

# **RELATÓRIO DE ESTUDO HIDROGEOLÓGICO E IMPLANTAÇÃO DE POÇOS DE MONITORAMENTO**

**Execução:**

**marcostrojan**  
geologia e engenharia  
meio ambiente subterrâneo e geomorfológico



**Contratante:**

**ITAPOÁ TERMINAIS PORTUÁRIOS S.A.**  
Avenida Beira Mar 05, nº 2.900  
Bairro Figueira do Pontal  
Itapoá / Santa Catarina

**Itapoá – Março/2013**

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	3
2. OBJETIVO	3
3. IDENTIFICAÇÃO E LOCALIZAÇÃO DA EMPRESA	3
4. ASPECTOS DA FISIOGRAFIA REGIONAL	4
4.1. Geomorfologia	5
4.2. Clima	6
4.3. Geologia	7
4.4. Hidrografia	9
4.5. Hidrogeologia	10
5. METODOLOGIA	12
6. IMPLANTAÇÃO DOS POÇOS	13
6.1. Perfuração	13
6.2. Tubos de Revestimento Interno	14
6.3. Filtro	15
6.4. Pré Filtro	15
6.5. Tampões	16
6.6. Selo	17
6.7. Proteção Sanitária	17
7. POSICIONAMENTO DOS POÇOS	18
8. HIDROGEOLOGIA DA ÁREA	21
9. CONSIDERAÇÕES FINAIS	31
ANEXOS	34

Mapa Hipsométrico Regional

Perfis Litológicos e Construtivos dos Poços Piezométricos

Perfis Litológicos e Construtivos dos Poços de Monitoramento

Mapa Potenciométrico com a Localização dos Poços Piezométricos

Mapa Potenciométrico com a Localização dos Poços de Monitoramento

Mapa Hipsométrico sobre Levantamento Topográfico do Terreno

ART

## **1. INTRODUÇÃO**

A empresa Itapoá Terminais Portuários S.A. busca atender todas as possíveis exigências ambientais legais, assim como atingir a sustentabilidade de sua atividade. Desta forma, contratou o presente estudo do meio ambiente subterrâneo e a implantação de poços de monitoramento da qualidade da água subterrânea, possibilitando avaliar o ambiente que atualmente ocupa, assim como o ambiente da ampliação que está projetando ocupar no futuro.

Estudos do meio ambiente subterrâneo foram realizados conforme norma ABNT NBR 15492 que trata de procedimentos, técnicas e equipamentos de sondagem de reconhecimento para fins de qualidade ambiental. A partir das informações levantadas foi aplicada metodologia contida na Norma ABNT NBR 15495-1 que trata de poços de monitoramento de água subterrânea em aquíferos granulares, Parte 1: Projeto e Construção; e Norma ABNT NBR 15495-2 que trata de poços de monitoramento de água subterrânea em aquíferos granulares, Parte 2: Desenvolvimento.

## **2. OBJETIVO**

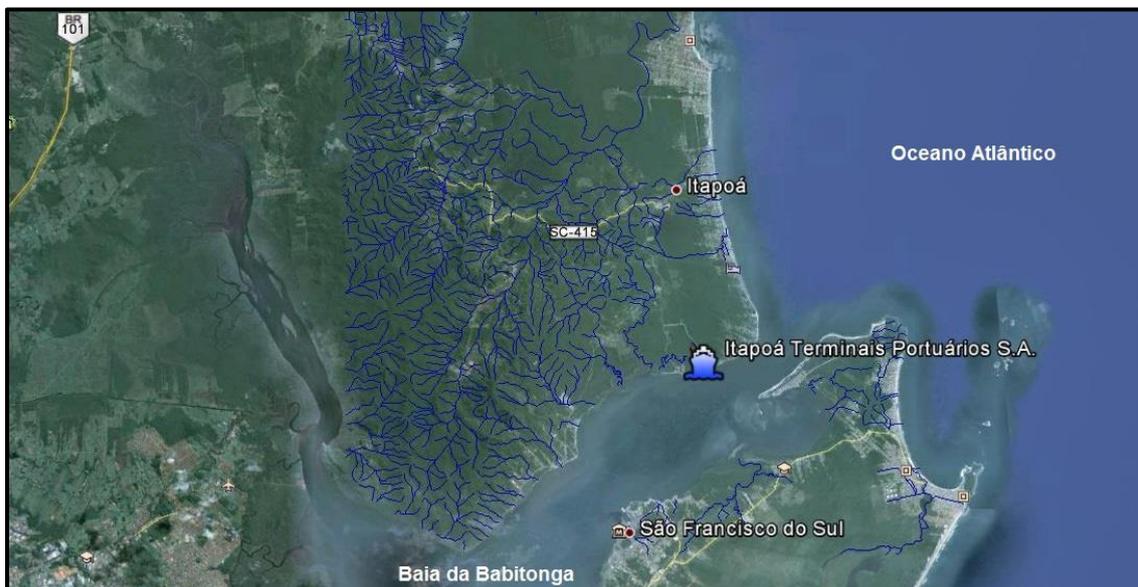
O presente estudo hidrogeológico acompanhado pela implantação de poços de monitoramento da qualidade da água subterrânea do aquífero poroso tem por objetivo esclarecer tecnicamente a situação do meio ambiente subterrâneo, considerando a interferência do empreendimento no ambiente em que está ocupando, assim como no ambiente a ser ocupado na ampliação.

## **3. IDENTIFICAÇÃO E LOCALIZAÇÃO DA EMPRESA**

O empreendimento ITAPOÁ TERMINAIS PORTUÁRIOS S.A., pessoa jurídica de direito privado devidamente inscrito no CNPJ sob o nº 01.317.277/0001-05, tem por nome fantasia a denominação de Porto de Itapoá, estando estabelecido na Avenida Beira Mar 05, 2.900, Bairro Figueira do Pontal, município de Itapoá, Santa Catarina, conforme observado na figura 01. O acesso terrestre ao Porto de Itapoá é feito pela rodovia BR 101 seguido pela SC 415.

A Baía da Babitonga permite o acesso marítimo ao empreendimento. Está estrategicamente localizada entre as regiões de maior movimentação econômica do Brasil – o Sul e o Sudeste – e alguns dos principais mercados da América do Sul.

**Figura 01** – Localização do empreendimento lançada sobre imagem Google Earth.



FONTE: GOOGLE EARTH

O Porto Itapoá nasceu da ideia do Conglomerado Battistella de implantar um terminal portuário que atendesse não apenas a demanda de exportação das suas empresas, como também pudesse atender a demanda da indústria do Estado de Santa Catarina, contribuindo com o desenvolvimento da região que é historicamente carente de infraestrutura portuária. Posteriormente a Aliança Navegação e Logística (Hamburg Süd) juntou-se ao projeto que passou a contar com o apoio do Governo do Estado de Santa Catarina na infraestrutura para a melhoria do acesso rodoviário (SC-415) e o fornecimento de energia, com a construção de uma linha de transmissão de 138KV até Itapoá.

O terminal portuário em Itapoá, um dos primeiros construídos pela iniciativa privada, iniciou operação em 2011, possuindo projeto de ampliação para ser instalado num futuro próximo.

#### **4. ASPECTOS DA FIOGRAFIA REGIONAL**

O terreno está inserido no domínio do Complexo Hídrico da Baía da Babitonga, conforme pode ser observado na figura 02.

**Figura 02** – Localização da área no domínio do Complexo Hídrico Baía da Babitonga lançada sobre a folha de São Francisco do Sul do IBGE, escala original 1:50.000.



FONTE: FOLHA DE SÃO FRANCISCO DO SUL DO IBGE, ESCALA 1:50.000 – 1981.

#### 4.1. Geomorfologia

A área em estudo está localizada numa pequena porção de planície costeira (Figura 03), compreendendo micro bacias hidrográficas. Um pequeno córrego, denominado Rio Pequeno, cruza a área do empreendimento e possui sua foz junto à foz do Córrego Jaguaruna, sendo que ambos desaguam suas águas na Baía da Babitonga, originando um manguezal no estuário.

A origem morfoestrutural desta planície está relacionada à separação continental América do Sul / África, quando ocorreram intensos e extensos movimentos epirogenéticos associados ao magmatismo do período Mesozoico. Antigas falhas de orientação NE-SW foram reativadas originando grabens e horsts ao longo do limite oriental do continente sul americano (Almeida, 1976).

Durante este período, as regiões que sofreram subsidência foram preenchidas por sedimentos erodidos das porções de maior amplitude, assim como por sedimentos eólicos e marinhos, originando um conjunto de bacias

sedimentares, denominado por Almeida, 1976, por Sistema de Rifts da Serra do Mar.

**Figura 03** – Detalhe do Mapa Hipsométrico (em anexo) demonstrando a situação geomorfológica da área ocupada juntamente com a ampliação.



#### 4.2. Clima

O Estado de Santa Catarina apresenta um clima do tipo subtropical mesotérmico úmido, caracterizado pela ausência de uma estação seca. As temperaturas médias anuais estão por volta de 21° C, com média de 25° C em Janeiro e 16° C em Julho.

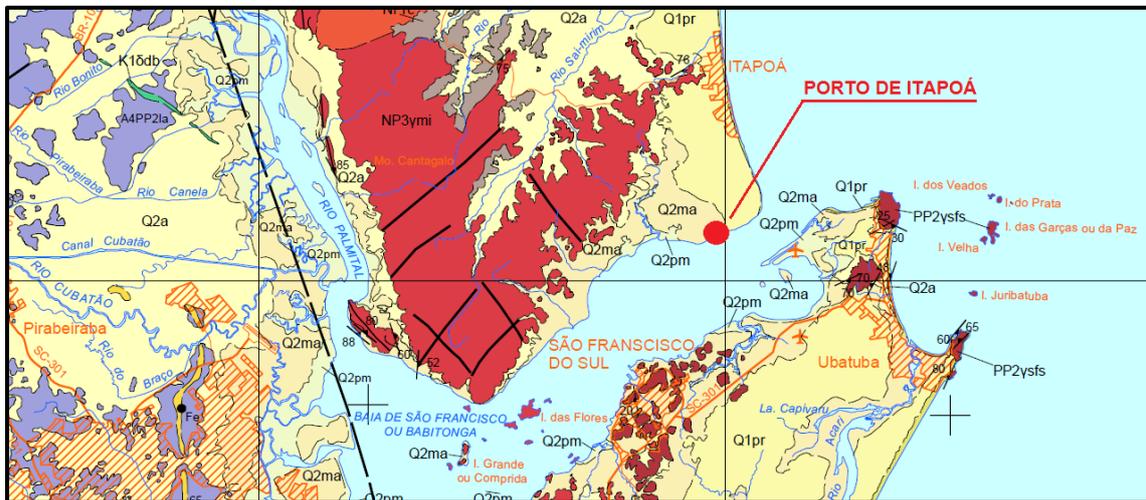
Segundo BARBOSA (2009), a precipitação média anual da região nordeste do Estado de Santa Catarina varia entre 1.500 a 2.000 mm, sendo que as chuvas são concentradas nos meses de Setembro a Novembro, com pequena concentração nos meses de Junho a Agosto, mas sem uma estação seca definida. Ainda BARBOSA (2009), “mesmo com uma significativa redução da quantidade de precipitação nos meses de inverno, a região apresenta os maiores índices de precipitação do estado”.

Tais características climáticas favorecem a atuação do intemperismo químico, o qual acelera a desagregação das rochas gerando espessos horizontes de regolito, sendo igualmente favorecido o intemperismo mecânico (erosão) pelos agentes meteóricos (fortes chuvas) e pela geomorfologia (morros intemperizados quimicamente).

### 4.3. Geologia

Na figura 04 pode ser visualizada a situação do terreno do empreendimento em relação à geologia regional.

**Figura 04** – Situação do empreendimento em relação à geologia regional.



FONTE: SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL – CPRM – ESCALA 1:250.000 – 2011.

A geologia do terreno e entorno é descrita pelo Serviço Geológico do Brasil conforme figura 05.

**Figura 05 – Principais formações geológicas indicadas no Mapa Geológico do Serviço Geológico do Brasil.**

<b>CENOZOICO (Quaternário: 2,6 milhões de anos a atual)</b>	
Q2pr	<b>Depósitos Praiais Atuais:</b> areias quartzosas finas a médias, bem selecionadas, de cores claras de praias atuais.
Q1pr	<b>Depósitos Praiais Antigos:</b> areias quartzosas finas a médias, bem selecionadas, cores claras, creme a amareladas, eventualmente com concentrações de minerais pesados (magnetita, ilmenita). Sedimentos depositados para além das praias atuais e terraços.
Q2a	<b>Depósitos Aluvionares:</b> areia grossa a fina, cascalho e sedimento siltico-argiloso, em calhas de rios e planícies de inundação.
Q2pm	<b>Depósitos de Pântanos e Mangues:</b> sedimentos argilo-arenosos, mal selecionados, ricos em matéria orgânica, depositados em ambientes sob influência de marés com pouca energia.
Q2ma	<b>Depósitos de Planície de Maré arenosos:</b> areias quartzosas e siltico-argilosas mal selecionadas, cores cinza a creme, ricas em matéria orgânica, retrabalhadas pela ação das marés acima do nível dos mangues atuais.
Q1c	<b>Depósitos Colúvio-Eluvionares:</b> depósitos de encostas de morros e eluvionares recentes com grande variação granulométrica e estratificação incipiente ou ausente. Pedimentos.
<b>PALEOZOICO (Cambriano: aprox. 640 a 620 milhões de anos)</b>	
NP3γmi	<b>Suíte Morro Inglês:</b> granitóides leucocráticos, cinza, granulação média a grossa, porfíricas, foliadas (fluxo), megacristais orientados de K-feldspatos (2-10cm) e plagioclásio, quartzo, hornblenda (±)biotita. Enclaves máficos esféricos a angulosos, dioríticos a anfibolíticos, granulação fina isotropa são comuns. <b>640 - 620Ma U-Pb zircão (TIMS).</b>
<b>PROTEROZOICO (aprox. 2,6 bilhões de anos)</b>	
PP2γsfs	<b>Complexo São Francisco do Sul:</b> Gnaisses compostos por dioritos, quartzo monzodioritos, granodioritos, trondhjemitos e monzogranitos, localmente com feições de migmatização.

A participação do ambiente marinho na evolução geológica da região é evidenciada por horizontes de areia com granulometria bem selecionada e grãos arredondados, alternando-se por horizontes de areia argilosa a argila siltosa.

A área em questão está inserida na sua totalidade sobre sedimentos do período quaternário. Compreende uma porção da planície litorânea composta por um antigo ambiente marinho que sofreu soerguimento devido a fatores da dinâmica costeira, que tanto podem estar ligados à descida do nível do mar propriamente dito, como pelo acúmulo de sedimentos na forma de barreiras transgressivas.

### **4.3.1. Geologia Local**

A geologia local é pouco diversificada no que diz respeito ao número de unidades, restringindo-se a sedimentos inconsolidados de ambiente marinho, lagunar e estuarino com influência da maré.

A evolução do ambiente subterrâneo do local está relacionada a depósitos de sedimentos arenosos com diferentes teores de argila e silte, possuindo alguns horizontes ricos em matéria orgânica. A complexidade dos depósitos sedimentares inconsolidados nesta porção da planície costeira está relacionada à localização da área do empreendimento junto ao canal de maré do ambiente mixohalino da baía da Babitonga

Nos perfis de sondagem em anexo, pode ser observada a diferenciação dos horizontes sedimentares que compõem a planície, ocorrendo a presença de elevado teor de matéria orgânica, sendo que em dois pontos foi diagnosticada turfa.

A sequência de sedimentos demonstra a influência da maré e das ondas na deposição destes sedimentos diferenciados, possivelmente indicando ambiente de ilhas barreiras associado na porção da planície que se estende em direção ao mar.

### **4.4. Hidrografia**

A hidrografia da região é composta por pequenos córregos, entre eles, o Córrego Pequeno que cruza a área de interesse. O rio ou córrego Pequeno, juntamente com o Córrego Jaguaruna, desagua suas águas na Baía da Babitonga, onde forma uma área de mangue dentro do estuário.

Os córregos desta porção da planície tem sua origem nas elevações compostas pelas rochas Paleozoicas, ou ao longo da planície litorânea, mas sempre escoando suas águas paralelamente à linha de praia. Este aspecto confirma a evolução da planície a partir de ilhas barreira. As barreiras transgressivas ou regressivas formam ambientes lagunares no reverso do cordão arenoso, local onde o nível hidrostático aflora em superfície devido à pressão hidrostática que o aquífero livre sofre neste limite continental. Através deste ambiente ocorre o escoamento de águas pluviais até a completa colmatação do ambiente lagunar, o que resulta em pequenas calhas fluviais para escoar as águas superficiais.

#### **4.5. Hidrogeologia**

Conceitualmente, um aquífero é uma formação geológica com suficiente permeabilidade e porosidade interconectada para armazenar e transmitir quantidades significativas de água, sob gradientes naturais (CLEARY, 1989).

Nesta região existem basicamente dois tipos de aquíferos: porosos e fraturados. Os aquíferos fraturados, que normalmente sofrem pressões superiores à atmosférica, são contornados por materiais relativamente impermeáveis, e recebem a recarga através da lenta transferência das formações rochosas e sedimentos sobrepostos. A superfície que traduz o nível superior de seus reservatórios é denominada nível piezométrico.

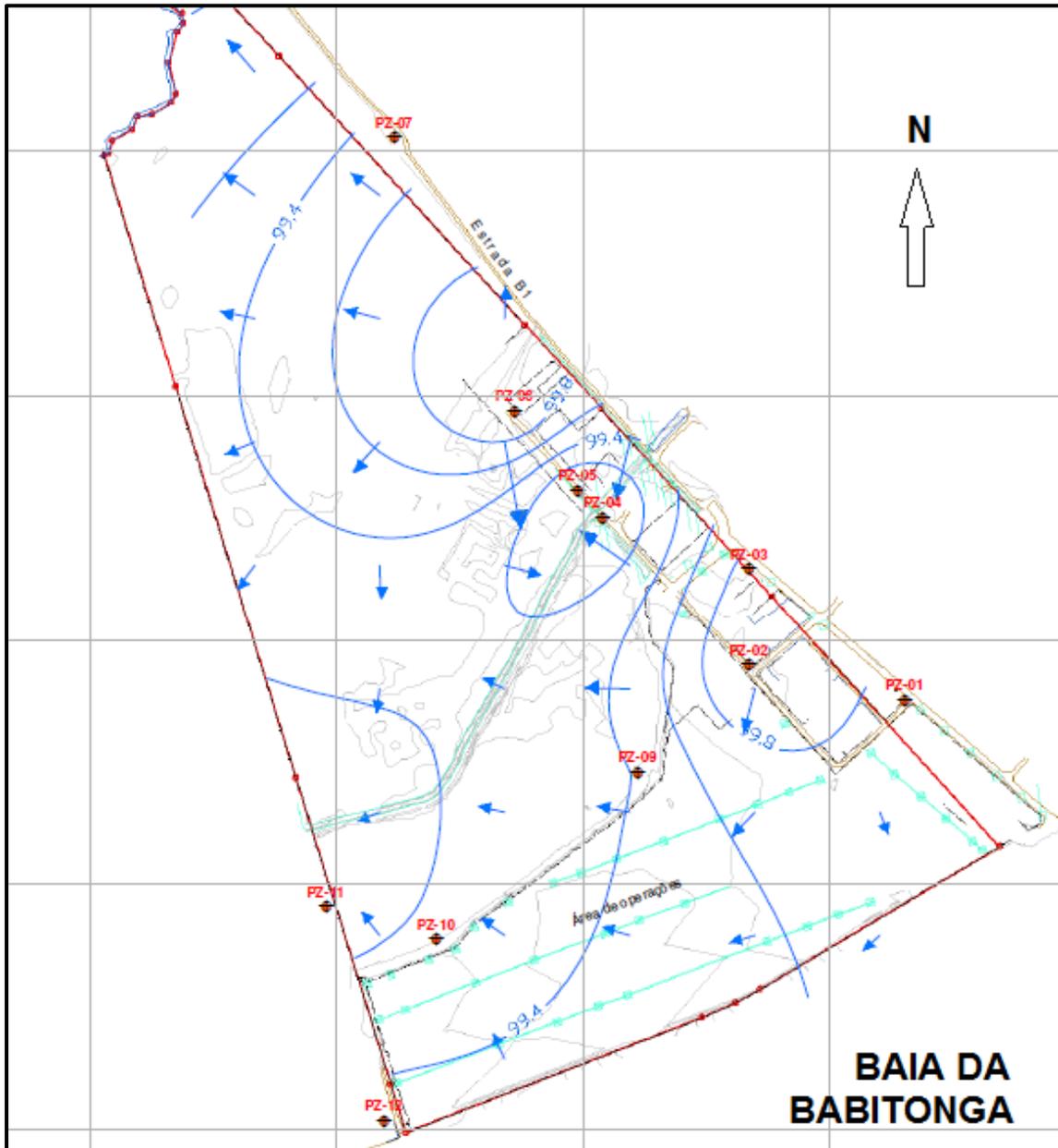
Os aquíferos porosos possuem uma superfície freática, que normalmente está em contato direto com a pressão do ar atmosférico. Por isso ao longo da superfície freática, a pressão considerada é a atmosférica. A movimentação vertical desta superfície possui influência direta da pluviosidade, da condutividade hidráulica, do gradiente hidráulico e da cobertura vegetal.

A área em estudo, praticamente inserida na sua totalidade sobre sedimentos inconsolidados do período quaternário, compreende uma porção da planície litorânea composta por um antigo ambiente marinho que sofreu soerguimento devido à regressão marinha, tendo sido colmatado por sedimentos continentais sobre cordões arenosos.

A presença de sedimentos arenosos e com diferentes teores de argila e silte, além do elevado teor de matéria orgânica em alguns horizontes, amplia a anisotropia do pacote sedimentar. Onde, teoricamente, seria um ambiente homogêneo com a mesma permeabilidade ao longo das 3 dimensões do pacote, há descontinuidades granulométricas, de pressão hidrostática e até mesmo de orientação dos grãos, facilitando o fluxo da água subterrânea numa direção e dificultando em outra.

No entanto, mesmo em meio anisotrópico, há um comportamento preferencial do fluxo da água subterrânea na direção Sudoeste (SW), conforme pode ser observado no detalhe do mapa potenciométrico da Figura 07, salientando que o mapa potenciométrico completo está em anexo.

**Figura 07** – Detalhe do Mapa Potenciométrico demonstrando o direcionamento preferencial do fluxo subterrâneo para SW (Sudoeste), acompanhando o direcionamento do fluxo superficial do Rio Pequeno.



Importante salientar que o Mapa Potenciométrico representado na Figura 07 foi elaborado a partir de medições realizadas em Novembro/2012, quando foram realizadas sondagens com trado mecanizado para subsidiar a locação dos poços de monitoramento da qualidade da água subterrânea.

## 5. METODOLOGIA

O levantamento hidrogeológico teve início com a revisão bibliográfica de trabalhos existentes da região em que está situado o terreno. Foi realizada visita de reconhecimento ao terreno e entorno, sendo planejadas e executadas sondagens com a finalidade de avaliação do meio ambiente subterrâneo, conforme norma ABNT NBR 15492 que trata de procedimentos, técnicas e equipamentos de sondagem de reconhecimento para fins de qualidade ambiental.

Os furos de sondagem foram revestidos para não ocorrer o solapamento e obstrução, sendo que foram realizadas medidas de nível potenciométrico e o posicionamento espacial dos poços, utilizando um GPS de navegação Garmin, modelo Legend Etrex, e um nível ótico. Deve ser salientado que a preocupação neste georreferenciamento reside na precisão que é medida a altitude da boca da perfuração, pois esta medida referencia a elaboração do mapa potenciométrico juntamente com os níveis da água dentro do poço. A importância do georreferenciamento horizontal está associada à localização do poço, o que não necessita de uma precisão na escala de milímetros.

A partir da elaboração do mapa potenciométrico do terreno, considerando a estratigrafia sedimentar da planície e as atividades realizadas no empreendimento, foi possível sugerir ao empreendedor a localização e implantação de novos poços de monitoramento da qualidade da água subterrânea em locais diferenciados. Foram projetados e implantados cinco poços de monitoramento da qualidade da água subterrânea, conforme ABNT NBR 15495-1:2007 e ABNT NBR 15495-2:2008, que tratam do projeto, construção e desenvolvimento de poços de monitoramento de águas subterrâneas em aquíferos granulares.

Necessário salientar que está prevista a implantação de 06 poços de monitoramento da qualidade da água subterrânea, mas devido ao difícil acesso em meio à mata e a um dos pontos sugeridos ser vulnerável a alagamento durante os períodos de chuva, foi definido neste momento 01 poço à montante e 04 poços à jusante do empreendimento. O poço definido para monitorar o limite Oeste (W), na porção mais central do terreno, será implantado quando houver infraestrutura que dê suporte à sua operação, pois de outra forma o poço ali instalado não fornecerá amostra de água subterrânea representativa.

Para confirmar as condutividades hidráulicas nos pontos onde estão implantados os poços de monitoramento da qualidade da água subterrânea foram realizados ensaios de condutividade, tipo Slug Test Analysis, utilizando o Levelogger LTC F100/M30 da Solinst e um volume sólido de 01 litro. Posteriormente foi utilizado o software AQTESOLV para o cálculo da condutividade hidráulica pelo método Bouwer-Rice ao longo dos poços PM01, PM02, PM03 PM04 e PM05.

## **6. IMPLANTAÇÃO DOS POÇOS**

Conforme preconiza a Norma ABNT NBR 15495-1: 2007, a caracterização hidrogeológica da área alvo de monitoramento da qualidade da água subterrânea através de um mapa potenciométrico é fundamental para a devida locação dos poços a serem implantados. Assim, conforme salientado anteriormente foi elaborado mapa potenciométrico considerando dados dos estratos sedimentares diagnosticados por sondagens a trado, medidas nos poços provisórios instalados e na configuração geomorfológica regional.

Os poços de monitoramento da qualidade da água subterrânea foram implantados de acordo com as normas, materiais e procedimentos que garantem a obtenção de amostras representativas da qualidade da água subterrânea no local e que permitam diagnosticar alterações na qualidade do ambiente subterrâneo.

Os poços são constituídos basicamente dos seguintes elementos:

- Revestimento interno
- Filtro
- Pré-filtro
- Proteção sanitária
- Tampão
- Sistema de proteção
- Selo
- Preenchimento
- Tampa elevada

### **6.1. Perfuração**

Na perfuração foi utilizando trado mecanizado com diâmetro de 150,0mm (foto 01), o que permitiu a descrição do perfil litológico do material encontrado de

metro em metro ou quando houve variação da composição sedimentar, permitindo ampliar o entendimento do fluxo e suas possíveis variações.



**Foto 01** – Trato mecanizado utilizado na perfuração dos poços de monitoramento.

## 6.2. Tubos de Revestimento Interno

Os tubos de revestimento interno têm a função de proteger a parede do poço ao longo do segmento correspondente à zona de selamento. Com comprimento de 1,0 metro ou 2,0 metros, diâmetro interno de 51 mm e externo de 59,8 mm. Na prevenção de contaminação superficial e de desmoronamentos, servem ainda como elo de sustentação mecânica na base, pois dão continuidade à coluna filtrante do poço em PVC de resina virgem, conforme foto 02.



**Foto 02** – Revestimento com tubo de PVC de resina virgem em continuidade à coluna filtrante.

### 6.3. Filtro

É a parte do revestimento interno (tubo) que permite a passagem da água para o seu interior. Tem a finalidade de impedir a entrada de impurezas sem dificultar a entrada de líquidos. Os filtros utilizados também são de PVC de resina virgem com ranhuras de 0,25 mm. Possuem diâmetro interno de 51 mm e externo de 59,8 mm. As ranhuras estão homogêneas distribuídas ao longo do filtro, sempre seguindo o mesmo eixo longitudinal, distando uma da outra 25,4 mm (foto 03). Os filtros destes poços possuem 2 metros de coluna, atingindo a interface da zona saturada e não saturada. Também são transportados em embalagem que evitam contaminações.



**Foto 03** – Filtros de 2,00 metros de comprimento e ranhuras homogêneas de 0,25 mm rosqueados no revestimento.

### 6.4. Pré Filtro

Ocupa o espaço anular entre o filtro e a parede de perfuração. É constituído por areia lavada composta predominantemente por grãos ou pedriscos de quartzo (inertes e resistentes). A granulometria utilizada para o pré-filtro apresenta diâmetro maior do que a abertura do filtro. Neste caso foi utilizada a areia (foto 04) procedente da empresa Clarifil Rheiss Saneamento Ambiental Ltda., Itajaí – SC, especializada em comércio de pré filtros.



**Foto 04** – Aplicação do pré filtro constituído por areia.

### 6.5. Tampões

As extremidades superiores e inferiores das colunas de revestimento/filtro receberam tampões. No caso da extremidade superior, a penetração de substâncias indesejáveis pode comprometer os resultados de análise, sendo por isso vedada. A extremidade inferior recebe um tampão, conforme foto 05, para impedir o carreamento e suspensão de particulados do pré filtro na água subterrânea no momento da coleta de amostra, além de ajudar no posicionamento e centralização da coluna do poço.



**Foto 05** – Tampão inferior com CAP rosqueável para evitar carreamento de particulados do fundo do poço no momento da coleta.

## 6.6. Selo

É um bloqueador que tem como função vedar o espaço anular em torno do tubo de revestimento interno. Com profundidade variável, é indicada sua utilização a partir do pré filtro, evitando a contaminação do poço por líquidos percolados da superfície. O material vedante utilizado foi argila expansiva ou bentonita (foto 06).



Foto 06 – Instalação do selo de bentonita acima do pré filtro.

## 6.7. Proteção Sanitária

Tem a função de evitar que a água superficial contamine o poço através da infiltração pelo espaço anular. É o conjunto formado pelo selo sanitário (argamassa de cimento da extremidade superior do espaço anular), pelo tubo de proteção, e pelo tampão, conforme foto 07.



Foto 07 – Proteção sanitária com argamassa de cimento e tubo de concreto.

A finalização do poço é realizada com uma tampa de fechamento por pressão (foto 08) e um anel de silicone, impedindo a entrada de água ou particulados através do poço. Desta forma, alterações na qualidade do ambiente subterrâneo que possam ser ocasionadas por ações antrópicas poderão ser diagnosticadas nas amostras de água subterrânea.



**Foto 08** – Poço finalizado com tampa de fechamento por pressão.

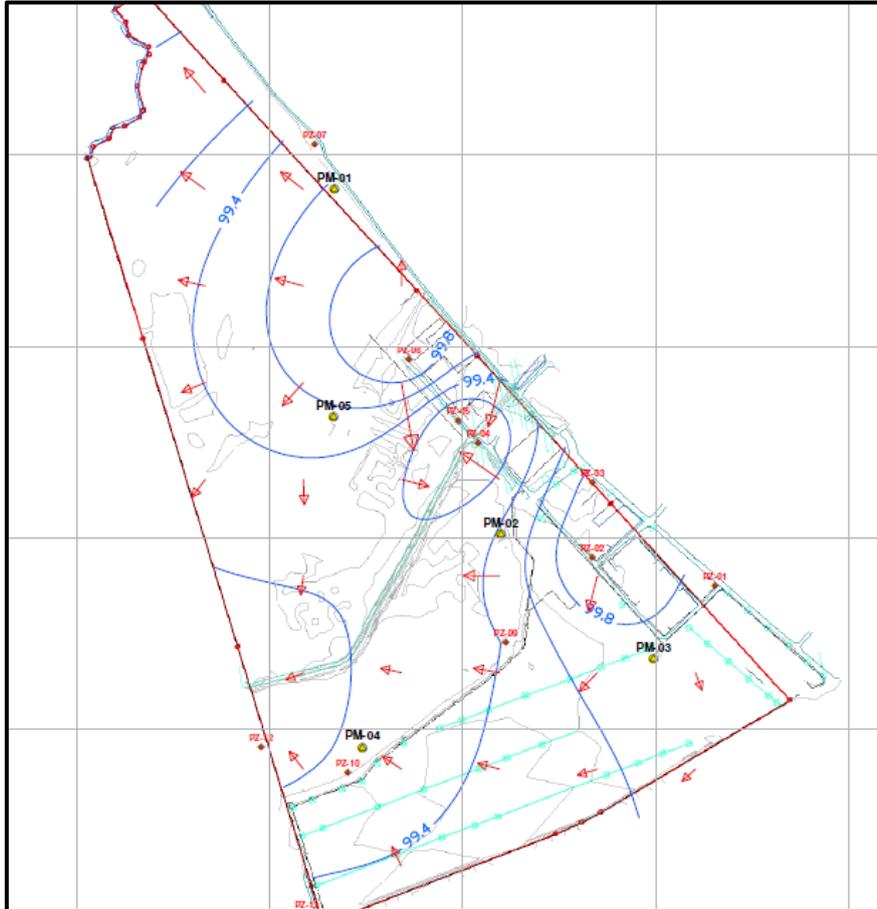
## **7. POSICIONAMENTO DOS POÇOS**

O posicionamento dos poços de monitoramento da qualidade da água subterrânea implantados buscou fornecer amostras de água subterrâneas representativas. Por isso, foram locados a jusante e próximos a equipamentos ou atividades antrópicas potencialmente poluidoras dentro do empreendimento.

Conforme já explanado, a direção preferencial do fluxo da água subterrânea foi determinada considerando medições realizadas em sondagens de investigação do ambiente subterrâneo e na geomorfologia do terreno.

As informações obtidas foram lançadas sobre dados topográficos e de georreferenciamento do terreno e sobre imagem do Google Earth, conforme Figuras 08 e 09.

**Figura 08 – Poços de Monitoramento lançados sobre Mapa Potenciométrico do terreno (Mapa Potenciométrico em anexo).**



**Figura 09 – Mapa Potenciométrico lançado sobre imagem Google Earth.**



Os poços de monitoramento foram assim locados:

**PM01** – Implantado a montante das atividades da área portuária. Este poço se localiza numa área de recarga de água subterrânea do aquífero poroso, sendo que atualmente não sofre a influência do empreendimento. Terá como função fornecer amostras de água subterrânea sem a interferência do empreendimento.

**PM02** – Implantado imediatamente a jusante da portaria e estacionamento de caminhões. Dentro das operações portuárias, o trânsito intenso de caminhões é uma atividade que gera grande vulnerabilidade ao meio ambiente subterrâneo. Neste ponto, qualquer derramamento acidental de hidrocarbonetos a partir dos caminhões de transporte ou outros líquidos perigosos será diagnosticado na análise da água subterrânea.

**PM03** – Implantado dentro do pátio da área de armazenagem. Foi instalado na pista de trânsito, à jusante do pavilhão de manutenção das máquinas e equipamentos e junto aos containers com refrigeração.

**PM04** – Implantado a jusante de toda área do pátio, impermeabilizada e adensada. Poderá diagnosticar vazamentos acidentais que possam ocorrer durante as obras da ampliação, assim como contaminações provenientes da área de armazenagem de containers.

**PM 05** – Poço implantado no centro da área de ampliação que fornecerá o background da qualidade da água subterrânea do local antes da instalação e operação da área de ampliação.

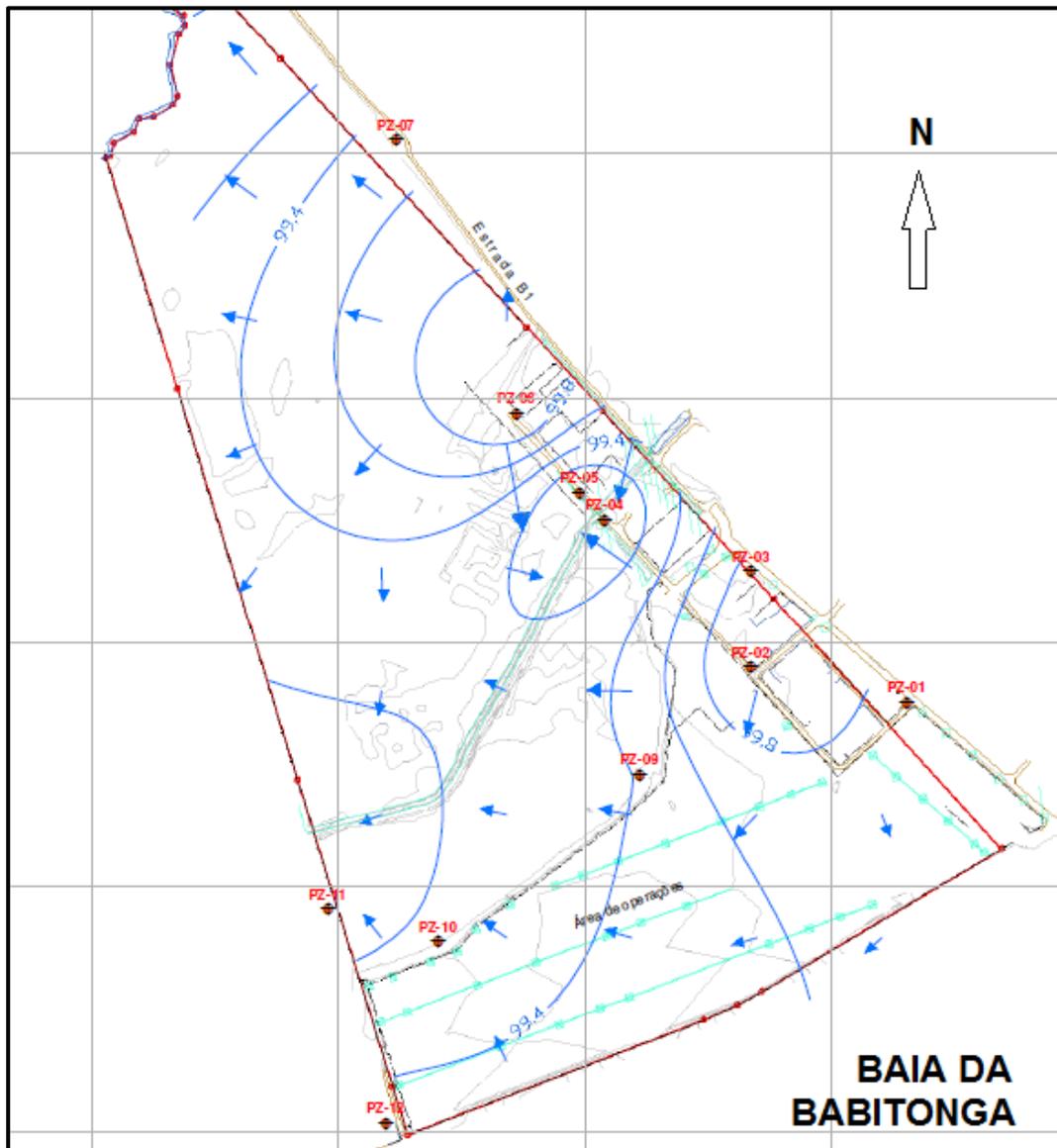
**PM06** – Previsto ser implantado no limite do entorno Sudoeste (SW), porção mais a jusante da área de ampliação. Atualmente não é recomendável sua implantação devido ao terreno ser passível de alagamento durante períodos de chuvas. Aconselhável a implantação após o aterro da ampliação do empreendimento.

## 8. HIDROGEOLOGIA DA ÁREA

A partir da implantação dos poços de monitoramento foi realizada uma descrição do meio ambiente subterrâneo, contemplando a condutividade hidráulica do aquífero poroso.

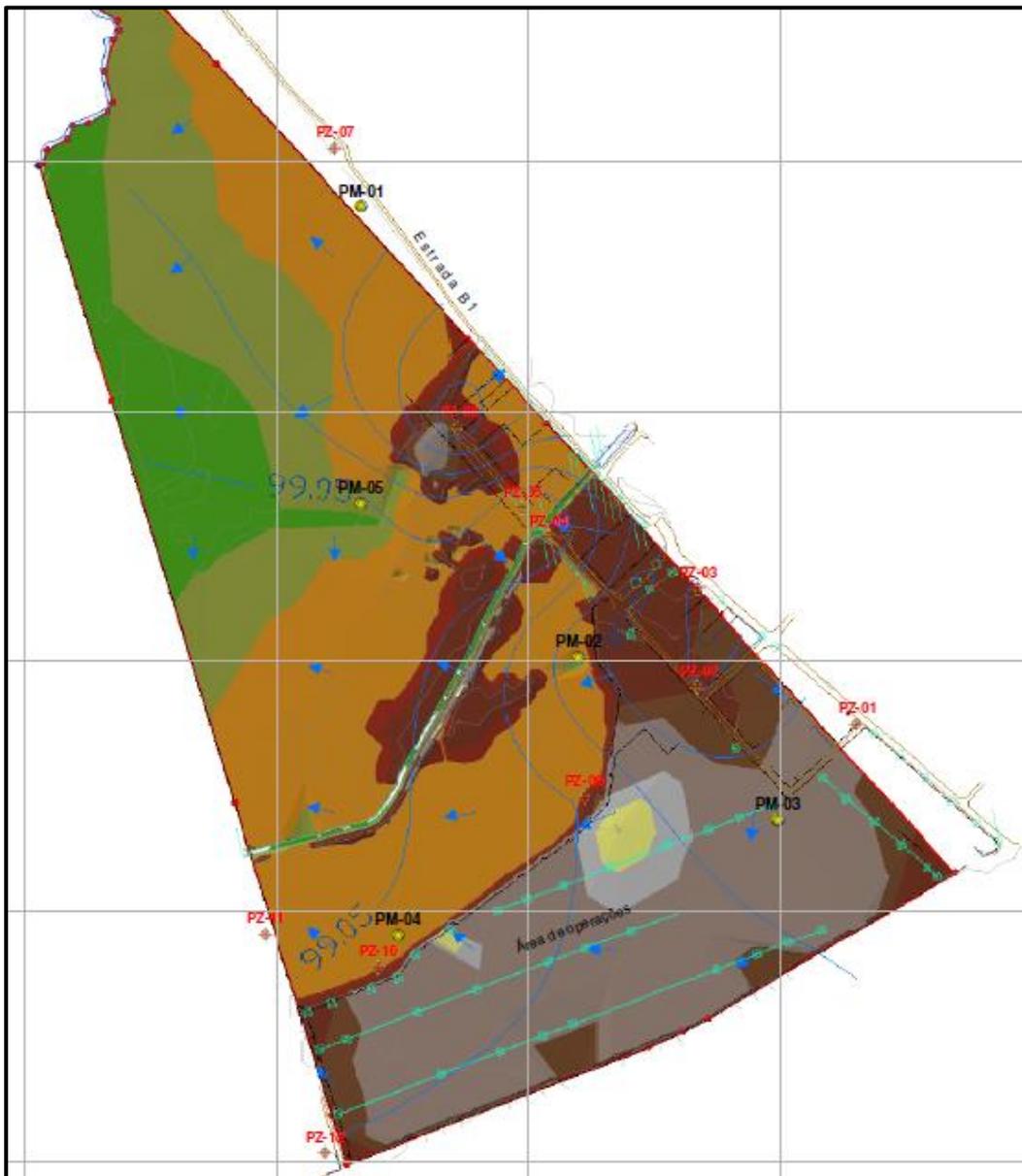
Na figura 10 é observado o Mapa Potenciométrico elaborado a partir dos poços piezométricos implantados, os quais auxiliaram na locação dos poços de monitoramento da qualidade da água subterrânea.

**Figura 10** – Detalhe do Mapa Potenciométrico (em anexo) elaborado em novembro a partir das sondagens para balizar a implantação dos 05 poços de monitoramento da qualidade da água subterrânea.



Posteriormente, em Janeiro/2013, as medições foram ratificadas e foi elaborada outra situação do Mapa Potenciométrico (figura 11), onde pode ser visualizada a potenciometria do terreno sobre hipsometria construída a partir do levantamento topográfico.

**Figura 11** – Detalhe do Mapa Potenciométrico sobre hipsometria elaborada a partir do levantamento topográfico.



Pode ser visualizado que há a confirmação do sentido preferencial do fluxo da água subterrânea na direção Sudeste (SE), acompanhando a topografia do terreno.

As perfurações realizadas demonstraram horizontes sedimentares pouco a muito pouco permeáveis na porção superior. Este aspecto já tinha sido observado durante a vistoria em campo, quando foi diagnosticado solo hidromórfico em algumas porções do terreno.

Além disso, os poços de monitoramento demonstraram o nível da água variando entre 0,20 a 0,60 m de profundidade do nível do solo, sendo que posteriormente aos períodos de chuva, estes níveis apresentam-se mais elevados ainda.

Este fenômeno se deve à baixa altitude do terreno natural, podendo ser observadas altitudes de 2 a 4 metros na Folha do IBGE, sendo este o motivo que vários pontos do terreno desenvolvem solos hidromórficos.

Por tratar-se de uma porção da planície costeira há a ocorrência de uma interface entre a água doce continental e a água salgada marinha. Esta interface recebe a denominação de zona de mescla, podendo variar em profundidade e espessura. Esta banda líquida em equilíbrio hidrodinâmico é mantida pela pressão que o aquífero continental sofre pela água do mar, ao mesmo tempo em que a recarga do aquífero continental pressiona a água salgada. Neste envolvimento de forças há elevação da superfície freática próximo ao mar, sendo que o mapa potenciométrico indica o fluxo da água doce em direção às drenagens no interior do continente ao invés da direção do mar, como seria esperado.

O aquífero poroso continental possui um gradiente muito pequeno, o que pode ser observado no mapa potenciométrico.

Para confirmar estes dados foram realizados ensaios de condutividade, tipo Slug Test Analysis, utilizando o Levellogger LTC F100/M30 da Solinst (foto 09) e um volume sólido de 1,3 litros (foto 10). Posteriormente foi utilizado o software AQTESOLV para o cálculo da condutividade hidráulica pelo método Bouwer-Rice ao longo dos cinco poços de monitoramento implantados. Os resultados demonstrados nas figuras 12, 13, 14, 15 e 16.

Deve ser salientado que a metodologia para o cálculo da condutividade hidráulica considerou o aquífero como não confinado, uma vez que o horizonte superior possui muito baixa permeabilidade, mas não é totalmente confinante e permite a lenta infiltração ao longo do perfil.

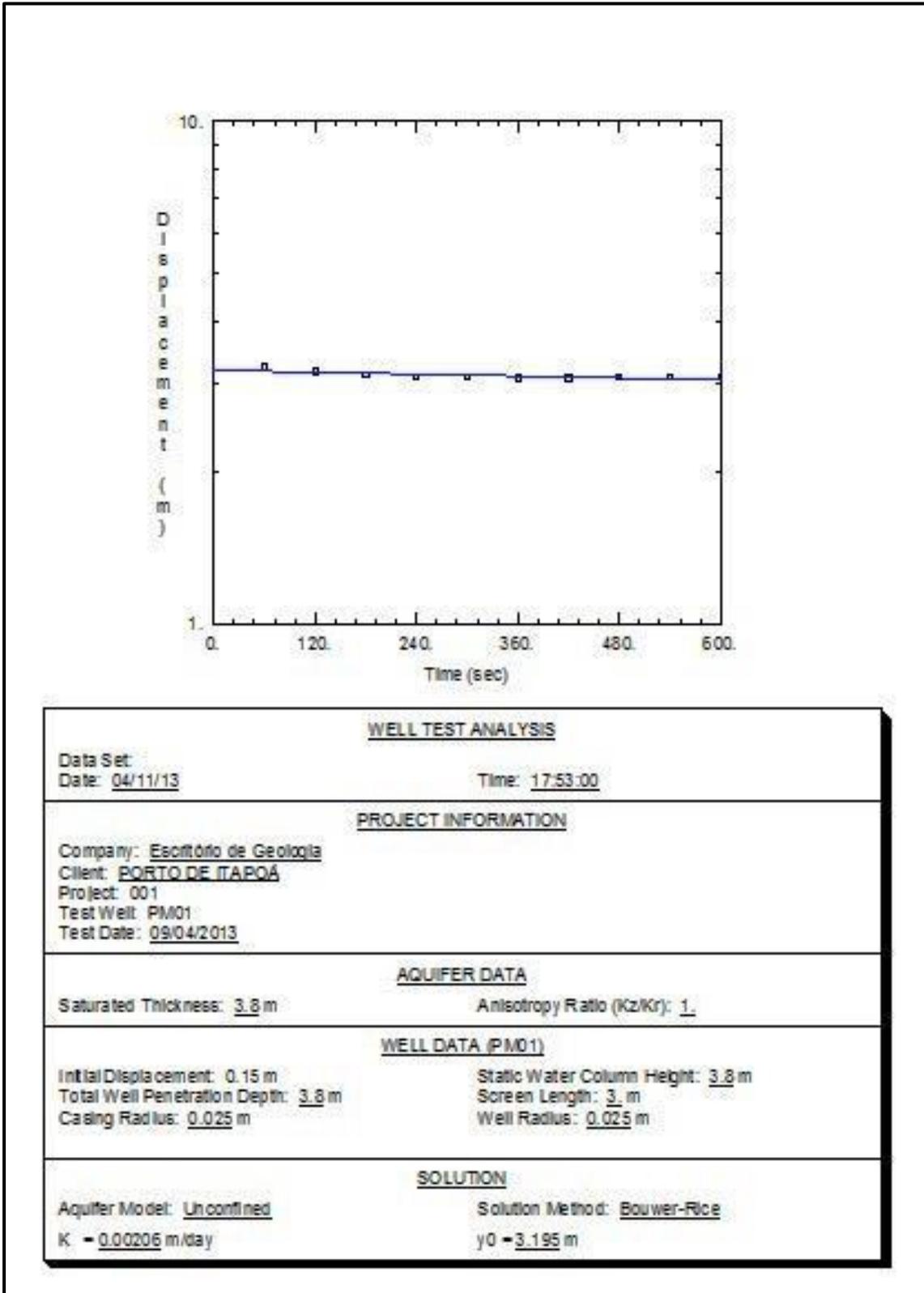


**Foto 09** - Levellogger LTC F100/M30 da Solinst, obtendo medições de profundidade, temperatura e condutividade elétrica.

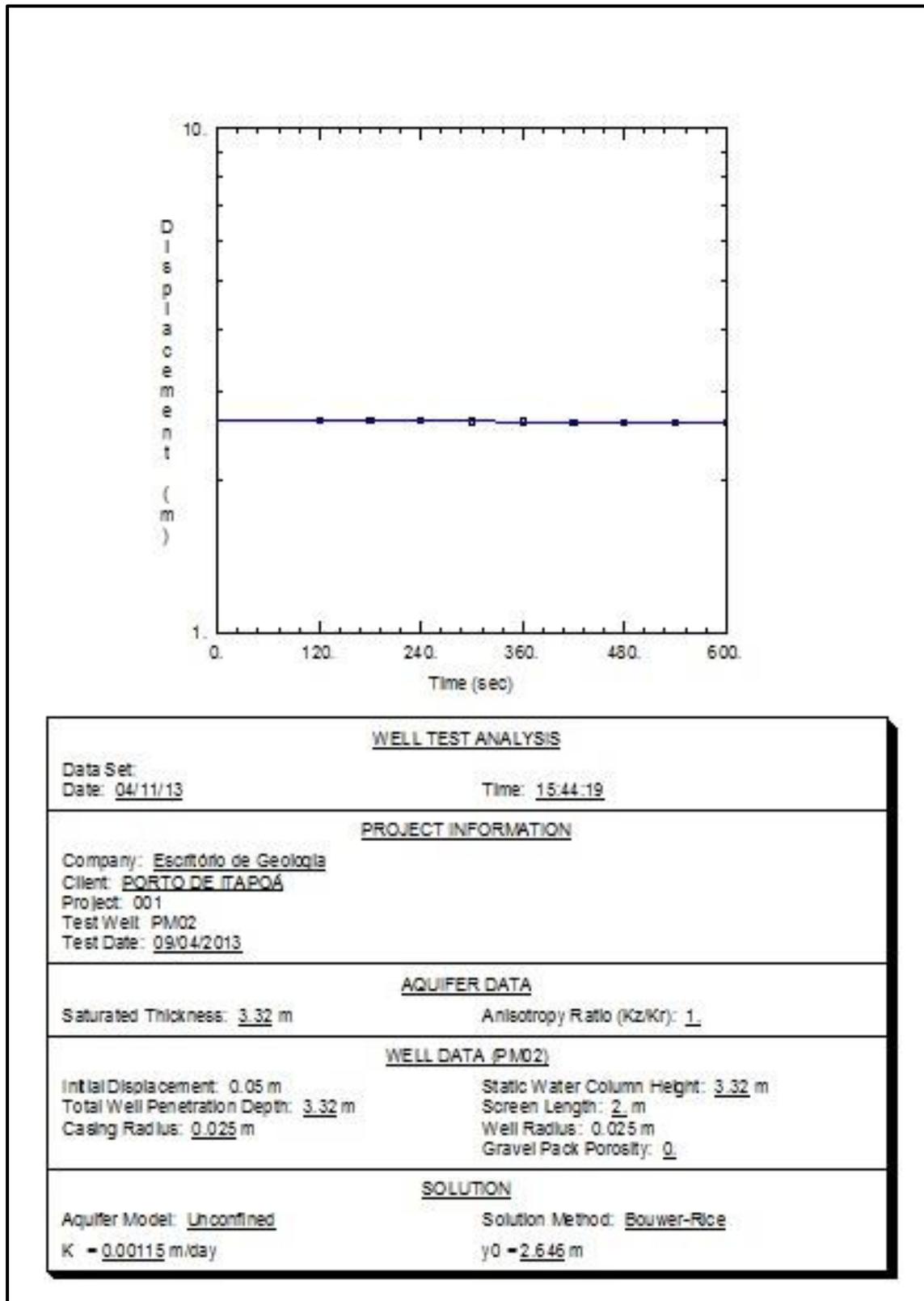


**Foto 10** - Volume sólido de 1,3 litros, responsável pela imediata elevação do nível da água dentro do poço de monitoramento.

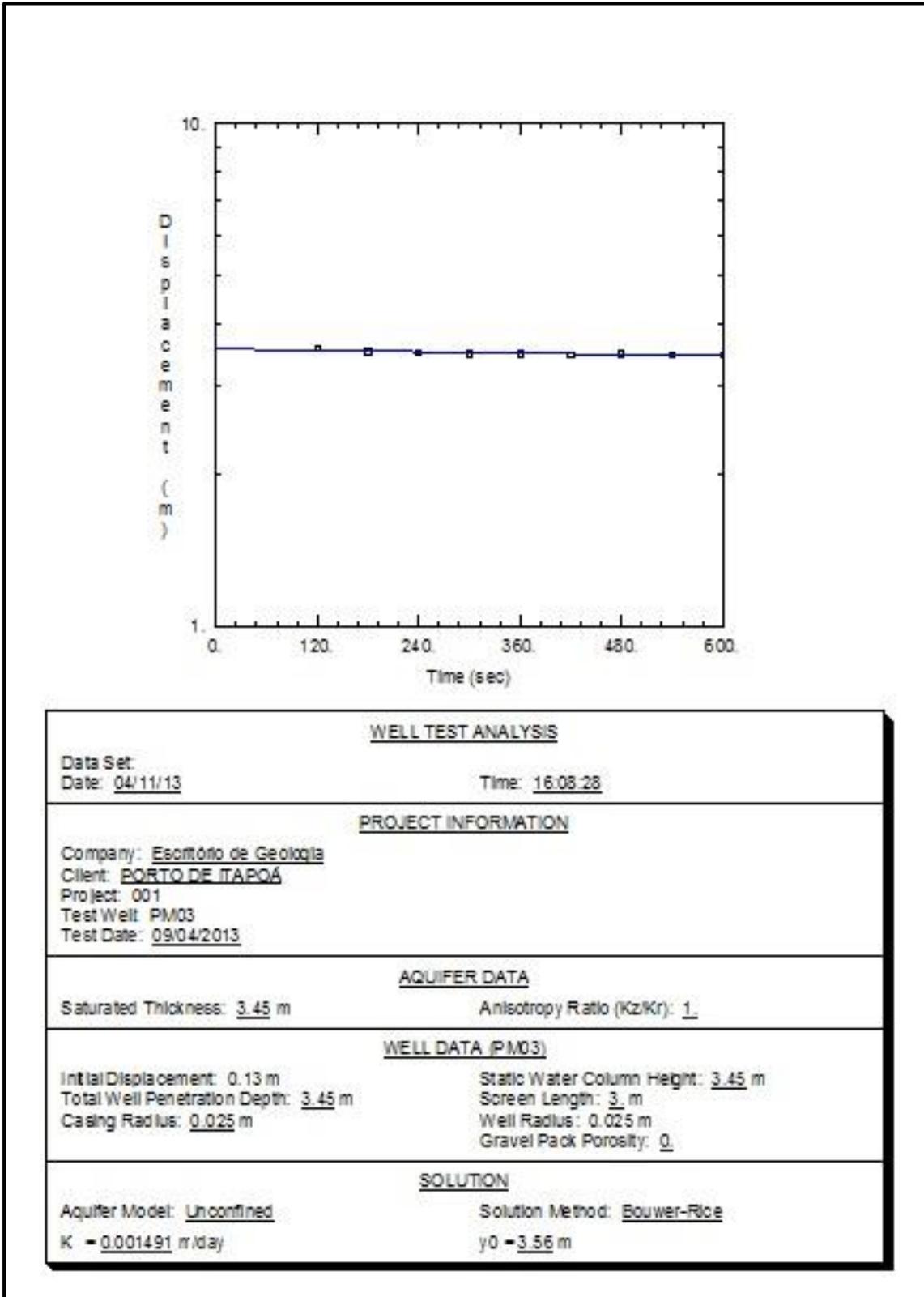
**Figura 12** – Resultado do ensaio Slug Test para o poço de monitoramento da qualidade da água subterrânea PM01.



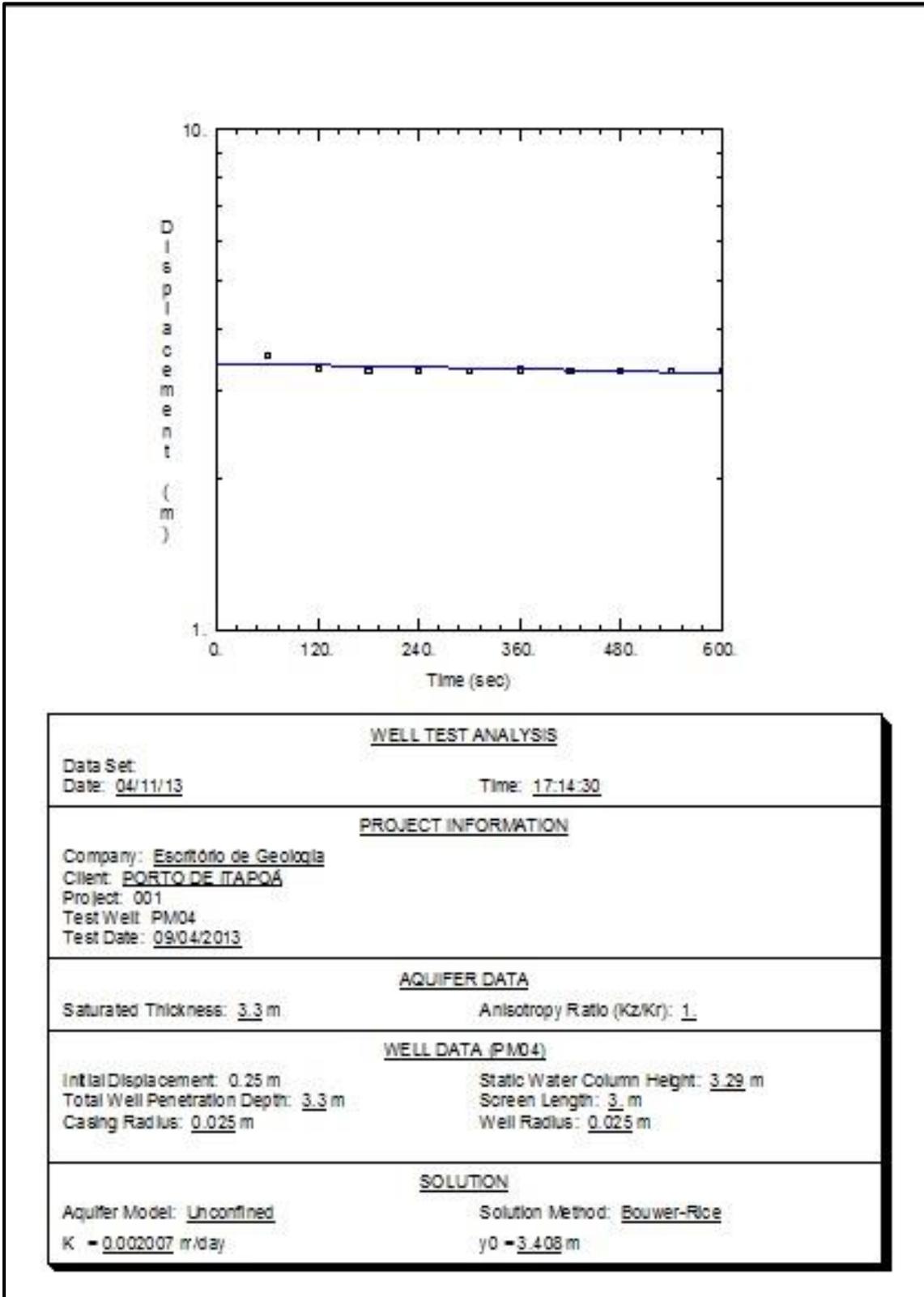
**Figura 13** – Resultado do ensaio Slug Test para o poço de monitoramento da qualidade da água subterrânea PM02.



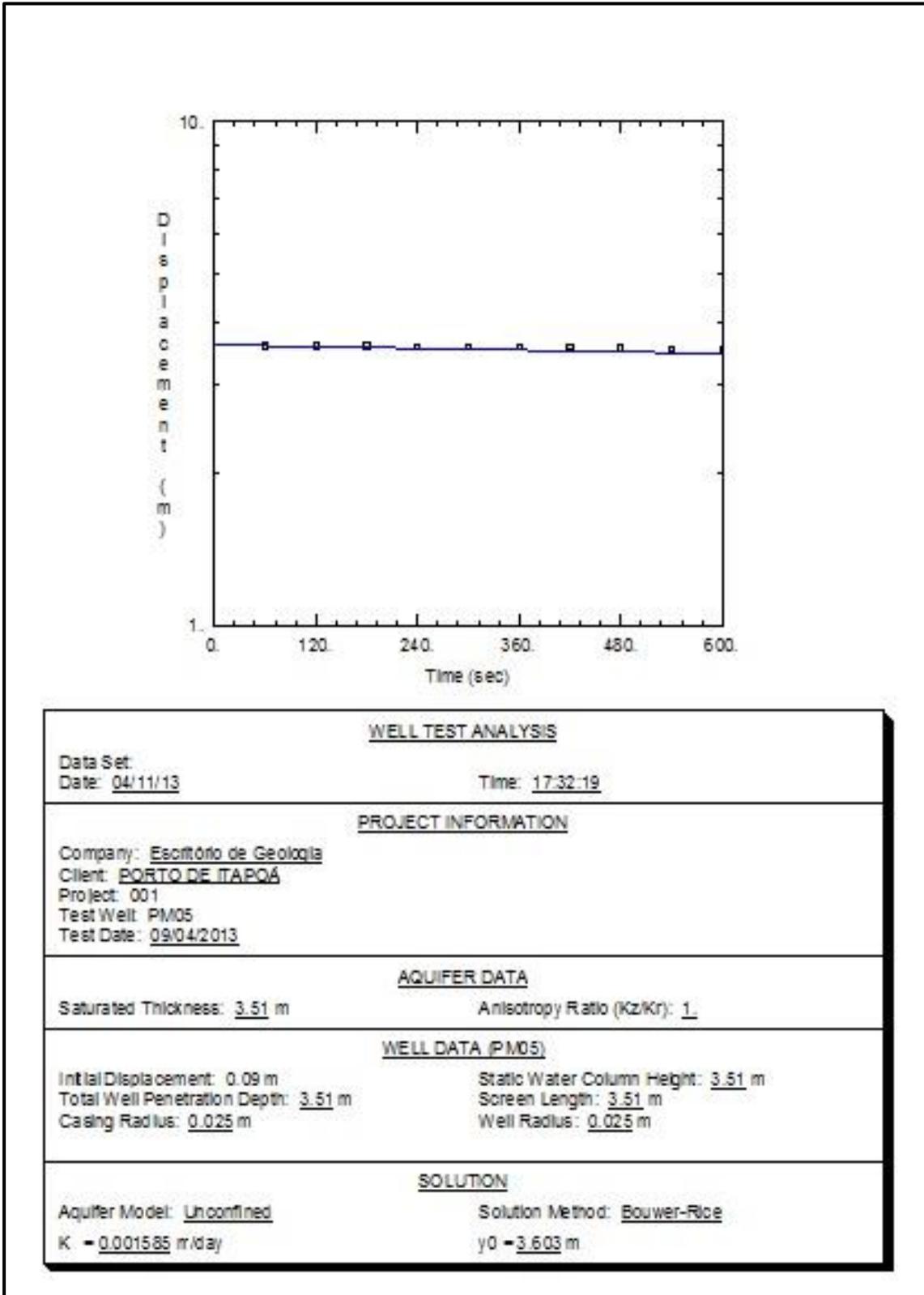
**Figura 14** – Resultado do ensaio Slug Test para o poço de monitoramento da qualidade da água subterrânea PM03.



**Figura 15** – Resultado do ensaio Slug Test para o poço de monitoramento da qualidade da água subterrânea PM04.



**Figura 16** – Resultado do ensaio Slug Test para o poço de monitoramento da qualidade da água subterrânea PM05.



Os ensaios demonstram que o comportamento da condutividade hidráulica no terreno do empreendimento é muito semelhante em toda a área, e pode ser classificada como baixa, conforme resultados abaixo:

PM01	→	$K = 0,00206 \text{ m/dia}$	→	Magnitude = Baixa
PM02	→	$K = 0,00115 \text{ m/dia}$	→	Magnitude = Baixa
PM03	→	$K = 0,00149 \text{ m/dia}$	→	Magnitude = Baixa
PM04	→	$K = 0,00200 \text{ m/dia}$	→	Magnitude = Baixa
PM02	→	$K = 0,00158 \text{ m/dia}$	→	Magnitude = Baixa

Tais resultados eram esperados, uma vez que os sedimentos argilosos a argilo arenosos encontrados na região estão relacionados a ambientes lagunares antes de serem colmatados. Este tipo de sedimento não possui boa transmissividade hidráulica, pois o teor de argila e silte são elevados potencializando sua propriedade como aquífero.

Mesmo diagnosticando a presença de lentes ou horizontes de sedimentos arenosos bem selecionados em algumas porções do terreno (foto 11), a presença dos sedimentos mais finos torna a planície, de forma geral, em um ambiente heterogêneo, e portanto anisotrópico.



**Foto 11** – Sedimento arenoso, bem selecionado, diagnosticado em algumas porções do terreno

Além disso, a condutividade hidráulica depende do gradiente hidráulico, o que é muito suave neste local. A única força que age sobre o fluxo da água subterrânea neste local é a pressão hidráulica proveniente do encontro entre a água doce continental e a água salgada marinha em meio a sedimentos heterogêneos (foto 12).



**Foto 12** – Sedimentos inconsolidados na perfuração do poço piezométrico PZ06. Observa-se sedimentos predominantemente arenosos na parte inferior do trado, e sedimentos argilosos na parte superior.

Foram diagnosticadas condutividades elétricas relativamente altas nos poços PM01 e PM05, ou seja, os poços mais interiores, comparativamente aos poços PM02, PM03 e PM04. O Levellogger LTC F100/M30 da Solinst indicou condutividades hidráulicas com os seguintes valores:

- ✓ PM01 = 3,338 mS/cm
- ✓ PM02 = 0,224 mS/cm
- ✓ PM03 = 0,454 mS/cm
- ✓ PM04 = 0,221 mS/cm
- ✓ PM05 = 2,311 mS/cm

Este aspecto confirma o envolvimento marinho na gênese do terreno, demonstrando salinidade presente nos sedimentos interiores, provavelmente na forma de laguna, atualmente colmatada.

## 9. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A evolução desta porção da Planície Costeira gerou uma alternância de horizontes argilosos e arenosos. A predominância é de granodecrescência ascendente evidenciando a perda de energia do transporte dos sedimentos. A construção dos cordões litorâneos arenosos permitiu o desenvolvimento de ambientes lagunares entre eles, atualmente colmatados por sedimentos argilosos ricos em matéria orgânica provenientes das áreas mais elevadas e transportados pelos rios e córregos, assim como pelas enxurradas.

A heterogeneidade do pacote sedimentar diagnosticada torna pouco permeável esta porção da planície, demonstrando reduzida taxa de infiltração. A recarga do aquífero granular ou poroso é realizada a partir das áreas arenosas que ocorrem em alguns pontos dentro do terreno, e também no entorno.

Considerando as possíveis diferenciações sedimentares no ambiente subterrâneo da planície, assim como, as atividades desenvolvidas no empreendimento, foi definida a localização dos poços responsáveis pelo monitoramento da qualidade da água subterrânea.

O monitoramento da qualidade da água subterrânea é um passo importante para a sustentabilidade de um empreendimento, tanto relativo à responsabilidade sócio ambiental, como também à segurança jurídica do mesmo.

Joinville, 11 de Abril de 2013.

Marcos Trojan  
Geólogo  
CREA/SC 068.853-1  
IBAMA 653.151

## REFERÊNCIAS CONSULTADAS

ALMEIDA F.F.M. 1967. **Origem e Evolução da Plataforma Brasileira**. Rio de Janeiro. DNPM-DGM. Boletim 241. 36p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA (ABGE); INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS (IPT), Divisão de Geologia. **Curso de Geologia Aplicada ao Meio Ambiente**. São Paulo, SP. 1995

BASEI, M.A.S. & TEIXEIRA W. 1987. **Geocronologia do Pré Cambriano, Eopaleozóico de Santa Catarina**. In: L.C.Silva & C.A. Bortoluzzi (Eds.) Texto explicativo para mapa geológico do estado de Santa Catarina – 1:500.000. Florianópolis. DNPM/CPRM. p. 91-130.

CUSTODIO, E.; LLAMAS, M. R. 2001 – **Hidrologia Subterranea** – Barcelona, Espanha – Ediciones Omega S.A., 2350 p.

CETESB – COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. **Manual de Gerenciamento de Áreas Contaminadas**. Disponível em: <http://www.cetesb.sp.gov.br/publicações>. Acesso em: 01 de Março de 2009.

FEITOSA, F. A. C., 2008. **Hidrogeologia – Conceitos e Aplicações**. CPRM – Serviço Geológico do Brasil – Rio de Janeiro/RJ. 812p.

FLORENZANO, T.G. 2008. **Geomorfologia – conceitos e tecnologias atuais**. Oficina de Textos – São Paulo/SP. 317p.

HARTMANN, L.A.; SILVA, L.C.; ORLANDI FILHO, V. 1979. **O Complexo Granulítico de Santa Catarina. Descrição e implicações genéticas**. Acta Geológica Leopoldensia, 3(6):93-112.

SUGUIO, K. **Geologia Sedimentar**. 1. ed. São Paulo, Editora Edgard Blücher Ltda. 2003.

## **ANEXOS**

**Mapa Hipsométrico Regional**

**Perfis Litológicos e Construtivos dos Poços Piezométricos**

**Perfis Litológicos e Construtivos dos Poços de Monitoramento**

**Mapa Potenciométrico com a Localização dos Poços Piezométricos**

**Mapa Potenciométrico com a Localização dos Poços de Monitoramento**

**Mapa Hipsométrico sobre Levantamento Topográfico do Terreno**

**ART**