mg/L) em amostras de água subterrânea coletadas nos poços de monitoramento em diferentes momentos (horas) após a terceira campanha de injeção da solução rica em nitrato e cloreto no PM-02 realizada em agosto de 2016

Momento do monitoramento (horas)	PM-12	PM-13	PM-14	PM-14A	PM-15	PM-15A	PM-16
0	0,19	0,21	0,24	0,89	0,26	0,05	0,3
3	na	na	na	na	0,25	ND	na
7	na	na	na	na	0,37	0,23	na
12	na	na	na	na	0,09	ND	na
24	na	na	na	na	0,17	ND	na
36	na	na	na	na	1,03	ND	na
48	na	na	na	na	0,94	0,04	na
72	na	na	na	na	ND	0,04	na
96	na	na	na	na	ND	ND	na
120	na	na	na	na	0,02	0,11	na
192	na	na	na	na	na	na	na
264	ND	ND	ND	3,45	ND	ND	ND
336	na	na	na	na	na	na	na
408	ND	ND	16,44	1,29	0,07	ND	ND
480	na	na	na	na	na	na	na
552	ND	ND	57,45	0,91	0,05	0,67	ND
624	na	na	na	na	na	na	na

Fonte: Trabalho de campo, agosto de 2016

ND – Não Detectado, concentração abaixo ao limite de detecção do equipamento utilizado (Dionex ICS-90)

na – Não amostrado

conclusão

continuação

Tabela 41 - Concentração de cloreto (mg/L) em amostras de água subterrânea coletadas nos poços de monitoramento em diferentes momentos (horas) após a terceira campanha de injeção da solução rica em nitrato e cloreto no PM-02 realizada em agosto de 2016

Momento do monitoramento (horas)	PM-01	PM-02	PM-02A	PM-02B	PM-02C	PM-03	PM-03A	PM-04	PM-05	PM-05A
0	0,33	0,27	0,35	0,26	0,16	0,16	0,45	0,16	0,24	0,13
3	na	8150,59	ND	ND	ND	ND	ND	na	ND	ND
7	na	7804,47	2,45	1,77	ND	ND	ND	na	ND	ND
12	na	7232,70	2,02	2,41	ND	0,68	ND	na	ND	0,1
24	na	6053,27	ND	1,11	ND	ND	ND	na	ND	ND
36	na	4738,70	ND	3,77	ND	ND	ND	na	ND	ND
48	na	3570,56	1,72	3,28	ND	087	ND	na	ND	ND
72	na	2497,46	0,70	2,74	ND	ND	ND	na	ND	ND
96	na	1893,98	ND	0,11	ND	0,91	ND	na	ND	0,16
120	na	1518,21	ND	1,24	ND	ND	ND	na	ND	ND
192	na	763,20	ND	ND	ND	na	na	na	na	na
264	ND	na	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
336	na	213,57	ND	ND	ND	na	na	na	na	na
408	ND	104,41	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
480	na	65,25	ND	ND	0,01	na	na	na	na	na
552	ND	41,27	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
624	na	33,09	ND	ND	ND	na	na	na	na	na

Fonte: Trabalho de campo, agosto de 2016

ND – Não Detectado, concentração abaixo ao limite de detecção do equipamento utilizado (Dionex ICS-90)

na – Não amostrado

continua

continuação

Tabela 41- Concentração de cloreto (mg/L) em amostras de água subterrânea coletadas nos poços de monitoramento em diferentes momentos (horas) após a terceira campanha de injeção da solução rica em nitrato e cloreto no PM-02 realizada em agosto de 2016

Momento do monitoramento (horas)	PM-06	PM-06B	PM-06C	PM-07	PM-08	PM-09	PM-09A	PM-10	PM-10A	PM-11
0	0,12	0,17	6,42	0,16	0,38	0,15	0,09	0,14	0,12	0,08
3	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	na
7	3,43	ND	ND	ND	na	ND	ND	ND	ND	na
12	0,48	ND	ND	ND	na	ND	ND	ND	0,7	na
24	0,05	1,03	ND	ND	na	ND	ND	ND	1,4	na
36	1,56	0,07	ND	ND	na	ND	ND	ND	0,15	na
48	ND	0,49	ND	ND	na	ND	ND	ND	ND	na
72	ND	1,00	ND	ND	na	ND	ND	ND	ND	na
96	ND	1,00	ND	ND	na	1,37	0,11	ND	ND	na
120	ND	0,95	ND	ND	na	3,09	0,44	ND	ND	na
192	ND	ND	ND	na	na	na	na	na	na	na
264	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
336	ND	ND	ND	na	na	na	na	na	na	na
408	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
480	ND	ND	ND	na	na	na	na	na	na	na
552	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
624	ND	ND	ND	na	na	na	na	na	na	na

Fonte: Trabalho de campo, agosto de 2016

ND – Não Detectado, concentração abaixo ao limite de detecção do equipamento utilizado (Dionex ICS-90)

na – Não amostrado

continua

Tabela 41 - Concentração de cloreto (mg/L) em amostras de água subterrânea coletadas nos poços de monitoramento em diferentes momentos (horas) após a terceira campanha de injeção da solução rica em nitrato e cloreto no PM-02 realizada em agosto de 2016

Momento do monitoramento (horas)	PM-12	PM-13	PM-14	PM-14A	PM-15	PM-15A	PM-16
0	0,08	0,13	0,15	0,11	0,16	0,10	0,07
3	na	na	na	na	ND	ND	na
7	na	na	na	na	ND	ND	na
12	na	na	na	na	ND	2,19	na
24	na	na	na	na	ND	ND	na
36	na	na	na	na	ND	4,23	na
48	na	na	na	na	ND	ND	na
72	na	na	na	na	ND	ND	na
96	na	na	na	na	ND	ND	na
120	na	na	na	na	ND	ND	na
192	na	na	na	na	na	ND	na
264	ND	ND	0,40	9,93	ND	ND	ND
336	na	na	na	na	na	ND	na
408	ND	ND	4,41	10,16	ND	ND	ND
480	na	na	na	na	na	na	na
552	ND	ND	57,73	9,45	ND	ND	ND
624	na	na	na	na	na	na	na

Fonte: Trabalho de campo, agosto de 2016

ND – Não Detectado, concentração abaixo ao limite de detecção do equipamento utilizado (Dionex ICS-90)

na – Não Amostrado

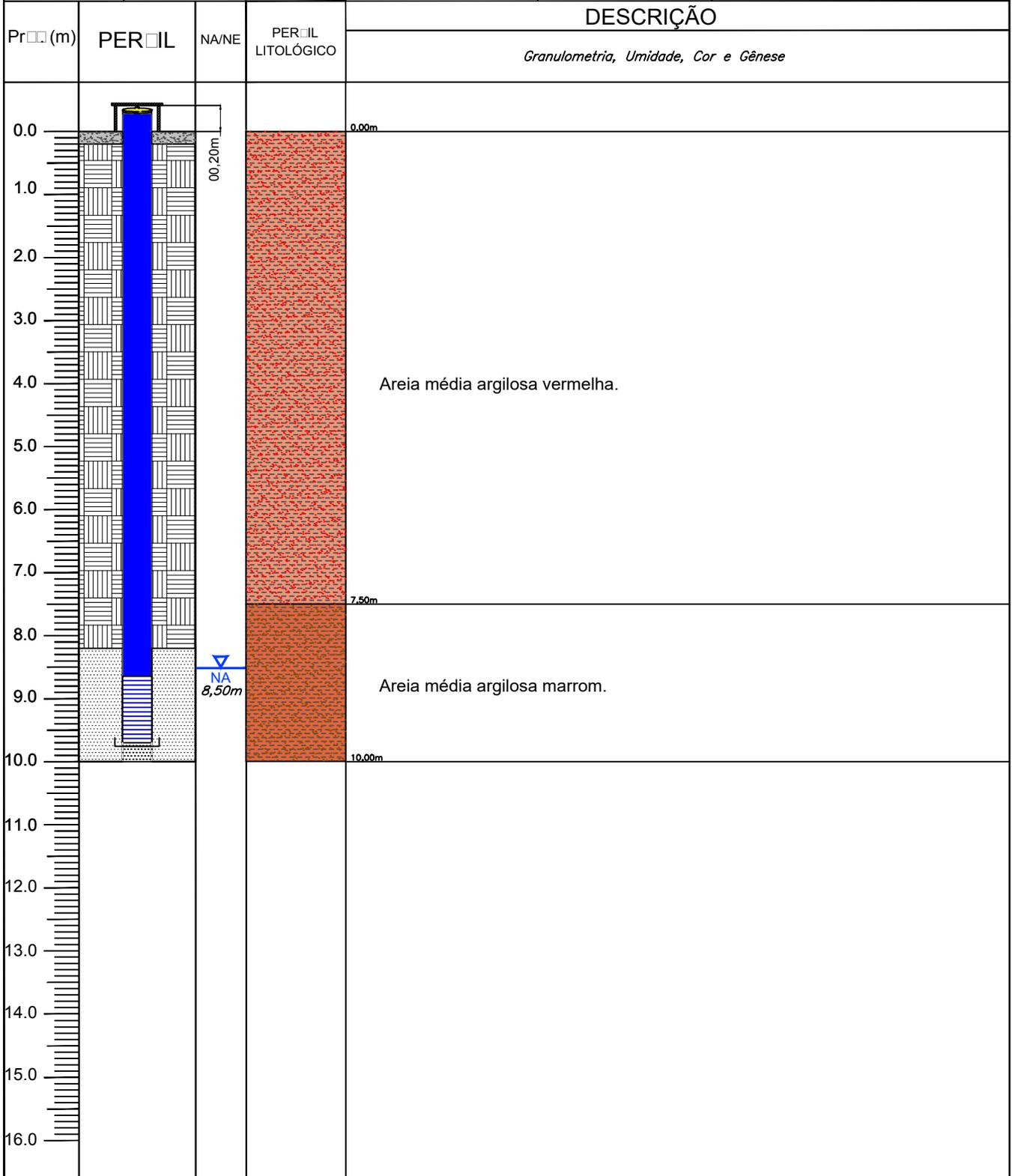
conclusão

ANEXO I – PERFIS LITOLÓGICO

PERFIL CONSTRUTIVO DE POÇO

LOCALIZAÇÃO: EECF - Itatinga - São Paulo / SP	DATA DA INSTALAÇÃO DO POÇO / SONDAAGEM: Mês: S <input type="checkbox"/> M <input type="checkbox"/> J <input type="checkbox"/> Ano: 2014	S2/PM2
---	--	---------------

MÉTODO DE PERFURAÇÃO: M <input type="checkbox"/> d <input type="checkbox"/>	REVESTIMENTO / FILTRO: <input checked="" type="checkbox"/> PVC <input type="checkbox"/> AÇO	SIM NÃO ID <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> PROTEÇÃO <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> CADEADO <input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/>	COORDENADAS: N: - E: - COTA: 98,91m
Ø PERFURAÇÃO: 4	EQUIPAMENTO: Tr <input type="checkbox"/> d <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	Ø REVESTIMENTO/FILTRO: 2 <input type="checkbox"/>	



LEGENDA:

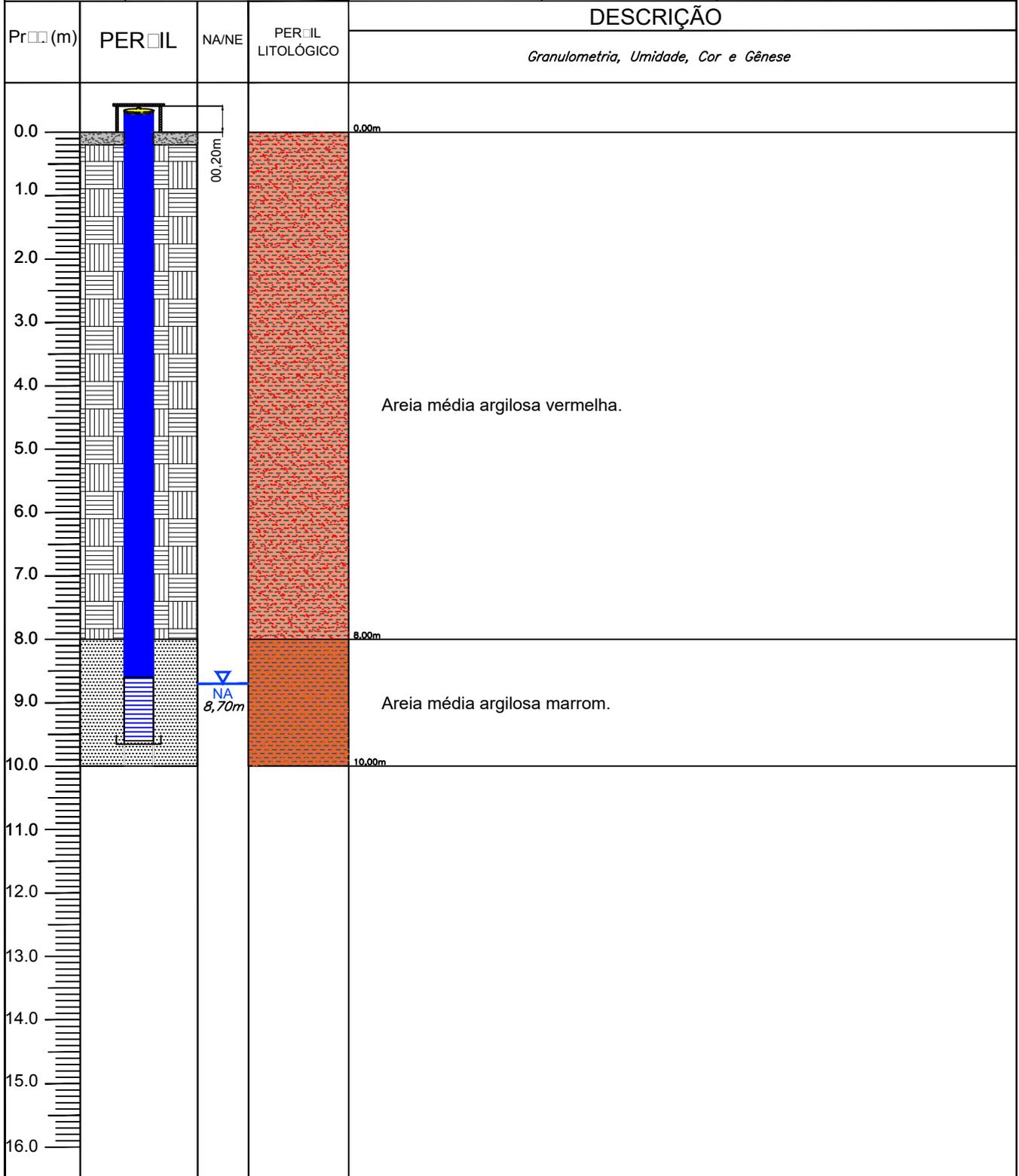
Câmara de Calçada	Pré-Filtro	Selo de Bentonita Pélete	Revestimento	Câmara de Calçada	Câmara de Calçada
-------------------	------------	--------------------------	--------------	-------------------	-------------------

Prof. Total da Sondagem: 10,00m Prof. Total do Poço: 09,70m Extensão do Pré-Filtro: 01,80m	Extensão do Filtro: 01,00m Extensão do Selo: 08,00m	Altura do Revestimento: - Acima da Superfície: 00,15m - Abaixo da Superfície: 00,00m
--	--	--

PERFIL CONSTRUTIVO DE POÇO

LOCALIZAÇÃO: EECF - Itatinga - São Paulo / SP	DATA DA INSTALAÇÃO DO POÇO / SONDAAGEM: Mês: S <input type="checkbox"/> M <input type="checkbox"/> J <input type="checkbox"/> Ano: 2014	S3/PM3
---	--	---------------

MÉTODO DE PERFURAÇÃO: M <input type="checkbox"/> d <input type="checkbox"/>	REVESTIMENTO / FILTRO: <input checked="" type="checkbox"/> PVC <input type="checkbox"/> AÇO	SIM NÃO ID <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> PROTEÇÃO <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> CADEADO <input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/>	COORDENADAS: N: - E: - COTA: 98,91m
Ø PERFURAÇÃO: 4	EQUIPAMENTO: Tr d <input type="checkbox"/>	Ø REVESTIMENTO/FILTRO: 2 <input type="checkbox"/>	



LEGENDA:

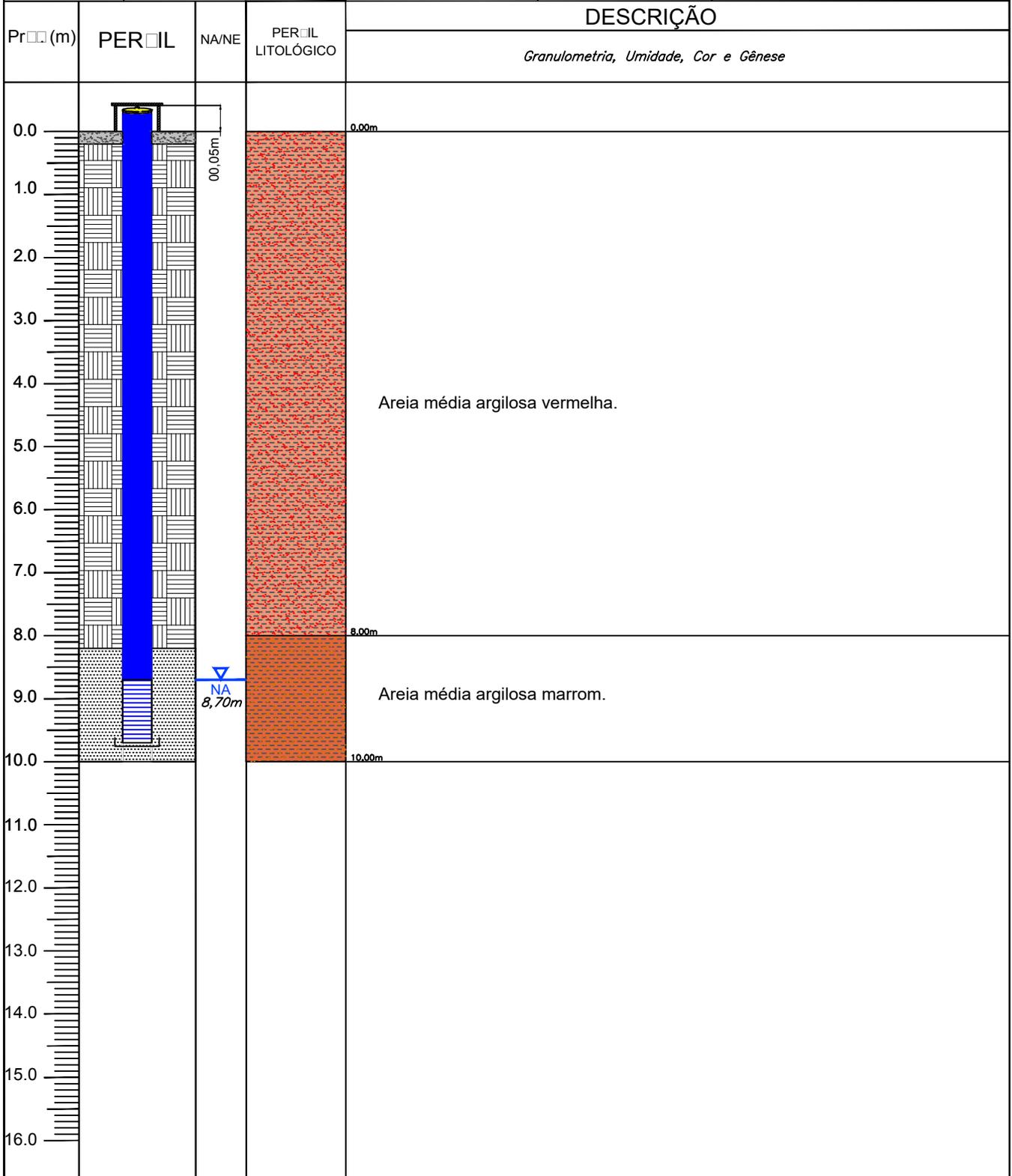
Câmara de Calçada	Pré-Filtro	Selo de Bentonita Pélete	Revestimento	Câmara de Calçada	Câmara de Calçada
-------------------	------------	--------------------------	--------------	-------------------	-------------------

Prof. Total da Sondagem: 10,00m Prof. Total do Poço: 09,60m Extensão do Pré-Filtro: 02,00m	Extensão do Filtro: 01,00m Extensão do Selo: 07,80m	Altura do Revestimento: - Acima da Superfície: 00,20m - Abaixo da Superfície: 00,00m
--	--	--

PERFIL CONSTRUTIVO DE POÇO

LOCALIZAÇÃO: EECF - Itatinga - São Paulo / SP	DATA DA INSTALAÇÃO DO POÇO / SONDAAGEM: Mês: S <input type="checkbox"/> M <input type="checkbox"/> A <input type="checkbox"/> Ano: 2014	S4/PM4
---	--	---------------

MÉTODO DE PERFURAÇÃO: M <input type="checkbox"/> d <input type="checkbox"/>	REVESTIMENTO / FILTRO: <input checked="" type="checkbox"/> PVC <input type="checkbox"/> AÇO	SIM NÃO ID <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> PROTEÇÃO <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> CADEADO <input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/>	COORDENADAS: N: - E: - COTA: 98,84m
Ø PERFURAÇÃO: 4	EQUIPAMENTO: Tr d <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	Ø REVESTIMENTO/FILTRO: 2 <input type="checkbox"/>	



LEGENDA:

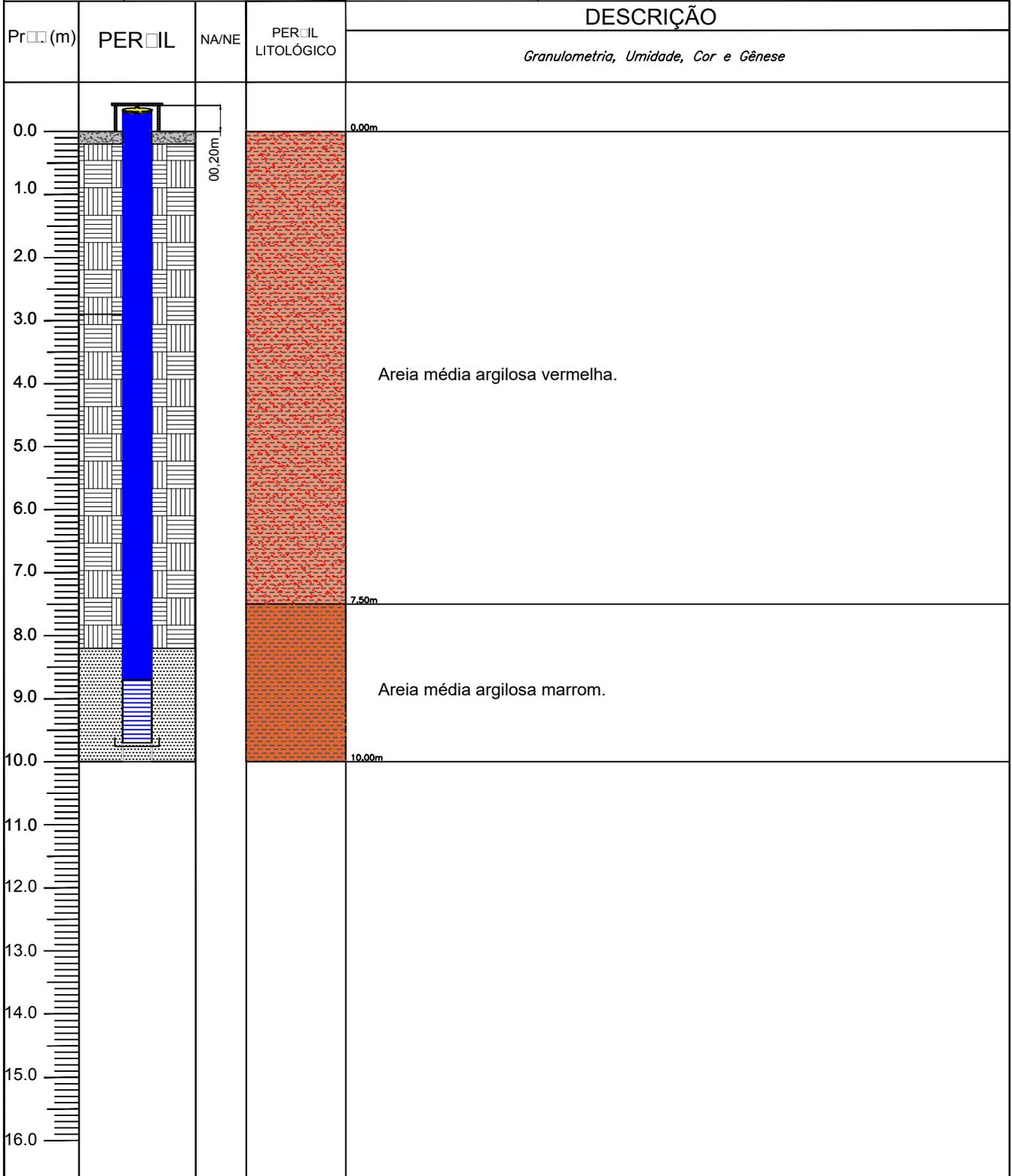
Câmara de Calçada	Pré-Filtro	Selo de Bentonita Pélete	Revestimento	Câmara de Calçada	Câmara de Calçada
Selo de Bentonita Pélete	Revestimento	Câmara de Calçada	Câmara de Calçada	Câmara de Calçada	Câmara de Calçada

Prof. Total da Sondagem: 10,00m Prof. Total do Poço: 09,70m Extensão do Pré-Filtro: 01,80m	Extensão do Filtro: 01,00m Extensão do Selo: 08,00m	Altura do Revestimento: - Acima da Superfície: 00,05m - Abaixo da Superfície: 00,00m
--	--	--

PERFIL CONSTRUTIVO DE POÇO

LOCALIZAÇÃO: EECF - Itatinga - São Paulo / SP	DATA DA INSTALAÇÃO DO POÇO / SONDAAGEM: Mês: S <input type="checkbox"/> M <input type="checkbox"/> R <input type="checkbox"/> Ano: 2014	S6/PM6
---	--	---------------

MÉTODO DE PERFURAÇÃO: M <input type="checkbox"/> d <input type="checkbox"/>	REVESTIMENTO / FILTRO: <input checked="" type="checkbox"/> PVC <input type="checkbox"/> AÇO	SIM NÃO ID <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> PROTEÇÃO <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> CADEADO <input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/>	COORDENADAS: N: - E: - COTA: 98,87m
Ø PERFURAÇÃO: 4	EQUIPAMENTO: Tr d <input type="checkbox"/>	Ø REVESTIMENTO/FILTRO: 2 <input type="checkbox"/>	



LEGENDA:

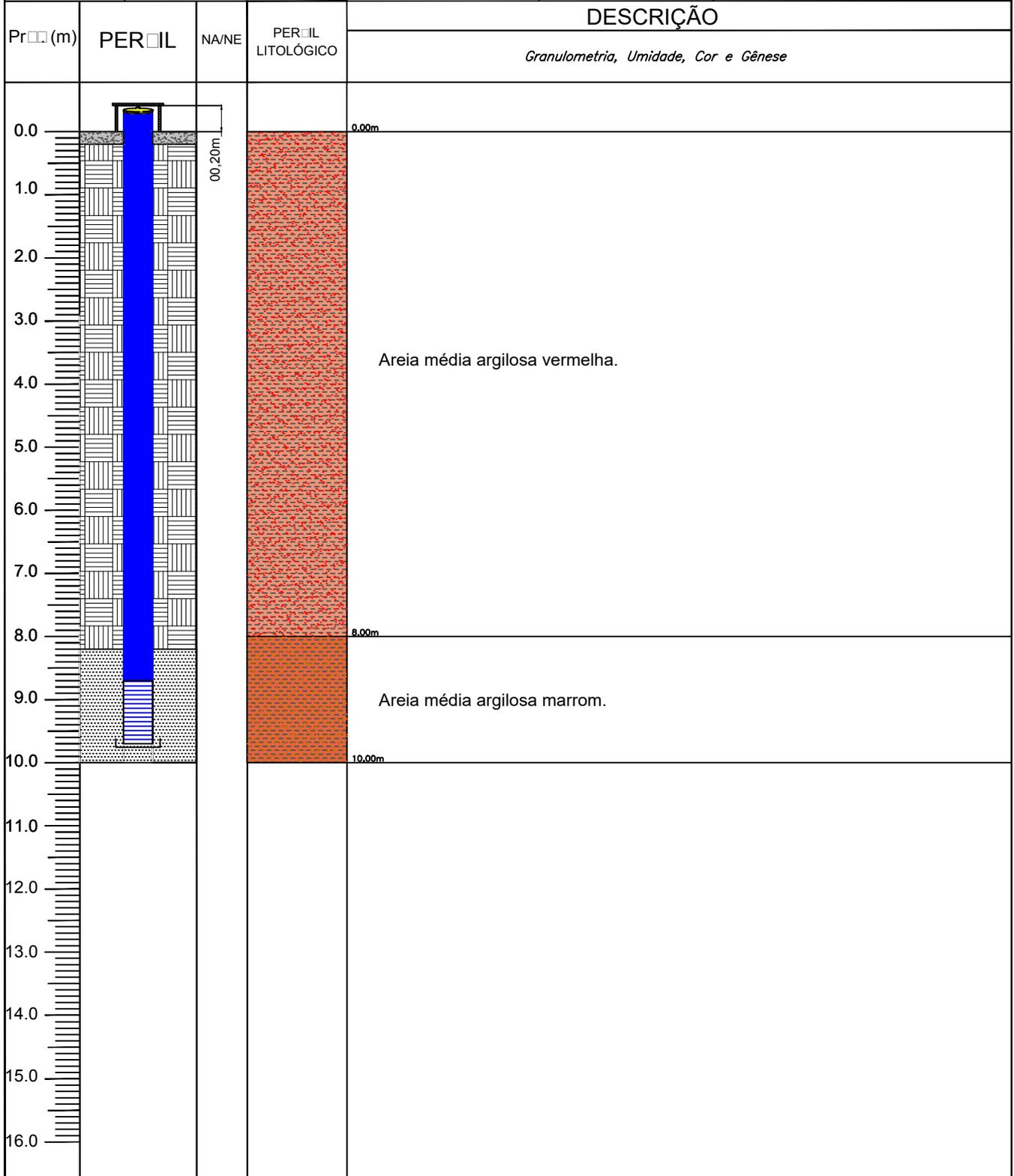
Câmara de Calçada	Pré-Filtro	Selo de Bentonita Pélete	Revestimento	Câmara de Calçada	Câmara de Calçada
Selo de Bentonita Pélete	Revestimento	Câmara de Calçada	Câmara de Calçada	Câmara de Calçada	Câmara de Calçada

Prof. Total da Sondagem: 10,00m Prof. Total do Poço: 09,70m Extensão do Pré-Filtro: 01,80m	Extensão do Filtro: 01,00m Extensão do Selo: 08,00m	Altura do Revestimento: - Acima da Superfície: 00,20m - Abaixo da Superfície: 00,00m
--	--	--

PERFIL CONSTRUTIVO DE POÇO

LOCALIZAÇÃO: EECF - Itatinga - São Paulo / SP	DATA DA INSTALAÇÃO DO POÇO / SONDAAGEM: Mês: S <input type="checkbox"/> M <input type="checkbox"/> A <input type="checkbox"/> Ano: 2014	S7/PM7
---	--	---------------

MÉTODO DE PERFURAÇÃO: M <input type="checkbox"/> d <input type="checkbox"/>	REVESTIMENTO / FILTRO: <input checked="" type="checkbox"/> PVC <input type="checkbox"/> AÇO	SIM NÃO ID <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> PROTEÇÃO <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> CADEADO <input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/>	COORDENADAS: N: - E: - COTA: 98,83m
Ø PERFURAÇÃO: 4	EQUIPAMENTO: Tr d <input type="checkbox"/>	Ø REVESTIMENTO/FILTRO: 2 <input type="checkbox"/>	



LEGENDA:

Câmara de Calçada	Pré-Filtro	Selo de Bentonita Pélete	Revestimento	Câmara de Calçada	Câmara de Calçada
Selo de Bentonita Pélete	Revestimento	Câmara de Calçada	Câmara de Calçada	Câmara de Calçada	Câmara de Calçada

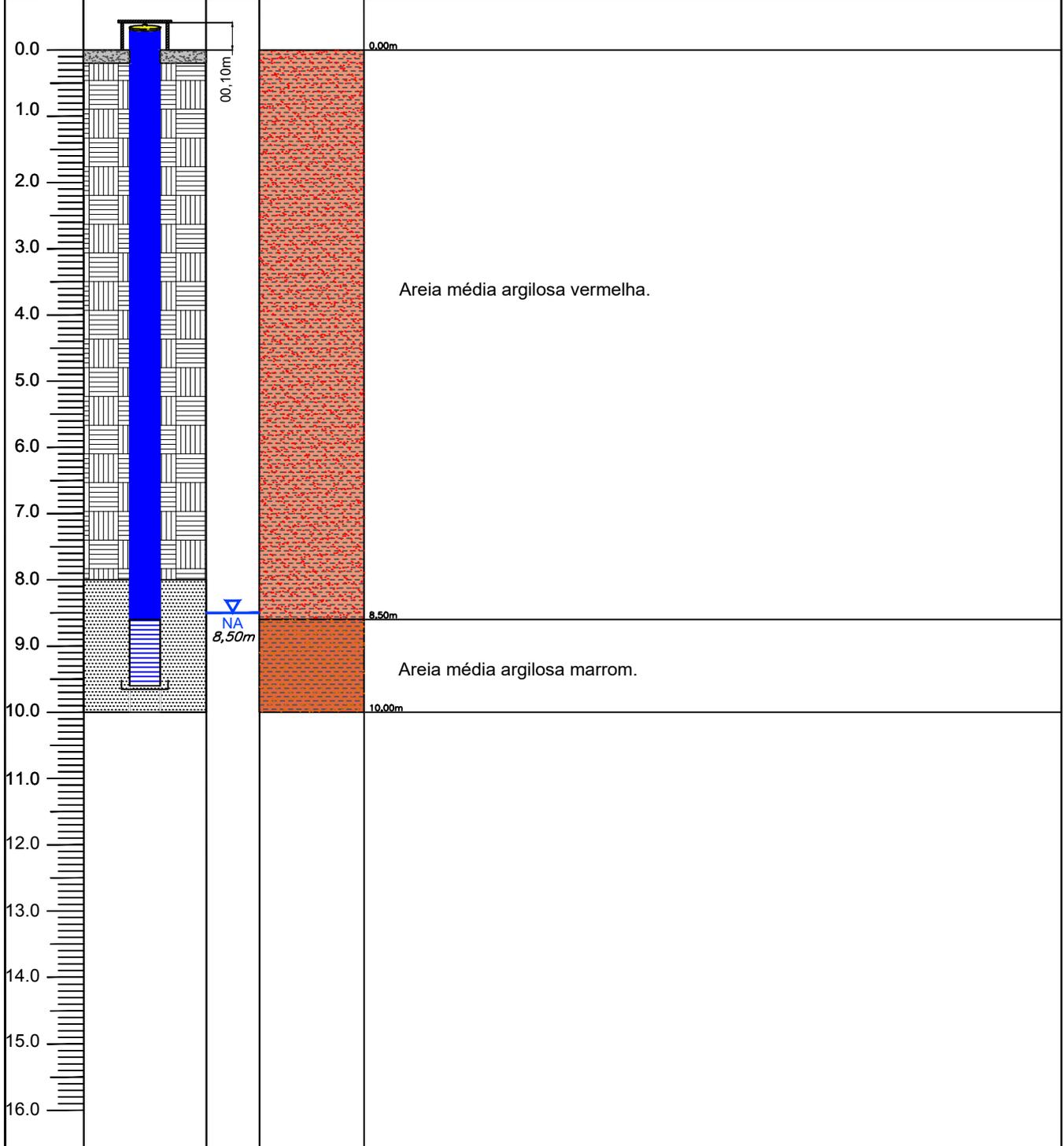
Prof. Total da Sondagem: 10,00m Prof. Total do Poço: 09,70m Extensão do Pré-Filtro: 01,80m	Extensão do Filtro: 01,00m Extensão do Selo: 08,00m	Altura do Revestimento: - Acima da Superfície: 00,20m - Abaixo da Superfície: 00,00m
--	--	--

PERFIL CONSTRUTIVO DE POÇO

LOCALIZAÇÃO: EECF - Itatinga - São Paulo / SP	DATA DA INSTALAÇÃO DO POÇO / SONDAAGEM: Mês: S <input type="checkbox"/> M <input type="checkbox"/> R <input type="checkbox"/> Ano: 2014	<h2 style="margin: 0;">SD10/PM10</h2>
---	--	---------------------------------------

MÉTODO DE PERFURAÇÃO: M <input type="checkbox"/> d <input type="checkbox"/>	REVESTIMENTO / FILTRO: <input checked="" type="checkbox"/> PVC <input type="checkbox"/> AÇO	SIM NÃO ID <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> PROTEÇÃO <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> CADEADO <input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/>	COORDENADAS: N: - E: - COTA: 98,77m
---	---	--	---

Ø PERFURAÇÃO: 4	EQUIPAMENTO: Tr d <input type="checkbox"/>	Ø REVESTIMENTO/FILTRO: 2 <input type="checkbox"/>	DESCRIÇÃO <i>Granulometria, Umidade, Cor e Gênese</i>
---------------------------	---	---	---



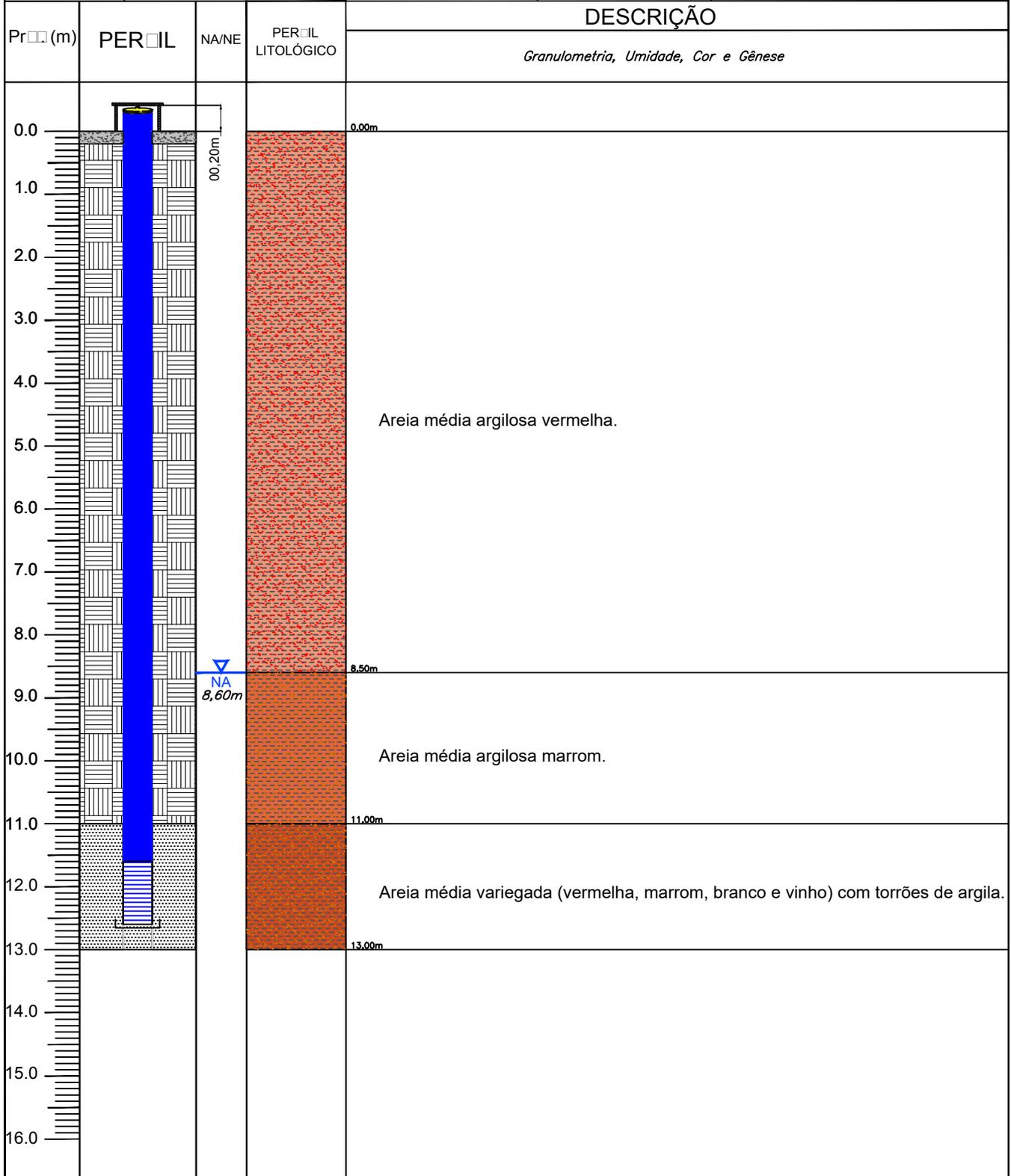
LEGENDA: [Câmara de Calçada] Câmara de Calçada [Selo de Bentonita Pélete] Selo de Bentonita Pélete	[Pré-Filtro] Pré-Filtro [Revestimento] R <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	[Sonda/Bomba/Cabo] S <input type="checkbox"/> d <input type="checkbox"/> B <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> C <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> [Cabo] C <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
---	---	---

Prof. Total da Sondagem: 10,00m Prof. Total do Poço: 09,60m Extensão do Pré-Filtro: 02,00m	Extensão do Filtro: 01,00m Extensão do Selo: 07,80m	Altura do Revestimento: - Acima da Superfície: 00,10m - Abaixo da Superfície: 00,00m
--	--	--

PERFIL CONSTRUTIVO DE POÇO

LOCALIZAÇÃO: EECF - Itatinga - São Paulo / SP	DATA DA INSTALAÇÃO DO POÇO / SONDAAGEM: Mês: S <input type="checkbox"/> M <input type="checkbox"/> R <input type="checkbox"/> Ano: 2014	<h2 style="margin: 0;">S12/PM12</h2>
---	--	--------------------------------------

MÉTODO DE PERFURAÇÃO: M <input type="checkbox"/> d <input type="checkbox"/>	REVESTIMENTO / FILTRO: <input checked="" type="checkbox"/> PVC <input type="checkbox"/> AÇO	SIM NÃO ID <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> PROTEÇÃO <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> CADEADO <input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/>	COORDENADAS: N: - E: - COTA: 98,71m
Ø PERFURAÇÃO: 4	EQUIPAMENTO: Tr d <input type="checkbox"/>	Ø REVESTIMENTO/FILTRO: 2 <input type="checkbox"/>	



LEGENDA:

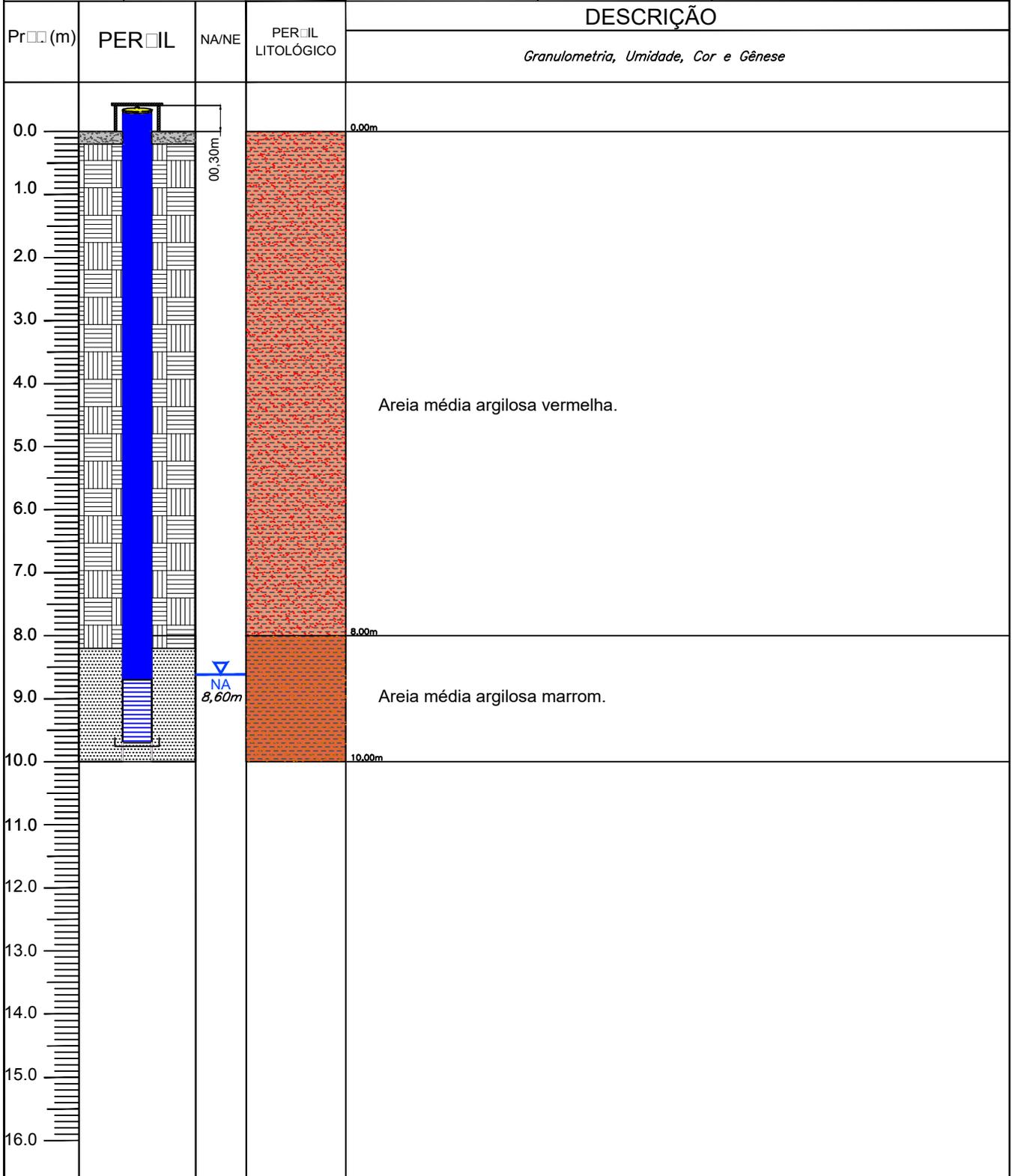
Câmara de Calçada	Pré-Filtro	Selo de Bentonita Pélete	R...	C...	C...
S...	B...	C...	C...	C...	C...

Prof. Total da Sondagem: 13,00m Prof. Total do Poço: 12,60m Extensão do Pré-Filtro: 02,00m	Extensão do Filtro: 01,00m Extensão do Selo: 10,80m	Altura do Revestimento: - Acima da Superfície: 00,20m - Abaixo da Superfície: 00,00m
--	--	--

PERFIL CONSTRUTIVO DE POÇO

LOCALIZAÇÃO: EECF - Itatinga - São Paulo / SP	DATA DA INSTALAÇÃO DO POÇO / SONDAAGEM: Mês: S <input type="checkbox"/> M <input type="checkbox"/> R <input type="checkbox"/> Ano: 2014	S13/PM13
---	--	-----------------

MÉTODO DE PERFURAÇÃO: M <input type="checkbox"/> d <input type="checkbox"/>	REVESTIMENTO / FILTRO: <input checked="" type="checkbox"/> PVC <input type="checkbox"/> AÇO	SIM NÃO ID <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> PROTEÇÃO <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> CADEADO <input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/>	COORDENADAS: N: - E: - COTA: 98,69m
Ø PERFURAÇÃO: 4	EQUIPAMENTO: Tr d <input type="checkbox"/>	Ø REVESTIMENTO/FILTRO: 2 <input type="checkbox"/>	



LEGENDA:

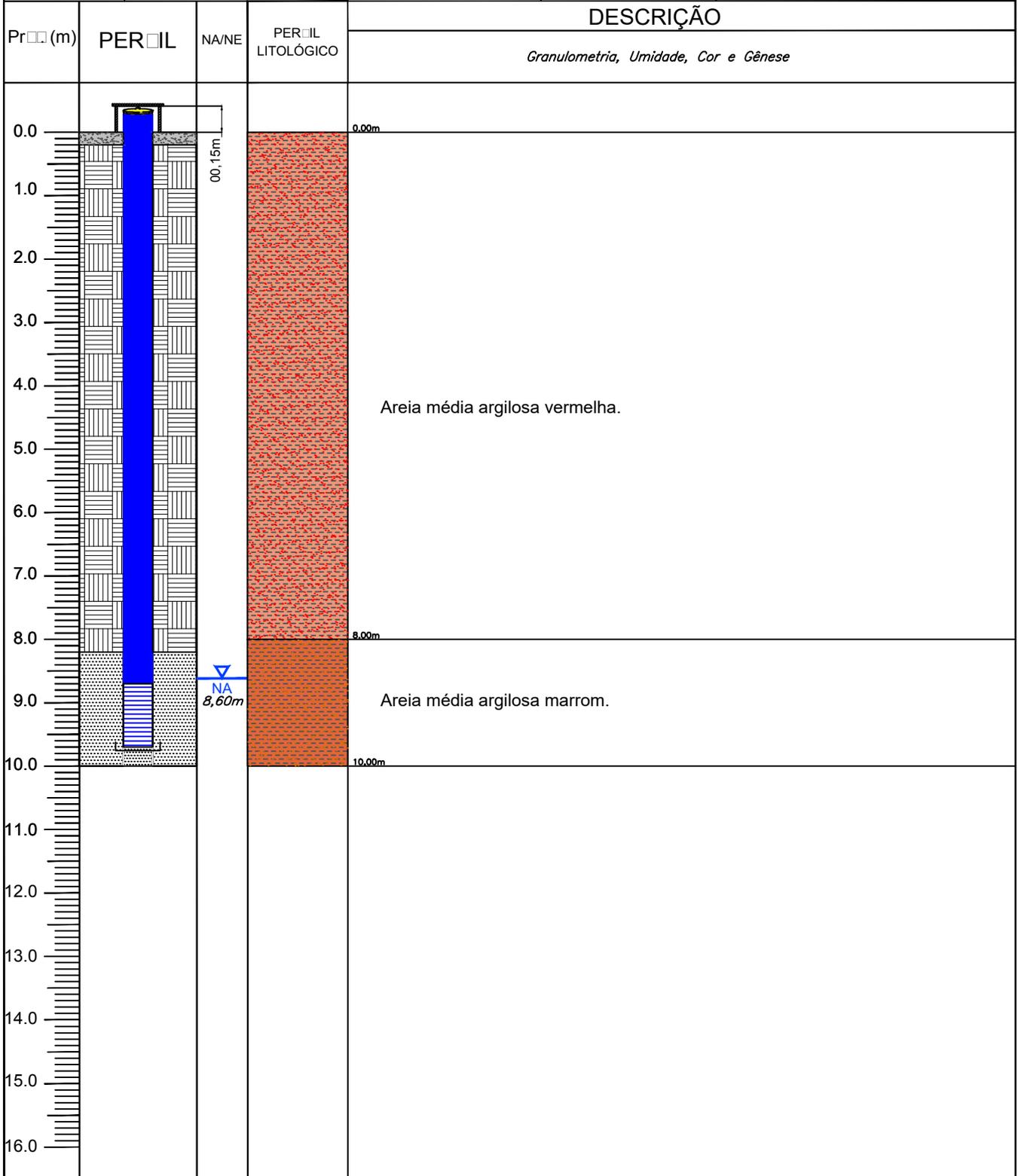
Câmara de Calçada	Pré-Filtro	Selo de Bentonita Pélete	Revestimento	Câmara de Calçada	Câmara de Calçada
Selo de Bentonita Pélete	Revestimento	Câmara de Calçada	Câmara de Calçada	Câmara de Calçada	Câmara de Calçada

Prof. Total da Sondagem: 10,00m Prof. Total do Poço: 09,70m Extensão do Pré-Filtro: 01,80m	Extensão do Filtro: 01,00m Extensão do Selo: 07,80m	Altura do Revestimento: - Acima da Superfície: 00,30m - Abaixo da Superfície: 00,00m
--	--	--

PERFIL CONSTRUTIVO DE POÇO

LOCALIZAÇÃO: EECF - Itatinga - São Paulo / SP	DATA DA INSTALAÇÃO DO POÇO / SONDAGEM: Mês: S <input type="checkbox"/> M <input type="checkbox"/> r <input type="checkbox"/> Ano: 2014	<h2 style="margin: 0;">SD14/PM14</h2>
---	---	---------------------------------------

MÉTODO DE PERFURAÇÃO: M <input type="checkbox"/> d <input type="checkbox"/>	REVESTIMENTO / FILTRO: <input checked="" type="checkbox"/> PVC <input type="checkbox"/> AÇO	SIM NÃO ID <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> PROTEÇÃO <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> CADEADO <input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/>	COORDENADAS: N: - E: - COTA: 98,82m
Ø PERFURAÇÃO: 4	EQUIPAMENTO: Tr d <input type="checkbox"/>	Ø REVESTIMENTO/FILTRO: 2 <input type="checkbox"/>	



LEGENDA:

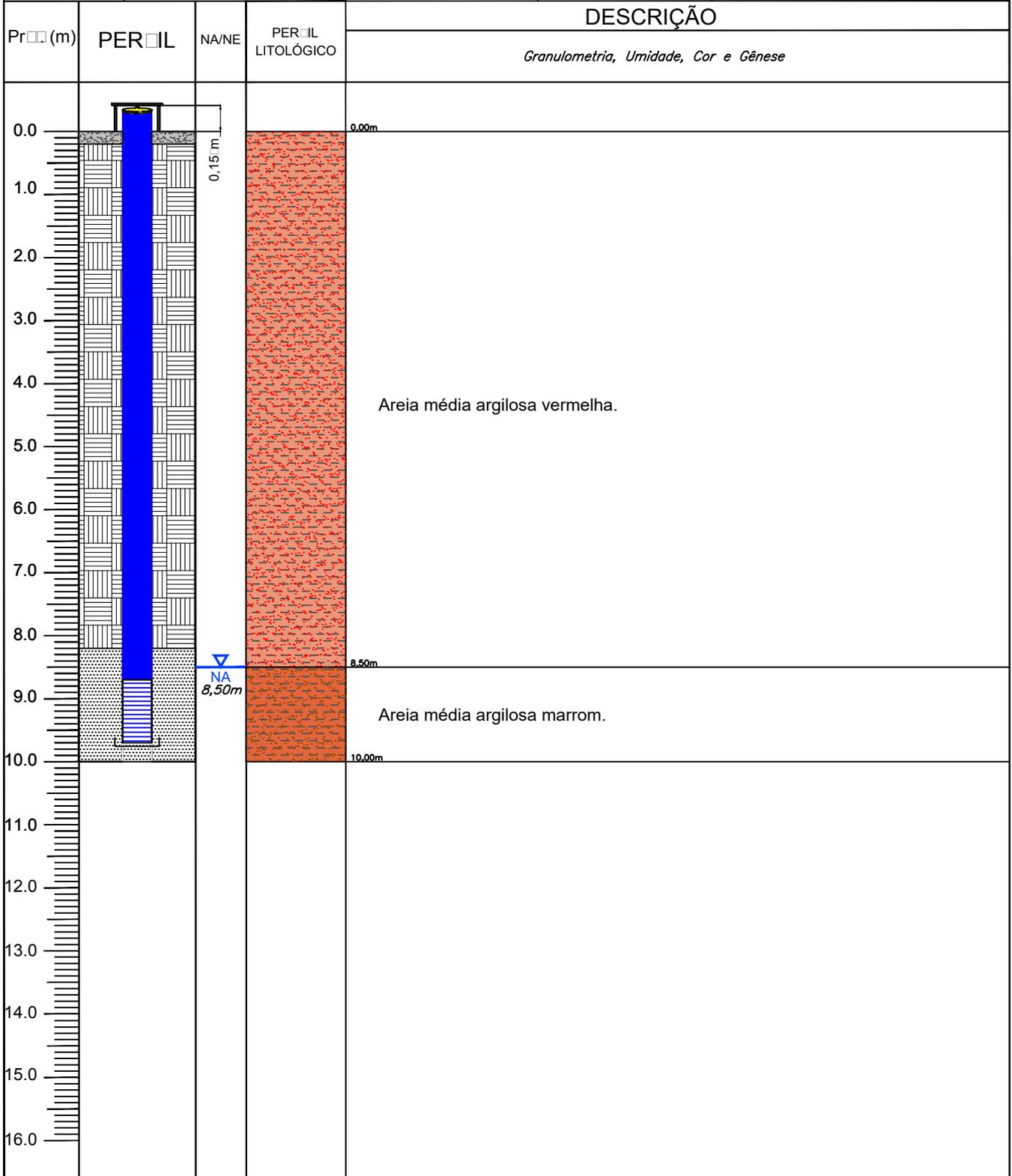
Câmara de Calçada	Pré-Filtro	Selo de Bentonita Pélete	Revestimento	Cabo de aço	Cabo de aço
Selo de Bentonita Pélete	Revestimento	Cabo de aço	Cabo de aço	Cabo de aço	Cabo de aço

Prof. Total da Sondagem: 10,00m Prof. Total do Poço: 09,70m Extensão do Pré-Filtro: 01,80m	Extensão do Filtro: 01,00m Extensão do Selo: 07,80m	Altura do Revestimento: - Acima da Superfície: 00,15m - Abaixo da Superfície: 00,00m
--	--	--

PERFIL CONSTRUTIVO DE POÇO

LOCALIZAÇÃO: EECF - Itatinga - São Paulo / SP	DATA DA INSTALAÇÃO DO POÇO / SONDAAGEM: Mês: S <input type="checkbox"/> M <input type="checkbox"/> R <input type="checkbox"/> Ano: 2014	<h2 style="margin: 0;">S15/PM15</h2>
---	--	--------------------------------------

MÉTODO DE PERFURAÇÃO: M <input type="checkbox"/> d <input type="checkbox"/>	REVESTIMENTO / FILTRO: <input checked="" type="checkbox"/> PVC <input type="checkbox"/> AÇO	SIM NÃO ID <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> PROTEÇÃO <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> CADEADO <input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/>	COORDENADAS: N: - E: - COTA: 99,00m
Ø PERFURAÇÃO: 4	EQUIPAMENTO: Tr d <input type="checkbox"/>	Ø REVESTIMENTO/FILTRO: 2 <input type="checkbox"/>	



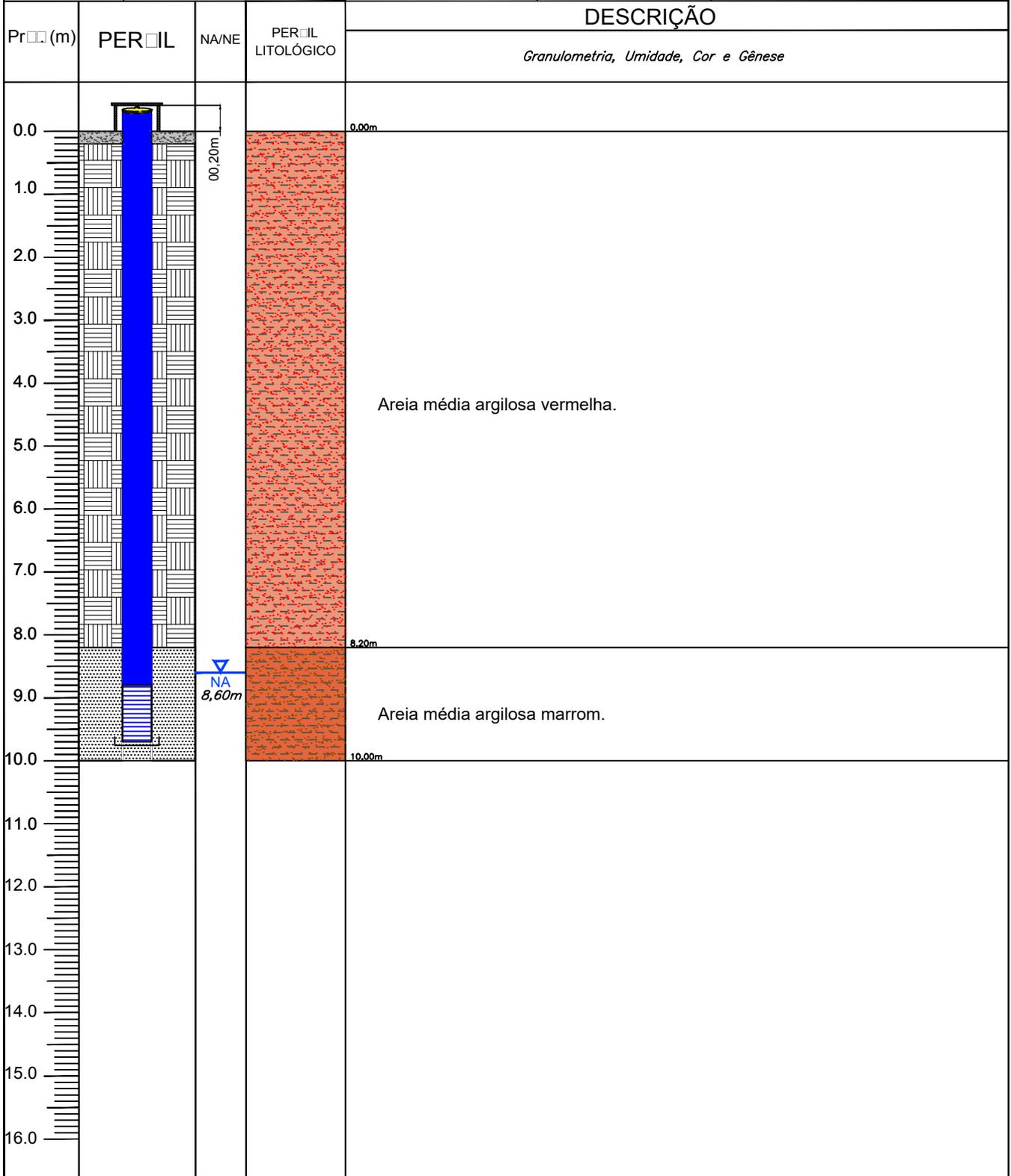
LEGENDA:			
Câmara de Calçada	Pré-Filtro	Selo de Bentonita Pélete	R
Selo de Bentonita Pélete	R	C	C

Prof. Total da Sondagem: 10,00m Prof. Total do Poço: 09,70m Extensão do Pré-Filtro: 01,80m	Extensão do Filtro: 01,00m Extensão do Selo: 07,80m	Altura do Revestimento: - Acima da Superfície: 00,15m - Abaixo da Superfície: 00,00m
--	--	--

PERFIL CONSTRUTIVO DE POÇO

LOCALIZAÇÃO: EECF - Itatinga - São Paulo / SP	DATA DA INSTALAÇÃO DO POÇO / SONDAAGEM: Mês: S <input type="checkbox"/> M <input type="checkbox"/> A <input type="checkbox"/> J <input type="checkbox"/> J <input type="checkbox"/> A <input type="checkbox"/> S <input type="checkbox"/> O <input type="checkbox"/> N <input type="checkbox"/> D <input type="checkbox"/> Ano: 2014	<h2 style="margin: 0;">S16/PM16</h2>
---	---	--------------------------------------

MÉTODO DE PERFURAÇÃO: M <input type="checkbox"/> d <input type="checkbox"/>	REVESTIMENTO / FILTRO: <input checked="" type="checkbox"/> PVC <input type="checkbox"/> AÇO	SIM NÃO <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	COORDENADAS: N: - E: - COTA: 99,01m
Ø PERFURAÇÃO: 4	EQUIPAMENTO: Tr d <input type="checkbox"/>	Ø REVESTIMENTO/FILTRO: 2 <input type="checkbox"/>	ID <input type="checkbox"/> PROTEÇÃO <input checked="" type="checkbox"/> CADEADO <input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/>



LEGENDA:

Câmara de Calçada	Pré-Filtro	Selo de Bentonita Pélete	Revestimento	Cabo de aço	Cabo de aço
Selo de Bentonita Pélete	Revestimento	Cabo de aço	Cabo de aço	Cabo de aço	Cabo de aço

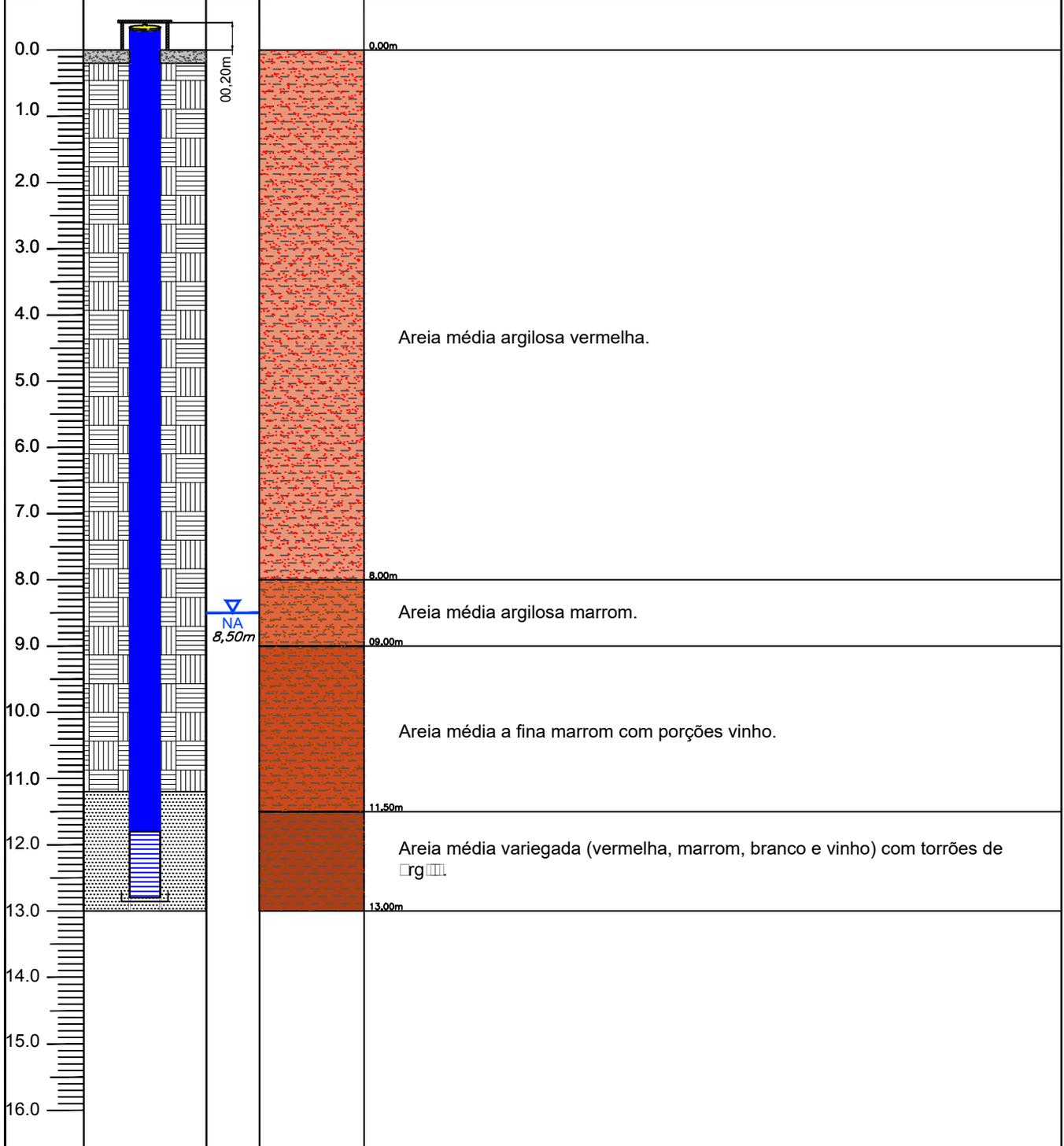
Prof. Total da Sondagem: 10,00m Prof. Total do Poço: 09,80m Extensão do Pré-Filtro: 01,80m	Extensão do Filtro: 01,00m Extensão do Selo: 08,00m	Altura do Revestimento: - Acima da Superfície: 00,20m - Abaixo da Superfície: 00,00m
--	--	--

PERFIL CONSTRUTIVO DE POÇO

LOCALIZAÇÃO: EECF - Itatinga - São Paulo / SP	DATA DA INTALAÇÃO DO POÇO / SONDAAGEM: Mês: S <input type="checkbox"/> M <input type="checkbox"/> A <input type="checkbox"/> J <input type="checkbox"/> J <input type="checkbox"/> A <input type="checkbox"/> S <input type="checkbox"/> O <input type="checkbox"/> N <input type="checkbox"/> D <input type="checkbox"/> Ano: 2014	<h2 style="margin: 0;">S17/PM2A</h2>
---	--	--------------------------------------

MÉTODO DE PERFURAÇÃO: M <input type="checkbox"/> d <input type="checkbox"/>	REVESTIMENTO / FILTRO: <input checked="" type="checkbox"/> PVC <input type="checkbox"/> AÇO	SIM NÃO ID <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> PROTEÇÃO <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> CADEADO <input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/>	COORDENADAS: N: - E: - COTA: 98,90m
---	---	--	---

Ø PERFURAÇÃO: 4	EQUIPAMENTO: Tr d <input type="checkbox"/>	Ø REVESTIMENTO/FILTRO: 2 <input type="checkbox"/>	DESCRIÇÃO <i>Granulometria, Umidade, Cor e Gênese</i>
--------------------	--	--	---



LEGENDA:

Câmara de Calçada	Pré-Filtro	Selo de Bentonita Pélete	Câmara de Calçada
Selo de Bentonita Pélete	R...	C...	C... d... B...

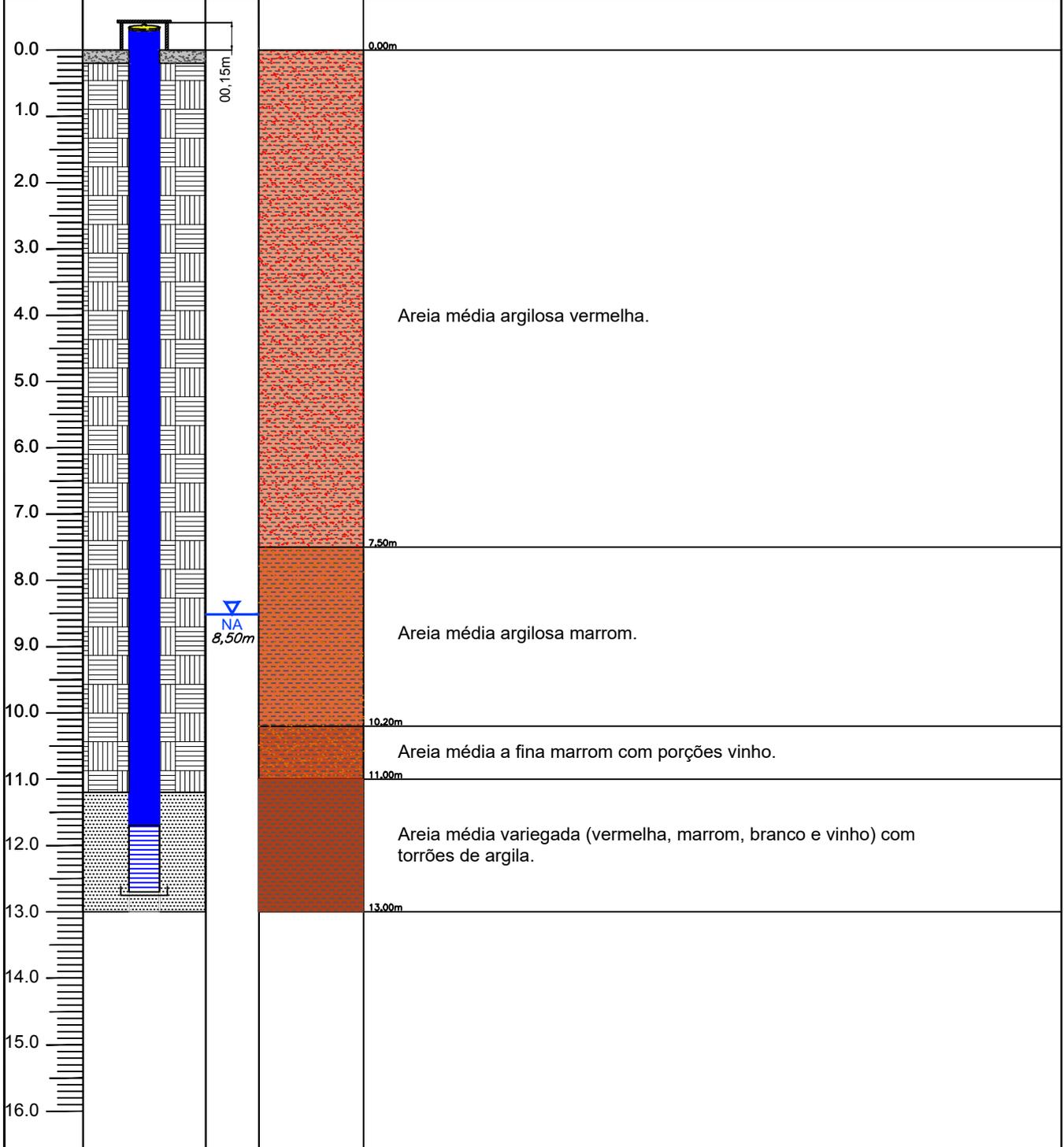
Prof. Total da Sondagem: 13,00m Prof. Total do Poço: 12,80m Extensão do Pré-Filtro: 01,80m	Extensão do Filtro: 01,00m Extensão do Selo: 11,00m	Altura do Revestimento: - Acima da Superfície: 00,20m - Abaixo da Superfície: 00,00m
--	--	--

PERFIL CONSTRUTIVO DE POÇO

LOCALIZAÇÃO: EECF - Itatinga - São Paulo / SP	DATA DA INSTALAÇÃO DO POÇO / SONDAAGEM: Mês: S <input type="checkbox"/> m <input type="checkbox"/> r <input type="checkbox"/> Ano: 2014	S19/PM9A
---	--	-----------------

MÉTODO DE PERFURAÇÃO: M <input type="checkbox"/> d <input type="checkbox"/>	REVESTIMENTO / FILTRO: <input checked="" type="checkbox"/> PVC <input type="checkbox"/> AÇO	SIM NÃO ID <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> PROTEÇÃO <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> CADEADO <input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/>	COORDENADAS: N: - E: - COTA: 98,89m
---	---	--	---

Ø PERFURAÇÃO: 4	EQUIPAMENTO: Tr d <input type="checkbox"/>	Ø REVESTIMENTO/FILTRO: 2 <input type="checkbox"/>	DESCRIÇÃO <i>Granulometria, Umidade, Cor e Gênese</i>
---------------------------	---	---	---



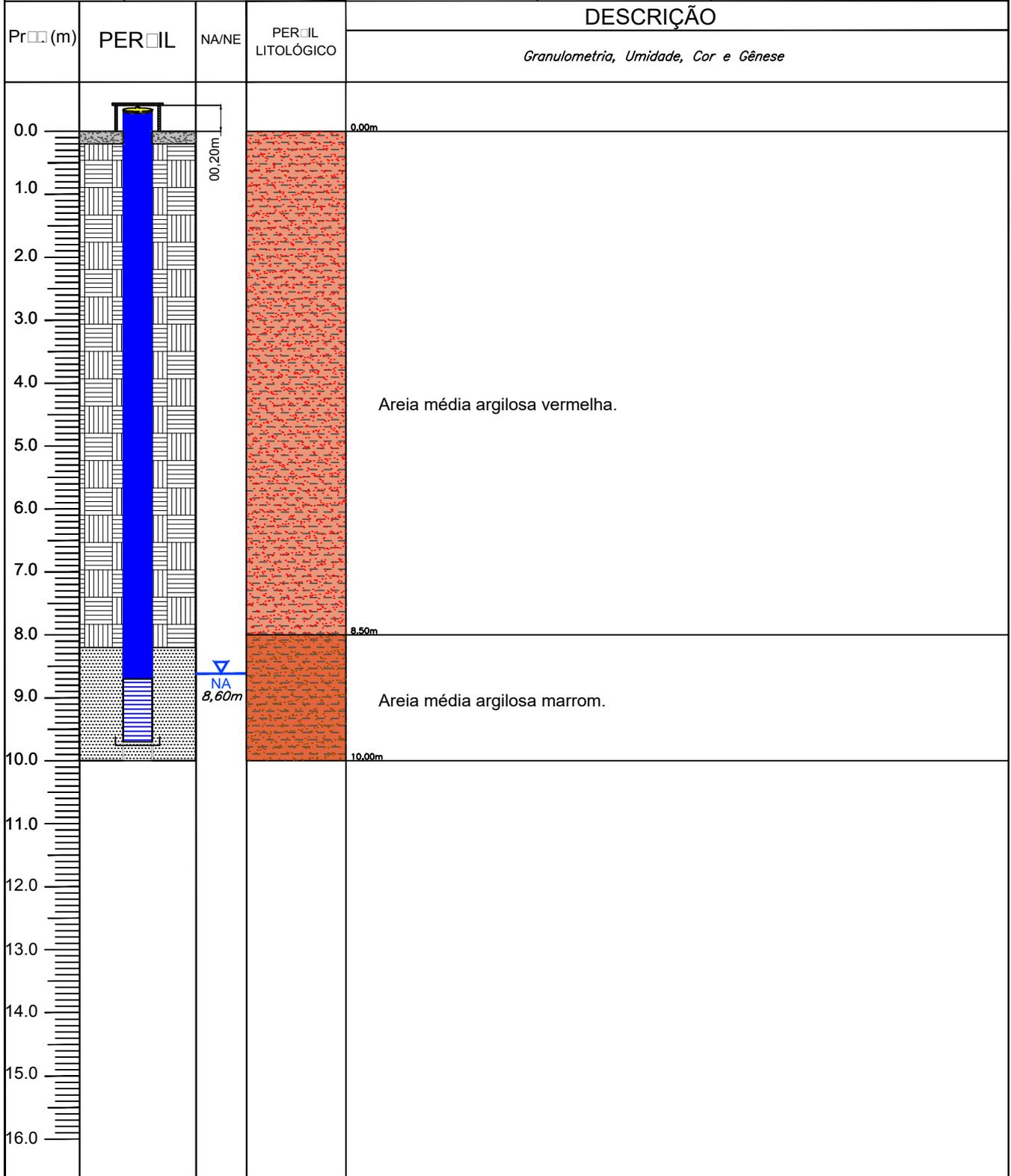
LEGENDA: [Symbol] Câmara de Calçada [Symbol] Selo de Bentonita Pélete	[Symbol] Pré-Filtro [Symbol] R <input type="checkbox"/>	[Symbol] S <input type="checkbox"/> d <input type="checkbox"/> B <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> C <input type="checkbox"/> d <input type="checkbox"/> [Symbol] C <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
--	---	--

Prof. Total da Sondagem: 13,00m Prof. Total do Poço: 12,70m Extensão do Pré-Filtro: 01,80m	Extensão do Filtro: 01,00m Extensão do Selo: 08,00m	Altura do Revestimento: - Acima da Superfície: 00,15m - Abaixo da Superfície: 00,00m
--	--	--

PERFIL CONSTRUTIVO DE POÇO

LOCALIZAÇÃO: EECF - Itatinga - São Paulo / SP	DATA DA INSTALAÇÃO DO POÇO / SONDAAGEM: Mês: S <input type="checkbox"/> M <input type="checkbox"/> A <input type="checkbox"/> J <input type="checkbox"/> J <input type="checkbox"/> A <input type="checkbox"/> S <input type="checkbox"/> O <input type="checkbox"/> N <input type="checkbox"/> D <input type="checkbox"/> Ano: 2014	<h2 style="margin: 0;">S20/PM10A</h2>
---	---	---------------------------------------

MÉTODO DE PERFURAÇÃO: M <input type="checkbox"/> d <input type="checkbox"/>	REVESTIMENTO / FILTRO: <input checked="" type="checkbox"/> PVC <input type="checkbox"/> AÇO	SIM NÃO <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	COORDENADAS: N: - E: - COTA: 98,86m
Ø PERFURAÇÃO: 4	EQUIPAMENTO: Tr d <input type="checkbox"/>	Ø REVESTIMENTO/FILTRO: 2 <input type="checkbox"/>	



LEGENDA:

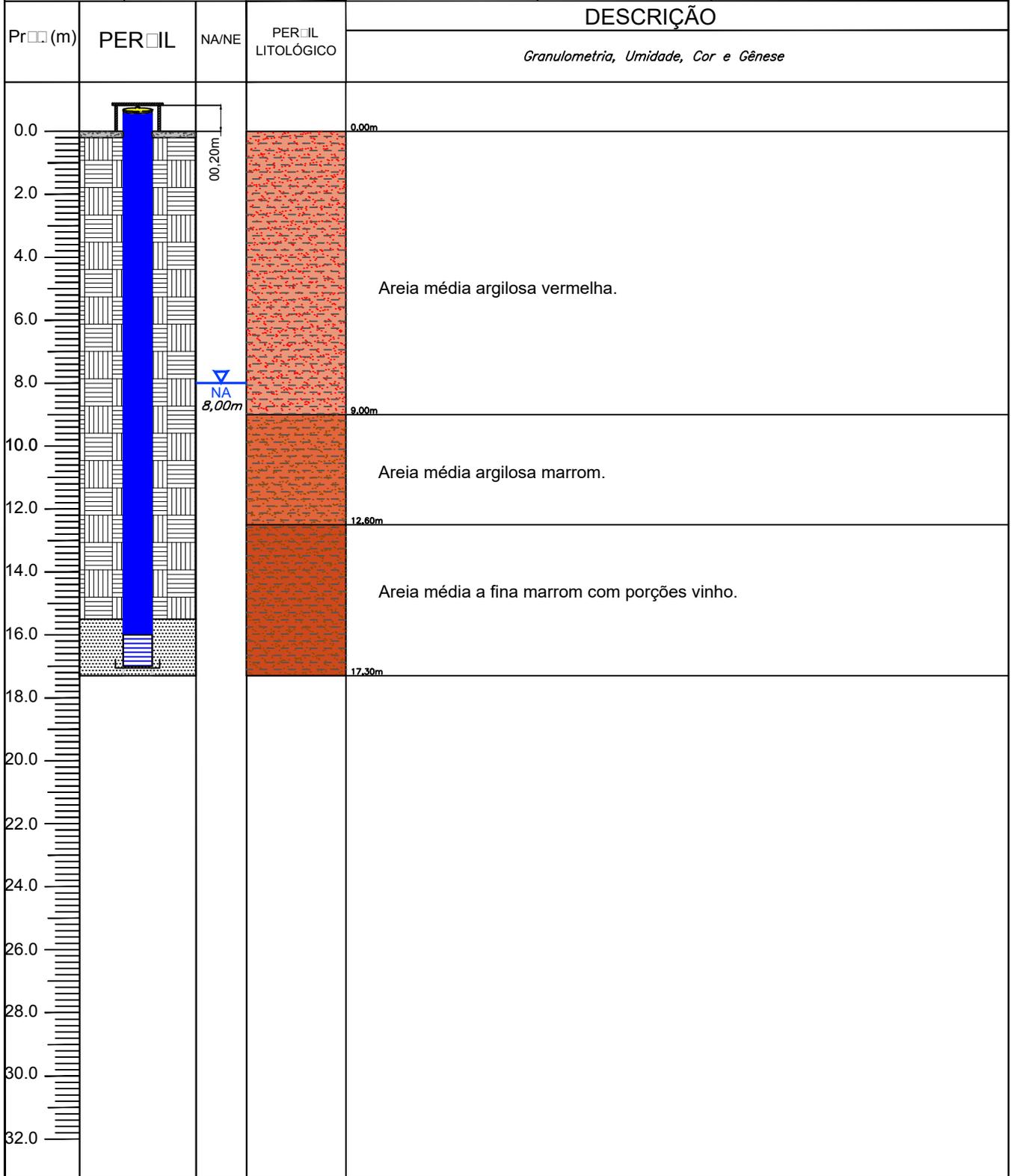
Câmara de Calçada	Pré-Filtro	Selo de Bentonita Pélete	Revestimento PVC	Filtro	Câmara de Calçada
Selo de Bentonita Pélete	Revestimento PVC	Filtro	Câmara de Calçada	Câmara de Calçada	Câmara de Calçada

Prof. Total da Sondagem: 10,00m Prof. Total do Poço: 09,70m Extensão do Pré-Filtro: 01,80m	Extensão do Filtro: 01,00m Extensão do Selo: 08,00m	Altura do Revestimento: - Acima da Superfície: 00,20m - Abaixo da Superfície: 00,00m
--	--	--

PERFIL CONSTRUTIVO DE POÇO

LOCALIZAÇÃO: EECF - Itatinga - São Paulo / SP	DATA DA INSTALAÇÃO DO POÇO / SONDAAGEM: Mês: <input type="text"/> Ano: 2016	<h2 style="margin: 0;">S25/PM2C</h2>
---	--	--------------------------------------

MÉTODO DE PERFURAÇÃO: M <input type="text"/>	REVESTIMENTO / FILTRO: <input checked="" type="checkbox"/> PVC <input type="checkbox"/> AÇO	SIM NÃO ID <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> PROTEÇÃO <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> CADEADO <input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/>	COORDENADAS: N: - E: - COTA: -
Ø PERFURAÇÃO: 4	EQUIPAMENTO: Trid <input type="checkbox"/> C <input type="text"/>	Ø REVESTIMENTO/FILTRO: 2 <input type="text"/>	



LEGENDA:

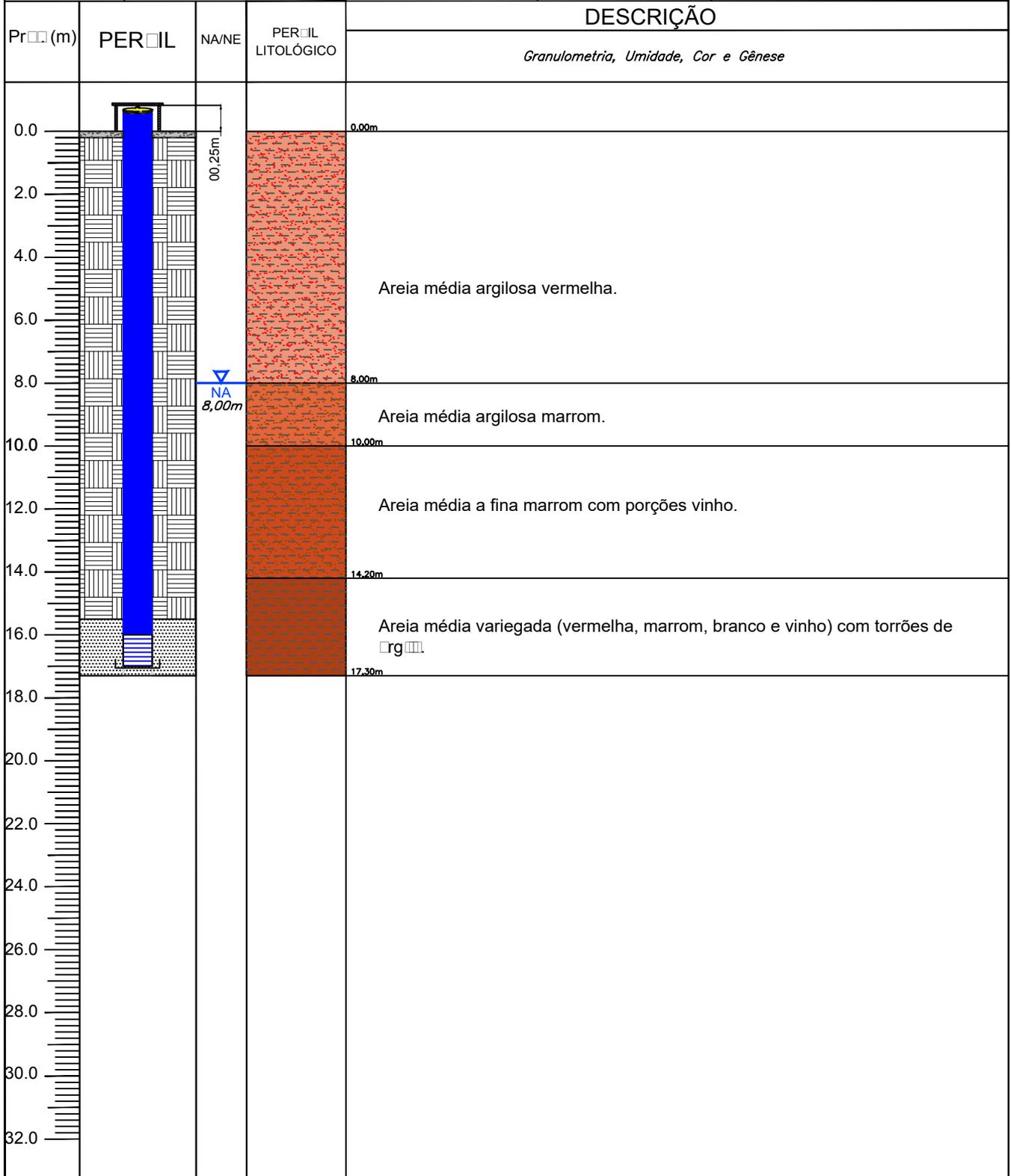
Câmara de Calçada	Pré-Filtro	Selo de Bentonita Pélete	Rimão	Câmara de Calçada	Câmara de Calçada
Selo de Bentonita Pélete	Rimão	Câmara de Calçada	Câmara de Calçada	Câmara de Calçada	Câmara de Calçada

Prof. Total da Sondagem: 17,00m	Extensão do Filtro: 01,00m	Altura do Revestimento: -
Prof. Total do Poço: 17,30m	Extensão do Selo: 15,30m	- Acima da Superfície: 00,20m
Extensão do Pré-Filtro: 07,50m		- Abaixo da Superfície: 00,00m

PERFIL CONSTRUTIVO DE POÇO

LOCALIZAÇÃO: EECF - Itatinga - São Paulo / SP	DATA DA INSTALAÇÃO DO POÇO / SONDAGEM: Mês: <input type="text"/> Ano: 2016	<h2 style="margin: 0;">S26/PM6C</h2>
---	---	--------------------------------------

MÉTODO DE PERFURAÇÃO: M <input type="text"/>	REVESTIMENTO / FILTRO: <input checked="" type="checkbox"/> PVC <input type="checkbox"/> AÇO	SIM NÃO <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> ID	COORDENADAS: N: - E: - COTA: -
Ø PERFURAÇÃO: 4	EQUIPAMENTO: Trid <input type="checkbox"/> C <input type="text"/>	Ø REVESTIMENTO/FILTRO: 2 <input type="text"/>	ID <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> PROTEÇÃO <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> CADEADO <input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/>



LEGENDA:

Câmara de Calçada	Pré-Filtro	Selo de Bentonita Pélete	Revestimento	Filtro	Câmara de Calçada
Selo de Bentonita Pélete	Revestimento	Filtro	Câmara de Calçada	Câmara de Calçada	Câmara de Calçada

Prof. Total da Sondagem: 17,00m Prof. Total do Poço: 17,30m Extensão do Pré-Filtro: 07,50m	Extensão do Filtro: 01,00m Extensão do Selo: 15,30m	Altura do Revestimento: - Acima da Superfície: 00,15m - Abaixo da Superfície: 00,00m
--	--	--

ANEXO I -ENSAIOS DE PERMEABILIDADE



FITOREM

Slug Test Analysis Report

Project: FITOREM

Number: -

Client: -

Location: ITATINGA

Slug Test: PM01

Test Well: PM01

Test Conducted by: Mariana Bernardino Luiz

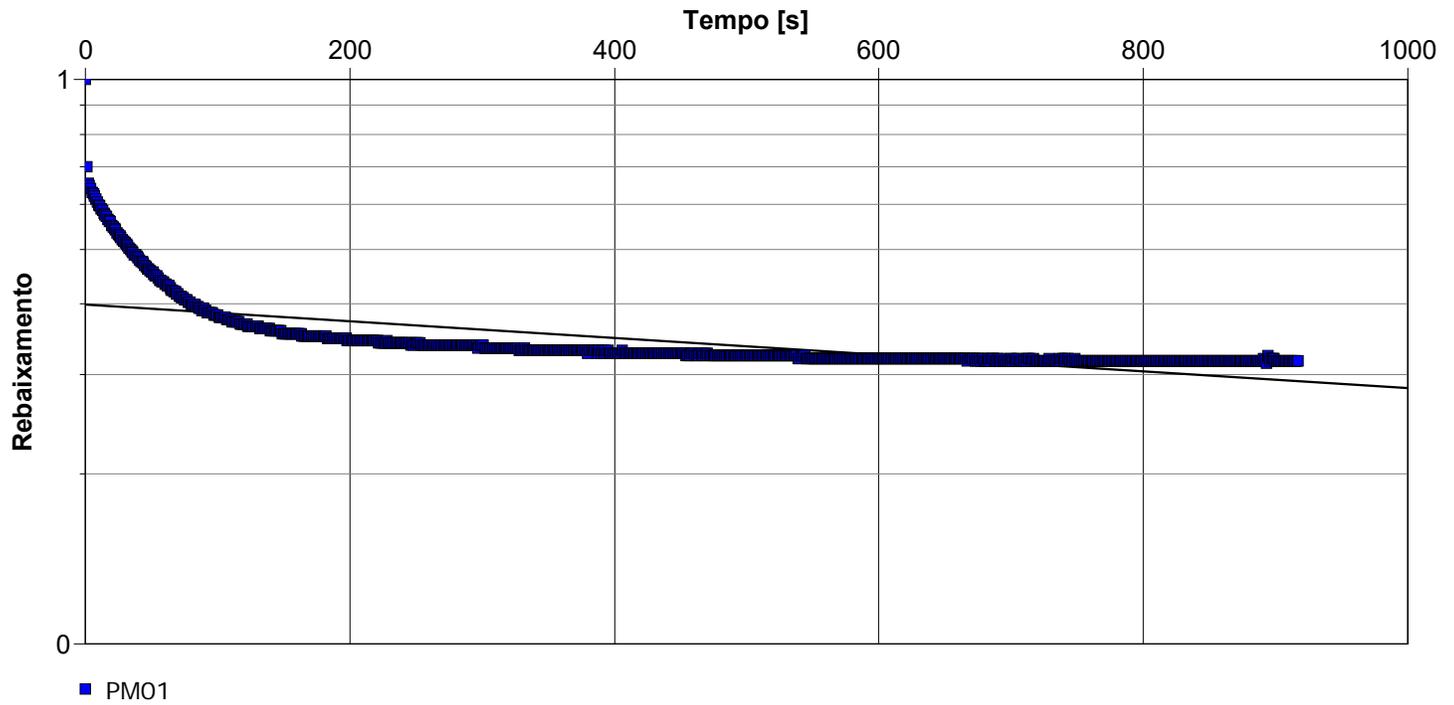
Test Date: 05/09/2016

Analysis Performed by: Mariana Bernardino Luiz

PM01 - HVORSLEV

Analysis Date: 02/01/2017

Aquifer Thickness: 30,00 m



Calculation using Hvorslev

Observation Well

Hydraulic Conductivity
[m/s]

PM01

$4,08 \times 10^{-7}$



FITOREM

Slug Test Analysis Report

Project: FITOREM

Number: -

Client: -

Location: ITATINGA - SP

Slug Test: PM02

Test Well: PM02

Test Conducted by: Mariana Bernardino Luiz

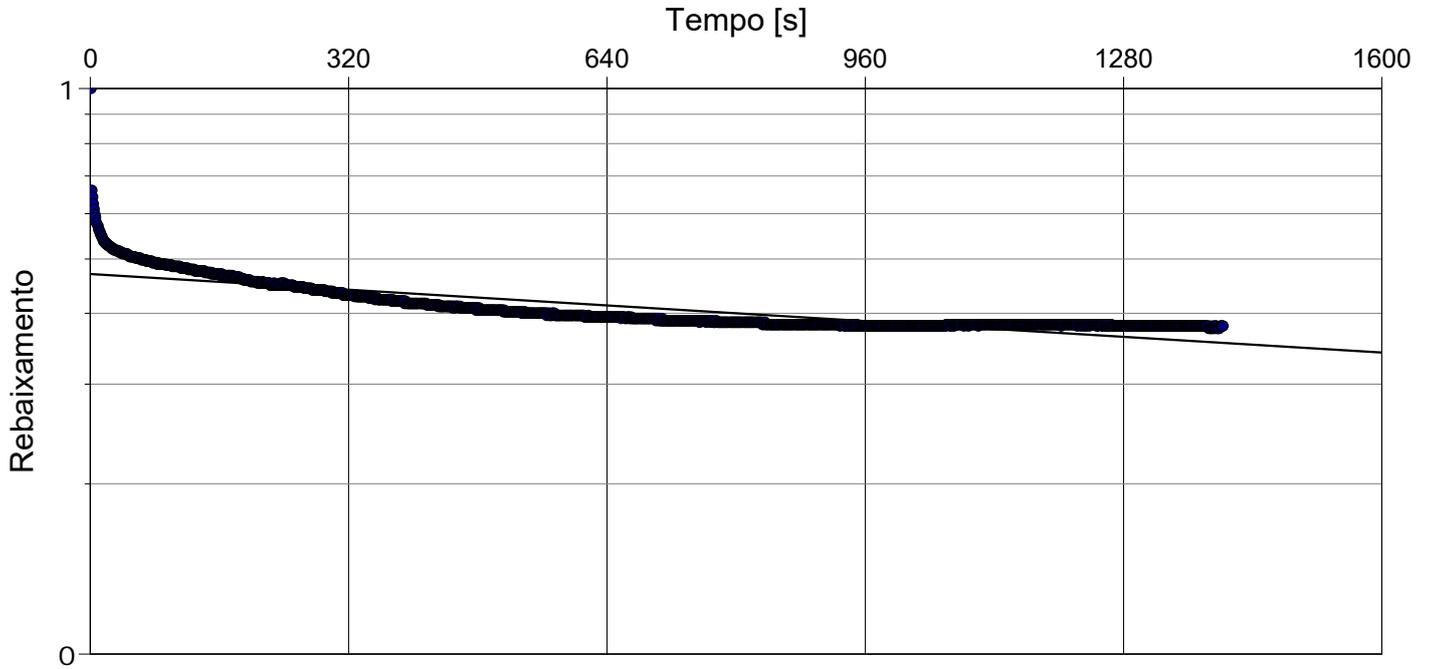
Test Date: 12/09/2016

Analysis Performed by: Mariana Bernardino Luiz

PM02

Analysis Date: 17/01/2017

Aquifer Thickness: 30,00 m



Calculation using Hvorslev

Observation Well

Hydraulic Conductivity
[m/s]

PM02

$2,38 \times 10^{-7}$



FITOREM

Slug Test Analysis Report

Project: FITOREM

Number: -

Client: -

Location: ITATINGA

Slug Test: PM02A

Test Well: PM02A

Test Conducted by: Mariana Bernardino Luiz

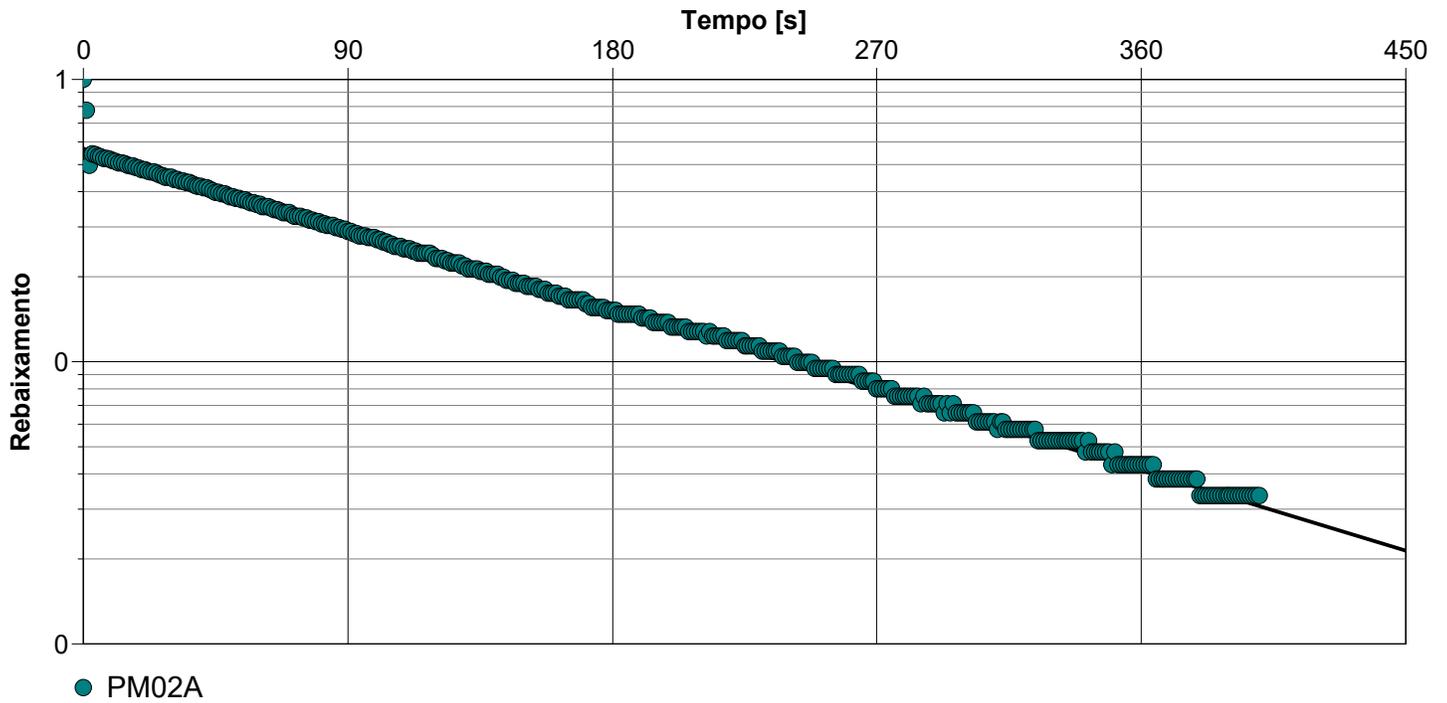
Test Date: 06/09/2016

Analysis Performed by: Mariana Bernardino Luiz

PM02A

Analysis Date: 02/01/2017

Aquifer Thickness: 30,00 m



Calculation using Hvorslev

Observation Well

Hydraulic Conductivity
[m/s]

PM02A

$8,68 \times 10^{-6}$



FITOREM

Slug Test Analysis Report

Project: FITOREM

Number: -

Client: -

Location: ITATINGA - SP

Slug Test: PM02B

Test Well: PM02B

Test Conducted by: Mariana Bernardino Luiz

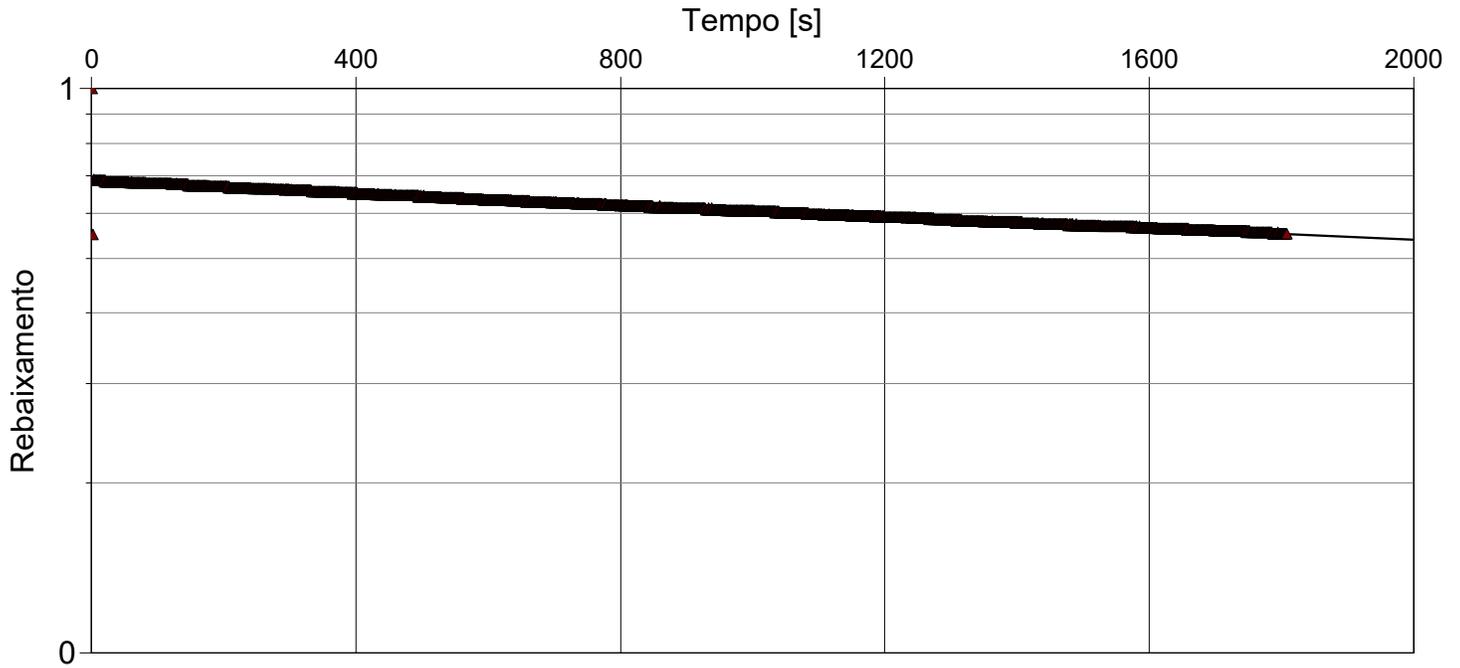
Test Date: 12/09/2016

Analysis Performed by: Mariana Bernardino Luiz

PM02B

Analysis Date: 17/01/2017

Aquifer Thickness: 30,00 m



Calculation using Hvorslev

Observation Well

Hydraulic Conductivity
[m/s]

PM02B

$1,43 \times 10^{-7}$



FITOREM

Slug Test Analysis Report

Project: FITOREM

Number: -

Client: -

Location: ITATINGA - SP

Slug Test: PM02C

Test Well: PM02C

Test Conducted by: Mariana Bernardino Luiz

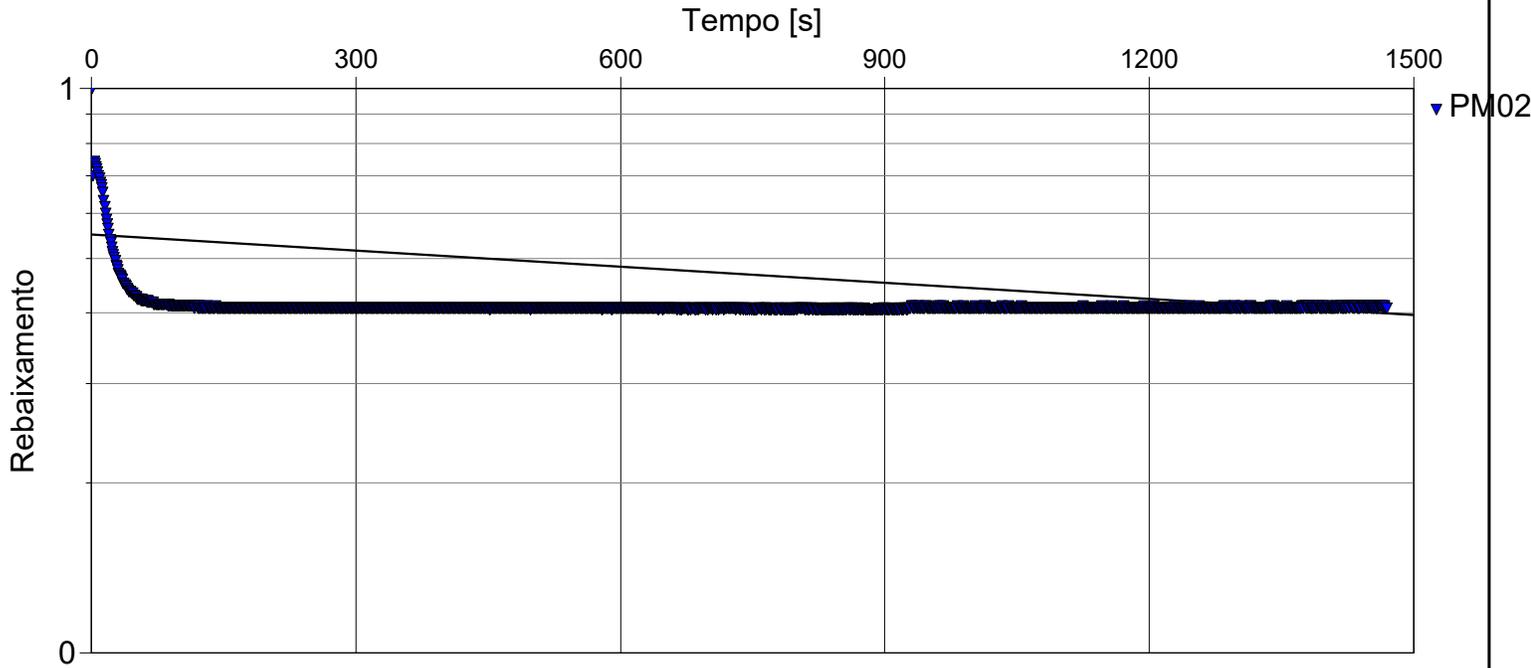
Test Date: 12/09/2016

Analysis Performed by: Mariana Bernardino Luiz

PM02C

Analysis Date: 17/01/2017

Aquifer Thickness: 30,00 m



Calculation using Hvorslev

Observation Well

Hydraulic Conductivity
[m/s]

PM02C

$2,62 \times 10^{-7}$



FITOREM

Slug Test Analysis Report

Project: FITOREM

Number: -

Client: -

Location: ITATINGA - SP

Slug Test: PM03A

Test Well: PM03A

Test Conducted by: Mariana Bernardino Luiz

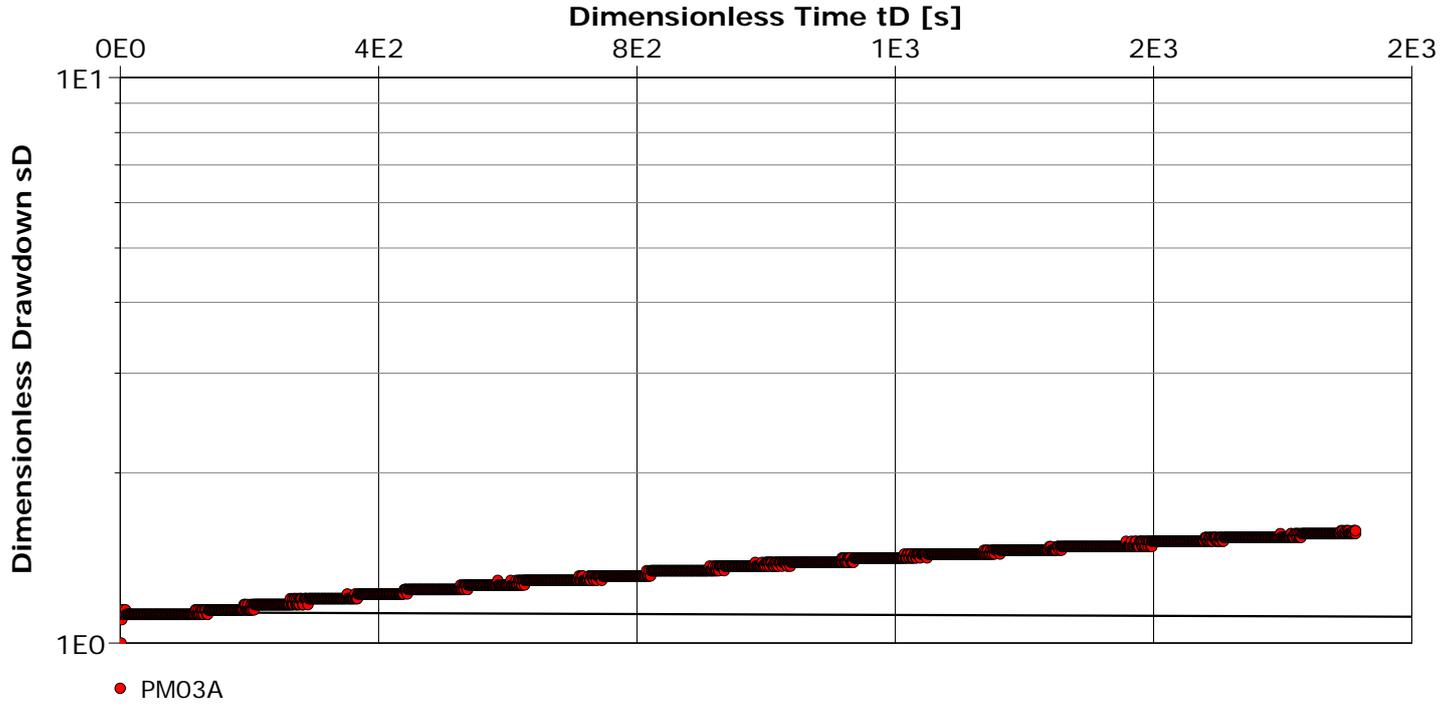
Test Date: 13/09/2016

Analysis Performed by:

New analysis 1

Analysis Date: 17/01/2017

Aquifer Thickness: 30,00 m



Calculation using Hvorslev

Observation Well

Hydraulic Conductivity
[m/s]

PM03A

$9,74 \times 10^{-9}$



FITOREM

Slug Test Analysis Report

Project: FITOREM

Number: -

Client: -

Location: ITATINGA - SP

Slug Test: PM04

Test Well: PM04

Test Conducted by: Mariana Bernardino Luiz

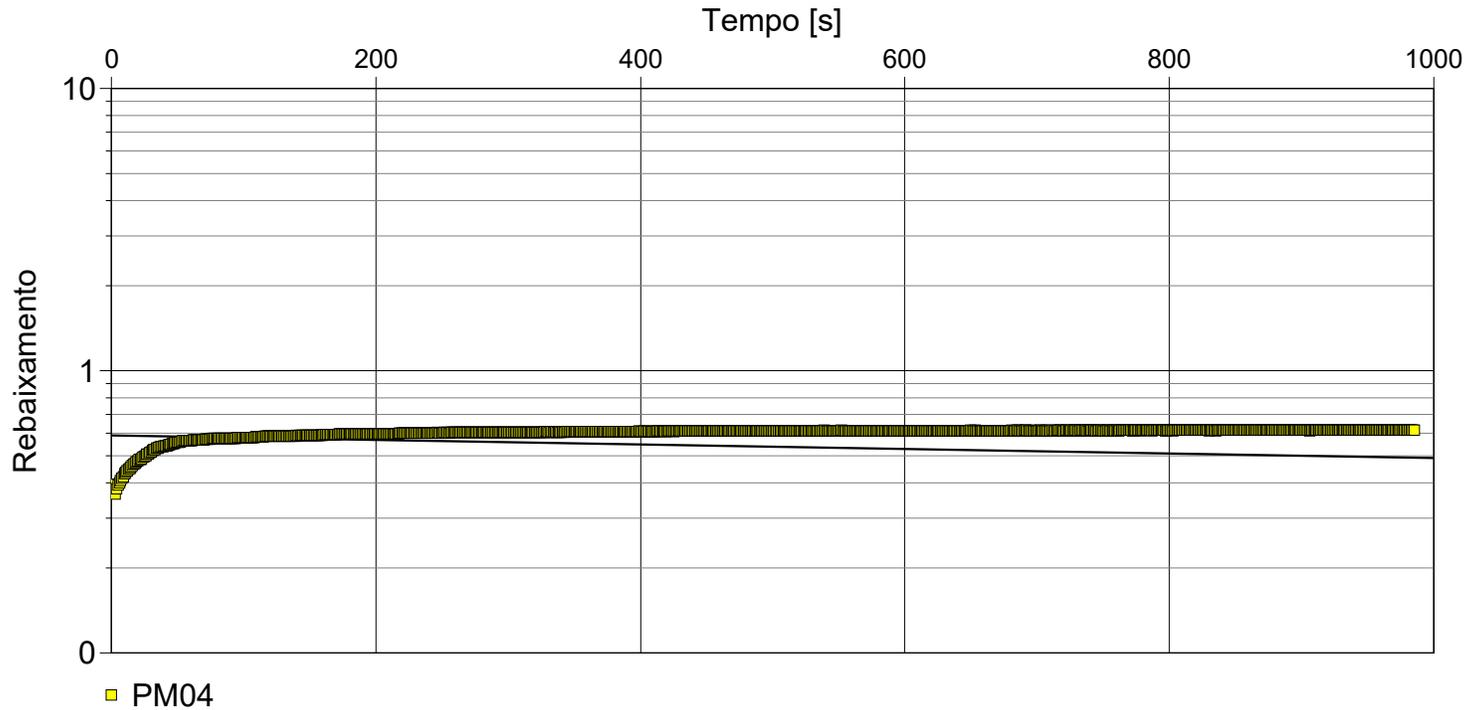
Test Date: 13/09/2016

Analysis Performed by: Mariana Bernardino Luiz

PM04 Hvorslev

Analysis Date: 17/01/2017

Aquifer Thickness: 30,00 m



Calculation using Hvorslev

Observation Well

Hydraulic Conductivity
[m/s]

PM04

$2,18 \times 10^{-7}$



FITOREM

Slug Test Analysis Report

Project: Fitorem

Number: 01

Client: -

Location: Itatinga - SP

Slug Test: PM-05

Test Well: PM-05

Test Conducted by: Mariana Bernardino Luiz

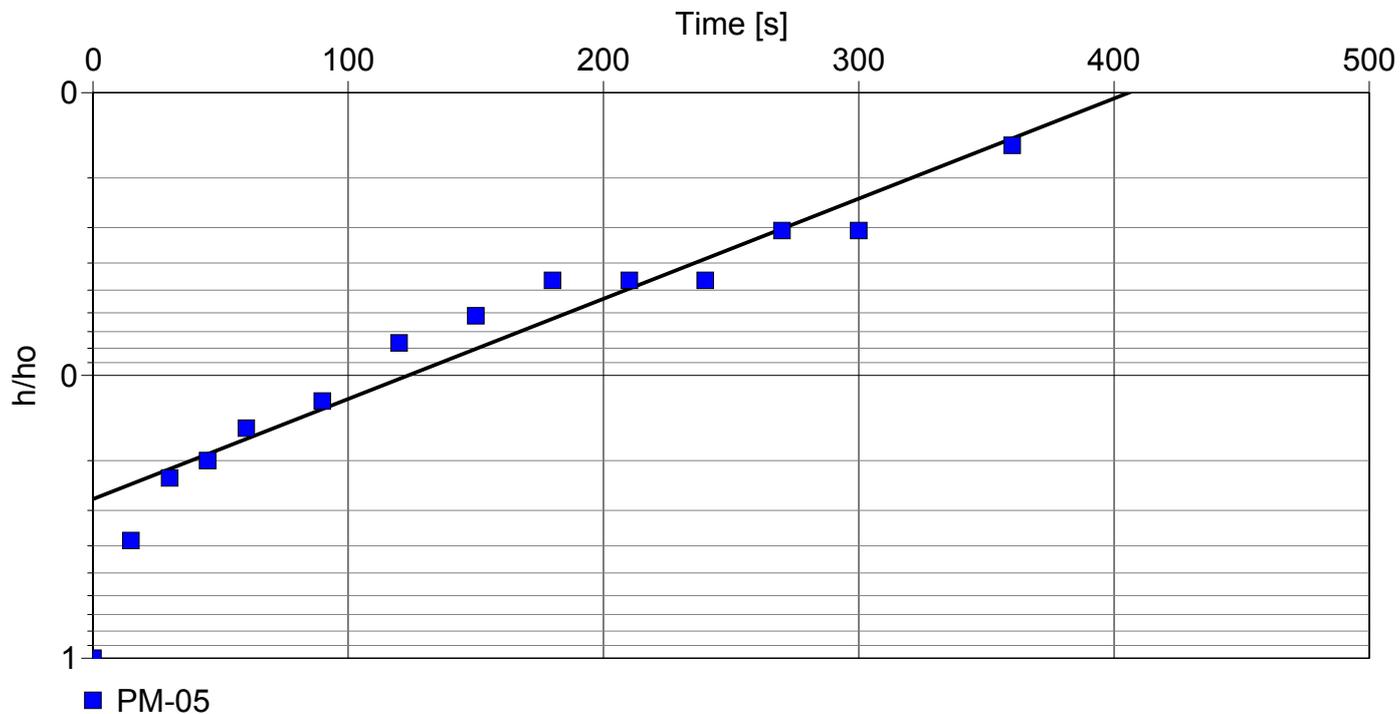
Test Date: 11/05/2015

Analysis Performed by: Mariana Bernardino Luiz

PM-05 - Hvorslev

Analysis Date: 07/03/2016

Aquifer Thickness: 75,00 m



Calculation using Hvorslev

Observation Well

Hydraulic Conductivity
[m/s]

PM-05

$9,73 \times 10^{-6}$



FITOREM

Slug Test Analysis Report

Project: FITOREM

Number: -

Client: -

Location: iTATINGA - SP

Slug Test: PM06

Test Well: PM06

Test Conducted by: Mariana Bernardino Luiz

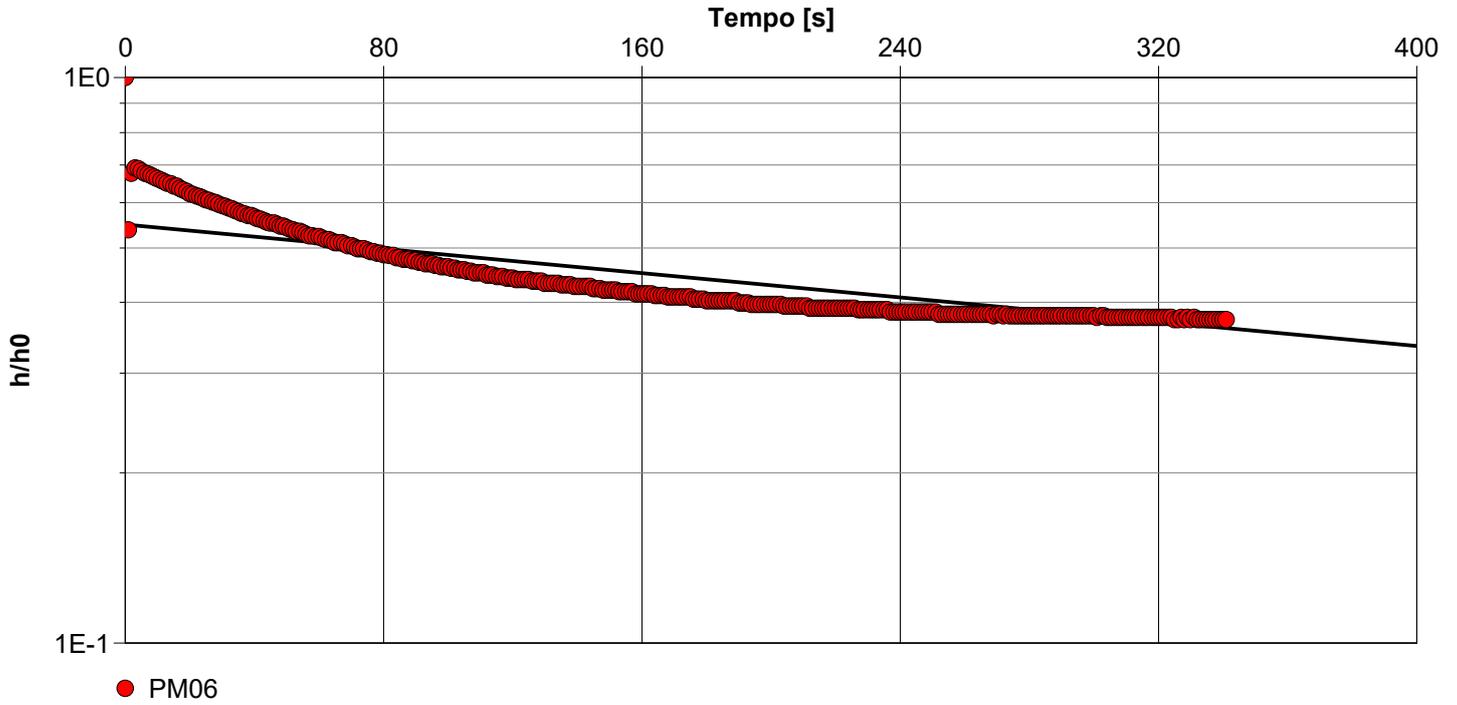
Test Date: 08/09/2016

Analysis Performed by: Mariana Bernardino Luiz

PM06 - HVORSLEV

Analysis Date: 03/01/2017

Aquifer Thickness: 30,00 m



Calculation using Hvorslev

Observation Well

Hydraulic Conductivity
[m/s]

PM06

$1,48 \times 10^{-6}$



FITOREM

Slug Test Analysis Report

Project: FITOREM

Number: -

Client: -

Location: ITATINGA

Slug Test: PM06B

Test Well: PM06B

Test Conducted by: Mariana Bernardino Luiz

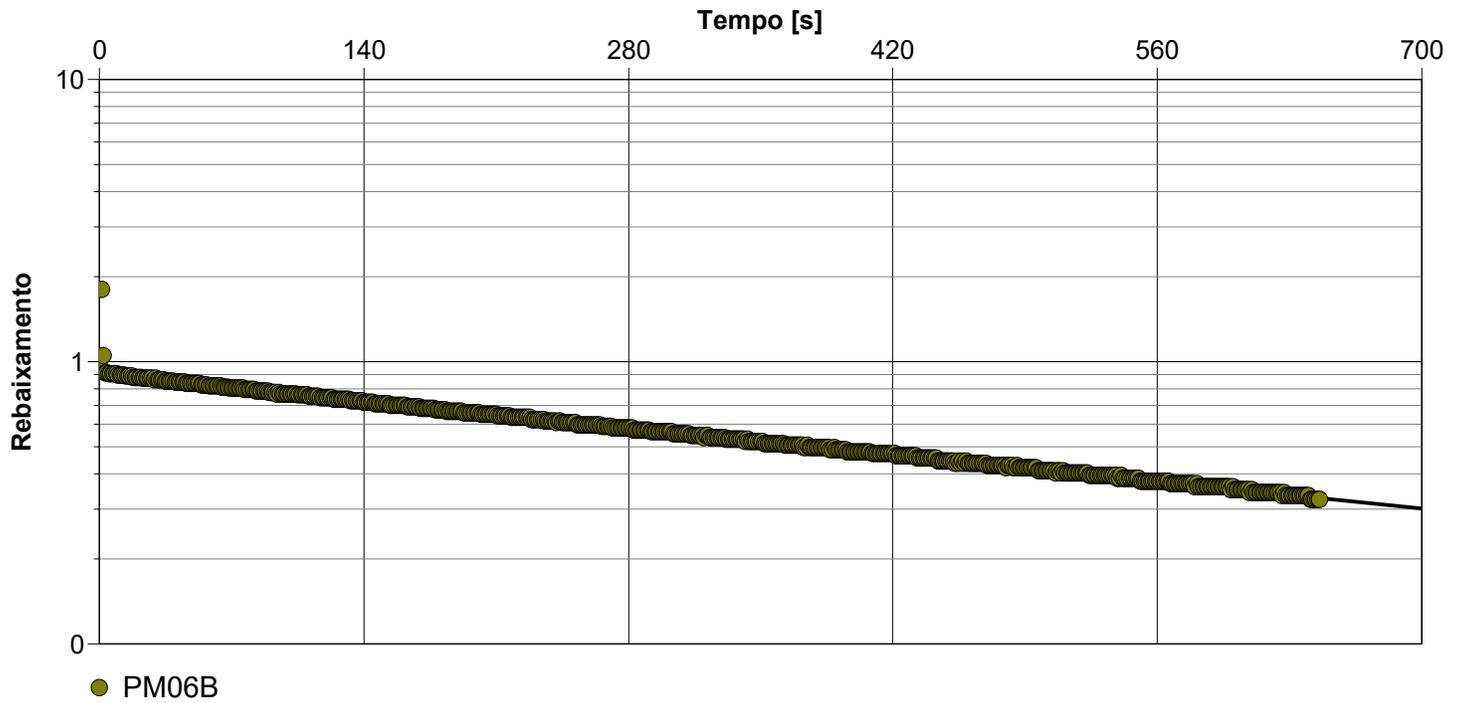
Test Date: 06/09/2016

Analysis Performed by: Mariana Bernardino Luiz

PM06B - HVORSLEV

Analysis Date: 02/01/2017

Aquifer Thickness: 30,00 m



Calculation using Hvorslev

Observation Well

Hydraulic Conductivity
[m/s]

PM06B

$1,87 \times 10^{-6}$



FITOREM

Slug Test Analysis Report

Project: FITOREM

Number: -

Client: -

Location: iTATINGA - SP

Slug Test: PM06C

Test Well: PM06C

Test Conducted by: Mariana Bernardino Luiz

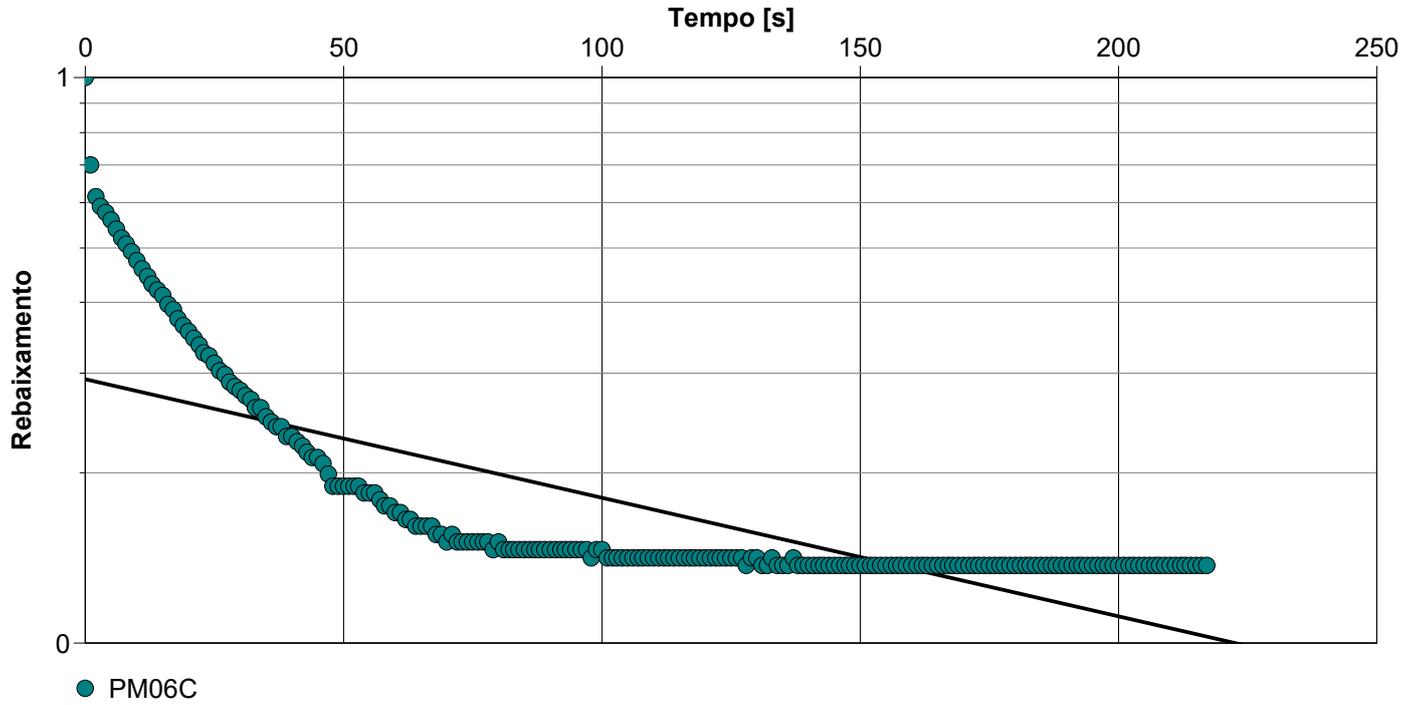
Test Date: 07/09/2016

Analysis Performed by: Mariana Bernardino Luiz

PM06C - HVORSLEV

Analysis Date: 03/01/2017

Aquifer Thickness: 30,00 m



Calculation using Hvorslev

Observation Well

Hydraulic Conductivity
[m/s]

PM06C

$5,76 \times 10^{-6}$



FITOREM

Slug Test Analysis Report

Project: FITOREM

Number: -

Client: -

Location: ITATINGA

Slug Test: PM09

Test Well: PM09

Test Conducted by: Mariana Bernardino Luiz

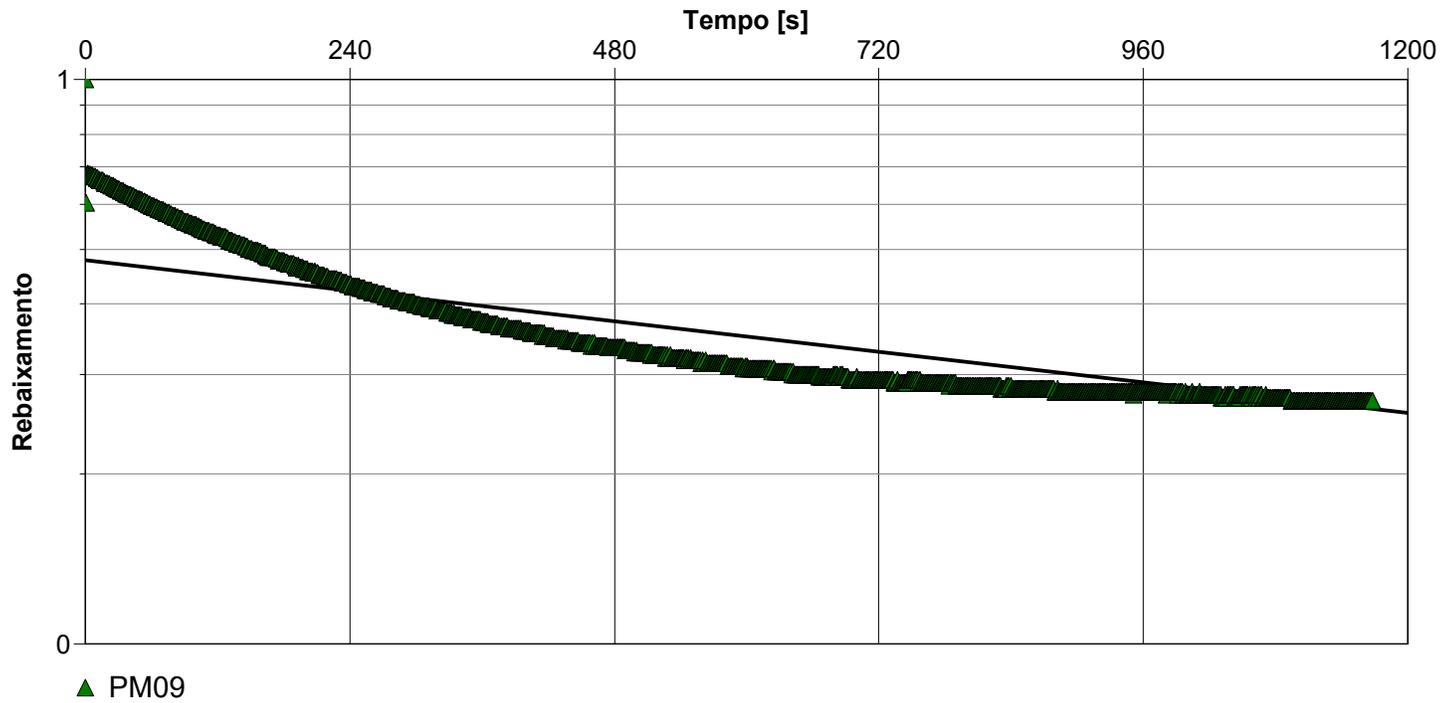
Test Date: 05/09/2016

Analysis Performed by: Mariana Bernardino Luiz

PM09 - HVORSLEV

Analysis Date: 02/01/2017

Aquifer Thickness: 30,00 m



Calculation using Hvorslev

Observation Well

Hydraulic Conductivity
[m/s]

PM09

$6,19 \times 10^{-7}$



FITOREM

Slug Test Analysis Report

Project: FITOREM

Number: -

Client: -

Location: iTATINGA - SP

Slug Test: PM09A

Test Well: PM09A

Test Conducted by: Mariana Bernardino LUiz

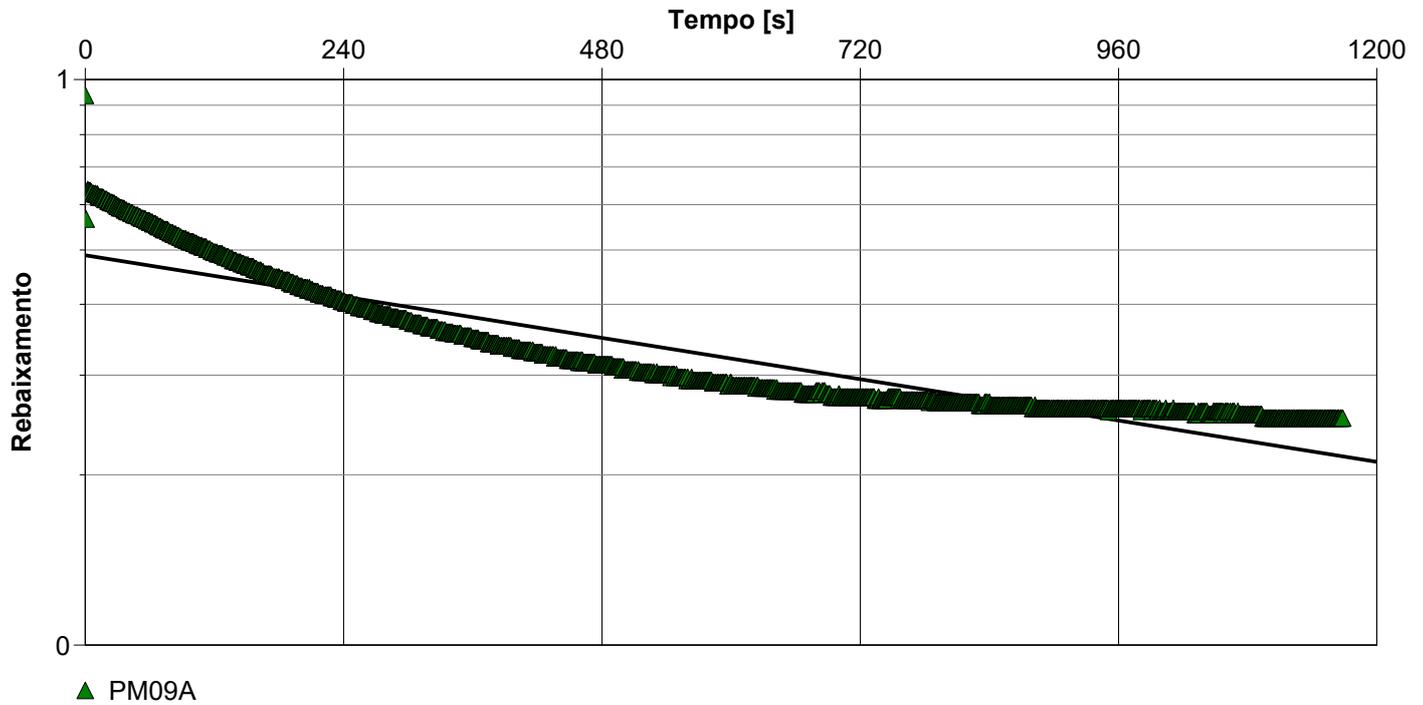
Test Date: 08/09/2016

Analysis Performed by: Mariana Bernardino Luiz

PM09A - HVORSLEV

Analysis Date: 03/01/2017

Aquifer Thickness: 30,00 m



Calculation using Hvorslev

Observation Well	Hydraulic Conductivity [m/s]
PM09A	$8,34 \times 10^{-7}$



FITOREM

Slug Test Analysis Report

Project: FITOREM

Number: -

Client: -

Location: iTATINGA - SP

Slug Test: PM11

Test Well: PM11

Test Conducted by: Mariana Bernardino LUiz

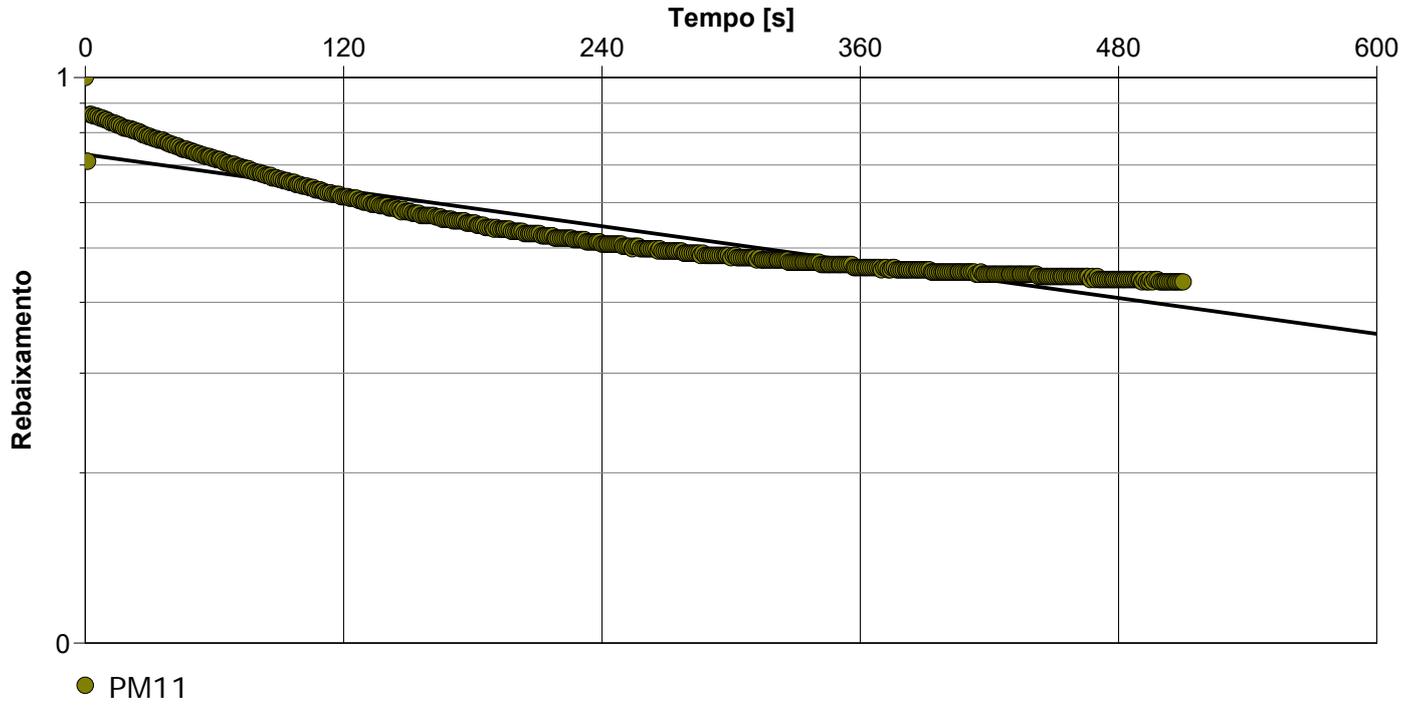
Test Date: 09/09/2016

Analysis Performed by: Mariana Bernardino Luiz

PM11 - HVORSLEV

Analysis Date: 03/01/2017

Aquifer Thickness: 30,00 m



Calculation using Hvorslev

Observation Well	Hydraulic Conductivity [m/s]
PM11	$1,45 \times 10^{-6}$



FITOREM

Slug Test Analysis Report

Project: FITOREM

Number: -

Client: -

Location: iTATINGA - SP

Slug Test: PM14

Test Well: PM14

Test Conducted by: Mariana Bernardino Luiz

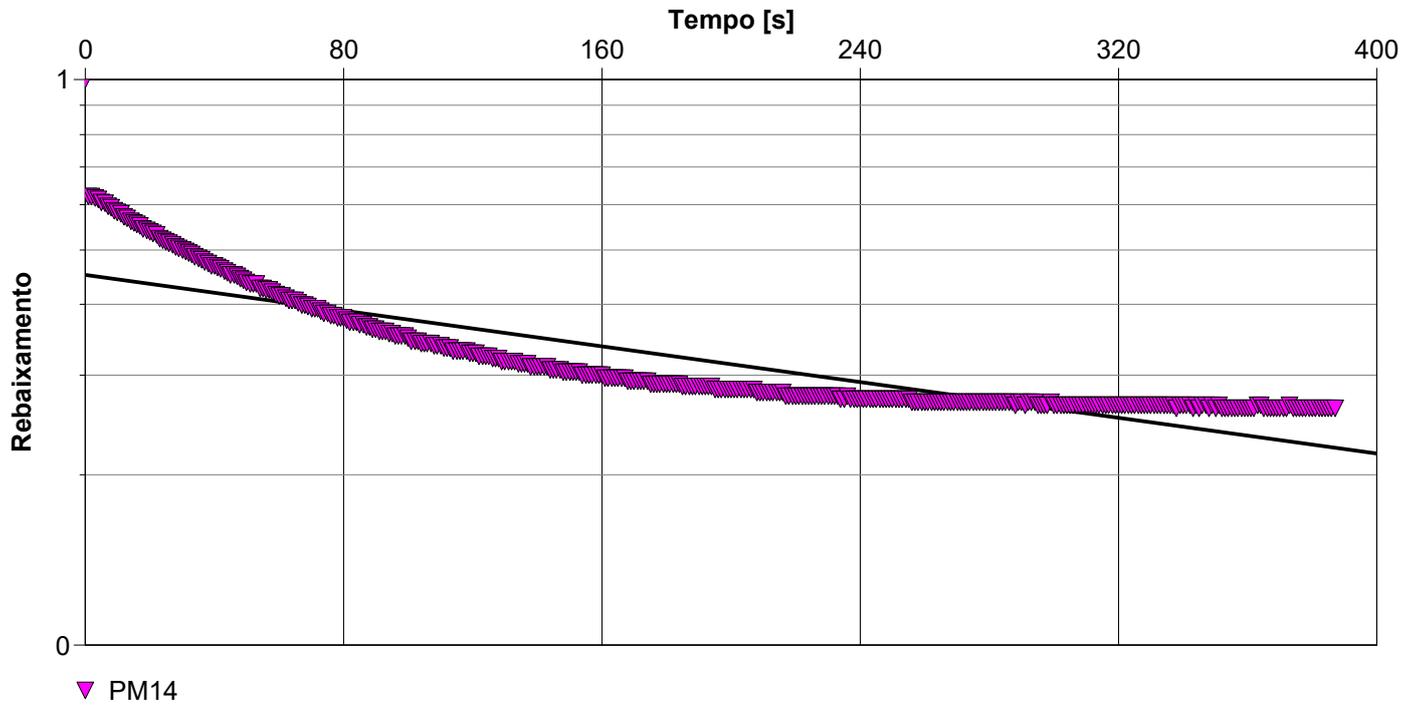
Test Date: 06/09/2016

Analysis Performed by: Mariana Bernardino Luiz

PM14 - HVORSLEV

Analysis Date: 03/01/2017

Aquifer Thickness: 30,00 m



Calculation using Hvorslev

Observation Well	Hydraulic Conductivity [m/s]
PM14	$2,17 \times 10^{-6}$



FITOREM

Slug Test Analysis Report

Project: FITOREM

Number: -

Client: -

Location: iTATINGA - SP

Slug Test: PM14A

Test Well: PM14A

Test Conducted by: Mariana Bernardino Luiz

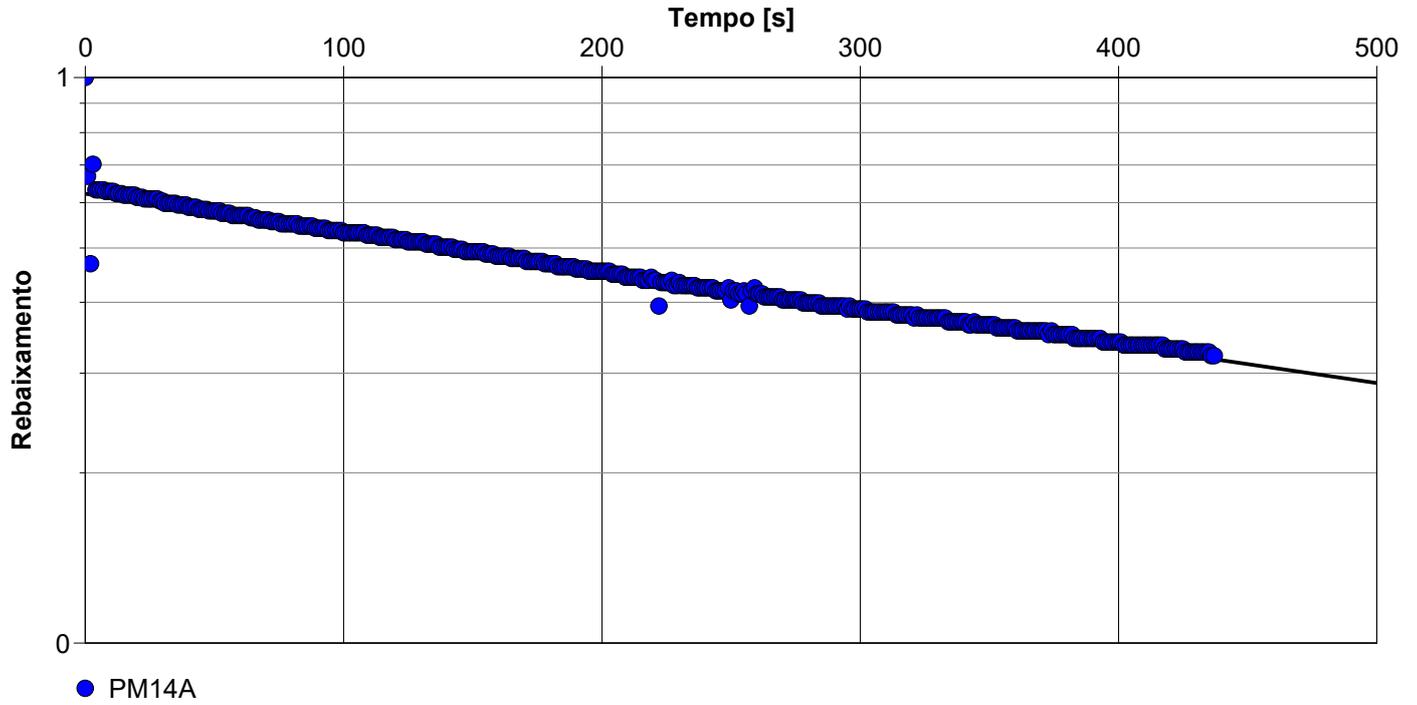
Test Date: 07/09/2016

Analysis Performed by: Mariana Bernardino Luiz

PM14A - HVORSLEV

Analysis Date: 03/01/2017

Aquifer Thickness: 30,00 m



Calculation using Hvorslev

Observation Well

Hydraulic Conductivity
[m/s]

PM14A

$1,84 \times 10^{-6}$



FITOREM

Slug Test Analysis Report

Project: Fitorem

Number: 01

Client: -

Location: Itatinga - SP

Slug Test: PM-15

Test Well: PM-15

Test Conducted by: Mariana Bernardino Luiz

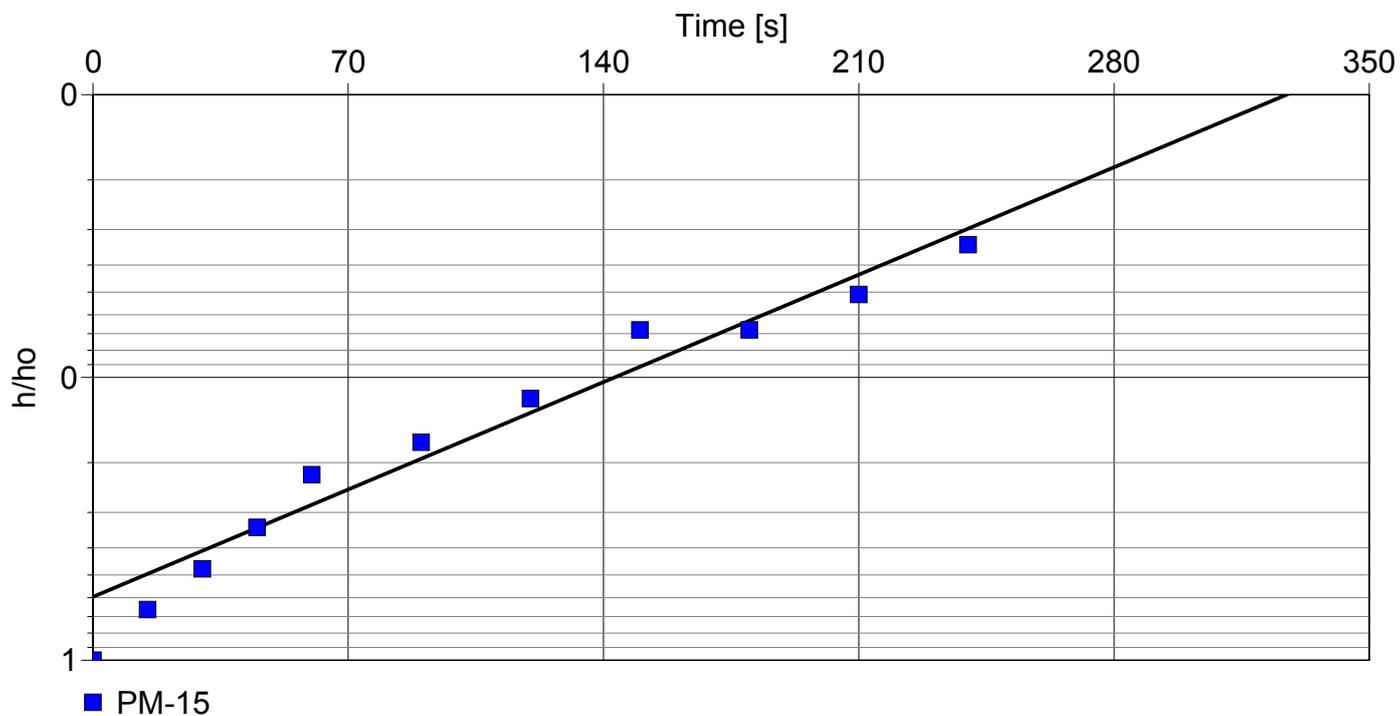
Test Date: 11/05/2015

Analysis Performed by: Mariana Bernardino Luiz

PM-15 - Hvorslev

Analysis Date: 07/03/2016

Aquifer Thickness: 75,00 m



Calculation using Hvorslev

Observation Well

Hydraulic Conductivity
[m/s]

PM-15

$1,49 \times 10^{-5}$



FITOREM

Slug Test Analysis Report

Project: FITOREM

Number: -

Client: -

Location: ITATINGA

Slug Test: PM16

Test Well: PM16

Test Conducted by: Mariana Bernardino Luiz

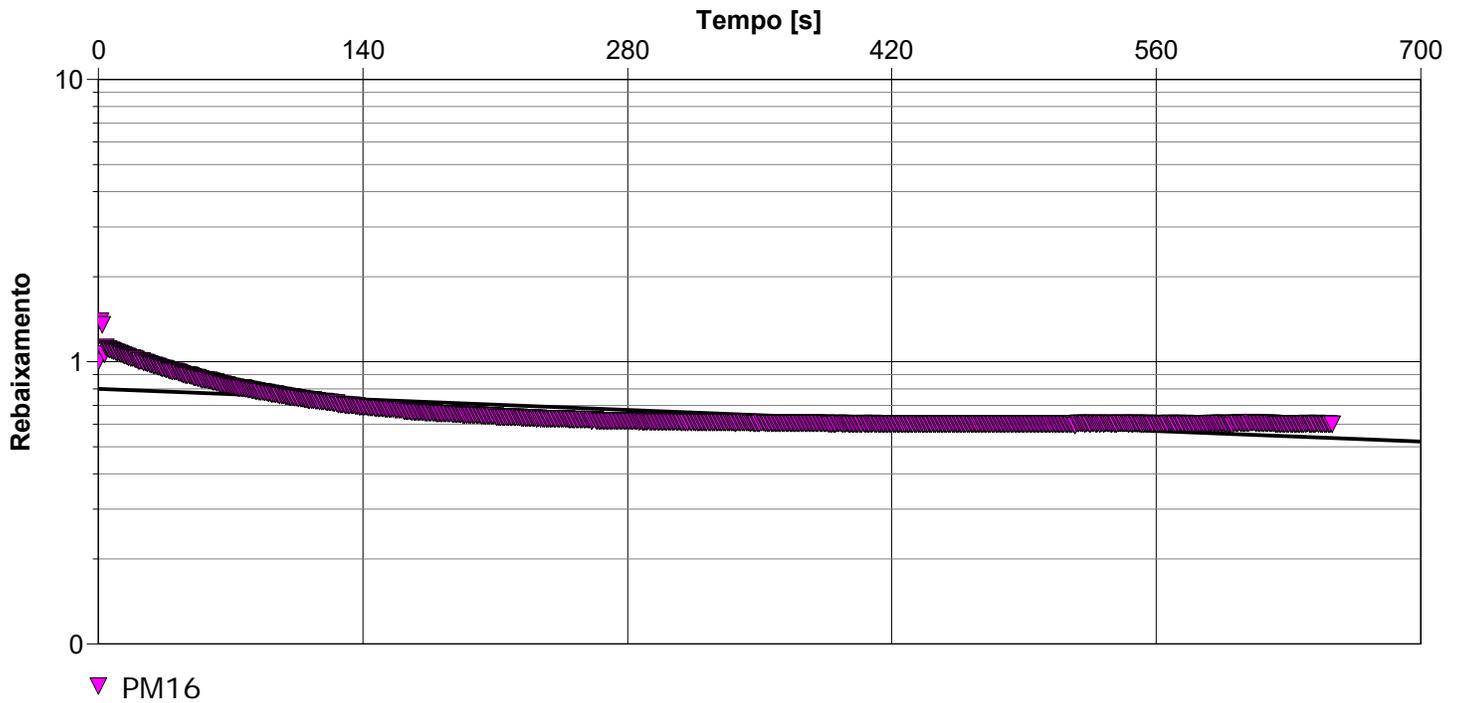
Test Date: 05/09/2016

Analysis Performed by: Mariana Bernardino Luiz

PM16 - HVORSLEV

Analysis Date: 02/01/2017

Aquifer Thickness: 30,00 m



Calculation using Hvorslev

Observation Well	Hydraulic Conductivity [m/s]
PM16	$7,37 \times 10^{-7}$