

***ANEXO I – MANUAL ORIENTATIVO DE
POÇOS TUBULARES PROFUNDOS PARA
A REGIÃO DE BELÉM E PROJETO DE
POÇO TUBULAR PARA OS SISTEMAS
AQUÍFEROS BARREIRAS E PIRABAS***

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	2
2	REFERÊNCIAS E ASPECTOS LEGAIS	2
3	ORGANIZAÇÃO	4
4	ELEMENTOS DO PROJETO DE CAPTAÇÃO	5
4.1	AVALIAÇÃO HIDROGEOLÓGICA	7
4.1.1	<i>CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS</i>	7
4.1.2	<i>CARACTERÍSTICAS HIDROGEOLÓGICAS</i>	7
4.1.3	<i>ILUSTRAÇÕES</i>	9
4.2	PROJETO DE POÇO TUBULAR PROFUNDO	9
4.2.1	<i>DADOS GERAIS</i>	9
4.2.2	<i>ELEMENTOS DE PROJETO – Previsão</i>	11
4.2.3	<i>ESPECIFICAÇÕES</i>	12
4.3	PROJETO ESQUEMÁTICO DE POÇO TUBULAR PROFUNDO	32
4.4	MAPA DE LOCALIZAÇÃO	33
5	OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO DE POÇOS	34
6	EXEMPLOS DE PROJETOS DE POÇOS	42
6.1	ANÁLISES DE CUSTOS	42
6.1.1	<i>CUSTO DO M³ DE ÁGUA DO SISTEMA AQUÍFERO BARREIRAS</i>	42
6.1.2	<i>CUSTO DO M³ DE ÁGUA DO SISTEMA AQUÍFERO PIRABAS</i>	44
6.2	CONCLUSÕES	46
7	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	47
	TABELAS	49
	ANEXOS	60

1 INTRODUÇÃO

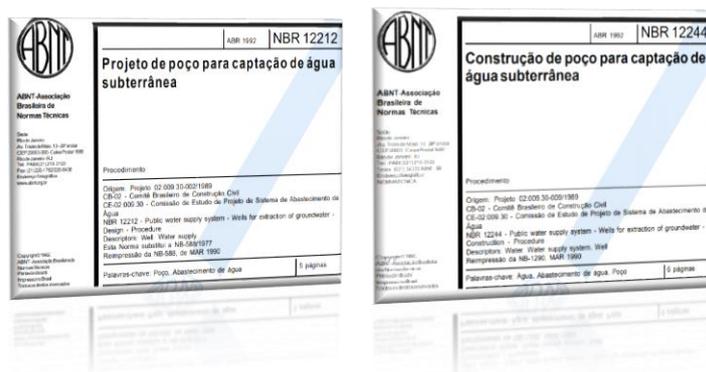
O presente manual reúne um conjunto de diretrizes técnicas empregadas para projeto, construção, operação e manutenção de poços tubulares profundos, com a finalidade de orientar a construção, operação e manutenção de poços com vistas à captação de águas subterrâneas, com ênfase na hidrogeologia da região de Belém.

Esse produto é resultado dos Estudos Hidrogeológicos para Gestão das Águas Subterrâneas da Região de Belém/PA e Municípios Adjacentes desenvolvido pela Agência Nacional de Águas em cooperação com Secretaria de Meio Ambiente e Sustentabilidade do Estado do Pará (SEMAS/PA).

2 REFERÊNCIAS E ASPECTOS LEGAIS

As diretrizes apresentadas neste são de caráter geral e foram adaptadas para as condições hidrogeológicas locais, tendo como referência documentos técnicos já publicados e normas existentes.

As normas brasileiras para projeto e construção de poços tubulares estão contidas em dois títulos da Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT: NBR 12.212 – Projeto de Poço para captação de água subterrânea; e NBR 12.244 - Construção de poço para captação de água subterrânea, conforme apresentadas abaixo de forma ilustrativa.



As normas são documentos normalmente produzidos por um órgão oficial acreditado, de modo que estabelecem regras, diretrizes ou características acerca de um material, produto, processo ou serviço. As normas brasileiras são desenvolvidas e utilizadas voluntariamente, tornando-se obrigatórias somente quando explicitadas em um instrumento do Poder Público (lei, decreto, portaria, normativa, etc.) ou quando citadas em contratos.

Entretanto, mesmo não sendo obrigatórias, as normas são sistematicamente adotadas em questões judiciais por conta do Inciso VIII do Art. 39 do Código de Defesa do Consumidor. Assim, as normas de projeto e construção de poços tubulares devem atender aos padrões gerais já estabelecidos pela ABNT, os quais foram previamente analisados e discutidos por comissão de estudos composta por especialistas de diversos ramos interagentes, e integrar um instrumento com embasamento jurídico.

A norma NBR 12.212 – Projeto de Poço para captação de água subterrânea – trata dos projetos de captação que precedem a extração de água subterrânea dos aquíferos e aborda aspectos técnicos gerais, principalmente no que se refere ao abastecimento público. A norma NBR 12.244 – Construção de poço para captação de água subterrânea – trata dos aspectos construtivos, também de modo geral e direcionada ao abastecimento público. Apesar do direcionamento para abastecimento público, as normas devem ser seguidas independentemente do uso da captação.

Alguns manuais de projeto, construção, operação e manutenção de poços são referência no assunto. Destacam-se o Manual de Perfuração de Poços Tubulares para Investigação e Captação de Água Subterrânea produzido pelo projeto de Proteção Ambiental e Desenvolvimento Sustentável do Sistema Aquífero Guarani (<http://www.mma.gov.br/publicacoes/agua/category/42-recursos-hidricos>); o Manual de Projeto e Construção de Poços Tubulares Profundos, produzido pela Fundação Nacional de Saúde – FUNASA (http://www.perfuradores.com.br/index.php?CAT=pocosagua&SPG=perfuracao&art=dicas_perf_004), atualmente em revisão; e o Manual de Operação e Manutenção de Poços do Departamento de Águas e Energia Elétrica do Estado de São Paulo – DAEE (<http://www.dae.sp.gov.br/images/documentos/outorgaefiscalizacao/manualpocos.pdf>). Ressalta-se ainda a cartilha de Noções Básicas Sobre Poços tubulares, publicada pelo Serviço Geológico do Brasil – CPRM (https://www.cprm.gov.br/publique/media/hidrologia/mapas_publicacoes/Nocoas_Basicas_Pocos_Tubulares.pdf) e o Manual de Perfuração publicado pela Petróleo Brasileiro S. A. – Petrobras (Petrobras, 1977). Outras informações foram extraídas da Instrução Técnica DPO nº 10 do DAEE (http://www.dae.sp.gov.br/index.php?option=com_content&view=article&id=1631%3Anovo-portal-de-outorgas&catid=72%3Anovo-portal-de-outorgas&Itemid=79) e de fontes listadas nas referências bibliográficas.



Importante salientar que condições hidrogeológicas locais impõem projetos e construções específicas de poços tubulares, que devem ser avaliadas e desenvolvidas, caso a caso, por profissionais habilitados perante o Conselho Regional de Engenharia e Agronomia – CREA, de modo que as normas e manuais devem ser entendidos como instrumentos orientadores dessa atividade.

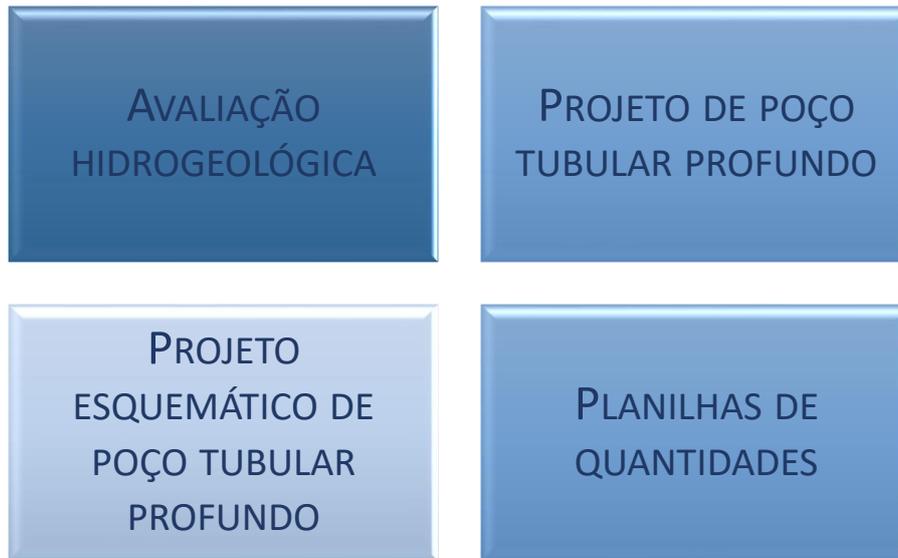
O assunto apresentado é bastante extenso e complexo, de modo que as fontes listadas nas referências devem ser consultadas para o melhor entendimento e aprofundamento nos temas abordados no presente manual.

3 ORGANIZAÇÃO

O projeto de poço compreende um conjunto de diretrizes técnicas previamente planejadas, adequadas às condições hidrogeológicas do terreno e demanda requerida. Deve combinar materiais de qualidade, ótimo desempenho, longa duração e custo razoável. A vantagem de dispor de um projeto básico é equalizar cotações e evitar erros construtivos em decorrência do emprego de materiais e serviços de baixa qualidade.

Os projetos de poços normalmente são elaborados no padrão formulário, com discriminação dos campos que devem ser preenchidos, incluindo textos e figuras. Exemplos de projetos elaborados para os aquíferos Barreiras e Pirabas no padrão formulário encontram-se nos ANEXOS 1 e 2. A enumeração dos itens exibidos no formulário padrão é a mesma utilizada neste manual, de modo a facilitar a consulta aos temas abordados.

O projeto de poço divide-se cinco itens principais: (1) avaliação hidrogeológica, (2) projeto de poço tubular profundo, (3) projeto esquemático de poço tubular profundo, (4) mapa de localização e (5) planilhas de quantidades, e em subitens específicos.



O formulário padrão de projeto de poço apresentado neste manual é baseado na experiência profissional dos consultores envolvidos nos Estudos Hidrogeológicos para Gestão das Águas Subterrâneas da Região de Belém/PA, levando-se em conta as características hidrogeológicas locais.

4 ELEMENTOS DO PROJETO DE CAPTAÇÃO

O projeto básico de perfuração de um poço tubular profundo deve conter identificação, avaliação hidrogeológica, projeto técnico e especificações, projeto esquemático e mapa de localização. O projeto deve atender às normas técnicas brasileiras e ter como responsável técnico um profissional, uma empresa ou uma instituição habilitada perante o CREA para a sua execução.



O projeto de poço discrimina as características construtivas e geológicas previstas, sendo por isso melhor definido como um anteprojeto. A readequação do projeto é necessária quando as características geológicas constatadas na perfuração diferem das características previstas.

A identificação do local do projeto é especificada no campo cabeçalho. O campo **CABEÇALHO** identifica:

- a) **Município**: nome do município onde se localiza o projeto de poço;
- b) **Localidade**: nome da local onde o projeto de poço está situado;
- c) **Coordenadas geográficas**: coordenadas geográficas do local do projeto de poço;
- d) **Proprietário**: nome do proprietário do futuro poço.

Exemplo de Cabeçalho:

Município: Belém - PA	Localidade: Marambaia
Coordenadas Geográficas:	Proprietário:

4.1 AVALIAÇÃO HIDROGEOLÓGICA

Neste item são descritos os aspectos geológicos e hidrogeológicos da área onde será construído o poço tubular profundo. A avaliação hidrogeológica compreende os levantamentos e estudos necessários para estimativa dos parâmetros hidráulicos da captação, os quais nortearão o desenvolvimento do projeto de poço tubular. Os resultados são resumidos nos itens “características geológicas” e “características hidrogeológicas”.

4.1.1 CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS

Os levantamentos geológicos compreendem a identificação, descrição e estimativa de espessura das unidades litoestratigráficas ocorrentes na área de interesse. Nesta etapa são realizados levantamentos sumários de campo com apoio de mapas geológicos disponíveis e de dados de poços existentes, obtidos em cadastros oficiais ou particulares. Fotos aéreas, sensores remotos, perfilagens geofísicas e levantamentos geofísicos de superfície também constituem recursos úteis na prospecção de água subterrânea. É fundamental também a consulta de estudos e pesquisas existentes sobre a geologia da área.

Os levantamentos podem incluir:

- a) Seções geológicas mostrando o comportamento e inter-relações entre as diferentes unidades estratigráficas;
- b) Mapas de contorno estrutural do topo e/ou base das unidades;
- c) Mapas de isópacas das unidades, etc.

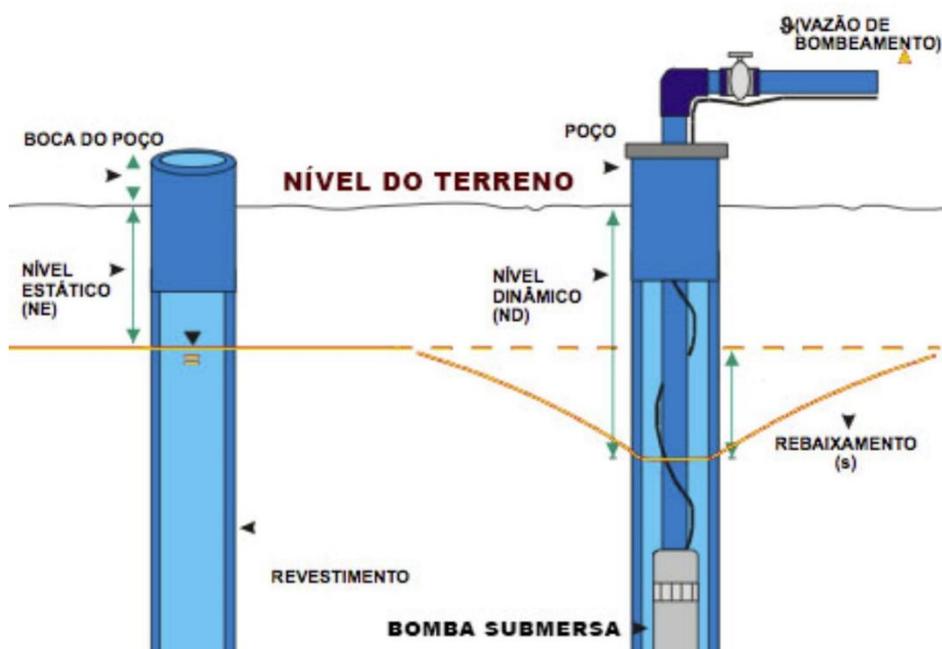
4.1.2 CARACTERÍSTICAS HIDROGEOLÓGICAS

Os levantamentos hidrogeológicos compreendem a identificação, caracterização hidrodinâmica e caracterização hidroquímica dos aquíferos ou sistemas aquíferos presentes no local da perfuração. As fontes de informações hidrogeológicas são cadastros de poços oficiais ou privados, perfilagens geofísicas, dados de testes de bombeamento, estudos anteriores, etc.

Os parâmetros hidráulicos necessários para elaboração do projeto de poço tubular são:

- a) **Nível estático (NE):** profundidade do nível da água do poço quando não está em bombeamento, medida em relação à boca do poço ou à superfície do terreno, em metros;

- b) **Nível dinâmico (ND):** profundidade do nível da água do poço quando em bombeamento, medida em relação à boca do poço ou à superfície do terreno, em metros;
- c) **Rebaixamento (s):** diferença entre o nível estático e o dinâmico, em metros;
- d) **Vazão de produção (Q):** vazão prevista de extração de água extraída por bombeamento do poço, geralmente em registrada em m³/h.
- e) **Vazão específica (Q/s):** parâmetro de avaliação do rendimento do poço, definido como o quociente da vazão extraída (Q) pelo correspondente rebaixamento (s), em m³/h/m.



Fonte: <http://www.agromamore.com.br/category/dicas/page/2/>

A caracterização hidroquímica compreende a identificação e quantificação das principais substâncias e elementos químicos dissolvidos na água dos aquíferos. O levantamento hidroquímico permite determinar os padrões de qualidade e estabelecer a classificação da água subterrânea em seus aspectos composicionais e de finalidade de uso.

Os levantamentos de campo podem incluir coleta de amostras e análises físico-químicas e bacteriológicas, ou consulta a dados hidroquímicos disponíveis em relatórios de perfuração, cadastros de poços e estudos anteriores.

As características hidroquímicas influenciam na seleção dos materiais a serem aplicados na construção do poço.

4.1.3 ILUSTRAÇÕES

Ilustrações são representações gráficas que permitem uma melhor compreensão e visualização dos aspectos geológicos e/ou hidrogeológicos da área selecionada para perfuração, sendo representadas por seções geológicas/hidrogeológicas, mapas de contorno estrutural, mapas de isópacas, etc.

4.2 PROJETO DE POÇO TUBULAR PROFUNDO

O projeto básico de poço tubular profundo deve conter as seguintes informações:

4.2.1 DADOS GERAIS

Os dados gerais de poços abordados são:

Tipo de poço	
Uso da água	
Coordenadas/Zona (fuso UTM)/Folha topográfica/Cota	
Nº poço local	
Projeto	
CREA/ART	
Data	

Tipo de poço

Poço tubular é uma obra de engenharia geológica construída com maquinário especializado e caracterizado pelo pequeno diâmetro e

m relação à profundidade. Os poços tubulares podem ser informalmente classificados como rasos (profundidades de até 50 m) ou profundos (profundidades maiores do que 50 m). Poços perfurados em aquíferos confinados podem ainda ser distinguidos entre jorrantes (quando água jorra naturalmente na superfície do terreno) e não jorrantes (quando o nível de água encontra-se acima do topo do aquífero, mas não alcança a superfície do terreno).

Uso da água

Os usos da água são classificados de acordo com a finalidade principal em:

- Industrial: uso em empreendimentos industriais, nos seus sistemas de processo, refrigeração, uso sanitário, combate a incêndios e outros.
- Abastecimento Urbano: toda água captada que vise, predominantemente, ao consumo humano em núcleos urbanos (sede, distrito, bairro, vila, loteamento, condomínio, etc.).
- Irrigação: uso em irrigação de culturas agrícolas.
- Abastecimento Rural: uso em atividade rural, como aquicultura e dessedentação de animais, incluindo uso sanitário, exceto a irrigação.
- Mineração: toda água utilizada em processos de mineração por meio de desmonte hidráulico ou para lavagem de material minerado, incluindo uso sanitário.
- Recreação e Paisagismo: uso em atividades de recreação, tais como esportes náuticos e pescaria; bem como para composição paisagística de propriedades (lago, chafariz etc.).
- Comércio e Serviços: uso em empreendimentos comerciais e de prestação de serviços (shopping center, posto de gasolina, hotel, clube, hospital, etc.), para o desenvolvimento de suas atividades incluindo o uso sanitário.
- Doméstico: uso exclusivamente sanitário em residências, urbano ou rural.
- Outros: uso em atividades que não se enquadram nas acima discriminadas.

Coordenadas

Coordenadas UTM de referência do ponto de perfuração. Devem ser tomadas preferencialmente com GPS e no sistema SIRGAS2000.

Zona (fuso UTM)

Determinação da zona ou fuso de referência da projeção UTM. Na área abrangida pelo município de Belém e municípios adjacentes, o fuso é o 22 M.

Cota

Altitude do terreno, em metros, do ponto previsto para perfuração. Pode ser obtida de mapas topográficos de referência ou medições em GPS.

Folha topográfica

Nome da folha topográfica de referência onde se localiza o ponto de perfuração.

Nº poço local

Numeração sequencial do poço no local.

Projeto

Função e nome do projetista do poço. O profissional deve estar habilitado pelo CREA.

CREA

Número da carteira de registro do profissional responsável técnico.

ART

Número da Anotação de Responsabilidade Técnica – ART vinculada ao projeto.

DATA

Data de elaboração do projeto.

4.2.2 ELEMENTOS DE PROJETO – Previsão

Perfil geológico

Determinação dos intervalos de ocorrência das unidades geológicas previstas na perfuração e descrição sucinta dos tipos litológicos previstos.

Hidrogeologia

Definição do aquífero ou aquíferos a serem explorados, sua natureza (livre, confinado ou confinado drenante), níveis estático e dinâmico, vazão de produção e vazão específica previstas.

Aquífero livre não possui camadas confinantes e o nível de água encontra-se sob pressão atmosférica. O nível de água do aquífero representa uma superfície real.

Aquífero confinado é isolado por camadas confinantes impermeáveis e a água encontra-se submetida a uma pressão superior à pressão atmosférica. O nível de água representa uma superfície virtual.

Aquífero confinado drenante é isolado por camadas confinantes que apresentam alguma permeabilidade, possibilitando o processo de drenança. A água subterrânea encontra-se submetida a uma pressão superior à pressão atmosférica e o nível potenciométrico representa uma superfície virtual.

4.2.3 ESPECIFICAÇÕES

Perfuração

Capacidade do equipamento

Determinação da profundidade máxima de alcance do equipamento de perfuração para execução do projeto.

Profundidade máxima prevista

Profundidade máxima da perfuração determinada no projeto.

Diâmetros de perfuração

Determinação dos intervalos e diâmetros de perfuração em função dos diâmetros dos revestimentos e coluna de produção previstos. Recomenda-se manter um espaço anular (espaço entre o furo e o revestimento) adequado para permitir a colocação do pré-filtro. Em seções sem filtros, admite-se espaço anular mínimo de 2 polegadas. A perfuração em sedimentos geralmente é feita com brocas tricônicas (Figura 1), cujos diâmetros mais comuns são apresentados na Tabela 1.



Figura 1 – Brocas rotativas tricônicas

Litologia

Determinação das litologias a serem atravessadas pelo poço, conforme diâmetros de perfuração especificados. O custo de perfuração varia de acordo com dureza ou resistência do material e o diâmetro do furo.

Método de perfuração

Definição do método de perfuração em função das características das rochas. Os métodos de perfuração mais comuns são:

- **Rotativo com circulação direta:** perfuração onde o fluido (lama) é injetado por dentro coluna de perfuração, sai pelos orifícios da broca e retorna à superfície pelo espaço anular entre a coluna e a parede do poço, trazendo os fragmentos de rocha triturada.
- **Rotopneumático:** percussão em alta frequência combinada com rotação do conjunto martelo e broca (bit), triturando a rocha. O fluido é o ar comprimido transmitido por compressor, que injetado por dentro da coluna de perfuração, passa pelo martelo e broca, e retorna pelo espaço anular carregando os fragmentos de rocha junto com água da formação.
- **Rotativo com circulação reversa:** neste sistema, o fluido de perfuração é injetado no espaço anular entre a parede do poço e a coluna de perfuração, e retorna por dentro da coluna de perfuração carregando os fragmentos de rocha até a superfície.

Amostragem durante a perfuração

Especificação do material rochoso a ser amostrado, análises a serem efetuadas e intervalo de coleta. Normalmente, um intervalo de coleta de 2 m de amostra composta é suficiente para a descrição litológica. As amostras devem ser acondicionadas em recipientes adequados para posterior análise litológica.

Especificação do intervalo de coleta de amostras de água realizadas durante a perfuração e determinação das análises químicas a serem efetuadas.

Testes preliminares de bombeamento

Determinação da profundidade prevista, situação do poço, sistema de bombeamento e duração de testes preliminares de bombeamento.

Perfilagem geofísica

Uso de sondas especiais que se deslocam dentro do poço, puxados por cabos elétricos, que registram continuamente as propriedades físicas do meio (Figura 2). As curvas mais comuns utilizadas em prospecção de água subterrânea são:

- a) **Raios gama:** Registra a radiação natural liberada pelos elementos isotópicos radioativos presentes nas rochas circunvizinhas ao poço, representadas principalmente pelo Urânio (U235), Tório (Th232) e Potássio (K40). Constitui-se num dos melhores indicadores litológicos em rochas sedimentares, uma vez que pode distinguir arenitos, calcários e folhelhos.
- b) **Potencial espontâneo:** Registra a diferença de potencial elétrico natural entre um eletrodo móvel ao longo do poço e um eletrodo de potencial fixo, posicionado na superfície do terreno. As deflexões na curva do SP são originadas, principalmente, pela diferença de salinidade entre a lama de perfuração e os fluidos da formação e pela presença de folhelhos que atuam como membranas catiônicas seletivas (potencial eletroquímico). É utilizado para indicar camadas permeáveis, delimitar topo e base de formações, e estimar a resistividade da água de formação.

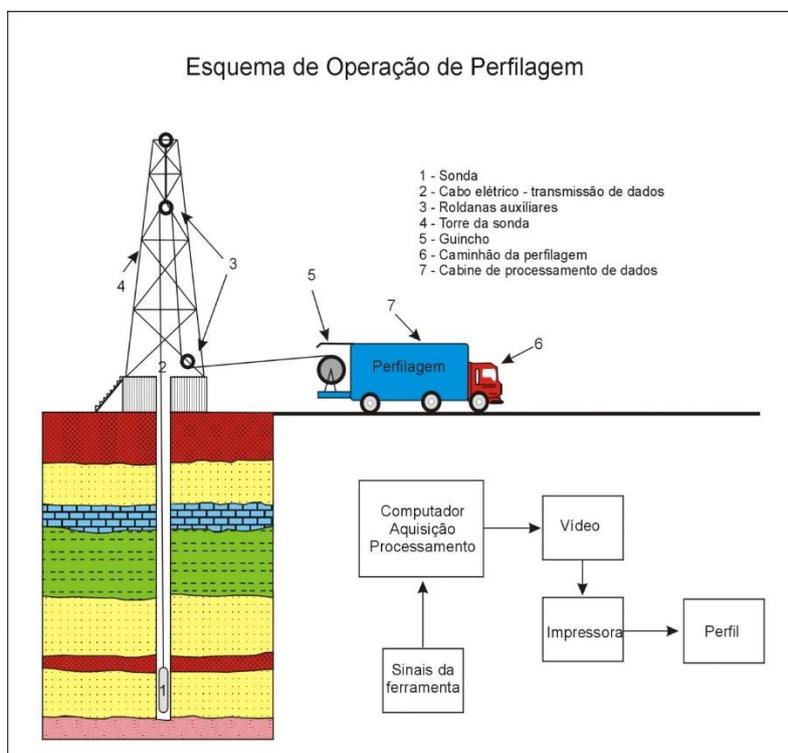


Figura 2 – Esquema de perfilagem geofísica.

- c) **Resistividade induzida:** Induz um campo magnético secundário com intensidade proporcional à condutividade elétrica das rochas, que é registrado numa bobina receptora. O raio de investigação profundo da ferramenta fornece a resistividade bastante precisa das camadas geológicas. Utilizado para determinação da litologia, espessura das camadas e avaliação da salinidade das águas de formação.
- d) **Resistividade normal curta:** Registra a resistividade das camadas enviando uma corrente elétrica de baixa frequência e intensidade constante e registrando a resistência ôhmica entre dois eletrodos distanciados entre si 16 polegadas. Registra a resistividade da zona invadida.
- e) **Resistividade normal longa:** Registra a resistividade das camadas enviando uma corrente elétrica de baixa frequência e intensidade constante e registrando a resistência ôhmica entre dois eletrodos distanciados entre si 64 polegadas. Registra a resistividade entre a zona virgem e a zona invadida.
- f) **Resistência:** Registra a resistência das camadas por meio de uma corrente elétrica de baixa frequência e intensidade constante, medida entre um eletrodo fixo na superfície do terreno e um eletrodo móvel ao longo do poço. Registra a resistividade aparente das camadas.
- g) **Sônico:** Consiste no registro do tempo em que uma onda sonora compressional demora a atravessar um intervalo de rocha de um "pé" de comprimento (30,48 cm). O tempo de trânsito é afetado pelos vazios e fluidos contidos nas rochas, fornecendo indiretamente valores de porosidade total das camadas.

A Tabela 2 apresenta as limitações dos perfis em função do tipo de lama utilizada na perfuração.

Revestimentos – tubos lisos

O revestimento tem função de suportar as paredes do poço de modo a evitar desmoronamentos, permitir a condução de água e abrigar o equipamento de bombeamento submersa. Normalmente são feitos de aço, aço galvanizado, aço inox ou PVC (Figura 3). Devem ser dimensionados considerando as pressões de colapso e tração previstas no poço.

Os revestimentos são produzidos segundo normas técnicas específicas, destacando-se:

- **NBR 5580:** similar à norma DIN 2440. Tubos de aço carbono de seção circular, para usos comuns na condução de fluidos não-corrosivos. Possuem propriedades químicas e mecânicas definidas.



Figura 3 – Revestimentos de aço e de PVC.

- **DIN 2440:** Similar à norma brasileira NBR 5580. Tubos de aço carbono de seção circular, com costura, para usos comuns na condução de fluidos não-corrosivos, com ou sem solda longitudinal por alta frequência, com ou sem revestimento de zinco. Possui propriedades químicas e mecânicas definidas.
- **ASTM A53:** similar à norma brasileira NBR 5590. Tubos de aço carbono de seção circular, com ou sem costura, pretos ou galvanizados por imersão a quente, para condução de fluidos. Possuem propriedades químicas e mecânicas definidas.
- **API 5L:** Tubos de aço fornecidos com ou sem costura, utilizados na condução de petróleo, bem como seus produtos relacionados em refinarias, indústria petroquímicas, como água, gás natural e outros gases. Fornecidos com extremidades biseladas, principalmente nos graus A e B.
- **NBR 13604:** Fixa as condições exigíveis para fabricação de revestimentos em PVC (Policloreto de Vinila). Os tubos possuem encaixe ponta-bolsa roscável e paredes externas ranhuradas.

Os materiais de revestimento do poço devem ser especificados em projeto quanto ao:

Tipo de material

Discriminação do tipo de material do revestimento: aço carbono, aço galvanizado, aço inox ou PVC. Normalmente utiliza-se o padrão schedule para o dimensionamento dos tubos de revestimento em aço (Tabela 3). Para revestimentos em PVC consultar Tabela 4.

Tipo de união

As uniões entre os tubos de revestimento são feitas com solda ou rosca e luva. Dependendo da profundidade de instalação, os dois métodos podem ser combinados.

Diâmetros

Os diâmetros dos revestimentos de devem ser determinados em função das perdas de carga axiais, ocasionadas pelo movimento ascendente da água desde a zona filtrante até a bomba, e do diâmetro do equipamento de bombeamento submersa projetado. Os diâmetros de revestimento mais utilizados na construção de poços são mostrados na Tabela 3 (revestimento em aço) e Tabela 4 (revestimento em PVC).

Espessura

A determinação da espessura é feita com base na pressão de colapso e na capacidade máxima de tração (peso) dos revestimentos. A pressão de colapso é originada pela coluna hidrostática que atua na parte externa do revestimento. A tração representa o peso do revestimento atuando sobre o topo da coluna. A Tabela 3 (revestimento em aço) e a Tabela 4 (revestimento em PVC) mostram as resistências ao colapso (psi) e o peso (kg/m) dos revestimentos em função dos diâmetros e espessuras.

A Tabela 5 mostra a correspondência entre diferentes unidades de peso específico e o gradiente (psi/m) de peso da coluna hidrostática no espaço anular. A coluna hidrostática apresenta diferentes pressões de acordo com peso específico do fluido.

Por exemplo, qual a profundidade máxima admissível de instalação e cimentação de um revestimento de Ø 16", schedule 10 (espessura de parede 6,35 mm)? O revestimento de Ø 16", schedule 10, possui resistência ao colapso de 167 psi (lb/pol²). A pasta de cimento injetada por bombeamento possui um peso específico de 14,97 lb/gal e gradiente de 2,551 psi/m. Logo, dividindo-se a resistência ao colapso do tubo pelo gradiente da pasta de cimento teremos que esse revestimento poderá ser colocado, no máximo, aos 65 m de profundidade.

Comprimento previsto

Determinação do comprimento total previsto dos revestimentos.

Revestimentos – filtros

Os filtros são um tipo de revestimento com ranhuras que permite a passagem de água para o interior do poço (Figura 4). Intercalados a tubos lisos, compõem a coluna de produção. Os filtros devem ser dimensionados de modo a cobrir cerca de 70% da espessura do aquífero e minimizar a velocidade de entrada de água para seu interior.



Figura 4 – Exemplos de filtros de PVC e filtros de aço de ranhura contínua.

Tipo de material

Os tipos de filtros mais comuns são:

- Filtros de ranhura contínua (espiralados): fabricados com perfis trapezoidais em forma de “V” eletrofundidos sobre varetas suportes. São produzidos em aço galvanizado ou aço inox nos padrões Standard, Reforçado, Super-reforçado, Hiper-reforçado e Super Weld (Tabela 6).
- Filtros de ranhura não-contínua: fabricados em PVC com encaixe ponta-bolsa roscável, com paredes externas ranhuradas longitudinalmente. Fabricado nas classes Leve, Standard e Reforçado, de acordo com a profundidade máxima de instalação (Tabela 4).

Tipo de união

As uniões entre os filtros e tubos de revestimento são feitas com solda ou rosca e luva. Dependendo da profundidade de instalação, os dois métodos podem ser combinados.

Diâmetros

Os diâmetros dos filtros de devem ser determinados em função das perdas de carga axiais, ocasionadas pelo movimento ascendente da água desde a zona filtrante até a bomba. Se for prevista a colocação de filtro na câmara de bombeamento, o diâmetro deverá ser compatível com o equipamento de bombeamento submersa projetado. Os diâmetros de filtros mais utilizados na construção de poços são mostrados na Tabela 4 (filtro de PVC) e Tabela 6 (filtros de aço).

Porcentagem de área aberta

Refere-se à relação percentual entre a área aberta e área total dos filtros. A porcentagem de área aberta depende da abertura das ranhuras e do tipo de filtro (com ranhura contínua ou sem ranhura contínua). Filtros espiralados possuem área aberta cerca de 3 vezes maior do que os filtros de ranhura não-contínua. Quanto maior a área aberta, menores as perdas de carga de entrada de água no poço.

Abertura

Os filtros são fabricados, normalmente, com aberturas variando entre 0,5 mm e 1,5 mm. A velocidade máxima de entrada de água pelos filtros deve ser inferior a 3 cm/s e é calculada pela fórmula:

$$V = \frac{Q}{A \cdot C \cdot Ab} = \frac{Q}{2 \cdot \pi \cdot r \cdot C \cdot Ab}$$

Onde V= velocidade de entrada (cm/s); Q= vazão do poço (cm³/s); r= raio do poço (cm); C= comprimento dos filtros (cm); Ab= porcentagem de área aberta (%).

Maiores velocidades de entrada de água favorecem os processos de incrustação e corrosão, diminuindo a vida útil do poço.

Os filtros devem reter, no mínimo, 85% do material de pré-filtro.

Comprimento previsto

O comprimento dos filtros é função da espessura do aquífero. Quanto maior a cobertura de filtros, menores as perdas de carga de entrada de água no poço. Normalmente os filtros são distribuídos em 70% da espessura do aquífero.

Pré-filtro

O pré-filtro é um material composto predominantemente de quartzo selecionado (granulometria de cascalho) que é introduzido no espaço anular entre a perfuração e o revestimento e filtros, com a finalidade de estabilizar as paredes do poço e evitar a entrada de areia da formação para seu interior (Figura 5).



Figura 5 – Exemplo de pré-filtro.

Intervalo

Normalmente o pré-filtro é introduzido no espaço anular entre a coluna de produção (composta por tubos lisos e filtros), desde o fundo do poço até cerca de 2 metros abaixo da superfície. Os últimos 2 m do espaço anular são normalmente preenchidos com calda ou argamassa de cimento para vedação.

Granulometria

A granulometria do pré-filtro deve situar-se entre os limites especificados em projeto, admitindo-se uma variação da ordem de 10% acima e abaixo, respectivamente, dos limites superior e inferior. Como é impossível realizar análises granulométricas de amostras de todos os intervalos a serem cobertos com filtros, especifica-se uma faixa granulométrica padrão para todo o poço, em função das características granulométricas predominantes das formações.

Tipo

O tipo do pré-filtro geralmente refere-se ao nome ou origem do produto disponibilizado pelo fornecedor.

Volume

O volume de pré-filtro é calculado em com base no diâmetro do poço e diâmetro externo do revestimento, expresso geralmente em m³ (Tabela 7).

Método de injeção de pré-filtro

Normalmente são utilizados dois métodos para introdução do pré-filtro no espaço anular entre a perfuração e o revestimento do poço.

- **Gravidade:** método que compreende a introdução do pré-filtro mediante emprego de um tubo de alimentação com um funil no topo, descido no espaço anular até cerca de 12 m de profundidade. O pré-filtro é despejado no funil e introduzido com auxílio de água, num processo lento e contínuo. É utilizado em poços relativamente rasos, mas deve-se ter o cuidado para não formar “pontes” (quando fluxo de pré-filtro em queda deixa espaços vazios). As “pontes” são responsáveis por deixar em contato direto filtros e a formação, causando produção de areia pelo poço.
- **Contra-fluxo:** método que compreende a introdução do pré-filtro por circulação reversa. Na circulação reversa, o fluido de completação (fluido de perfuração preparado para a injeção do pré-filtro) é bombeado por dentro da coluna de produção e retorna à superfície pelo espaço anular, após passar pelos filtros do poço. O pré-filtro é despejado num funil e introduzido juntamente com água no espaço anular, contra o fluxo do fluido de completação, num processo lento e contínuo. Quando todos os filtros ficam cobertos, a operação cessa e o restante do espaço anular é completado pelo método da gravidade. O método do contra-fluxo é menos propenso à formação de pontes e indicado para poços profundos.

Cimentação

Cimentação é o processo que consiste na introdução de pasta de cimento no espaço anular entre a perfuração e o revestimento de superfície (tubo de boca), com a finalidade de ancorar o tubo no terreno e prover a proteção sanitária do poço.

Intervalo

O intervalo de cimentação é definido pela profundidade de colocação do revestimento de proteção sanitária. Em regiões de elevado potencial de contaminação por atividades antrópicas, recomenda-se a cimentação de trecho não inferior a 12 m. Para poços profundos de abastecimento público, recomenda-se a cimentação de trecho de 30 m.

Anular

Para prover uma boa cimentação de proteção sanitária, é recomendado um espaço anular entre o revestimento de superfície e a perfuração de 3 polegadas (76,2 mm).

Volume

O volume de pasta de cimento é calculado com base no volume do espaço anular entre a perfuração e o revestimento de proteção sanitária (Tabela 8).

Traço

A cimentação de poços profundos normalmente é feita com pasta de cimento, obtida pela mistura somente de cimento e água. As características da pasta de cimento em função do peso específico podem ser consultadas na Tabela 8. Normalmente se utiliza 22 L a 27 L de água por saco de cimento de 50 kg para preparo da pasta. Por exemplo, para obtenção de pasta com peso de 15,3 lb/gal são necessários 25 L de água por saco de cimento, cuja mistura resultará em volume de pasta de 40,9 L.

Método de injeção

A cimentação de poços tubulares pode ser feita de dois modos:

- **Com tubos auxiliares:** utilizada em cimentações rasas (até 12 m de profundidade). A pasta de cimento é injetada com bomba através de um tubo auxiliar inserido no espaço anular entre a perfuração e o revestimento, próximo ao fundo do poço.
- **Com sapata de cimentação:** utilizada em cimentações profundas (maiores do que 12 m). A pasta é bombeada através da haste de perfuração posicionada sobre uma sapata de cimentação soldada na base do revestimento. A sapata possui uma válvula que se abre para a passagem da pasta do interior da haste para o espaço anular e daí até a superfície (Figura 6). A pasta é deslocada pelo fluido de perfuração com auxílio de um tampão de borracha. Quando o bombeamento é finalizado, a válvula da sapata se fecha impedindo o retorno da pasta.



Figura 6 – Exemplo de sapata de cimentação.

Fluido de perfuração

O fluido ou lama de perfuração possui importantes funções na construção de poços em formações sedimentares, como: limpar, esfriar e lubrificar a broca; controlar pressões de subsuperfície; transportar e permitir a decantação dos fragmentos cortados pela broca; estabilizar as paredes do poço evitando desmoronamentos; manter em suspensão partículas finas durante paradas de circulação; suportar parte do peso da coluna de revestimento devido ao empuxo; formar reboco fino na parede do poço para controlar o filtrado, etc.

Intervalo

Para cada fase da construção do poço é definido um tipo de fluido e um intervalo onde será utilizado. Normalmente, tem-se um tipo fluido para perfuração do furo-guia e zonas não produtoras e um tipo para perfuração das zonas produtoras.

Natureza

Basicamente, em formações sedimentares aquíferas são utilizados dois tipos de fluidos de perfuração: base bentonita e base polímeros (Figura 7).



Figura 7 – Fluido de perfuração

O fluido a base de bentonita constitui mistura entre argilas industriais sódicas e água, na proporção de 20 kg a 30 kg por m³ de água, aditivada por soda cáustica para manutenção do pH entre 8,5 e 9,5. Em formações contendo argilas expansivas é comum a adição de NaCl para preparo de fluido de perfuração inibitivo (vai prevenir a hidratação das formações argilosas). Tem como características alto poder tixotrópico (gelificação), boa capacidade de carregamento de sólidos e baixo filtrado. Recomendado para a perfuração de zonas não produtoras em razão do alto teor de sólidos, o qual propicia a formação de reboco espesso.

O fluido a base de polímero (CMC – carboximetilcelulose) constitui mistura de água com polímero aniônico, derivado da celulose, na proporção de 5 kg a 8 kg por m³ de água. A mistura proporciona um fluido viscoso com baixo teor de sólidos, boa capacidade de carregamento de fragmentos, reboco delgado, baixo filtrado e propriedades de encapsulamento de argilas. Recomendado para a perfuração de zonas produtoras em razão do reboco pouco espesso.

Dependendo das condições geológicas, os fluidos podem ser formulados em diferentes proporções entre bentonita e CMC, para adequação às suas funções básicas.

Capacidade do poço

A capacidade do poço representa o volume de fluido de perfuração necessário para permitir a circulação e manter o poço cheio (Tabela 1).

Características dos fluidos

Na construção de poços para captação de água subterrânea, as propriedades básicas dos fluidos de perfuração como pH, viscosidade e peso específico devem ser mantidas dentro de certos padrões, para que suas funções possam ser desempenhadas com êxito. Os

equipamentos necessários ao controle do fluido de perfuração são o funil Marsh e a balança de peso (Figura 8).



Figura 8 – Funil Marsh e balança de peso.

Para fluidos à base de bentonita e à base de polímero, as seguintes características são desejáveis:

Tipo de fluido	Ph	Viscosidade Marsh (s)	Peso (lb/gal)
Base bentonita	8,5 a 9,5	45 a 60	8,8 a 9,1
Base polímero	8,5 a 9,1	38 a 45	8,6 a 8,7

Desenvolvimento

O desenvolvimento compreende um conjunto de operações que visa eliminar resíduos de perfuração que comprometam o fluxo de água para o interior do poço e estimular a produção do aquífero. Compreende métodos hidráulicos, mecânicos e químicos cuja finalidade é melhorar o rendimento do poço e minimizar as perdas de carga de entrada de água.

Métodos

- **Bombeamento com ar comprimido:** injeção de ar comprimido por meio de compressor (Figura 9). A injeção de ar comprimido pode ser feita pelas hastes de perfuração posicionadas numa certa profundidade do poço e a saída de água pelo próprio revestimento; ou através de tubos de aço auxiliares de entrada de ar e saída de água. O dimensionamento do compressor deve levar em conta a pressão de arranque, o volume de ar injetado e a submergência (relação entre a altura de água acima do injetor e o comprimento da tubulação de injeção de ar). Para permitir fluxo contínuo de água, a submergência deve ser superior a 60%. Em poços profundos normalmente se utilizam compressores de grande pressão (350 psi) e grande volume de ar (950 p.c.m.).

Operações de bombeamento e desligamento do sistema produzem fluxo e refluxo que auxiliam o desenvolvimento e limpeza do poço.



Figura 9 – Desenvolvimento com compressor.

- **Reversão de fluxo:** consiste no bombeamento com bomba submersa e reinjeção da água extraída, de modo a promover uma inversão do fluxo de dentro do poço para o aquífero. A elevação da coluna hidrostática força a entrada de água através dos filtros no sentido do pré-filtro e do aquífero.
- **Jateamento:** processo em que água é bombeada por dentro da coluna de perfuração e sai sob pressão através de furos no jateador (peça cilíndrica com furos, posicionada na base da coluna). A operação consiste em posicionar o jateador em frente aos filtros e produzir um jato de alta pressão que vai limpar as ranhuras. Normalmente, a água injetada é preparada com produtos químicos defloculantes.
- **Superbombeamento:** operação que consiste em bombear o poço com vazão acima da vazão de produção do poço.
- **Pistoneamento:** operação que consiste na introdução do pistão (peça feita com anéis de borracha de diâmetro pouco inferior ao diâmetro do poço e dotadas de válvula) por dentro do revestimento e execução de movimentos curtos de subida e descida. Na descida a válvula se abre e alivia a pressão, na subida a válvula se fecha e o movimento propicia a sucção da água, extraíndo as partículas finas e resíduos de perfuração do aquífero.

- **Desenvolvimento químico:** introdução de produtos defloculantes, geralmente à base de polifosfatos. Os produtos dispersam os materiais argilosos, hidróxidos de ferro, óxidos de ferro e hidróxidos de manganês, e permitem sua remoção por bombeamento. As soluções de polifosfatos são injetadas na altura dos filtros e ficam em repouso por algumas horas para potencializar as reações químicas.

Tipo de equipamento

Determinado em função dos métodos de desenvolvimento previstos.

Duração

Determinação da duração das operações de desenvolvimento previstas.

Produtos químicos

Determinação da quantidade de produtos químicos em função do volume do poço. Normalmente, a proporção de polifosfatos é de 5 kg a 8 kg por m³ de água contida no volume do poço.

Testes de bombeamento

Os testes de bombeamento têm a finalidade de determinar as perdas de carga totais que ocorrem no poço em funcionamento e a vazão máxima admissível de exploração. Sua execução consiste no registro da evolução do rebaixamento no próprio poço bombeado. Em geral são feitos em três etapas, no mínimo, com vazão constante em cada etapa e crescente de modo que $Q_1 < Q_2 < Q_3$ (onde Q = vazão e 1,2,3 são as etapas). A duração de cada etapa deve ser a mesma para evitar correções na hora da interpretação dos resultados.

Os testes de produção podem ser feitos com dois métodos diferentes: testes sucessivos e testes escalonados, sendo este último o mais utilizado.

Os testes sucessivos são feitos com recuperação de níveis a cada etapa, ou seja, após período de bombeamento com monitoramento de níveis, a bomba é desligada e aguarda-se a recuperação de níveis antes de iniciar-se a etapa subsequente. Esta recuperação de níveis pode ser total ou parcial.

Já os testes escalonados são feitos com bombeamento contínuo do poço, passando-se de uma etapa à outra através de incremento brusco de vazão, sem recuperação de níveis entre as etapas e com ou sem estabilização do nível dinâmico em cada etapa.

Os testes de produção também contemplam o teste de vazão máxima e o de recuperação. Esses testes têm a finalidade de observar o comportamento dos níveis de água ao longo de período de bombeamento extenso e subsequente recuperação após término do bombeamento.

Detalhes sobre a execução e interpretação dos testes de produção podem ser consultados no Manual de Operação e Manutenção de Poços, publicado pelo Departamento de Águas e Energia Elétrica do Estado de São Paulo – DAEE (www.daee.sp.gov.br).

Tipo de teste

Determinação dos tipos de testes a serem realizados (vazão máxima, recuperação e escalonado, etc.)

Tipo de equipamento

Definição do equipamento para a realização dos testes, com especificação da vazão pretendida (m³/h) e da altura de elevação da água (m.c.a.). Normalmente, os testes são realizados com bombas submersíveis. Os projetistas devem consultar os catálogos dos fabricantes para determinar o equipamento mais adequado às características hidrodinâmicas previstas (Figura 10).

Duração

Determinação da duração de cada etapa dos testes, devendo-se considerar um tempo mínimo de 24 h para a vazão máxima, 6 h para os testes escalonados e 4 h para a recuperação.

Acabamento

O acabamento compreende os serviços finais a serem executados durante a construção do poço.

Limpeza

Remoção de materiais estranhos ao redor do poço e recomposição do terreno.

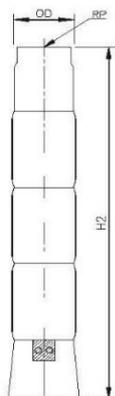
Desinfecção e tampa

Desinfecção é o processo que tem a finalidade de eliminar bactérias que possam estar presentes na água, normalmente contaminada pelas ferramentas utilizadas na construção do poço. A desinfecção é feita com hipoclorito de cálcio ou hipoclorito de sódio; se o teor de cálcio

na água for superior a 300 mg/L, evitar o hipoclorito de cálcio. Para cálculo da concentração e quantidade de hipoclorito a ser utilizado na desinfecção, consultar Tabela 9.

DIÂMETRO NOMINAL : 10" VAZÃO NOMINAL - 125 m³/h CONEXÃO : 6" BSP

DIMENSÕES E PESOS



BOMBEADOR MODELO	POTÊNCIA NOMINAL		PROTECTOR DO CABO	DIMENSÕES (mm)			PESO LÍQUIDO (kg)
	kW	HP		OD	RP	H2	
S10S-125-01R(6)	11	15	2	210	150	644	29.95
S10S-125-01(6)	18.5	25	2	210	150	644	29.95
S10S-125-02RR(6)	22	30	2	210	150	798	36.0
S10S-125-02(6)	30	40	2	210	150	798	36.0
S10S-125-03R	37	50	2	210	150	952	42.05
S10S-125-03(8)	45	60	1/2	210	150	952	42.05
S10S-125-04R(8)	55	75	1/2	210	150	1106	48.10
S10S-125-04(8)	63	85	1/2	210	150	1106	48.10
S10S-125-05(8)	75	100	1/2	210	150	1260	54.15
S10S-125-06RR(8)	75	100	1/2	210	150	1260	60.20
S10S-125-06(8)	93	125	1/2	210	150	1414	60.20
S10S-125-07RR(8)	93	125	1/2	210	150	1568	66.25
S10S-125-07	110	150	1/2	210	150	1568	66.25
S10S-125-08	130	175	1/2	210	150	1722	72.30
S10S-125-09	130	175	1/2	210	150	1876	78.35
S10S-125-10	150	200	1/2	210	150	2030	84.40

TABELA DE SELEÇÃO

BOMBEADOR MODELO	MOTOR HP	I / s	ALTURA MANOMÉTRICA (m)										
			0	5.56	11.12	16.68	22.24	27.8	33.36	38.92	44.48	50.04	
		m ³ /h	0	20	40	60	80	100	120	140	160	180	
S10S-125-01R(6)	15		30.5	31	29.5	28	26.5	25	23	21	17	12	
S10S-125-01(6)	25		49	47.5	45	42.5	39.5	36.5	33.5	30	26	18.5	
S10S-125-02RR(6)	30		58.5	60	58.5	56	53	50	46.5	41	34	24	
S10S-125-02(6)	40		90.5	88	85	82	78	73.5	68	62.5	55	44.5	
S10S-125-03R(8)	50		111	112	110	105	99	93	87	79.5	69	55	
S10S-125-03(8)	60		125	123	120.5	118	112	104	97.5	90	78	62	
S10S-125-04R(8)	75		165	160	155	149	141	133	124	111	92	68	
S10S-125-04(8)	85		174	171	167	161	154	146.5	137	125	107	78.5	
S10S-125-05(8)	100		212	207	203	196	188	180	169	156	133	102	
S10S-125-06RR(8)	100		229	218	216	210	200	188	176	160	139	111	
S10S-125-06(8)	125		247	246	243	236	223	211	198	182	161	132	
S10S-125-07RR(8)	125		261	260	258	250	237	224	208	191	166	136	
S10S-125-07	150		288	289	285	275	260	245	231	213	189	158	
S10S-125-08	175		332	332	329	320	305	288	268	244	216	183	
S10S-125-09	175		369	369	364	352	334	314	295	273	243	202	
S10S-125-10	200		409	408	402	390	371	349	328	302	268	224	

Figura 10 – Exemplo de catálogo de bomba submersa.

A tampa é tem a finalidade de proteger a captação enquanto o equipamento de bombeamento definitivo não for instalado. É feita com chapa soldada, tampa com rosca e cadeado ou outro dispositivo de segurança.

Laje de proteção

Laje de proteção de concreto armado, fundida no local, envolvendo o tubo de revestimento. A laje de proteção deverá ter declividade do centro para a borda, espessura mínima de 0,15 m e dimensões de 1,75 m por 1,75 m.

Perímetro de proteção sanitária

Para poços de abastecimento público deve-se ser delimitado um perímetro de proteção sanitária com raio de 10 m a partir do ponto de captação e protegido com alambrado (Figura 11).



Figura 11 – Perímetro de proteção cercado.

Condições específicas de projeto

Neste item são descritas especificações adicionais e complementares das operações e procedimentos relevantes para a construção do poço profundo, não discriminadas nos demais campos do formulário.

A captação deverá ser dotada de dispositivos que permitam a coleta de água, medições de nível, de vazão e de volume captado, visando ao monitoramento quantitativo e qualitativo da água (Figura 12).

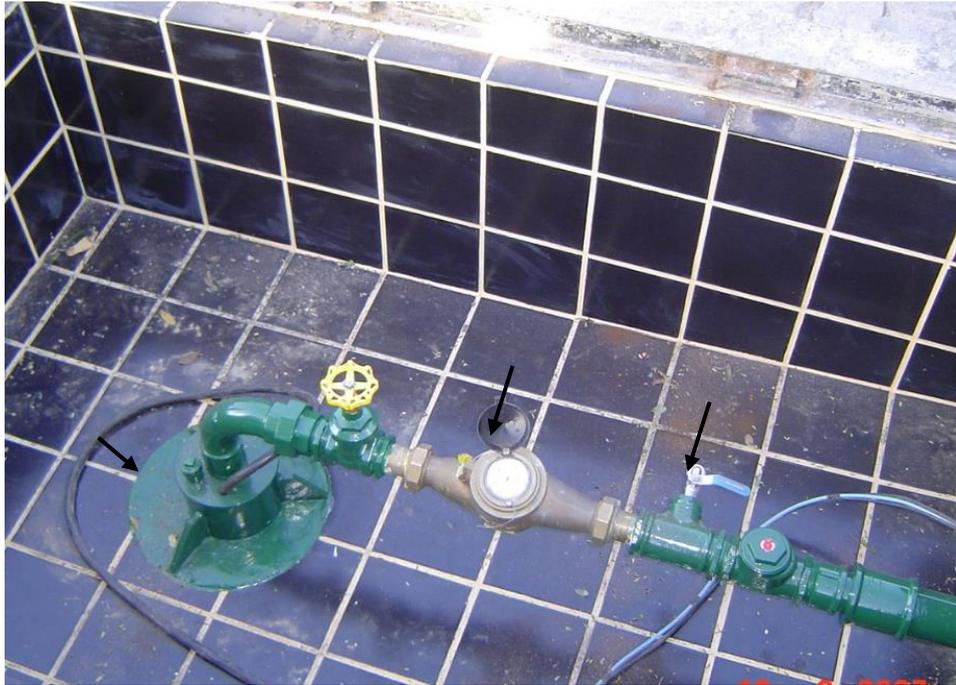


Figura 12 – Dispositivos de medição e coleta de água; a) tubos auxiliares de medição de nível; b) hidrômetro; c) torneira para coleta de amostras de água.

4.3 PROJETO ESQUEMÁTICO DE POÇO TUBULAR PROFUNDO

O projeto esquemático é a representação gráfica que sintetiza as características construtiva do poço e as características geológicas e hidrogeológicas do ponto de perfuração. Normalmente, no lado esquerdo do desenho são colocados os aspectos geológicos previstos e a escala vertical de profundidade, e do lado direito os aspectos construtivos e hidrogeológicos (Figura 13).

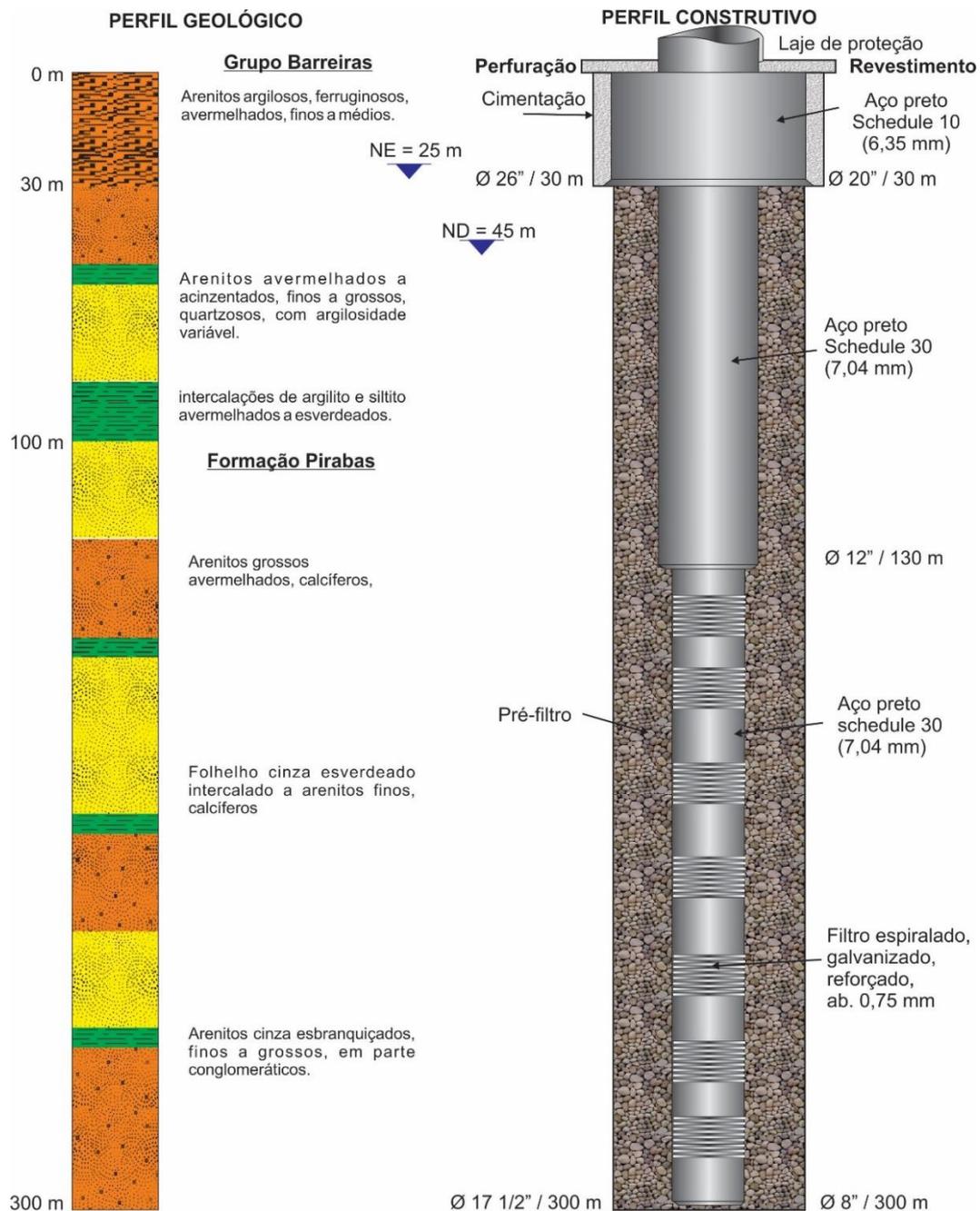


Figura 13 – Exemplo de projeto esquemático de poço tubular profundo.

4.4 MAPA DE LOCALIZAÇÃO

O mapa de localização é a representação gráfica do terreno na região do ponto selecionado para perfuração. Em geral é esboçado sobre uma base topográfica com indicação das altitudes do terreno, dos limites municipais, da sede dos municípios, dos cursos de água superficiais, das estradas e rodovias, dos poços existentes e outras informações relevantes (Figura 14).



Figura 14 – Exemplo de mapa de localização do ponto de perfuração.

5 OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO DE POÇOS

Os poços tubulares são obras artificiais de captação, capazes de extrair água subterrânea por meio do acionamento de equipamentos eletromecânicos, constituindo um sistema hidráulico integrado, por sua vez sujeito à deterioração com o passar do tempo.

A principal causa da diminuição da vida útil dos poços é a inexistência de um serviço permanente de operação e manutenção, capaz de detectar a tempo os motivos da queda de rendimento e aplicar soluções adequadas para reverter a situação. Nesse sentido, recomenda-se, enfaticamente, a consulta ao Manual de Operação e Manutenção de Poços do DAEE (www.daae.sp.gov.br).

Os serviços de operação consistem na obtenção e armazenamento de dados que permitem avaliar o desempenho do sistema aquífero-poço-bomba ao longo do tempo, em comparação com suas características hidráulicas iniciais.

Os serviços de manutenção consistem em assegurar a inspeção regular dos sistemas, verificar as condições do poço e equipamento de bombeamento, detectar as causas dos problemas e saná-los, de modo a garantir a eficiência e durabilidade dos sistemas.

As manutenções podem ser preventivas ou corretivas. No primeiro caso, recomenda-se inspeção e manutenção completa do sistema a cada dois anos. As manutenções corretivas devem ser feitas sempre que o sistema apresentar algum problema inesperado. Deve-se ter em mente que manutenções preventivas possuem custo mais baixo do que manutenções corretivas, ou seja, não é aconselhável operar um poço até que ocorra um colapso súbito da captação.

A implantação de serviços de operação e manutenção de poços requer a elaboração de programas sistemáticos, com uniformização de critérios e procedimentos.

A primeira etapa consiste no estabelecimento das condições hidráulicas iniciais de operação dos poços, que servirão para comparação com o desempenho ao longo do tempo. As condições hidráulicas iniciais são aquelas verificadas no momento da implantação do programa, e não aquelas observadas logo após a construção dos poços.

Nessa etapa, os seguintes dados deverão ser obtidos:

- Relatório final de construção dos poços;
- Resultados de análises químicas e bacteriológicas;

- Características dos equipamentos de bombeamento instalados;
- Dados atuais de testes de bombeamento;
- Inspeção por endoscopia ótica (filmagem) para verificação das condições estruturais dos poços (Figura 15).



Figura 15 – Endoscopia ótica (filmagem) de poço.

Os testes de bombeamento compreendem: teste de vazão máxima, teste escalonado e teste de recuperação. Os testes visam determinar a vazão ótima de exploração e as perdas de carga associadas ao bombeamento.

As informações obtidas nessa etapa deverão ser armazenadas em banco de dados específico, desenvolvido a critério do usuário/gestor.

O programa de operação sistemática de poços compreende:

- Instalação de equipamentos de controle e medição;
- Aquisição sistemática e armazenamento de dados;
- Manutenções periódicas nos sistemas.

Os equipamentos de controle e medição compreendem:

- Hidrômetro: tipo turbina, eletromagnético, etc. (Figura 16);
- Tubos laterais para medição de níveis: tubos de diâmetro mínimo de 3/4 de polegada, descidos desde a superfície até a altura da bomba submersa. Os tubos permitem a inserção de medidores de nível manuais ou eletrônicos para controle de nível.
- Sensores: são utilizados transdutores de pressão para monitoramento automático de níveis, sensores de temperatura e sensores de condutividade elétrica (Figura 16).

- Caixa de controle: dotada de equipamentos para controle e automação; e software para armazenamento, geração de relatórios e controle remoto dos sistemas.



Figura 16 – Transdutores e hidrômetro eletromagnético.

Os sistemas de monitoramento automatizado registram:

- Nível estático e dinâmico em frequências programáveis;
- Vazão instantânea e totalizada;
- Tempo de funcionamento do equipamento de bombeamento (horímetro);
- Corrente, tensão, temperatura e potência do motor da bomba submersa.

Os dados registrados pelos sistemas de monitoramento são armazenados em memória na caixa de controle e enviados por telemetria para um servidor, em tempo real (Figura 17). Via web, os gestores podem acompanhar as medições *online* e analisar os resultados, antecipando-se a eventuais problemas em fase inicial.

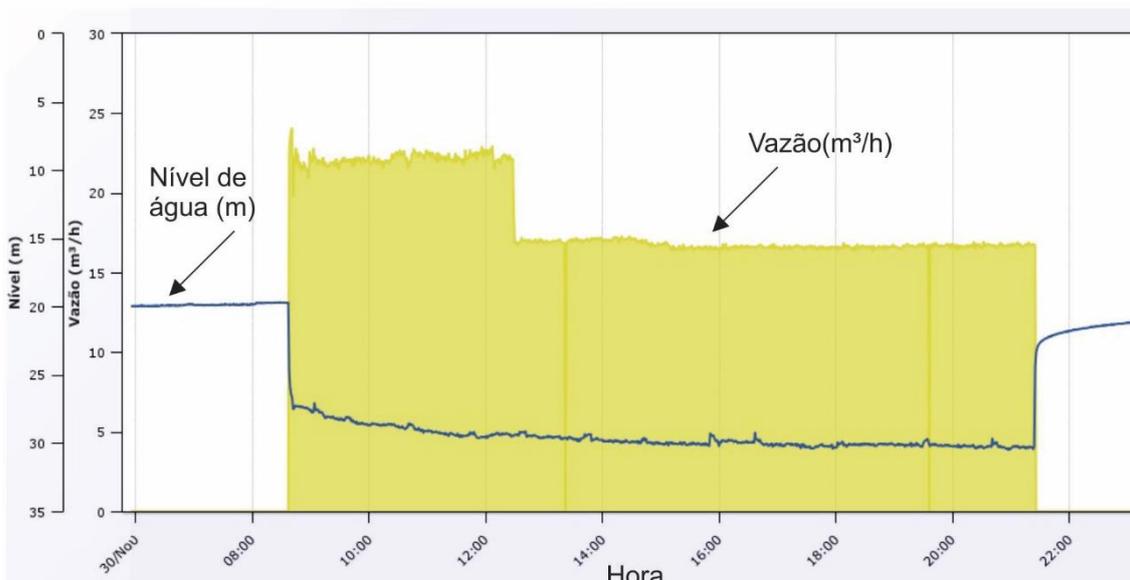


Figura 17 – Exemplo de poço monitorado automaticamente.

A determinação periódica da qualidade química e bacteriológica da água também é de importância fundamental a fim de detectar efeitos nocivos de seus elementos e substância sobre a estrutura do poço, que ocorrem de modo lento e progressivo. Recomenda-se a realização de uma análise completa de acordo com a Portaria MS-2914, a cada seis meses. Esta Portaria se aplica à água destinada ao consumo humano proveniente de sistema e solução alternativa de abastecimento de água.

Sempre que for realizada uma manutenção, preventiva ou corretiva, recomenda-se a realização de novos testes de bombeamento a fim de comparar cos resultados obtidos anteriormente e identificar eventuais anormalidades.

Sempre que necessário ou durante os serviços de manutenção preventiva ou corretiva, é recomendado proceder à desinfecção do poço com hipoclorito. O cálculo da quantidade de hipoclorito necessária para a desinfecção pode ser feito conforme definido na Tabela 9.

Recomenda-se que as operações de bombeamento dos poços sejam realizadas em regime 20 horas diárias, de modo que os poços possam recuperar os níveis durante um tempo mínimo de quatro horas.

A avaliação dos dados obtidos pelos serviços de operação e manutenção deve ser feita periodicamente, de modo a detectar eventuais problemas nos poços e propor providências necessárias para eliminá-los.

A avaliação compreende:

- Análise do comportamento do nível estático durante o período monitorado;
- Análise do comportamento do nível dinâmico em relação à vazão de bombeamento;
- Análise do comportamento da vazão específica e da eficiência do poço;
- Análise das condições de funcionamento do equipamento de bombeamento;
- Observação de eventuais mudanças nos parâmetros físico-químicos da água.

O nível estático pode apresentar os seguintes comportamentos:

- Caimento contínuo e progressivo indicando que a vazão de água extraída pelo poço é superior à capacidade de recarga e armazenamento do aquífero;
- Oscilação contínua, com os ramos ascendente e descendente correspondendo, mais ou menos, aos períodos de chuva e de seca, respectivamente.
- Oscilação irregular ao longo do tempo, podendo indicar mudanças de ciclo de bombeamento em diferentes épocas do ano ou interferência causada pelo bombeamento de poços vizinhos.
- Relativa estabilidade indicando que o volume de água que está sendo extraído do aquífero é compensado pela recarga.

O nível dinâmico pode apresentar os seguintes comportamentos:

- Oscilações irregulares causadas pela variação na taxa de bombeamento;
- Caimento contínuo e progressivo indicando incremento da perda de carga de entrada por obstrução ou colmatção dos filtros ou depleção do aquífero.

A vazão específica é um dos parâmetros mais úteis na avaliação do desempenho de um poço. Quedas acentuadas podem indicar, entre outros, colmatção ou incrustação de seções filtrantes.

Os problemas mais comuns observados em poços são:

Obstruções de seções filtrantes

Refletem-se em rebaixamentos progressivos do nível dinâmico, sem decaimento apreciável do nível estático. As obstruções são causadas por acumulação de areia, silte, argila, subprodutos da corrosão (material ferruginoso) ou ainda produtos de incrustação (geralmente carbonato de cálcio), nas ranhuras dos filtros e no pré-filtro (Figura 18). Presença de bactérias de ferro também produzem colmatção dos filtros.



Figura 18 – Colmatção e incrustação de filtros.

Incrustações nos revestimentos e tubos edutores

As incrustações diminuem o diâmetro interno dos revestimentos e tubos edutores, incrementam a rugosidade das paredes e aumentam as perdas de carga axiais (Figura 19).



Figura 19 –Incrustações de carbonato de cálcio.

Produção de areia

A produção de areia pode ter várias causas como pontes no pré-filtro, poço mal construído, vazão superdimensionada, etc.

Deterioração da estrutura do poço

Causada por problemas de corrosão e/ou produção de areia. Em poços revestidos em aço podem aparecer furos no revestimento, geralmente nas soldas entre os tubos, e alargamentos

das ranhuras dos filtros que, com o passar do tempo, podem causar o colapso total da estrutura. Poços revestidos em PVC são resistentes à corrosão química, porém, a passagem de areia pode alargar as ranhuras dos filtros e causar o colapso da estrutura.

Problemas no equipamento de bombeamento

Normalmente são utilizadas bombas submersas em poços tubulares. O equipamento é constituído de motor e bombeador acoplados, instalados a uma certa profundidade abaixo do nível de água do poço. O bombeador é constituído por uma série de rotores que elevam a água até a superfície. A diminuição da vazão acompanhada da subida do nível dinâmico indica que o equipamento de bombeamento está com problemas. As falhas mais comuns observadas nas bombas submersas são:

- Desregulagem do conjunto de rotores e demais partes da bomba, com vibrações anormais do equipamento devido a desgastes por abrasão, corrosão ou uso intensivo;
- Cavitação nos rotores, devido à presença de ar ou gases na água bombeada (rotores “pipocando”);
- Furos no tubo de descarga, produzindo ruído de “cachoeira”;
- Entupimento do crivo da bomba.

A Tabela 10 lista as falhas mais comuns em equipamentos de bombeamento, suas causas proáveis e correções recomendadas.

Queda de vazão do poço

A queda da vazão de produção do poço está associada a:

- Taxa de bombeamento superior ao ponto crítico do sistema, definido com base nos testes de produção;
- Bombeamento ininterrupto causando queda progressiva do nível dinâmico do poço;
- Interferências provocadas por poços vizinhos;
- Obstruções das seções filtrantes;
- Precipitação de carbonato de cálcio no pré-filtro, diminuindo a sua permeabilidade.

Problemas na qualidade da água

Problemas de corrosão nos revestimentos de aço ou de incrustação nos filtros, no pré-filtro, no aquífero e no equipamento de bombeamento geralmente causados por mudanças nas características físico-químicas e bacteriológicas da água subterrânea. Essas mudanças estão associadas a:

- Influência das condições de bombeamento da água, alterando o estado natural de equilíbrio físico-químico;
- Expansão do cone de rebaixamento, atingindo zonas com água de composição físico-química diferente;
- Contaminações produzidas durante a operação e manutenção dos poços.

Um escopo básico dos serviços de manutenção recomendados para poços tubulares profundos compreende:

- (1) Retirada do equipamento de bombeamento submerso;
- (2) Inspeção visual do equipamento de bombeamento, do cabo de alimentação e dos tubos edutores;
- (3) Encaminhamento do equipamento de bombeamento para revisão;
- (4) Realização de perfilagem ótica para avaliação das condições estruturais do poço;
- (5) Injeção de produtos químicos defloculantes;
- (6) Limpeza com ar comprimido;
- (7) Instalação do equipamento de bombeamento reserva;
- (8) Realização de testes de bombeamento;
- (9) Desinfecção do poço.
- (10) Coleta e análise de amostra de água.

6 EXEMPLOS DE PROJETOS DE POÇOS

São apresentados dois exemplos de projetos de poços nos anexos, um deles considerando a captação de água subterrânea no Sistema Aquífero Barreiras com 100 m de profundidade e o outro no Sistema Aquífero Pirabas com 300 m de profundidade. Com base em estimativa de custos contemplando perfuração, instalação de equipamento de bombeamento, manutenção preventiva do sistema e consumo de energia elétrica, foram realizados cálculos para avaliação do custo do metro cúbico de água subterrânea extraída dos sistemas aquíferos Barreiras e Pirabas.

6.1 ANÁLISES DE CUSTOS

As análises de custos feitas a seguir consideraram o método apresentado por CPRM (2002), com algumas modificações.

6.1.1 CUSTO DO M³ DE ÁGUA DO SISTEMA AQUÍFERO BARREIRAS

- a) Custo de amortização da construção do poço profundo

Foi calculado com base na equação abaixo:

$$Ap = \frac{Pp * i * (1 + i)^n}{[(1 + i)^n - 1]}$$

Onde: Pp = custo de poço, estimado em R\$ 250.000,00; i = juros anuais, estimados em 7%; n = período de duração, estimado em 20 anos; Ap = amortização anual do poço calculada em R\$ 23.598,23 (Quadro 1).

Quadro 1 – Custo de amortização do poço

Cálculo do custo de amortização do poço tubular			
Pp	i (%)	n (anos)	Ap
R\$250.000,00	0,07	20	R\$23.598,23

- b) Custo de amortização do equipamento de bombeamento

Foi calculado com base na equação abaixo:

$$Ab = \frac{Pb * i * (1 + i)^n}{[(1 + i)^n - 1]}$$

Onde: Pb = custo do equipamento de bombeamento, estimado em R\$ 35.000,00; i= juros anuais, estimados em 7%; n= período de duração, estimado em 5 anos; Ab= amortização anual do equipamento de bombeamento calculada em R\$ 8.536,17 (Quadro 2).

Quadro 2 – Custo de amortização do equipamento de bombeamento

Cálculo do custo de amortização do equipamento de bombeamento			
Pb	i (%)	n (anos)	Ab
R\$35.000,00	0,07	5	R\$8.536,17

c) Custo dos serviços de manutenção (Cm)

Foi calculado considerando o percentual anual de 5% sobre o custo da perfuração do poço, resultando em R\$ 12.500,00 (Quadro 3).

Quadro 3 – Custo de manutenção do sistema

Cálculo dos custos manutenção		
Pp	%	Cm
R\$250.000,00	0,05	R\$12.500,00

d) Custo de energia elétrica

Para o cálculo do custo de energia elétrica, primeiro define-se a potência do equipamento de bombeamento em Kw/h, de acordo com a equação abaixo:

$$Pot = \frac{Q * H}{270 * R} * 0,7457$$

Onde: Q= vazão de 50 m³/h projetada para o poço; H= altura manométrica de 50 m e R= rendimento do motor igual a 65%. A potência da bomba foi calculada em 11 Kw/h (Quadro 4).

Em seguida, define-se a quantidade de horas anuais de operação do poço e multiplica-se pela potência em Kw/h, obtendo-se o consumo anual de energia em Kw/ano. O custo total de energia é calculado multiplicando-se o consumo anual (Kw) pelo custo do Kw/h (estimado em R\$ 0,30), resultando em R\$ 23.263,29 (Quadro 4).

Quadro 4 – Custo de energia

Cálculo de custo de energia									
Vazão (m³/h)	H (m)	R (%)	Pot. (Hp)	Pot (Kw/h)	Horas/ dia	Dias/ ano	Consumo KW/ano	Custo KW/h	Custo total anual
50	50	0,65	14	11	20	365	77.544,30	R\$0,30	R\$23.263,29

e) Custo do m³ de água subterrânea

O custo de água subterrânea extraída do Sistema Barreiras compreende o somatório dos custos calculados nos itens (a), (b), (c) e (d), dividido pelo volume de retirada anual de água do aquífero, como mostrado no Quadro 5, resultando em R\$ 0,189 por m³.

Quadro 5 – Custo do m³ de água

Custo do m ³ de água		
Volume água (m ³) / ano	Custo total	Custo /m ³
365.000,00	R\$69.070,86	R\$0,189

6.1.2 CUSTO DO M³ DE ÁGUA DO SISTEMA AQUÍFERO PIRABAS

a) Custo de amortização da construção do poço profundo

Foi calculado com base na equação abaixo:

$$Ap = \frac{Pp * i * (1 + i)^n}{[(1 + i)^n - 1]}$$

Onde: Pp = custo de poço, estimado em R\$ 750.000,00; i= juros anuais, estimados em 7%; n= período de duração, estimado em 20 anos; Ap= amortização anual do poço calculada em R\$ 70.794,69 (Quadro 1).

Quadro 6 – Custo de amortização do poço

Cálculo do custo de amortização do poço tubular			
Pp	i (%)	n (anos)	Ap
R\$750.000,00	0,07	20	R\$70.794,69

b) Custo de amortização do equipamento de bombeamento

Foi calculado com base na equação abaixo:

$$Ab = \frac{Pb * i * (1 + i)^n}{[(1 + i)^n - 1]}$$

Onde: Pb = custo do equipamento de bombeamento, estimado em R\$ 90.000,00; i= juros anuais, estimados em 7%; n= período de duração, estimado em 5 anos; Ab= amortização anual do equipamento de bombeamento calculada em R\$ 21.950,16 (Quadro 2).

Quadro 7 – Custo de amortização do equipamento de bombeamento

Cálculo do custo de amortização do equipamento de bombeamento			
Pb	i (%)	n (anos)	Ab
R\$90.000,00	0,07	5	R\$21.950,16

c) Custo dos serviços de manutenção (Cm)

Foi calculado considerando o percentual anual de 7% sobre o custo da perfuração do poço, resultando em R\$ 52.500,00 (Quadro 3).

Quadro 8 – Custo de manutenção do sistema

Cálculo dos custos manutenção		
Pp	%	Cm
R\$750.000,00	0,07	R\$52.500,00

d) Custo de energia elétrica

Para o cálculo do custo de energia elétrica, primeiro define-se a potência do equipamento de bombeamento em Kw/h, de acordo com a equação abaixo:

$$Pot = \frac{Q * H}{270 * R} * 0,7457$$

Onde: Q= vazão de 280 m³/h projetada para o poço; H= altura manométrica de 50 m e R= rendimento do motor igual a 65%. A potência da bomba foi calculada em 59 Kw/h (Quadro 4).

Em seguida, define-se a quantidade de horas anuais de operação do poço e multiplica-se pela potência em Kw/h, obtendo-se o consumo anual de energia em Kw/ano. O custo total de energia é calculado multiplicando-se o consumo anual (Kw) pelo custo do Kw/h (estimado em R\$ 0,30), resultando em R\$ 130.274,43 (Quadro 4).

Quadro 9 – Custo de energia

Cálculo de custo de energia									
Vazão (m³/h)	H (m)	R (%)	Pot. (Hp)	Pot (Kw/h)	Horas/ dia	Dias/ ano	Consumo KW/ano	Custo KW/h	Custo total anual
280	50	0,65	80	59	20	365	434.248,09	R\$0,30	R\$130.274,43

e) Custo do m³ de água subterrânea

O custo de água subterrânea extraída do Sistema Barreiras compreende o somatório dos custos calculados nos itens (a), (b), (c) e (d), dividido pelo volume de retirada anual de água do aquífero, como mostrado no Quadro 5, resultando em R\$ 0,135 por m³.

Quadro 10 – Custo do m³ de água

Custo do m ³ de água		
Volume água (m ³) / ano	Custo total	Custo /m ³
2.044.000,00	R\$275.519,28	R\$0,135

6.2 CONCLUSÕES

O custo calculado do m³ de água subterrânea extraída por poços nos aquíferos da área estudada variou de R\$ 0,135 no Sistema Aquífero Pirabas, a R\$ 0,189 no Sistema Aquífero Barreiras. Os valores calculados demonstram a viabilidade do aproveitamento econômico das águas subterrâneas da região de Belém e municípios adjacentes.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. Construção de poço para captação de água subterrânea. NBR 12244. 1990.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. Projeto de poço para captação de água subterrânea. NBR 12212. 1990.

DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA DO ESTADO DE SÃO PAULO – DAEE. Manual de operação e manutenção de poços. Coord. Gerônimo Albuquerque Rocha & Antonio Ferrer Jorba. São Paulo (SP). 96 p. 3ª Edição. 2007.

DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA DO ESTADO DE SÃO PAULO – DAEE. Instrução Técnica DPO nº 10. Atualizada em 25/07/2017. Acesso em 10 de março de 2018 (www.daee.sp.gov.br).

FUNDAÇÃO NACIONAL DA SAÚDE – FUNASA. Manual de projeto e construção de poços tubulares profundos. Acesso em 12 de março de 2018. <http://www.perfuradores.com.br>.

GONÇALES, V. G. Manual de perfuração de poços tubulares para investigação e captação de água subterrânea no Sistema Aquífero Guarani. Série Manuais e Documentos Técnicos. Projeto de Proteção Ambiental e Desenvolvimento Sustentável do Sistema Aquífero Guarani. Coord. Valter Galdiano Gonçalves. Montevideu (UY). 175 p. 2007.

PAULA E SILVA, F. Coletânea de estudos hidrogeológicos para perfuração, operação e manutenção de poços tubulares profundos. *Geodata – Consultoria e Projetos Hidrogeológicos*. Relatórios internos. 2017.

PETROLEO BRASILEIRO S.A. – PETROBRAS. Manual de perfuração. Coord. Antonio Carvalho Almeida. Salvador (BA). 450 p. 1977.

SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL – CPRM. Hidrogeologia: Conceitos e aplicações. Coord. Feitosa, F.A.C. & Manoel Filho, J. CPRM, LABHID-UFPE. Fortaleza, 412 p. 1997.

SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL – CPRM. Noções básicas sobre poços tubulares profundos. Cartilha informativa. Programa de ações emergenciais de combate aos efeitos das secas. 1998.

UOP JOHNSON. Água Subterrânea e Poços Tubulares. 3ª edição São Paulo, CETESB 1978.

SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL – CPRM. Projeto estudos hidrogeológicos da região metropolitana de Belém e adjacências. Programa Nacional de Recursos Hídricos. Ministério de Minas e Energia. 93 p. 2002.

TABELAS

Tabela 1 – Diâmetros de brocas e capacidade de poço aberto

Diâmetro da Broca		Volume de Fluido		Altura ocupada por	
				1 Bbl de Fluido	1 m ³ de Fluido
Pol	mm	Bbl/ 100 m	litros/metro	Metros	Metros
4 3/4	121	7,17	11,43	13,95	87,51
5 5/8	143	10,06	16,02	9,94	62,40
5 7/8	149	10,97	17,48	9,12	57,21
6	152	11,44	18,23	8,74	54,85
6 1/8	156	11,92	19,00	8,39	52,63
6 1/4	159	12,42	19,78	8,05	50,55
6 1/2	165	13,43	21,40	7,45	46,73
6 3/4	171	14,48	23,08	6,91	43,34
7 5/8	194	18,48	29,45	5,41	33,96
7 7/8	200	19,71	31,41	5,07	31,84
8 3/8	213	22,29	35,52	4,49	28,15
8 1/2	216	22,96	36,59	4,35	27,33
8 5/8	219	23,64	37,68	4,23	26,54
8 3/4	222	24,33	38,78	4,11	25,79
9	229	25,74	41,02	3,88	24,38
9 1/2	241	28,68	45,71	3,49	21,88
9 5/8	244	29,44	46,92	3,40	21,31
9 7/8	251	30,99	49,39	3,23	20,25
10 5/8	270	35,88	57,17	2,79	17,49
11	279	38,46	61,28	2,60	16,32
12 1/4	311	47,69	76,00	2,10	13,16
14 3/4	375	69,15	110,18	1,45	9,08
17 1/2	445	97,33	155,10	1,03	6,45
20	508	127,13	202,58	0,79	4,94
22	559	153,83	245,12	0,65	4,08
24	610	183,07	291,72	0,55	3,43
26	660	214,85	342,36	0,47	2,92
28	711	249,18	397,06	0,40	2,52
30	762	286,04	455,81	0,35	2,19
36	914	411,90	656,36	0,24	1,52

Fórmulas	Unidades	Unidades
	V	d
$V = 0,07854 * d^2$	litros / metro	mm
$V = 0,5067 * d^2$	litros / metro	pol
$V = 0,097143 * d^2$	bbl / 100 pés	pol
$V = 0,0054542 * d^2$	pés ³ / pé	pol
$V = 0,0408 * d^2$	gal / pé	pol

V = volume ou capacidade

d = diâmetro da broca

Referência: Paula e Silva (2017)

Tabela 2 - Perfis quanto ao tipo de lama de perfuração

Tipo de lama	Informação	Tipo de perfil a ser utilizado
Água doce e água do mar	Resistividade	Elétrico Indução Elétrico Convencional Duplo Indução Lateroperfil
	Porosidade e Litologia	Sônico Densidade Neutrônico Raios Gama
	Indicadores de porosidade e Rxo	Microperfil Microlateroperfil Microproximidade
	Mergulhos	Dipmeter (CDT, HDT, PDT)
Saturada de sal	Resistividade	Lateroperfil
	Porosidade e Litologia	Sônico Densidade Neutrônico Raios Gama
	Indicadores de Permeabilidade e Rxo	Microlateroperfil
	Mergulhos	Dipmeter (PDT, HDT)
Base de óleo	Resistividade	Indução (1)
	Porosidade e Litologia	Sônico Densidade Neutrônico Raios Gama
	Indicadores de Permeabilidade e Rxo	Nenhum
	Mergulhos	Dipmeter (CDT, HDT) (2)
Poços sem lama	Resistividade	Indução
	Porosidade e Litologia	Densidade Neutrônico Raios Gama
	Indicadores de Permeabilidade e Rxo	Nenhum
	Mergulhos	Nenhum

1 - Sem as curvas do SP e Normal Curta. Pode ser corrido com Raios Gama.

2 - Utilizando eletrodo especial (scratch eletrode).

Referência: Paula e Silva (2017)

Tabela 3 - Especificações de tubos de aço padrão schedule

Diametro Nominal	Norma	Ø Ext (pol)	Ø Int. (pol)	Esp. (pol)	Ø Ext. (mm)	Ø Int. (mm)	Esp. (mm)	Resist. (Kg/cm ²)	Resist. (psi)	Peso (Kg/m)
4"	DIN 2440	4 ½	4,15	0,18	114,30	105,30	4,50	218,53	3.107	12,10
4"	SCH 40	4 ½	4,03	0,24	114,30	102,26	6,02	571,26	8.123	16,06
5"	DIN 2440	5 ½	5,13	3/16	139,70	130,18	4,76	136,88	1.946	16,13
5"	SCH 40	5 9/16	5,05	0,26	141,30	128,20	6,55	373,44	5.310	21,76
6"	DIN 2440	6 5/8	6,13	3/16	165,10	155,58	4,76	80,19	1.140	19,20
6"	SCH 20	6 5/8	6,22	0,20	168,28	158,00	5,00	88,74	1.262	20,31
6"	SCH 40	6 5/8	6,07	0,28	168,28	154,06	7,11	275,23	3.914	28,23
8"	DIN 2440	8 5/8	8 ¼	3/16	219,08	209,56	4,76	32,81	467	25,16
8"	SCH 20	8 5/8	8 1/8	1/4	219,08	206,38	6,35	81,56	1.160	33,31
8"	SCH 30	8 5/8	8,07	0,28	219,08	205,00	7,04	113,40	1.613	36,79
8"	SCH 40	8 5/8	7,98	0,32	219,08	202,72	8,18	183,96	2.616	42,53
8"	SCH 80	8 5/8	7 5/8	1/2	219,08	193,68	12,70	789,43	11.226	64,63
10"	SCH 20	10 ¾	10 ¼	1/4	273,05	260,35	6,35	40,63	578	41,77
10"	SCH 30	10 ¾	10,14	0,31	273,05	257,45	7,80	77,87	1.107	51,00
10"	SCH 40	10 ¾	10,02	0,37	273,05	254,51	9,27	135,30	1.924	60,29
10"	SCH 60	10 ¾	9 ¾	1/2	273,05	247,65	12,70	377,62	5.370	81,54
12"	SCH 20	12 ¾	12 ¼	1/4	323,85	311,15	6,35	23,80	338	49,72
12"	SCH30	12 ¾	12,09	21/64	323,85	307,09	8,38	56,90	809	65,2
12"	STD	12 ¾	12	3/8	323,85	304,81	9,52	85,31	1.213	73,82
12"	SCH 40	12 ¾	11,94	13/32	323,85	303,23	10,31	110,06	1.565	79,74
12"	XS	12 ¾	11 ¾	1/2	323,85	298,45	12,70	215,75	3.068	97,44
14"	SCH 10	14	13 ½	1/4	355,60	342,90	6,35	17,78	253	54,68
14"	SCH 20	14	13 3/8	5/16	355,60	339,76	7,92	35,47	504	67,94
14"	SCH 30	14	13 ¼	3/8	355,60	336,56	9,52	63,37	901	81,28
14"	XS	14	13	1/2	355,60	330,20	12,7	159,31	2.265	107,38
16"	SCH 10	16	15 ½	1/4	406,40	393,70	6,35	11,75	167	62,63
16"	SCH 20	16	15 3/8	5/16	406,40	390,56	7,92	23,35	332	77,85
16"	STD	16	15 ¼	3/8	406,40	387,36	9,52	41,56	591	93,21
16"	SCH 40	16	15	1/2	406,40	381,00	12,7	103,70	1.475	123,29
18"	SCH 10	18	17 ½	1/4	457,20	444,50	6,35	8,16	116	70,59
18"	SCH 20	18	17 3/8	5/16	457,20	441,36	7,92	16,18	230	87,79
18"	STD	18	17 ¼	3/8	457,20	438,16	9,52	28,72	408	105,14
18"	XS	18	17	1/2	457,20	431,80	12,7	71,24	1.013	139,19
20"	SCH 10	20	19 ½	1/4	508,00	495,30	6,35	5,90	84	78,54
20"	SCH 20	20	19 ¼	3/8	508,00	488,96	9,52	20,67	294	117,07
20"	SCH 30	20	19	1/2	508,00	482,60	12,7	51,03	726	155,10
22"	SCH 10	22	21 ½	1/4	558,8	546,10	6,35	4,40	63	86,50
22"	SCH 20	22	21 ¼	3/8	558,8	539,76	9,52	15,36	218	129,01
22"	SCH 30	22	21	1/2	558,8	533,40	12,7	37,79	537	171,01
24"	SCH 10	24	23 ½	1/4	609,90	597,20	6,35	3,37	48	94,45
24"	SCH 20	24	23 ¼	3/8	609,90	590,86	9,52	11,71	167	140,94
24"	SCH 30	24	22 7/8	9/16	609,90	581,36	14,27	41,41	589	209,54
26"	SCH 10	26	25 3/8	5/16	660,40	644,56	7,92	5,19	74	127,50
26"	STD	26	25 ¼	3/8	660,40	641,36	9,52	9,16	130	152,87
26"	SCH 20	26	25	1/2	660,40	635,00	12,70	22,40	319	202,83
28"	SCH 10	28	27 3/8	5/16	711,20	695,36	7,92	4,14	59	137,42
28"	STD	28	27 ¼	3/8	711,20	692,16	9,52	7,29	104	164,80
28"	SCH 20	28	27	1/2	711,20	685,80	12,70	17,78	253	218,73
30"	SCH 10	30	29 3/8	5/16	762,00	746,16	7,92	3,35	48	147,36
30"	STD	30	29 ¼	3/8	762,00	742,96	9,52	5,89	84	176,73
30"	SCH 20	30	29	1/2	762,00	736,60	12,70	14,35	204	234,64

R (Kg/cm²) = resistência ao colapso

R (psi) = resistência ao colapso

P (Kg/m) = peso por metro

Fórmula Pressão de Colapso

$R = 2 \times E/k \times (e/D)^3$

R = Kg/cm²

E = 2,1 x 10⁶ (módulo de elasticidade do aço)

K = 1,5 (fator de segurança)

Fórmula do Peso Teórico

$P = 0,02466 \times (\text{Øext}-e) \times e$

P= peso teórico (Kg/m)

Øext= diametro externo em mm

e= espessura em mm

Referência: Paula e Silva (2017)

Tabela 4 - Especificações de tubos e filtros de PVC

Tubos de PVC - especificações										
Ø N (pol)	Ø N (mm)	Ø Ext. (pol)	Ø Ext. (mm)	Ø Int. (pol)	Ø Int. (mm)	Esp. (mm)	DEB (mm)	R (Kg/cm ²)	R (psi)	P (Kg/m)
4-S	100-S	4,61	117	4,02	102	7,0	125	7,0	100	3,04
6-L	154-L	6,85	174	6,26	159	7,1	184	2,5	36	4,60
6-S	154-S	6,85	174	6,02	153	9,5	184	8,0	114	6,46
6-R	150-R	6,85	174	5,91	150	11,5	188	18,0	256	7,70
8-S	206-S	9,09	231	8,07	205	12,0	248	7,0	100	11,01
8-R	200-R	9,09	231	7,87	200	15,0	248	18,0	256	13,52
10-S	250-S	11,22	285	9,92	252	15,0	299	7,0	100	17,11
12-S	300-S	13,19	335	11,73	298	17,0	351	7,0	100	23,09

L - leve S - standard R - reforçado R= resistência ao colapso
 P= peso
 DEB= diametro externo da bolsa

Filtros de PVC - especificações										
Ø N (pol)	Ø N (mm)	Ø Ext. (pol)	Ø Ext. (mm)	Ø Int. (pol)	Ø Int. (mm)	Esp. (mm)	DEB (mm)	P (Kg/cm ²)	P (psi)	P (Kg/m)
4-S	100-S	4,61	117	4,02	102	7,0	125	6,0	85	3,04
6-L	154-L	6,85	174	6,26	159	7,1	184	2,0	28	4,60
6-S	154-S	6,85	174	6,02	153	9,5	184	7,0	100	6,46
6-R	150-R	6,85	174	5,91	150	11,5	188	15,0	213	7,70
8-S	206-S	9,09	231	8,07	205	12,0	248	6,0	85	11,01
8-R	200-R	9,09	231	7,87	200	15,0	248	15,0	213	13,52
10-S	250-S	11,22	285	9,92	252	15,0	299	6,0	85	17,11
12-S	300-S	13,19	335	11,73	298	17,0	351	6,0	85	23,09

L - leve S - standard R - reforçado R= resistência ao colapso
 * Fornecidos mediante consulta prévia P= peso
 * Ranhuras: 0,50 0,75 1,00 1,50 DEB= diametro externo da bolsa

Vazão por metro de filtro (m³/h) à velocidade de 3 cm/s

Ø N (pol)	Ø N (mm)	Abertura em mm			
		0,50	0,75	1,00	2,00
4	100	2,10	2,70	3,80	4,40
6	154	3,00	4,10	5,80	6,80
8	206	3,90	5,50	7,40	8,90
10	250	4,80	7,00	9,10	11,00

Profundidade básica de aplicação

Modelo	Profundidade (m)
Leve	50
Standard	150
Reforçado	300

Resistência à tração nas roscas (Kgf)

Tipo	Leve		Standard				Reforçado		
Ø (pol)	6	8	4	6	8	10	6	8	10
R (Kgf)	3.600	6.300	4.500	8.500	15.000	19.000	10.500	19.000	23.500

Comprimento da barra (m)

Tubos lisos= 1,0 - 2,0 - 4,0 - 6,0
 Filtros= 2,0 - 4,0

Referência: Paula e Silva (2017)

Tabela 5 - Correspondência entre as diferentes unidades de peso específico

Peso Específico			Gradiente		Peso Específico			Gradiente	
Lb/pé	lb/gal	g/cm ³	psi/m	psi/pé	Lb/pé	lb/gal	g/cm ³	psi/m	psi/pé
50	6,68	0,801	1,139	0,347	101	13,50	1,618	2,301	0,701
51	6,82	0,817	1,162	0,354	102	13,64	1,634	2,324	0,708
52	6,95	0,833	1,185	0,361	103	13,77	1,650	2,346	0,715
53	7,09	0,849	1,207	0,368	104	13,90	1,666	2,369	0,722
54	7,22	0,865	1,230	0,375	105	14,04	1,682	2,392	0,729
55	7,35	0,881	1,253	0,382	106	14,17	1,698	2,415	0,736
56	7,49	0,897	1,276	0,389	107	14,30	1,714	2,437	0,742
57	7,62	0,913	1,298	0,396	108	14,44	1,730	2,460	0,749
58	7,75	0,929	1,321	0,402	109	14,57	1,746	2,483	0,756
59	7,89	0,945	1,344	0,409	110	14,70	1,762	2,506	0,763
60	8,02	0,961	1,367	0,416	111	14,84	1,778	2,529	0,770
61	8,15	0,977	1,390	0,423	112	14,97	1,794	2,551	0,777
62	8,29	0,993	1,412	0,430	113	15,11	1,810	2,574	0,784
62,4	8,33	1,000	1,421	0,433	114	15,24	1,826	2,597	0,791
63	8,42	1,009	1,435	0,437	115	15,37	1,842	2,620	0,798
64	8,56	1,025	1,458	0,444	116	15,51	1,858	2,642	0,805
65	8,69	1,041	1,481	0,451	117	15,64	1,874	2,665	0,812
66	8,82	1,057	1,503	0,458	118	15,77	1,890	2,688	0,819
67	8,96	1,073	1,526	0,465	119	15,91	1,906	2,711	0,826
68	9,09	1,089	1,549	0,472	120	16,04	1,922	2,734	0,833
69	9,22	1,105	1,572	0,479	121	16,18	1,938	2,756	0,840
70	9,36	1,121	1,595	0,486	122	16,31	1,954	2,779	0,847
71	9,49	1,137	1,617	0,493	123	16,44	1,970	2,802	0,854
72	9,62	1,153	1,640	0,500	124	16,58	1,986	2,825	0,860
73	9,76	1,169	1,663	0,507	125	16,71	2,003	2,847	0,867
74	9,89	1,185	1,686	0,513	126	16,84	2,019	2,870	0,874
75	10,03	1,202	1,708	0,520	127	16,98	2,035	2,893	0,881
76	10,16	1,218	1,731	0,527	128	17,11	2,051	2,916	0,888
77	10,29	1,234	1,754	0,534	129	17,24	2,067	2,939	0,895
78	10,43	1,250	1,777	0,541	130	17,38	2,083	2,961	0,902
79	10,56	1,266	1,800	0,548	131	17,51	2,099	2,984	0,909
80	10,69	1,282	1,822	0,555	132	17,65	2,115	3,007	0,916
81	10,83	1,298	1,845	0,562	133	17,78	2,131	3,030	0,923
82	10,96	1,314	1,868	0,569	134	17,91	2,147	3,053	0,930
83	11,10	1,330	1,891	0,576	135	18,05	2,163	3,075	0,937
84	11,23	1,346	1,914	0,583	136	18,18	2,179	3,098	0,944
85	11,36	1,362	1,936	0,590	137	18,31	2,195	3,121	0,951
86	11,50	1,378	1,959	0,597	138	18,45	2,211	3,144	0,958
87	11,63	1,394	1,982	0,604	139	18,58	2,227	3,166	0,965
88	11,76	1,410	2,005	0,611	140	18,72	2,243	3,189	0,971
89	11,90	1,426	2,027	0,618	141	18,85	2,259	3,212	0,978
90	12,03	1,442	2,050	0,625	142	18,98	2,275	3,235	0,985
91	12,16	1,458	2,073	0,631	143	19,12	2,291	3,258	0,992
92	12,30	1,474	2,096	0,638	144	19,25	2,307	3,280	0,999
93	12,43	1,490	2,119	0,645	145	19,38	2,323	3,303	1,006
94	12,57	1,506	2,141	0,652	146	19,52	2,339	3,326	1,013
95	12,70	1,522	2,164	0,659	147	19,65	2,355	3,349	1,020
96	12,83	1,538	2,187	0,666	148	19,78	2,371	3,371	1,027
97	12,97	1,554	2,210	0,673	149	19,92	2,387	3,394	1,034
98	13,10	1,570	2,232	0,680	150	20,05	2,403	3,417	1,041
99	13,23	1,586	2,255	0,687	151	20,19	2,419	3,440	1,048
100	13,37	1,602	2,278	0,694	152	20,32	2,435	3,463	1,055

Referência: Paula e Silva (2017)

Tabela 6 – Especificações de filtros de aço

Filtros de Aço										
Especificações, capacidades de produção de água, área aberta										
Passagens de água por metro linear de filtro à velocidade de 3 cm/s										
Tipo Standard			Ranhura							
			0,5 mm		0,75 mm		1,0 mm		1,5 mm	
Diâmetros (pol)			Litros/h	% Área aberta						
N	Int.	Ext.								
2	1 ¾	2 3/8	5.300	26	5.900	29	6.300	31	8.400	41
2	2	2 5/8	5.600		6.300		6.700		8.900	
2 ½	2½	3 1/8	7.000		7.800		8.300		11.000	
3	3	3 5/8	7.900		8.800		9.400		12.400	
4	4	4 5/8	10.100		11.300		12.100		15.900	
5	5	5 5/8	12.400		13.800		14.700		19.500	
6	6	6 5/8	13.200	18	14.000	25	17.400	26	23.000	35
8	8	8 5/8	13.200		18.300		22.700		30.100	
10	10	10 ¾	16.700		23.200		28.700		32.400	
12	12	12 ¾	17.500	15	22.000	20	28.600	26	38.500	

N = diâmetro nominal

Int. = diâmetro interno

Ext. = diâmetro externo

Profundidade indicada de aplicação	
Padrão	Profundidade (m)
Standard	Até 200
Reforçado	Até 400
Super-reforçado	Até 650
Hiper-reforçado	Até 850
Super Weld	Até 1500

Referência: Paula e Silva (2017)

Tabela 7 – Capacidade do anular e volume de pré-filtro

Capacidade do anular e volume de pré-filtro														
Diametro do poço		Diametro do revestimento (pol)												
pol	mm	4 1/2	5 1/2	6 5/8	8 5/8	10 3/4	12 3/4	13 1/2	14	16	18	20	22	24
5 7/8	149	7,2	2,2											
6	152	8,0	2,9											
6 1/8	156	8,7	3,7											
6 1/4	159	9,5	4,5											
6 1/2	165	11,1	6,1											
6 3/4	171	12,8	7,8	0,8										
7 5/8	194	19,2	14,1	7,2										
7 7/8	200	21,2	16,1	9,2										
8 3/8	213	25,3	20,2	13,3										
8 1/2	216	26,3	21,3	14,4										
8 5/8	219	27,4	22,4	15,5										
8 3/4	222	28,5	23,5	16,6	1,1									
9	229	30,8	25,7	18,8	3,3									
9 1/2	241	35,5	30,4	23,5	8,0									
9 5/8	244	36,7	31,6	24,7	9,2									
9 7/8	251	39,2	34,1	27,2	11,7									
10 5/8	270	46,9	41,9	35,0	19,5									
11	279	51,1	46,0	39,1	23,6	2,8								
12 1/4	311	65,8	60,7	53,8	38,3	17,5								
14 3/4	375	100,0	94,9	88,0	72,5	51,7	27,9	17,9	10,9					
17 1/2	445	144,9	139,8	132,9	117,5	96,6	72,8	62,8	55,9	25,5				
20	508	192,4	187,4	180,4	165,0	144,1	120,3	110,3	103,4	73,0	38,5			
22	559	235,0	229,9	223,0	207,5	186,7	162,9	152,9	145,9	115,5	81,1	42,6		
24	610	281,6	276,5	269,6	254,2	233,3	209,5	199,5	192,5	162,1	127,7	89,2	46,6	
26	660	332,3	327,2	320,3	304,8	284,0	260,2	250,2	243,2	212,8	178,4	139,8	97,3	50,7
28	711	387,0	381,9	375,0	359,6	338,7	314,9	304,9	297,9	267,5	233,1	194,6	152,0	105,4
30	762	445,8	440,7	433,8	418,3	397,5	373,7	363,7	356,7	326,3	291,9	253,4	210,8	164,2
36	914	646,4	641,4	634,4	619,0	598,1	574,3	564,3	557,4	527,0	492,5	454,0	411,4	364,8

Fórmulas	Unidades	Unidades
	V	d
$V = 0,07854 * (dp^2 - dr^2)$	litros / metro	cm
$V = 0,5067 * (dp^2 - dr^2)$	litros / metro	pol
$V = 0,097143 * (dp^2 - dr^2)$	bbl / 100 pés	pol
$V = 0,0054542 * (dp^2 - dr^2)$	pés³ / pé	pol

V = volume ou capacidade do anular
 dp = diametro do poço
 dr = diametro do revestimento

Referência: Paula e Silva (2017)

Tabela 8 – Características da pasta de cimento

Características da pasta de cimento							
Lítros de água / saco cimento	Vol. pasta (L) / saco cimento	Pêso da pasta (lb/gal)	% de água em peso de cimento	Lítros de água / saco cimento	Vol. Pasta (L) / saco cimento	Pêso da pasta (lb/gal)	% de água em peso de cimento
40,0	55,9	13,4	80	29,5	45,4	14,6	59
39,5	55,4	13,5	79	29,0	44,9	14,6	58
39,0	54,9	13,5	78	28,5	44,4	14,7	57
38,5	54,4	13,5	77	28,0	43,9	14,8	56
38,0	53,9	13,6	76	27,5	43,4	14,9	55
37,5	53,4	13,6	75	27,0	42,9	14,9	54
37,0	52,9	13,7	74	26,5	42,4	15,0	53
36,5	52,4	13,7	73	26,0	41,9	15,1	52
36,0	51,9	13,8	72	25,5	41,4	15,2	51
35,5	51,4	13,8	71	25,0	40,9	15,3	50
35,0	50,9	13,9	70	24,5	40,4	15,4	49
34,5	50,4	14,0	69	24,0	39,9	15,4	48
34,0	49,9	14,0	68	23,5	39,4	15,5	47
33,5	49,4	14,1	67	23,0	38,9	15,6	46
33,0	48,9	14,1	66	22,5	38,4	15,7	45
32,5	48,4	14,2	65	22,0	37,9	15,8	44
32,0	47,9	14,3	64	21,5	37,4	15,9	43
31,5	47,4	14,3	63	21,0	36,9	16,0	42
31,0	46,9	14,4	62	20,5	36,4	16,1	41
30,5	46,4	14,4	61	20,0	35,9	16,2	40
30,0	45,9	14,5	60	19,5	35,4	16,3	39

Saco de cimento : 50 Kg

Peso específico do cimento : 3,14 g/cm

Fórmulas

Volume da pasta

$$V_p = V_c + V_a \text{ (L)}$$

Peso da pasta

$$P_p = P_c + P_a \text{ (Kg)}$$

Densidade da pasta

$$D_p = P_p / V_p \times 8,33 \text{ (lb/gal)}$$

% de Água / peso de cimento

$$P_a / P_c \times 100$$

V_p= volume de pasta (L)

P_p= peso da pasta (kg)

D_p= densidade da pasta (lb/gal)

V_c= volume de cimento (L)

P_c= peso do cimento (kg)

V_a= volume de água (L)

P_a= peso de água (kg)

Referência: Paula e Silva (2017)

Tabela 9 – Concentração de Hipoclorito para desinfecção de poços

Cloro e seus compostos			
Nome	Nome comercial	Teor de cloro	Características
Cloro gasoso	Cloro gasoso	100%	gás
Hipoclorito de cálcio	HTH Percloro	70%	em pó
Hipoclorito de sódio	Hipoclorito de sódio	10 a 15%	líquido
Cal clorada	Pó descolorante Cloreto de cal	25 a 27%	em pó
Hipoclorito de sódio	Água sanitária	2 a 3%	líquido

Quantidade de hipoclorito de cálcio para cada m³ de solução	
Concentração de cloro (mg/ litro)	Quantidade (g)
100	140
150	200
200	300
300	400
400	500

Volume de hipoclorito de sódio líquido para cada m³ de solução			
Concentração de cloro (mg/L)	Litros de hipoclorito líquido à		
	3%	5%	10%
100	4	2	1
150	5	3	1,5
250	9	5	2,5
300	10	6	3
400	14	8	4

Cálculo da quantidade de hipoclorito para cada m³

$$Q = CD / (CA * 1000)$$

onde:

Q= quantidade de alvejante em litros

CD= concentração de cloro desejada, em mg/l

CA= concentração de cloro do alvejante, em %

Referência: Paula e Silva (2017)

Tabela 10 – Falhas mais comuns em equipamentos de bombeamento, causas prováveis e correções

Bombas Centrífugas com ou sem Ejetor		
Falhas	Causas Prováveis	Correções
bomba funciona mas não extrai água.	<ul style="list-style-type: none"> a bomba e a tubulação não estão cheias de água. motor com rotação insuficiente. bomba girando ao contrário. entrada de ar na tubulação ou na carcaça. 	<ul style="list-style-type: none"> escorvar a bomba. ajustar a tensão do motor. inverter a ligação. vedar as conexões.
bomba fornece vazão inferior à normal.	<ul style="list-style-type: none"> entrada de ar pela sucção. rotação do motor abaixo da normal. rotor e válvula de retenção parcialmente entupidos. rotor gasto ou danificado. 	<ul style="list-style-type: none"> vedar as conexões. controlar a tensão e a corrente. desobstruir o rotor e a válvula. substituir o rotor.
bomba perde escorvamento depois da partida.	<ul style="list-style-type: none"> entrada de ar na sucção. presença de ar na água. entrada de ar pela gaxeta. 	<ul style="list-style-type: none"> vedar conexões. usar bomba auto-escorvante. recolocar o selo mecânico ou os anéis.
bomba sobrecarrega o motor.	<ul style="list-style-type: none"> rotação acima do normal. altura manométrica total inferior ao previsto e vazão superior à capacidade. atrito mecânico na bomba. 	<ul style="list-style-type: none"> ajustar a tensão. reduzir e controlar a vazão por meio de registro. desmontar e revisar as peças.
bomba vibra.	<ul style="list-style-type: none"> base de assentamento mal feita. bomba mal alinhada em relação ao motor. rotor desajustado. eixo torto. atrito mecânico anormal. rolamentos gastos nos mancais da bomba. bomba não escorvada. desgaste por cavitação. 	<ul style="list-style-type: none"> consertar base. desmontar a bomba, fazer revisão geral e substituir as peças desgastadas.

Bombas de Eixo Vertical		
Falhas	Causas Prováveis	Correções
bomba fornece vazão inferior à normal.	<ul style="list-style-type: none"> incremento da altura manométrica total. vazamento no tubo de descarga ou de sucção. desajuste dos rotores; cavitação: eixos tortos. baixa velocidade. obstrução do crivo. 	<ul style="list-style-type: none"> localizar a causa; redimensionar o recalque. substituir a secção danificada. ajustar os rotores; substituir peças desgastadas. ajustar a tensão. retirar a bomba, limpar o poço, limpar o crivo.
bomba dá a partida com pouca ou nenhuma vazão.	<ul style="list-style-type: none"> rotação invertida; eixo solto ou quebrado. nível de água abaixo do crivo ou do ponto de sucção. eixo travado por fragmentos ou obstrução total do crivo. 	<ul style="list-style-type: none"> inverter ligação; refazer o acoplamento motor-bomba. aprofundar bomba; regular a vazão; redimensionar a posição dos eletrodos de nível. retirar a bomba, limpar o poço, limpar o crivo.
bomba vibra	<ul style="list-style-type: none"> lubrificação defeituosa da coluna. eixos tortos ou parcialmente travados. rolamentos desgastados. 	<ul style="list-style-type: none"> revisar os mancais. retirar a bomba e substituir as peças desgastadas. retirar a bomba e substituir as peças desgastadas.
bombas com ruídos anormais.	<ul style="list-style-type: none"> cavitação: rotores desgastados. lubrificação defeituosa da coluna. 	<ul style="list-style-type: none"> substituir os rotores. revisar os mancais.
sobrecarga no motor	<ul style="list-style-type: none"> velocidade muito alta. mancais desgastados. rotores ou eixos parcialmente travados. gaxetas muito apertadas. 	<ul style="list-style-type: none"> ajustar a tensão ou aceleração. substituir peças defeituosas. desmontar a bomba e revisar geral. desmontar a bomba e revisar geral.

Referência: Manual de Operação e Manutenção de Poços - DAEE (2007)

APÊNDICES

**APÊNDICE 1 – Projeto de poço tubular para o Sistema Aquífero
Barreiras**

**APÊNDICE 2 – Projeto de poço tubular para o Sistema Aquífero
Pirabas**

APÊNDICE 1

PROJETO DE POÇO TUBULAR SISTEMA AQUÍFERO BARREIRAS

1 - AVALIAÇÃO HIDROGEOLÓGICA

IDENTIFICAÇÃO

Município: Belém - PA	Localidade: Marambaia
Coordenadas Geográficas:	Proprietário:

1.1 - Características geológicas:

Na área afloram sedimentos do Grupo Barreiras. O Grupo Barreiras compreende sucessão constituída por sedimentos siliciclásticos representados arenitos quartzosos, depósitos heterolíticos, argilitos e, menos comumente, conglomerados de colorações negra, verde oliva, cinza ou, ainda, variegada, com espessura estimada no local em 100 m.

Abaixo posiciona-se a Formação Pirabas, composta por três fácies: Castelo, Baunilha e Capanema. A fácies Castelo é a sucessão inferior da Formação Pirabas e compreende intercalações de calcário puro diversificado, coquinas, biohermitos, micritos e dolmicritos. A fácies Baunilha é a sucessão intermediária e compreende argilas negras com vegetais piritizados e carcinólitos. A fácies Capanema é a sucessão superior e compreende margas, micritos, bioclásticos, folhelhos rítmicos e arenitos calcíferos. A espessura da Formação Pirabas na área estudada é de 180 m.

1.2 - Características hidrogeológicas:

O aquífero de interesse neste estudo é o Sistema Aquífero Barreiras (SAB). É constituído por aquíferos pouco espessos que se intercalam a camadas argilosas impermeáveis a semipermeáveis. A frequência dos reservatórios arenosos é variável, ora predominando os aquíferos, ora os aquitardos/aquicludes. Nas porções superiores do sistema ocorrem aquíferos livres que descarregam suas águas para a rede hidrográfica da área.

No SAB predominam águas ácidas de baixa salinidade, classificadas predominantemente como cloretadas sódicas, seguidas de sulfatadas cálcicas e bicarbonatas cálcicas.

As características hidrodinâmicas do SAB previstas para perfuração de um poço com 100 m de profundidade são:

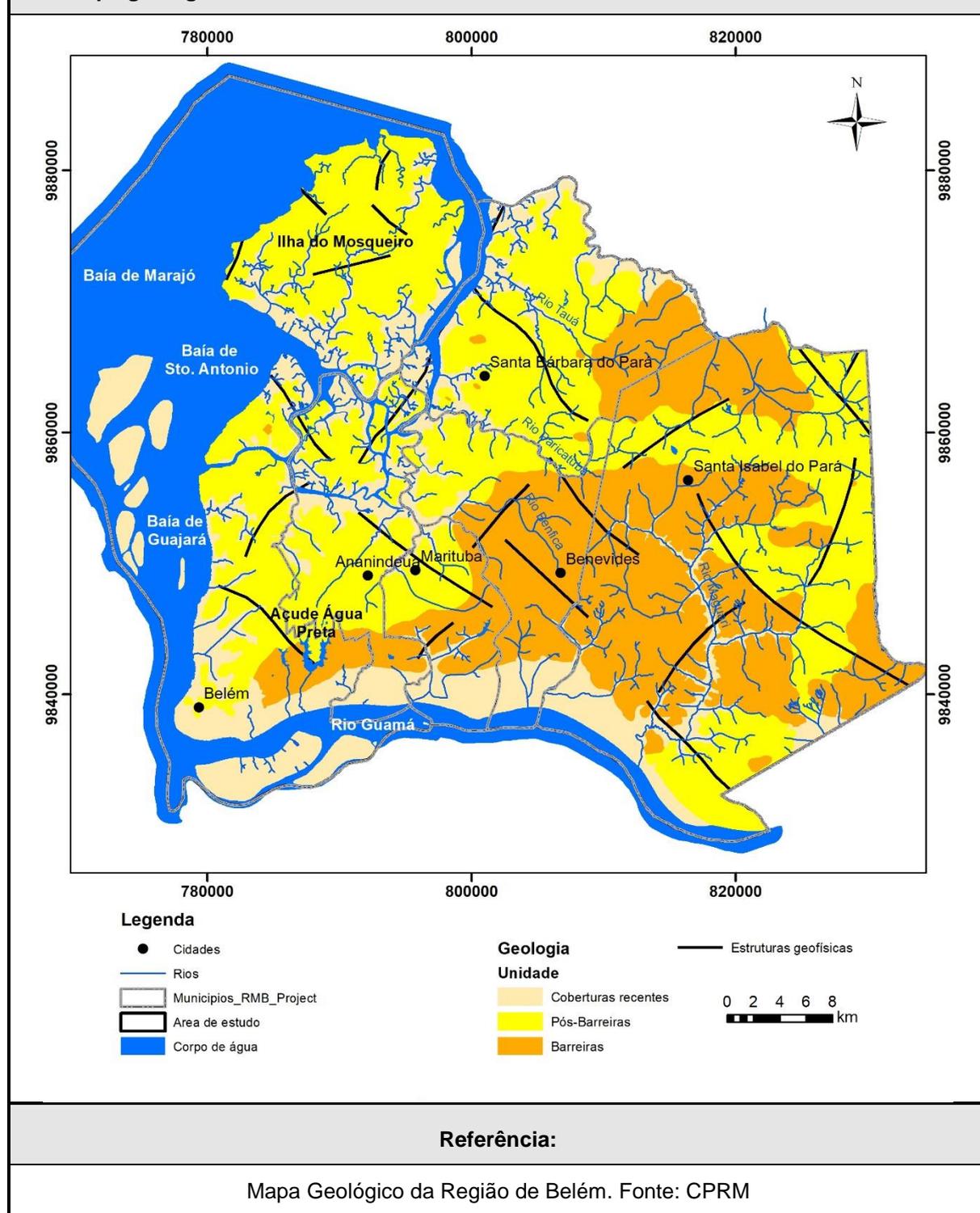
- Nível estático= 10 m;
- Nível dinâmico= 28 m;
- $q/s = 2,7 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$;
- Rebaixamento= 18,5 m;
- Vazão de produção= 50 m^3/h .

1 - AVALIAÇÃO HIDROGEOLÓGICA

IDENTIFICAÇÃO

Município: Belém - PA	Localidade: Marambaia
Coordenadas Geográficas:	Proprietário:

1.3 - Mapa geológico local:



2 - PROJETO DE POÇO TUBULAR PROFUNDO

IDENTIFICAÇÃO

Município: Belém - PA	Localidade: Marambaia
Coordenadas Geográficas:	Proprietário:

2.1 - DADOS GERAIS

Tipo de poço: Tubular - exploração	Uso da água: Urbano – abastecimento público		
Coordenada UTM X (m) 000	Coordenada UTM Y (m) 000	Zona: 22M	
Cota (m): 10	Folha topográfica: xxxxx		
Projeto: xxxxxx	CREA: xxxxx	Data: xxxxxxxx	

2.2 - ELEMENTOS DE PROJETO: Previsão

2.2.1 - Perfil geológico			
de (m)	a (m)	Formação geológica	Litologia
0	100	Grupo Barreiras	Arenitos, siltitos e argilitos

2.2.2 - Hidrogeologia					
Aquífero	Natureza	Ne (m)	s (m)	Vazão (m ³ /h)	q/s (m ³ /h/m)
Barreiras	Semiconfinado	10	18,5	50	2,7

2 - PROJETO DE POÇO TUBULAR PROFUNDO

IDENTIFICAÇÃO

Município: Belém - PA	Localidade: Marambaia
Coordenadas Geográficas:	Proprietário:

2.3 - ESPECIFICAÇÕES

2.3.1 - Perfuração					
Capacidade do equipamento (m): 150		Profundidade máxima prevista (m): 100			
de (m)	a (m)	Método	Diâm.(pol)	Diâm.(mm)	Litologia
0	24	Rotativo	20	508	Arenitos, argilitos, siltitos
24	100	Rotativo	12 1/4	311	Arenitos, argilitos, siltitos

2.3.2 - Amostragem durante a perfuração		
Material perfurado	Intervalo (m)	Análises a serem efetuadas
Sedimentos	A cada 2 m	Litológicas
Água de formação	Intervalo (m)	Análises a serem efetuadas

2.3.3 - Testes preliminares de bombeamento				
Profundidade (m)	Situação do poço	Sistema de bombeamento	Duração (h)	Observações

2 - PROJETO DE POÇO TUBULAR PROFUNDO

IDENTIFICAÇÃO

Município: Belém - PA	Localidade: Marambaia
Coordenadas Geográficas:	Proprietário:

2.3.4 - Perfilagem geofísica		
de (m)	a (m)	Perfis Geofísicos
0	100	Raios gama API, indução, normal curta, potencial espontâneo e sônico

2.3.5 - Revestimentos - tubos lisos						
Tipo de material	União	D.N. (pol)	D.e. (mm)	Esp. (pol)	Esp. (mm)	Comp. (m)
Schedule 10, aço preto	Solda	14	356	1/4	6,35	24
PVC, standard	R/L	6	174		9,5	60

2.3.6 - Revestimento - filtros						
Tipo de material	União	D.N. (pol)	D.e. (mm)	% Área	Ab. (mm)	Comp. (m)
PVC, standard	R/L	6	174	8	0,75	40

2 - PROJETO DE POÇO TUBULAR PROFUNDO

IDENTIFICAÇÃO

Município: Belém - PA	Localidade: Marambaia
Coordenadas Geográficas:	Proprietário:

2.3.7 - Pré-filtro				
Intervalo (m)	Granulometria (mm)	Tipo	Volume (m ³)	Método de injeção
0 a 100	1,0 a 2,0		6,4	Contra-fluxo

2.3.8 - Cimentação				
Intervalo (m)	Anular (pol)	Volume (m ³)	Traço	Método de injeção
0 a 24	3,0	2,5	Calda	Sapata de cimentação / bomba

2.3.9 - Fluido de perfuração					
Intervalo (m)	Natureza	Cap. poço (m ³)	pH	Visc. Marsh	Peso (lb/gal)
0 a 24	Bentonita	4,9	9,0	55	9,0
24 a 100	Polímero (CMC)		9,0	40	8,7
Tanques de lama: Metálicos ou escavados no solo e cimentados				Volume (m³):	8
Produtos Químicos. Soda cáustica					

2.3.10 - Desenvolvimento			
Método	Tipo de equipamento	Duração (h)	Produtos químicos
Ar comprimido	Compressor de 200 psi e 600 p.c.m.	8	80 kg polifosfato
Bombeamento	Bomba sumersa para 50 m ³ /h e 50 m.c.a	12	

2 - PROJETO DE POÇO TUBULAR PROFUNDO

IDENTIFICAÇÃO

Município: Belém - PA	Localidade: Marambaia
Coordenadas Geográficas:	Proprietário:

2.3.11 - Testes de Bombeamento		
Tipo de Teste	Tipo de equipamento	Duração (h)
Vazão máxima	Bomba sumersa para 50 m ³ /h e 50 m.c.a	24
Vazão escalonada	Bomba sumersa para 50 m ³ /h e 50 m.c.a	6
Recuperação	-	4

2.3.12 - Acabamento	
Limpeza: Conforme normas.	Laje de proteção: 1,75 X 1,75 X 0,15 m.
Desinfecção e tampa: Conforme normas	Perímetro de proteção sanitária: Conforme normas

2 - PROJETO DE POÇO TUBULAR PROFUNDO

IDENTIFICAÇÃO

Município: Belém - PA	Localidade: Marambaia
Coordenadas Geográficas:	Proprietário:

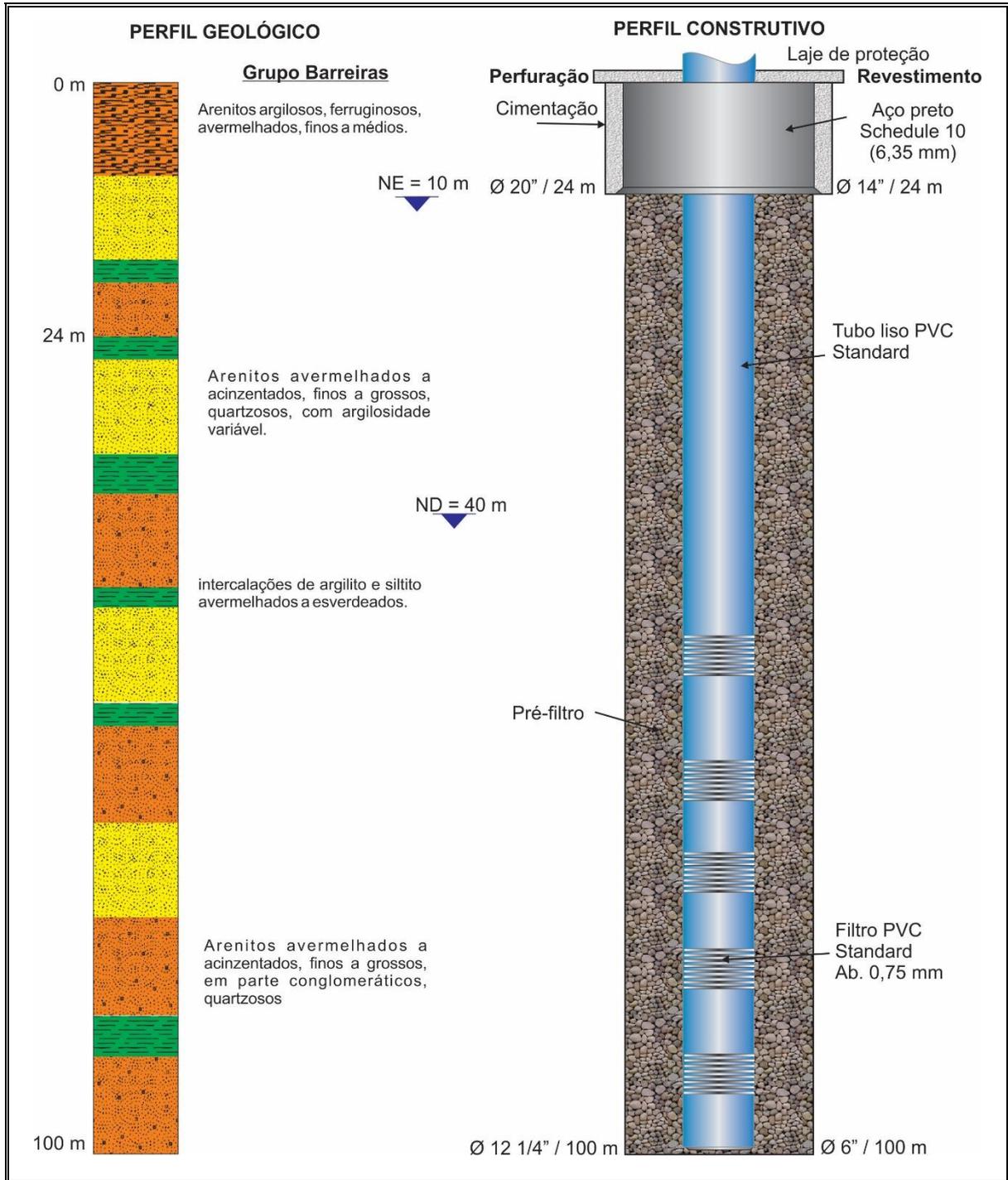
2.3.13 – Condições específicas

1. Após a cimentação do tubo de proteção sanitária de Ø 14" deverá ser aguardada "cura" por 48 horas.
2. Em seguida, deverá ser feito furo-guia com Ø 8 1/2", sistema rotativo, de 24 m até 100 m profundidade, com lama à base de bentonita e CMC, tendo suas propriedades reológicas controladas.
3. Em seguida deverá ser feita a perfilagem geofísica padrão EPI.
4. A reabertura do furo para Ø 12 1/4", de 24 m a 100 m, deverá ser feita com lama a base de CMC, tendo suas propriedades reológicas controladas, conforme estabelecido em projeto.
5. Após a reabertura, o poço deverá ser revestido e seu espaço anular completado com pré-filtro. As operações de completação do poço deverão ser realizadas sem interrupções.
6. Em seguida, o poço deverá ser limpo e desenvolvido preliminarmente com compressor durante 8 horas.
7. A empresa responsável deverá manter no canteiro de obras os equipamentos e materiais necessários para controle do fluido de perfuração.
8. O sondador deverá anotar o tempo de penetração a cada metro, em minutos, durante toda a perfuração.
9. As amostras de calha coletadas deverão ser colocadas em recipientes apropriados para análise e descrição em campo.
10. O equipamento de bombeamento para desenvolvimento e testes finais deverá extrair vazão mínima de 50 m³/h, com nível dinâmico aos 40 metros.
11. A empreiteira deverá cotar custo/hora de gerador para fornecer energia para a bomba submersa, caso o contratante não disponha de energia no local.
12. O método de medição de vazão será o do "orifício calibrado" (tubo *pitot*).
13. A empresa responsável deverá manter o geólogo responsável técnico no canteiro de obras para acompanhar a construção do poço.
14. Nenhuma operação poderá ser realizada sem autorização ou anuência prévia da fiscalização.
15. Somente a fiscalização poderá alterar o projeto original.

3 - PROJETO ESQUEMÁTICO DE POÇO TUBULAR PROFUNDO

IDENTIFICAÇÃO

Município: Belém - PA	Distrito: Sede
Local:	Proprietário:



4 – MAPA DE LOCALIZAÇÃO

IDENTIFICAÇÃO

Município: Belém - PA	Distrito: Sede
Local:	Proprietário:



Referência			
Folha topográfica: Belém	Órgão:	Ano:	Escala:
Descrição do local:			

APÊNDICE 2

PROJETO DE POÇO TUBULAR SISTEMA AQUÍFERO PIRABAS

3 – PROJETO ESQUEMÁTICO DE POÇO TUBULAR PROFUNDO

IDENTIFICAÇÃO

Município: Belém - PA	Localidade: Sede
Coordenadas Geográficas:	Proprietário:

1.1 - Características geológicas:

Na área afloram sedimentos do Grupo Barreiras. O Grupo Barreiras compreende sucessão constituída por sedimentos siliciclásticos representados arenitos quartzosos, depósitos heterolíticos, argilitos e, menos comumente, conglomerados de colorações negra, verde oliva, cinza ou, ainda, variegada, com espessura estimada no local em 100 m.

Abaixo posiciona-se a Formação Pirabas, composta por três fácies: Castelo, Baunilha e Capanema. A fácies Castelo é a sucessão inferior da Formação Pirabas e compreende intercalações de calcário puro diversificado, coquinas, biohermitos, micritos e dolmicritos. A fácies Baunilha é a sucessão intermediária e compreende argilas negras com vegetais piritizados e carcinólitos. A fácies Capanema é a sucessão superior e compreende margas, micritos, bioclásticos, folhelhos rítmicos e arenitos calcíferos. A espessura da Formação Pirabas na área estudada é de 200 m.

1.2 - Características hidrogeológicas:

O aquífero de interesse neste estudo é o Sistema Aquífero Pirabas (SAP). É constituído por aquíferos espessos que se intercalam a camadas argilosas impermeáveis a semipermeáveis. Apresenta potencialidade hidrogeológica muito boa, com vazões acima de 200 m³/h, sendo muito utilizado no abastecimento público e industrial.

No SAP predominam águas alcalinas, de maior salinidade comparadas ao Sistema Aquífero Barreiras. As águas são classificadas como bicarbonatadas cálcicas e secundariamente como cloretadas sódicas.

As características hidrodinâmicas do SAP previstas para perfuração de um poço com 300 m de profundidade são:

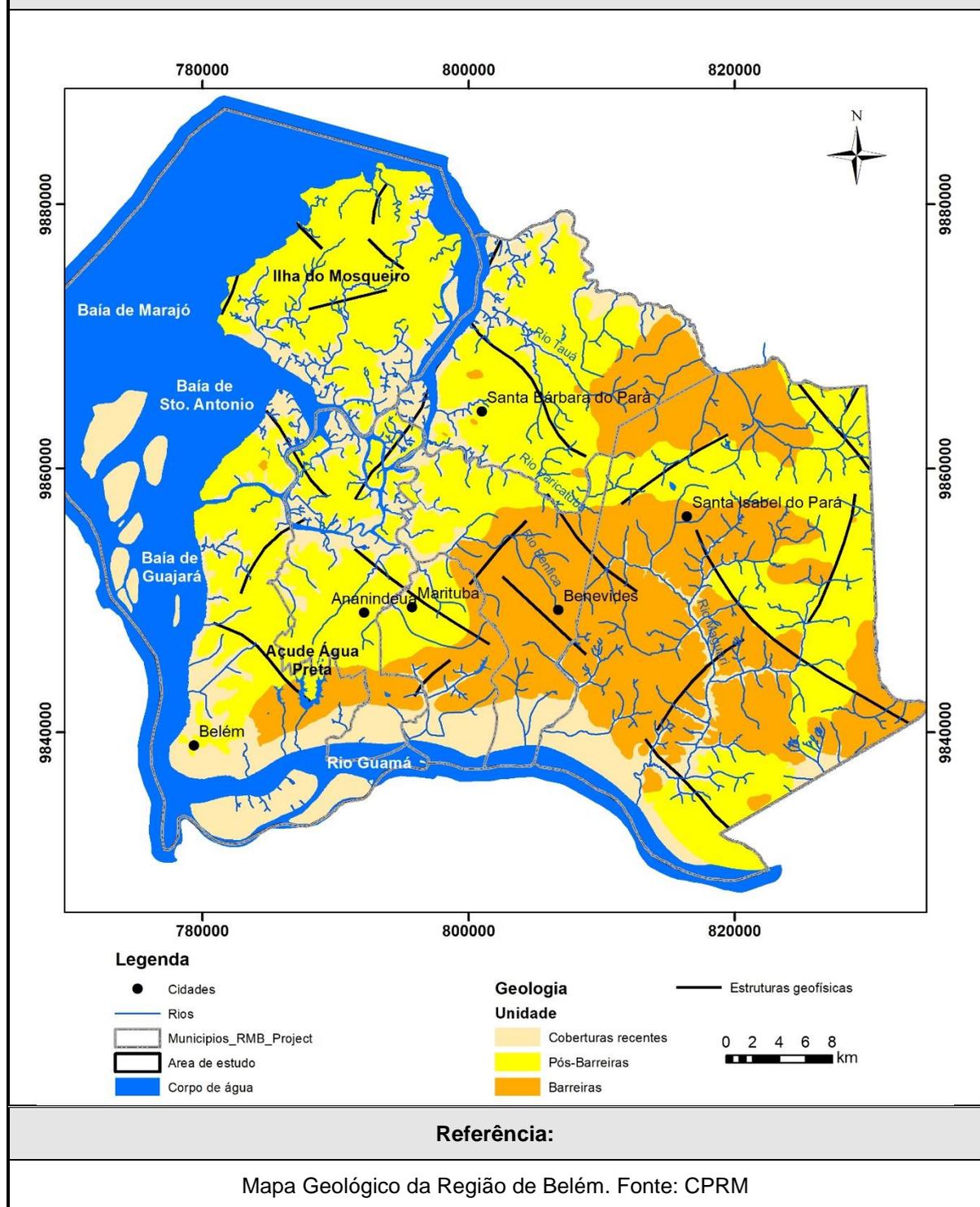
- Nível estático= 25 m;
- Nível dinâmico= 35 m;
- q/s = 14,0 m³/h/m;
- Rebaixamento= 20 m;
- Vazão de produção= 280 m³/h.

3 – PROJETO ESQUEMÁTICO DE POÇO TUBULAR PROFUNDO

IDENTIFICAÇÃO

Município: Belém - PA	Localidade: Sede
Coordenadas Geográficas:	Proprietário:

1.3 - Mapa geológico local:



3 – PROJETO ESQUEMÁTICO DE POÇO TUBULAR PROFUNDO

IDENTIFICAÇÃO

Município: Belém - PA	Localidade: Sede
Coordenadas Geográficas:	Proprietário:

2.1 - DADOS GERAIS

Tipo de poço: Tubular - exploração	Uso da água: Urbano – abastecimento público		
Coordenada UTM X (m) 000	Coordenada UTM Y (m) 000	Zona: 22M	
Cota (m): 10	Folha topográfica:		
Projeto:	CREA:	Data:	

2.2 - ELEMENTOS DE PROJETO: Previsão

2.2.1 - Perfil geológico			
de (m)	a (m)	Formação geológica	Litologia
0	100	Grupo Barreiras	Arenitos, siltitos e argilitos
100	300	Formação Pirabas	Arenitos calcíferos, folhelhos

2.2.2 - Hidrogeologia					
Aquífero	Natureza	Ne (m)	s (m)	Vazão (m³/h)	q/s (m³/h/m)
Pirabas	Semiconfinado	25	20	280	14,0

3 – PROJETO ESQUEMÁTICO DE POÇO TUBULAR PROFUNDO

IDENTIFICAÇÃO

Município: Belém - PA	Localidade: Sede
Coordenadas Geográficas:	Proprietário:

2.3 - ESPECIFICAÇÕES

2.3.1 - Perfuração					
Capacidade do equipamento (m): 350			Profundidade máxima prevista (m): 300		
de (m)	a (m)	Método	Diâmetro (pol)	Diâmetro (mm)	Litologia
0	30	Rotativo	26	660	Arenitos, argilitos, siltitos
30	300	Rotativo	17 1/2	445	Arenitos, argilitos, siltitos

2.3.2 - Amostragem durante a perfuração		
Material perfurado	Intervalo (m)	Análises a serem efetuadas
Sedimentos	A cada 2 m	Litológicas
Água de formação	Intervalo (m)	Análises a serem efetuadas

2.3.3 - Testes preliminares de bombeamento				
Profundidade (m)	Situação do poço	Sistema de bombeamento	Duração (h)	Observações

3 – PROJETO ESQUEMÁTICO DE POÇO TUBULAR PROFUNDO

IDENTIFICAÇÃO

Município: Belém - PA	Localidade: Sede
Coordenadas Geográficas:	Proprietário:

2.3.4 - Perfilagem geofísica		
de (m)	a (m)	Perfis Geofísicos
0	300	Raios gama API, indução, normal curta, potencial espontâneo e sônico

2.3.5 - Revestimentos - tubos lisos						
Tipo de material	União	D.N. (pol)	D.e. (mm)	Esp. (pol)	Esp. (mm)	Comp. (m)
Schedule 10, aço preto	Solda	20	508	1/4	6,35	30
Schedule 30, aço preto	Solda	12	324	21/64	8,38	130
Schedule 30, aço preto	Solda	8	219	0,28	7,04	62

2.3.6 - Revestimento - filtros						
Tipo de material	União	D.N. (pol)	D.e. (mm)	% Área	Ab. (mm)	Comp. (m)
Espiralado, galvanizado	Solda	8	219	20	0,75	108

3 – PROJETO ESQUEMÁTICO DE POÇO TUBULAR PROFUNDO

IDENTIFICAÇÃO

Município: Belém - PA	Localidade: Sede
Coordenadas Geográficas:	Proprietário:

2.3.7 - Pré-filtro				
Intervalo (m)	Granulometria (mm)	Tipo	Volume (m ³)	Método de injeção
0 a 300	1,0 a 2,0		28	Contra-fluxo

2.3.8 - Cimentação				
Intervalo (m)	Anular (pol)	Volume (m ³)	Traço	Método de injeção
0 a 30	3,0	4,2	Calda	Sapata de cimentação / bomba

2.3.9 - Fluido de perfuração					
Intervalo (m)	Natureza	Cap. poço (m ³)	pH	Visc. Marsh	Peso (lb/gal)
0 a 130	Bentonita	26	9,0	55	9,0
130 a 300	Polímero (CMC)	26,4	9,0	40	8,7
Tanques de lama: Metálicos ou escavados no solo e cimentados				Volume (m³):	12
Produtos Químicos. Soda cáustica					

2.3.10 - Desenvolvimento			
Método	Tipo de equipamento	Duração (h)	Produtos químicos
Ar comprimido	Compressor de 350 psi e 950 p.c.m.	8	80 kg polifosfato
Bombeamento	Bomba submersa para 280 m ³ /h e 60 m.c.a	12	

3 – PROJETO ESQUEMÁTICO DE POÇO TUBULAR PROFUNDO

IDENTIFICAÇÃO

Município: Belém - PA	Localidade: Sede
Coordenadas Geográficas:	Proprietário:

--	--	--	--

2.3.11 - Testes de Bombeamento		
Tipo de Teste	Tipo de equipamento	Duração (h)
Vazão máxima	Bomba sumersa para 280 m ³ /h e 60 m.c.a	24
Vazão escalonada	Bomba sumersa para 280 m ³ /h e 60 m.c.a	6
Recuperação	-	4

2.3.12 - Acabamento	
Limpeza: Conforme normas.	Laje de proteção: 1,75 X 1,75 X 0,15 m.
Desinfecção e tampa: Conforme normas	Perímetro de proteção sanitária: Conforme normas

3 – PROJETO ESQUEMÁTICO DE POÇO TUBULAR PROFUNDO

IDENTIFICAÇÃO

Município: Belém - PA	Localidade: Sede
Coordenadas Geográficas:	Proprietário:

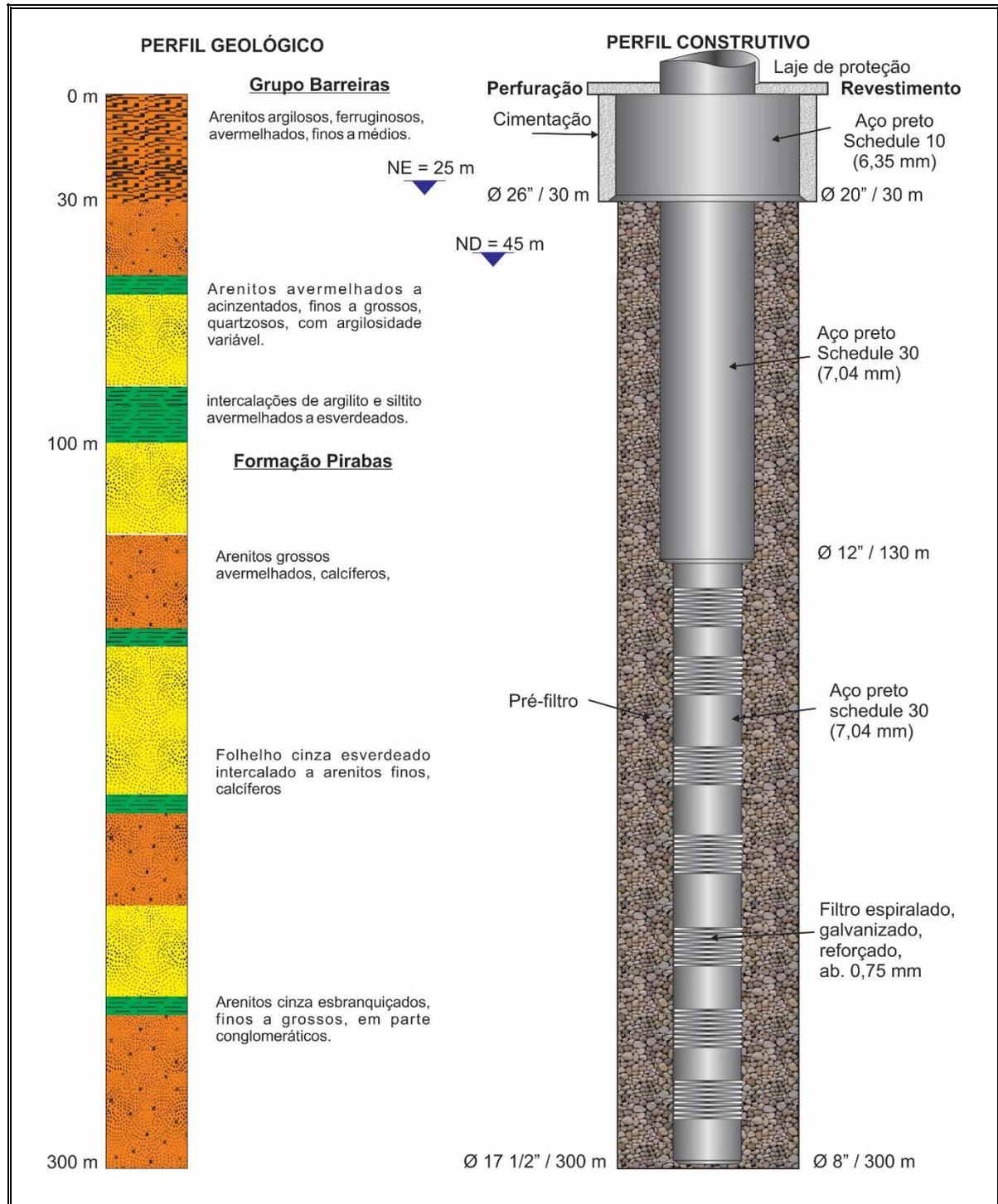
2.3.13 – Condições específicas

1. Após a cimentação do tubo de proteção sanitária de Ø 20” deverá ser aguardada “cura” por 48 horas.
2. Em seguida, deverá ser feito furo-guia com Ø 12 1/4”, sistema rotativo, de 30 m até 300 m profundidade, com lama à base de bentonita e CMC, tendo suas propriedades reológicas controladas.
3. Em seguida deverá ser feita a perfilagem geofísica padrão EPI.
4. A reabertura do furo para Ø 17 1/2”, de 30 m a 130 m, deverá ser feita com lama a base de bentonita e CMC, tendo suas propriedades reológicas controladas, conforme estabelecido em projeto.
5. A reabertura do furo para Ø 17 1/2”, de 130 m a 300 m, deverá ser feita com lama a base de CMC, tendo suas propriedades reológicas controladas, conforme estabelecido em projeto.
6. Após a reabertura, o poço deverá ser revestido e seu espaço anular completado com pré-filtro. As operações de completação do poço deverão ser realizadas sem interrupções.
7. Em seguida, o poço deverá ser limpo e desenvolvido preliminarmente com compressor durante 8 horas.
8. A empreiteira deverá manter no canteiro de obras os equipamentos e materiais necessários para controle do fluido de perfuração.
9. O sondador deverá anotar o tempo de penetração a cada metro, em minutos, durante toda a perfuração.
10. As amostras de calha coletadas deverão ser colocadas em recipientes apropriados para análise em campo.
11. O equipamento de bombeamento para desenvolvimento e testes finais deverá extrair vazão mínima de 280 m³/h, com nível dinâmico aos 60 metros.
12. A empresa deverá cotar custo/hora de gerador para fornecer energia para a bomba submersa, caso o contratante não disponha de energia no local.
13. O método de medição de vazão será o do “orifício calibrado” (tubo pitot).
14. A empresa deverá manter um geólogo responsável técnico no canteiro de obras para acompanhar a construção do poço.
15. Nenhuma operação poderá ser realizada sem autorização ou anuência prévia da fiscalização.
16. Somente a fiscalização poderá alterar o projeto original.

3 – PROJETO ESQUEMÁTICO DE POÇO TUBULAR PROFUNDO

IDENTIFICAÇÃO

Município: Belém - PA	Localidade: Sede
Coordenadas Geográficas:	Proprietário:



4 – MAPA DE LOCALIZAÇÃO

IDENTIFICAÇÃO

Município: Belém - PA	Distrito: Sede
Local:	Proprietário:



Referência			
Folha topográfica: Belém	Órgão:	Ano:	Escala:
Descrição do local:			