

REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA

SECRETARIA DE MINAS E METALURGIA

**COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS – CPRM
SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL**

PROGRAMA NACIONAL DE RECURSOS HÍDRICOS

**PROJETO ESTUDOS HIDROGEOLÓGICOS
DA REGIÃO METROPOLITANA DE BELÉM E ADJACÊNCIAS**

TEXTO EXPLICATIVO ORGANIZADO POR

**JOSAFÁ RIBEIRO DE OLIVEIRA
Geólogo**

CONSULTORIA TÉCNICA

**ANTÔNIO DE SOUZA LEAL
Geólogo**

**ANTÔNIO CARLOS F. N. S. TANCREDI
Geólogo, Dr.**

**JOSÉ GEILSON ALVES DEMÉTRIO
Geólogo, M. Sc.**



2002

**MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA – MME
SECRETARIA DE MINAS E METALURGIA**

**Francisco Luiz Sibut Gomide
Ministro de Estado**

**João Alberto da Silva
Secretário Executivo**

**Frederico Lopes Meira Barbosa
Secretário de Minas e Metalurgia**

**Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais – CPRM
Serviço Geológico do Brasil**

**Umberto Raimundo Costa
Diretor - Presidente**

**Thales de Queiroz Sampaio
Diretor de Hidrologia e Gestão Territorial – DHT**

**Paulo Antônio Carneiro Dias
Diretor de Relações Institucionais e Desenvolvimento – DRI**

**Luiz Augusto Bizzi
Diretor de Geologia e Recursos Minerais – DGM**

**Alfredo Pinheiro Filho
Diretor de Administração e Finanças – DAF**

**Frederico Cláudio Peixinho
Chefe do Departamento de Hidrologia**

**Fernando Antônio Carneiro Feitosa
Chefe da Divisão de Hidrogeologia e Exploração**

**COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS
SUPERINTENDÊNCIA REGIONAL DE BELÉM**

José Armino Pinto

Superintendente Regional

Rui Guilherme de Lima Paes

Gerente de Recursos Hídricos

Adib Leal da Conceição

Supervisor

EQUIPE TÉCNICA

EQUIPE EXECUTORA :

JOSAFÁ RIBEIRO DE OLIVEIRA – Geólogo/Chefe do Projeto

ESTEFÂNIA MARIA ARAUJO CARDOSO – Téc. Mineração

JOSÉ ROBERTO MESSIAS CASTRO – Téc. Hidrologia

JOSIANE DE NAZARÉ FARO DE SOUZA – Téc. Mineração

LENA CLÁUDIA DE SOUZA MENDES – Téc. Mineração

LÚCIA CLÉIA ROSA WANDERLEY – Téc. Mineração

LUCIANA MARIA OLIVEIRA FARIAS – Téc. Mineração

PARTICIPAÇÃO ESPECIAL :

ALUÍZIO MARÇAL MORAES DE SOUZA – Geólogo

ARIOLINO NERES SOUZA – Geólogo

EXPEDITO JORGE DE SOUZA COSTA – Geólogo

JOÃO BITENCOURT QUARESMA – Geólogo

MARIA LÉA REBOUÇAS DE PAULA – Bibliotecária

EQUIPE DE APOIO :

AUGUSTO SÉRGIO PEREIRA DOS REIS – Téc. Mineração

GILBERTO ASSUNÇÃO LOPES – Aux. Técnico

JOSIANE MACEDO DE OLIVEIRA – Aux. Administração

DIGITAÇÃO :

JOSÉ ROBERTO MESSIAS CASTRO – Téc. Hidrologia

REVISÃO DE TEXTO :

ADIB LEAL DA CONCEIÇÃO – GEÓLOGO

ARIOLINO NERES SOUZA – GEÓLOGO

APRESENTAÇÃO

O Projeto Estudos Hidrogeológicos da Região Metropolitana de Belém e Adjacências, executado pela Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais - CPRM, se destina ao conhecimento das potencialidades aquíferas dessa região. Outro objetivo importante é propiciar subsídios às administrações públicas para o planejamento, o acompanhamento e a preservação dos recursos hídricos, de tal modo que os habitantes possam ser beneficiados, tanto qualitativa quanto quantitativamente, com a água que atenda às suas necessidades e, conseqüentemente, oferecer melhorias na qualidade de vida das populações da Região Metropolitana de Belém – RMB.

Para a consecução do trabalho, foi de grande valia os dados fornecidos pelas empresas de perfurações CORNER, FEMAC, CONTEP, HIDROENGE, SÓ POÇOS, PRÓAGUA e outras, como também das concessionárias de água do Estado do Pará e do Município de Belém, Companhia de Saneamento do Pará – COSANPA e Serviço Autônomo de Água e Esgoto do Município de Belém – SAAEB, respectivamente.

Este projeto está sendo apresentado em duas partes distintas e complementares, sendo um texto ilustrado e um conjunto de anexos, contendo tabela de pontos d'água e os Mapas Hidrogeológico, Potenciométrico, de Vulnerabilidade e de Pontos d'Água. Desta maneira, a CPRM cumpre com sua função social de fornecer dados hidrogeológicos que possam auxiliar a gestão dos recursos hídricos.

RESUMO

O Projeto Estudos Hidrogeológicos da Região Metropolitana de Belém e Adjacências, realizado pela CPRM, teve por objetivo reunir e sintetizar diversos trabalhos existentes, procurando dar uma visão espacial do comportamento hidrogeológico dos sistemas aquíferos em seus diversos aspectos e atingir um estágio de conhecimento que, se não é ainda o ideal, ao menos representa um avanço em relação ao que, até então, se dispunha. A ênfase maior foi dada para o sistema aquífero Pirabas, por ser o mais explorado pelas concessionárias de água dos municípios de Belém, Ananindeua e Marituba, com poços de até 280 metros de profundidade, os quais permitem vazões da ordem de 250 m³/h. Foram também definidas as propriedades hidráulicas dos aquíferos, que confirmaram a aproximação desses valores. São também mostradas as variações de profundidades dos poços e espessuras dos aquíferos, bem caracterizados no Mapa Hidrogeológico, elaborado na escala 1:75.000.

Ressalte-se que as análises das perfurações e interpretações dos testes de produção e aquíferos, assim como os dados técnicos de poços existentes da COSANPA, SAAEB e de particulares, serviram de suporte para a avaliação do atual nível de conhecimento do Aquífero Pirabas.

O relatório em questão traz uma série de informações importantes, que permitirá, no futuro próximo, embasar o planejamento no uso adequado dos recursos hídricos subterrâneos da Região Metropolitana de Belém, assim como, nortear os profissionais que atuam nos órgãos e entidades governamentais de gestão e particulares. Também virá de encontro aos anseios dos demais profissionais ligados às águas subterrâneas e da população em geral, e, assim, sensibilizar políticos, governantes e todos os dirigentes voltados para as questões do abastecimento público e às várias formas de uso da água.

SUMÁRIO

APRESENTAÇÃO	IV
RESUMO	V
1.0 – INTRODUÇÃO	1
1.1 – Localização e Infra-estrutura	1
1.2 – População Alcançada	2
1.3 – Objetivo do Projeto	2
1.4 – Metodologia de Trabalho	4
2.0 – CARACTERÍSTICA GERAIS DOS DADOS	4
2.1 – Qualidade dos Dados	4
2.2 – Dificuldades Encontradas	5
2.3 – Perspectiva de Utilização da Água Subterrânea	6
3.0 – FISIOGRAFIA DA RMB	8
3.1 – Elementos Climáticos e Meteorológicos	8
3.2 – Balanço Hídrico	8
3.3 – Hidrografia e Relevo	13
4.0 – CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICA	13
4.1 – Geologia Regional	13
4.1.1 – Formação Pirabas	14
4.1.2 – Grupo Barreiras	14
4.1.3 – Pós-Barreiras	15
4.2 – Geologia Local	15
4.3 – Caracterização Estrutural	18
5.0 – HIDROGEOLOGIA	20
5.1 – Inventário Hidrogeológico	20
5.2 – Sistema Hidrogeológico	21
5.3 – Sistemas Aquíferos	24
5.3.1 – Caracterização Geral	27
5.3.2 – Parâmetros Hidrodinâmicos	28
5.4 – Potenciometria da RMB	35
5.5 – Cálculo das Reservas	35
5.5.1 – Reserva Reguladora	43
5.5.2 – Reserva Permanente	43
5.5.3 – Reservas Totais ou Naturais	43
5.5.4 – Recursos Explotáveis	43
5.5.5 – Mapa Hidrogeológico	45
5.6 – Qualidade das Águas Subterrâneas	45
5.6.1 – Análises Físico-Químicas e Bacteriológicas	45
5.6.2 – Classificação das Águas Subterrâneas da RMB	46
5.6.3 – Níveis Atuais de Poluição	53

5.6.4 – Potabilidade	55
5.6.5 – Uso	60
5.7 – Vulnerabilidade Natural dos Aquíferos e Proteção das Águas Subterrâneas	60
5.7.1 – Critérios de Vulnerabilidade	63
5.7.2 – Fatores de Risco de Contaminação das Águas Subterrâneas	63
5.7.3 – Processo de Transporte e Atenuação dos Contaminantes	67
5.7.4 – Caracterização da Vulnerabilidade Natural dos Aquíferos	67
5.7.5 – Área de Proteção de Poços	69
6.0 – MODELO PROPOSTO PARA POÇOS TUBULARES NA RMB	71
6.1 – Dados Técnicos para Projetos de Poços Tubulares	75
6.2 – Demanda de Água	75
6.3 – Número de Poços (área urbana)	79
6.4 – Captação Subterrânea	79
6.5 – Perfilagem Geofísica	79
6.6 – Eficiência de Poços	82
6.7 – Manutenção de Poços	86
6.8 – Avaliação Econômica	86
6.8.1 – Cálculo do Fator de Recuperação de Capital do Poço Tubular	87
6.8.2 – Cálculo do Fator de Recuperação das Gerações de Bombas	87
6.8.3 – Cálculo do Fator de Recuperação do Custo de Energia	87
6.8.4 – Cálculo do Fator de Recuperação do Custo de Manutenção	87
6.8.5 – Cálculo do Custo de Produção por m ³ de Água : CP	87
7.0 – CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	87
8.0 – BIBLIOGRAFIA CONSULTADA	90

RELAÇÃO DE ANEXOS

Anexo I – Planilha de Pontos d'Água	
Anexo II – Mapa Hidrogeológico da Região Metropolitana de Belém	
Anexo III – Mapa de Poços Profundos da Região Metropolitana de Belém	
Anexo IV – Mapa de Vulnerabilidade da Região Metropolitana de Belém	

RELAÇÃO DE QUADROS E TABELAS

Tabela 01 – Dados Meteorológicos	9
Tabela 02 – Dados Climatológicos	9
Tabela 03 – Balanço Hídrico da Região Metropolitana de Belém	11
Quadro 01 – Coluna Estratigráfica	26
Tabela 04 – Características dos Poços Tubulares Profundos	29
Tabela 05 – Planilha de Pontos D'água – Potenciometria do Aquífero Livre	36
Tabela 06 – Reserva Permanente de Água Subterrânea	44
Tabela 07 – Resultados Analíticos das Águas Subterrâneas	47
Tabela 08 – Resultados Analíticos das Águas Subterrâneas	48
Tabela 09 – Resultados Analíticos das Águas Superficiais	54
Tabela 10 – Postos de Combustíveis da Região Metropolitana de Belém	56
Tabela 11 – Qualidade da Água para Consumo Humano	59
Tabela 12a – Concentração de Constituintes Inorgânicos na Água	61

Tabela 12b – Concentração de Constituintes Orgânicos na Água	61
Tabela 13 – Padrões de Qualidade da Água para Indústrias	62
Tabela 14 – Vulnerabilidade Versus Grau de Contaminação	66
Tabela 15 – Análise Granulométrica dos Sistemas Aquíferos	72
Tabela 16 – Coeficiente de Uniformidade e Diâmetro Efetivo	72
Tabela 17 – Teste de Vazão Escalonado	83

RELAÇÃO DE FIGURAS

Fig. 01 – Mapa de Localização	3
Fig. 02 – Gráficos Climatológicos e Meteorológicos	10
Fig. 03 – Balanço Hídrico da Região Metropolitana de Belém	12
Fig. 04 – Perfil Composto do Poço da Guanabara	16
Fig. 05 – Perfil Composto do Poço de Icoaraci	17
Fig. 06 – Arcabouço Estrutural da Região Costeira e de Parte da Plataforma Continental Norte Brasileira	19
Fig. 07 – Perfil Composto do Poço Coqueiro	22
Fig. 08 – Perfil Litológico do Poço Petrobrás	23
Fig. 09 – Modelamento Gravimétrico da RMB	25
Fig. 10 – Perfis Hidrogeológicos dos Poços da Guanabara na Realização dos Testes de Aquífero	32
Fig. 11 – Diagrama de Rebaixamento com o Tempo	33
Fig. 12 – Evolução Teórica do Cone de Rebaixamento x Distância	34
Fig. 13 – Mapa Potenciométrico da Região Metropolitana de Belém	42
Fig. 14a – Diagrama de Piper	50
Fig. 14b – Diagrama de Piper	51
Fig. 15 – Diagrama de Piper para a Formação Pirabas	52
Fig. 16 – Esquema para Avaliação da Vulnerabilidade Natural do Aquífero	64
Fig. 17 – Esquema Conceitual de Risco de Contaminação (Seg. Foster et al. 1987)	65
Fig. 18 – Processos de Atenuação em Superfície	68
Fig. 19 – Ilustração Gráfica de Perímetro de Proteção de Poço	70
Fig. 20 – Diagramas de Análises Granulométricas de Sedimentos Arenosos Poço SESAN / SAAEB - Conjunto Eduardo Angelim	73
Fig. 21 – Análises Granulométricas de Sedimentos Arenosos Poço SESAN / SAAEB - Conjunto Eduardo Angelim	74
Fig. 22 – Projeto de Poço – Perfil Construtivo	76
Fig. 23 – Projeto Esquemático de Poços Tubulares Rasos	77
Fig. 24 – Esforços que Atuam Sobre o Filtro	78
Fig. 25 – Perfil Esquemático de Poços Tipo Amazonas	80
Fig. 26 – Detalhe da Captação	81
Fig. 27 – Equação Característica do Poço SAAEB/COHAB	85
Fig. 28 – Curva Característica do Poço SAAEB/COHAB	85

1.0 – INTRODUÇÃO

A Região Metropolitana de Belém - RMB é constituída pelos municípios de Belém, Ananindeua, Marituba, Benevides e Santa Bárbara. Abrange uma área aproximada 1.200 km², correspondendo a 0,1 % da superfície do Estado do Pará. Nela residem cerca de 1.794.981 de pessoas, correspondendo a, aproximadamente, 30% da população do Estado. Com a ocupação das zonas periurbanas, constata-se inúmeros problemas, não só no ambiente natural, mas também à própria população ali assentada e aos poderes públicos responsáveis pelos serviços de infra-estrutura.

Nas últimas décadas houve um crescimento populacional muito rápido, especialmente por pessoas de baixo poder aquisitivo e oriundas, em geral, da área rural. Relacionado à esta situação, o déficit hídrico da região passou a ser um dos problemas mais difíceis de solução, principalmente nas regiões mais periféricas, onde a ocupação urbana ocorre, em grande parte, em áreas impróprias, ou de forma inadequada.

Toda a RMB é privilegiada em recursos hídricos, tanto superficial como subterrâneo, sendo que o aproveitamento de água subterrânea tem aumentado grandemente nesta última década, principalmente por, na maioria das vezes, dispensar tratamento e ser captada no local de consumo, conseqüentemente, reduzindo, ainda, despesas com grandes adutoras. O custo da água depende da qualidade, distância e do volume a ser captado.

Sabe-se que a utilização de água subterrânea vem aumentando em todo mundo. Há um chavão em se dizer que a terceira guerra mundial será provocada pela escassez de água no século XXI. Ao se considerar que o consumo de água dobra a cada 20 anos e que nos últimos 50 anos a sua disponibilidade por habitante diminui

60%, é bastante pertinente essa afirmativa. Mas da água disponível no planeta terra, apenas 3% são doces e somente $\frac{1}{3}$ deste total é adequado ao consumo humano e, por isto, o Brasil se encontra em posição extremamente privilegiada, porquanto detém 10% de toda água doce existente no mundo.

O crescimento acelerado e desordenado da RMB nas últimas décadas vem acarretando graves desequilíbrios urbanísticos e ambientais. Estes desequilíbrios trazem consigo uma série de problemas, tais como: poluição das águas superficiais e subterrâneas, erosão acelerada, assoreamento de drenagens e enchentes, todos sempre de conseqüências e prejuízos imensuráveis à coletividade e, principalmente, ao poder público, que se vê obrigado a despender recursos para tentar saná-los e muitas vezes consegue apenas administrá-los.

Dessa forma, este trabalho, sobre água subterrânea e construção de poços tubulares, traz uma série de reflexões importantes, que auxiliará no planejamento adequado do uso dos recursos hídricos. Nele se descrevem a fisiografia, o cálculo das reservas, a qualidade das águas, a vulnerabilidade, a área de proteção de poços e uma proposta técnica para construção de poços tubulares, dentre muitos outros itens, que, com certeza, nortearão os profissionais que atuam nos órgãos e entidades públicas responsáveis pela gestão dos recursos hídricos. Além de contribuir com estes profissionais, vem de encontro aos anseios da população, bem como à sensibilização de políticos, governantes e demais dirigentes voltados para as questões do abastecimento d'água.

1.1 - Localização e Infra-Estrutura

A RMB acha-se, fisiograficamente, localizada na Zona Guajarina, compreendendo uma área aproximada de 1.200 km². Situa-se entre as coor-

denadas geográficas 01° 03' e 01° 32' de latitudes sul e 48° 11' e 48° 39' de longitudes oeste de Gr. (Fig. 01).

As principais vias que servem à RMB são a Rodovia BR-316 e a Rodovia Estadual PA-391, que interligam as estradas do Coqueiro, Mário Covas, 40 Horas, Maguari, Providência, Genipaúba, Baía do Sol e outras. A partir destas estradas, rumo às periferias das cidades, começam inúmeras ruas e travessas que levam aos bairros e distritos dos cinco municípios.

A Região Metropolitana de Belém limita-se ao sul com o rio Guamá, ao norte com a Baía de Marajó, a oeste com a Baía do Guajará e a leste com o município de Santa Isabel do Pará

1.2. – População Alcançada

A população dos 05 (cinco) municípios componentes da Região Metropolitana de Belém é de, aproximadamente, 1.794.981 habitantes, segundo o Censo Demográfico de 2001, dos quais 30 % são abastecidos por água subterrânea, proveniente, principalmente, do sistema aquífero Pirabas.

Na RMB, como nas demais cidades brasileiras, a população de menor poder aquisitivo se concentra na periferia urbana. São áreas ocupadas de forma desordenada, com infraestrutura precária, principalmente no que se refere a saneamento e abastecimento d'água. Esse desordenamento dificulta, sobremaneira o gerenciamento no tocante aos recursos hídricos.

O fornecimento de água superficial está restrito às cidades de Belém e Ananindeua, ficando os municípios de Marituba, Benevides e Santa Bárbara do Pará dependentes de poços tubulares. Também os distritos de Icoaraci, Outeiro, Mosqueiro e Cotijuba, todos pertencentes ao município de Belém, são abastecidos totalmente por água subterrânea. Como o crescimento populacional da região é eleva-

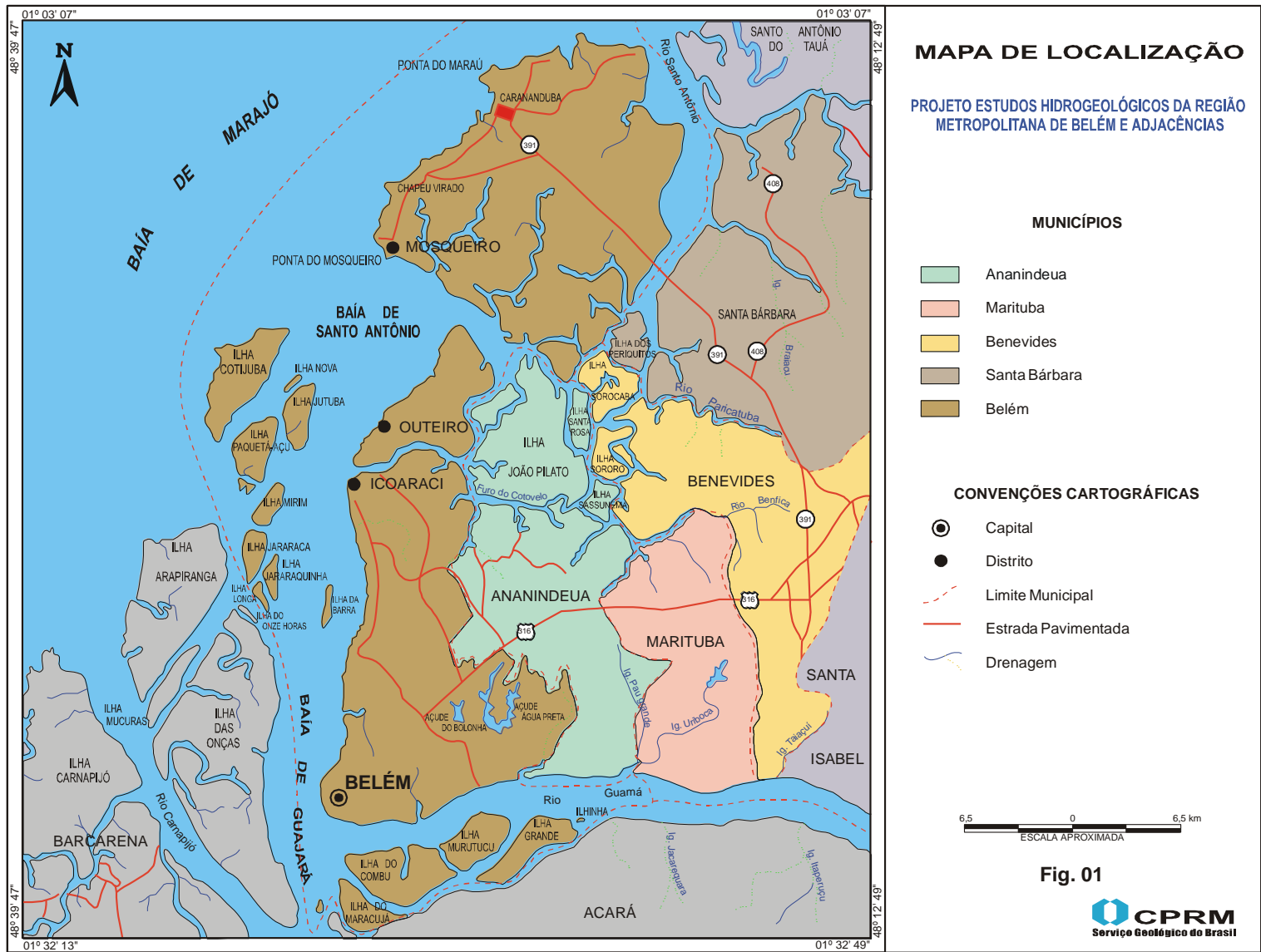
do e com o serviço de água operando no limite da sua capacidade, o abastecimento não atende à demanda de água da população.

1.3- Objetivo do Projeto

Como objetivo principal, este trabalho se destina à coleta de dados para o conhecimento das potencialidades aquíferas da Região Metropolitana de Belém – RMB e à formação de um Banco de Dados para o Projeto Apoio à Gestão das Águas Subterrâneas – PAGAS, através do Sistema de Informações de Águas Subterrâneas – SAIGAS, de abrangência nacional. Outros objetivos são:

- O cadastramento dos pontos d'água existentes na RMB;
- A elaboração de um diagnóstico sobre os diversos métodos de captação de águas subterrâneas;
- Avaliar os perfis dos poços já construídos, as características dos aquíferos e as possibilidades de abastecimento público de água;
- Elaborar mapa de pontos d'água cadastrados;
- Elaborar o Mapa Hidrogeológico da Região Metropolitana de Belém, na Escala 1:75.000, de modo a tornar disponíveis, dentro de uma visão geral e sintética, os dados sobre a distribuição dos recursos hídricos subterrâneos;
- Coletar, estrategicamente, amostras de água subterrânea, destiná-las para análises físico-químicas e bacteriológicas para melhor conhecer suas características e, assim, determinar a qualidade da água para consumo humano e industrial.
- Efetuar a avaliação da vulnerabilidade à poluição do aquífero superior. e
- Apresentar proposta Técnica para a construção de Poços Tubulares.

Seqüencialmente, pretende-se elaborar uma avaliação econômica dos principais fatores que interferem no custo de captação de água subterrânea na RMB.



1.4. - Metodologia de Trabalho

Para caracterizar as condições hidrogeológicas da RMB, efetuou-se: pesquisa bibliográfica, fotointerpretação, confecção de mapas base, planejamento das atividades de campo, cadastramento e inventário de pontos d'água (poços e fontes). Para os trabalhos de fotointerpretação foram utilizadas as fotografias aéreas verticais, na escala 1:70.000, obtidas pelo convênio CPRM/DNPM/1976, como também mosaico de Radar e imagem de Satélite, ambas na escala de 1:100.000. Eventualmente, foram utilizadas as bases plani-altimétricas da CODEM (1995), nas escalas 1:20.000 e 1:50.000, nas quais foram calculadas as programações. As cartas foram geradas a partir das Imagens LANDSAT TM-5 da SUDAM (1988).

De posse desses dados confeccionou-se a base cartográfica na escala 1:75.000, onde foram lançadas todas as informações adquiridas durante a fase de campo, permitindo assim, a caracterização das unidades hidrogeológicas, com destaque para as profundidades e níveis estáticos e dinâmicos dos pontos d'água, dentre outras.

2.0 - CARACTERÍSTICAS GERAIS DOS DADOS

2.1 - Qualidade dos Dados

Os crescimentos urbano e industrial da RMB vem exigindo, paulatinamente, uma grande demanda de recursos hídricos subterrâneos. Por se tratar de uma região densamente habitada e que sempre contou com um sistema de abastecimento de água deficiente, a atividade de construção de poços "de quintal", representada unicamente por poços do tipo cacimba, cresceu rapidamente, existindo, ainda hoje, milhares delas, principalmente na periferia urbana. Com o tempo, estes pontos d'água estão sendo substituí-

dos por poços tubulares rasos, que, como os anteriores, captam o sistema aquífero mais superior. É um sistema extremamente vulnerável à poluição, enquanto os poços rasos fornecem pequenas vazões, operam em regime de exploração irregular e não dispõem de quaisquer informações.

No que se refere aos poços tubulares profundos, a maioria está com suas bocas abertas, o que facilita a conexão direta da superfície com o aquífero, salientando-se que grande parte daqueles em operação apresenta manutenção insatisfatória.

Há um grande número de poços com água contaminada na RMB, refletindo a importância da construção de poços embasados em conhecimentos técnicos que, muitas vezes, são desconsiderados por empresas ou pessoas que prestam esse tipo de serviço. Essa contaminação pode estar associada à má construção dos poços. Então deve-se perguntar: Qual procedimento adotar para que a perfuração seja feita de forma correta? No primeiro momento, escolher profissionais qualificados, com conhecimentos hidrogeológicos e de construção de poços. Um poço mal construído acarreta inconvenientes, como: baixa vazão, custo elevado da água e aumento na vulnerabilidade à poluição do aquífero.

Outro aspecto fundamental é o sanitário, especialmente quando se trata de poços tubulares rasos. Às vezes, os poços não possuem a cimentação estabelecida pela ABNT, e quando atende às exigências estabelecidas, fica espaço entre o revestimento definitivo e a parede do poço, permitindo, assim, a conexão da água do aquífero com a superfície. Em essência a água subterrânea está naturalmente protegida da poluição, entretanto, poços mal construídos expõem o aquífero à contaminação e podem acarretar problemas de saúde às pessoas que utilizam a água desses poços.

Essa problemática tende a se agravar, caso o poder público e as entidades fiscalizadoras não tomem as devidas providências, pois a principal causa da poluição de aquíferos está representada pelos poços construídos sem critérios técnicos, como a proteção sanitária para os poços em operação ou o tamponamento com pasta de cimento dos poços abandonados. Com a criação da Lei nº 6.105, aprovada, em 14/01/98, pela Assembleia Legislativa do Estado do Pará e em vigor desde 14 de julho de 1997, espera-se que essa situação seja minorada, evitando-se, assim, a construção de poços tubulares sem as normas técnicas recomendadas e sem o devido acompanhamento profissional.

Os usuários das águas subterrâneas na Região Metropolitana de Belém, são: indústrias, condomínios, lava-jatos, postos de combustíveis, o sistema público, colégios, creches, etc.

Os poços para abastecimento público e industrial, em sua maioria, obedecem aos critérios estabelecidos pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), enquanto os poços de particulares e condomínios, com raras exceções, são poços mal construídos, e que podem comprometer o usuário, caso os elementos poluentes atinjam os aquíferos.

Até o momento já foram cadastrados cerca de 2.263 pontos de água, dos quais 69 são poços tubulares com profundidades entre 230 m e 300 m. Há uma predominância de poços com menos de 25 m de profundidade, a maioria perfurados por processos manuais. Destes, pouco se sabe além das características físicas de construção. Ainda há as fontes, que, geralmente, ocorrem afastadas dos perímetros urbanos.

Grande parte dos perfis geológicos e geofísicos dos poços existentes foram comparados aos dados dos poços recém-construídos ou em fase

conclusão. Isto possibilitou a homogeneização dos perfis litológicos e correlacioná-los aos níveis aquíferos existentes na área do trabalho

2.2. - Dificuldades Encontradas

Com base no cadastramento dos poços tubulares profundos de Belém e dos demais Municípios que compõem a RMB, constatou-se uma série de dificuldades para a coleta de dados, quando da execução do Projeto. Entre as mais frequentes citam-se:

1) A maioria dos poços tubulares profundos existentes não possui conduto ou abertura para a passagem do medidor de nível d'água, dificultando, sobremaneira, a avaliação das medidas registradas;

2) O regime de bombeamento ininterrupto de 24 horas não permite, em parte, a execução dos testes de vazão e medidas de nível d'água, principalmente naqueles poços que funcionam com bomba de controle automático, que neste caso facilita a oscilação constante dos níveis d'água;

3) A exploração em todos os setores de captação não controlados gera interferências, principalmente quando da realização dos testes de produção e de aquífero, podendo mascarar, em parte, a interpretação dos resultados; e

4) Duas dificuldades básicas foram encontradas na análise das descrições dos perfis litológicos e construtivos, sendo que há falta de padronização para a descrição dos poços profundos litológicas, o que dificulta a correlação das informações; e para os poços rasos raramente encontram-se os perfis litológicos e construtivos, uma vez que são construídos por pessoas não habilitadas, os chamados curiosos.

A equipe do projeto tentou, na medida do possível, homogeneizar as descrições litológicas dos novos poços, para dispor de descrições litológi-

cas e construtivas mais compatíveis com a realidade. Os poços tubulares rasos são perfurados por pequenas firmas ou por perfuradores leigos, que visam apenas a produção de água, não se preocupando em registrar os dados obtidos durante e após as perfurações. Essa situação faz com que um grande número de poços cadastrados tenha pouca ou nenhuma informação para consubstanciar o Banco de Dados da CPRM e atender a outros interessados.

Há vários poços desativados, sendo que muitos deles estão com suas bocas abertas, aumentando assim o risco de contaminação dos aquíferos mais inferiores. Os motivos da desativação vão desde a obstrução de filtros, queda de bomba e água de má qualidade (ferro excessivo) até ao bombeamento de areia ou simples abandono do poço.

2.3 – Perspectiva de Utilização da Água Subterrânea

As águas dos lagos Bolonha e Água Preta, que abastecem o sítio urbano de Belém e parte da cidade de Ananindeua, são insuficientes para atender à demanda da população, sendo necessário a utilização de água subterrânea. As águas desses lagos estão quase todas contaminadas por dejetos e esgotos que neles são jogados, bem como no solo. Esta situação pode piorar, principalmente nas áreas de invasão, onde as fossas são construídas de maneira precária, os esgotos lançados a céu aberto e o lixo disposto aleatoriamente. Os dejetos e o lixo decompostos, em contato com a zona não saturada, misturados ou não, fluem pelas camadas geológicas, seguem por vários caminhos e podem atingir os aquíferos mais superficiais (lençol freático) e as drenagens da bacia de captação do Manancial do Utinga. Há necessidade do Poder Público realizar planejamento e sanea-

mento mais eficazes para a área, a fim de assistir, também, aos bairros mais periféricos, através da construção da rede de distribuição de água tratada, construção de poços tubulares profundos ou mesmo a implantação de micro-sistemas de captação.

Devido ao ineficaz, ou mesmo inexistente abastecimento público de água, os conjuntos habitacionais e condomínios suprem-se com as águas providas de poços tubulares rasos, que reduzem, em parte, essa deficiência. Em muitos conjuntos, onde existem poços comunitários, a captação está abandonada devido à quantidade de ferro excessiva ou por falta de bomba ou por motivos diversos, obrigando as pessoas mais aquinhoadas a procurarem os perfuradores locais para a construção dos seus próprios poços. Esta situação tende a piorar, pois, com o passar do tempo, a água do lençol freático torna-se passível de ser contaminada pelas fossas, construídas em terrenos de 200 m², próximas a poços de captação e de aquíferos livres. Levando-se em conta, ainda, a condição geológica do solo e, principalmente, onde a permeabilidade é alta, haverá maior possibilidade de contaminação da água captada pelos poços rasos.

Embora tenham sido cadastrados 2.263 pontos d'água, admite-se que há mais de dez mil poços na RMB, em face do grande número de poços rasos feitos sem qualquer fiscalização e que exploram os aquíferos mais superficiais. Isto demonstra a necessidade de um rigoroso controle desses poços, tanto na sua construção, bem como através de análises físico-química e bacteriológica das águas. Essa monitoração, com certeza, denunciará os poços contaminados e, com isto, diminuirá as doenças de veiculação hídrica, principalmente nas crianças e idosos. Assim evita-se maior dispêndio financeiro por parte dos órgãos públicos de saúde. Uma outra situação a ser

examinada é a dos poços amazonas e fontes utilizadas pela população de renda mais baixa e sujeitas às mesmas condições daquelas que utilizam poços tubulares rasos (8 m a 18 m de profundidade), cujas águas estão sujeitas à poluição antrópica.

As mudanças ambientais, já sentidas em nível local, indicam a necessidade de uma política de planejamento público para adaptação às alterações que vêm sofrendo os grandes centros urbanos. Com o alastramento da urbanização, aumenta a quantidade de rejeitos domésticos e industriais que contaminam a água, o solo e o ar, provocando toda sorte de doenças. O ser humano, ao realizar alterações desordenadas no meio físico, tem gerado uma série de desequilíbrios nesse sistema, sendo um dos principais a poluição ambiental.

Do exposto, o abastecimento de água é um dos mais cruciantes e graves problemas da área, sendo necessárias medidas mitigadoras, por parte do gestores municipais, para esse lastimável quadro. Nessas circunstâncias, uma alternativa para a situação é o uso da água subterrânea, armazenada nos sistemas aquíferos mais profundos, como bem atestam os poços construídos no PAAR, Cidade Nova II, Coqueiro e Jaderlândia, dentre outros.

No caso de abastecimento público d'água, deve-se partir para soluções diferentes daquelas utilizadas no Brasil, isto é, a captação de água de rios e lagos. Sabe-se que os maiores mananciais de água doce do mundo estão no subsolo, com capacidade 6.000 vezes superiores aos mananciais de água de superfície. Na RMB, é notório o grande potencial de recursos hídricos subterrâneos, como bem atestam os poços tubulares profundos da Companhia de Saneamento do Pará – COSANPA e do Serviço Autônomo de Água e Esgoto de Belém – SAAEB,

concessionárias do Estado e do Município, respectivamente.

O SAAEB, na sua área de atuação, se utiliza integralmente de água subterrânea com 15 poços profundos variando de 180 m a 270 m, que fornecem 4.500 m³/h para os seus usuários. A COSANPA opera com um sistema misto, sendo 70 % provenientes dos lagos Bolonha e Água Preta, a partir da adução do rio Guamá, e os 30 % restantes oriundos de poços tubulares profundos (240 m a 280 m).

Dentro deste contexto, a RMB apresenta um grande potencial subterrâneo, entretanto são poucos os trabalhos específicos que visem a quantificação desta potencialidade, bem como a otimização de uso de tais recursos. Nesse quadro a importância das águas subterrâneas desponta como a grande alternativa de abastecimento, já que se apresenta com boa qualidade natural, dispensando, na maioria das vezes, os caros processos de tratamento, como é o caso das águas superficiais. Além do mais as águas subterrâneas estão comprovadamente, melhores protegidas dos agentes de poluição que, rapidamente, afetam rios e lagos, que são os mananciais mais utilizados para o abastecimento das populações.

Tendo em vista esta problemática, a população vem apelando, em larga escala, para os mananciais subterrâneos, onde se estima a existência de mais de 10.000 poços tubulares rasos, em decorrência da falta de eficiência no suprimento de água pelos órgãos públicos, principalmente nos bairros mais periféricos.

Espera-se que a Lei Estadual n.º 6.105, criada em 08/01/98 e que regulamenta o uso das águas subterrâneas, venha proporcionar amparo legal para a gestão dos recursos hídricos do Estado. Em nível federal foi criada a Lei 9433/97, que estabelece os princípios, a política e os instrumen-

tos de gestão e cria o Sistema Integrado de Gestão de Recursos Hídricos. Esta lei apresenta as bases legais para a outorga e cobrança pelo uso da água, assim como os princípios gerais para a solução dos conflitos de uso e os critérios para a fiscalização e as sanções pelo uso indevido ou inadequado dos recursos hídricos.

Com a criação de uma legislação específica para os recursos hídricos subterrâneos, espera-se uma fiscalização eficiente por parte da SECTAM, CREA e Ministério Público, no que diz respeito a construção de poços tubulares, especialmente aqueles de profundidade de 12 m a 25 m, que são os mais comprometidos, pois os mesmos perfurados por pessoas sem qualificação técnica.

3.0 – FISIOGRAFIA DA RMB

3.1 – Elementos Climáticos e Meteorológicos

A Região Guajarina, onde se localiza a área estudada, é caracterizada por um clima, em geral, quente e úmido, em virtude, também, de sua baixa altitude, da topografia plana e da vegetação densa. O tipo climático atual, de acordo com a classificação de Köppen, varia entre AM e AW tropical úmido de floresta. É uma região chuvosa, com precipitação média anual em torno de 3.158,20 mm, com período de chuvas indo de dezembro a abril, enquanto de agosto a outubro registra-se a menor pluviosidade (Tabela 01 e Fig. 2A a Fig. 2E).

O regime térmico se caracteriza pela temperatura elevada em todos os períodos, resultando na média anual de 27,10° C. A amplitude térmica, com média anual de 8,52° C, e as médias mensais e anuais de temperatura, calculadas para uma série de 10 anos (1987 a 1996), estão representadas na Tabela 02 e Fig. 2B, segundo os dados do Instituto Nacional de Meteorologia-INMET/Belém.

Essas ilustrações indicam, também, as temperaturas médias mensais das máximas e mínimas da região, cujas médias anuais são de 31,38° C e 22,86° C, respectivamente.

Quanto aos ventos, predominam aqueles do quadrante NE, exceto nos meses de maio e julho, quando sopram para SE (Tabela 01 e Fig. 2C); a velocidade média mensal dos ventos é 4,82 m/s, notando-se que são mais fortes no verão do que no inverno. Sobre a pressão atmosférica, os valores são muito próximos em quase todos os meses (Tabela 01), exceto em maio e junho, cujas médias são, respectivamente, de 913,96 atm e 944,58 atm.

Outros parâmetros registrados foram: umidade relativa do ar e evaporação. No mês de fevereiro a média da umidade relativa do ar foi a mais elevada e a mais baixa em outubro, havendo uma variação de 91,6 % para 81,3 % (Tabela 01 e Fig. 2D). Enquanto que as médias de fevereiro e agosto foram as menores e maiores, com 34,30 mm e 73,57 mm, respectivamente, sendo que a média mensal foi de 55,02 mm (Tabela 01 e Fig. 2E).

3.2 – Balanço Hídrico

Foram utilizados dados de temperatura, evapotranspiração e precipitação, do período de 1987 a 1996, a partir dos registros efetuados pelo INMET/Belém (Tabela 03 e Fig.03).

A partir dos resultados obtidos, constatou-se que no período de dezembro a julho a precipitação ($P \geq$ a evapotranspiração potencial (ETP)), logo há excesso de água no solo, o que resulta em escoamento na superfície e infiltração. Já no período de agosto a outubro $P \leq$ ETP, ocorre retirada e há deficiência de água no solo. Ao término deste período, a precipitação torna a ultrapassar a evapotranspiração potencial, com isto ocorre a reposição de água no solo e, posteriormente, o excedente escoar pela superfície.



Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais
Superintendência Regional de Belém
Projeto Estudos Hidrogeológicos da Região Metropolitana de Belém –
PEHRMB

**DADOS METEOROLÓGICOS
PERÍODO 1987 A 1996**

MESES	PRECIPITAÇÃO PLUVIOMÉTRICA (mm)	UMIDADE RELATIVA (%)	VENTO		EVAPORAÇÃO (mm)	PRESSÃO (atm)
			Veloc. (m/s)	Direção		
JANEIRO	390,6	88,90	4,14	NE	41,55	1011,11
FEVEREIRO	420,8	91,60	4,16	NE	34,30	1014,41
MARÇO	437,4	90,40	4,01	NE	37,31	1010,32
ABRIL	407,1	89,00	3,74	NE	36,91	1011,26
MAIO	291,1	87,11	3,83	SE	48,94	913,96
JUNHO	188,3	84,80	4,58	E	57,66	944,58
JULHO	188,3	85,10	4,77	SE	66,25	1012,94
AGOSTO	145,4	84,00	5,56	NE	68,33	1042,17
SETEMBRO	151,9	81,60	5,91	NE	73,57	1012,14
OUTUBRO	132,5	81,30	5,76	NE	69,69	1014,30
NOVEMBRO	167,6	82,70	5,89	NE	68,48	1014,35
DEZEMBRO	237,2	85,10	5,54	NE	57,27	1010,72
MÉDIA MENSAL	263,18	85,96	4,82	NE	55,02	1001,02
MÉDIA ANUAL	3.158,20	-	-	-	-	-

Tabela - 01

**DADOS DE TEMPERATURA
PERÍODO 1987 a 1996**

MESES	TEMPERATURA			
	MÉDIA (°C)	MÉDIA DAS MÁXIMAS (°C)	MÉDIA DAS MÍNIMAS (°C)	AMPLITUDE MÉDIA (°C)
JANEIRO	26,7	30,73	22,27	7,96
FEVEREIRO	26,7	30,22	22,98	7,24
MARÇO	26,7	30,29	23,03	7,26
ABRIL	27,1	30,75	23,31	7,44
MAIO	27,3	31,34	23,23	8,11
JUNHO	27,3	31,66	22,97	8,69
JULHO	26,9	31,34	22,40	8,94
AGOSTO	27,2	31,99	22,49	9,50
SETEMBRO	27,4	32,31	22,42	9,89
OUTUBRO	27,3	32,20	22,34	9,86
NOVEMBRO	27,5	32,21	22,80	9,41
DEZEMBRO	27,2	31,62	23,62	8,00
MÉDIA ANUAL	27,1	31,38	22,86	8,52

Tabela - 02

GRÁFICOS CLIMATOLÓGICOS E METEOROLÓGICOS

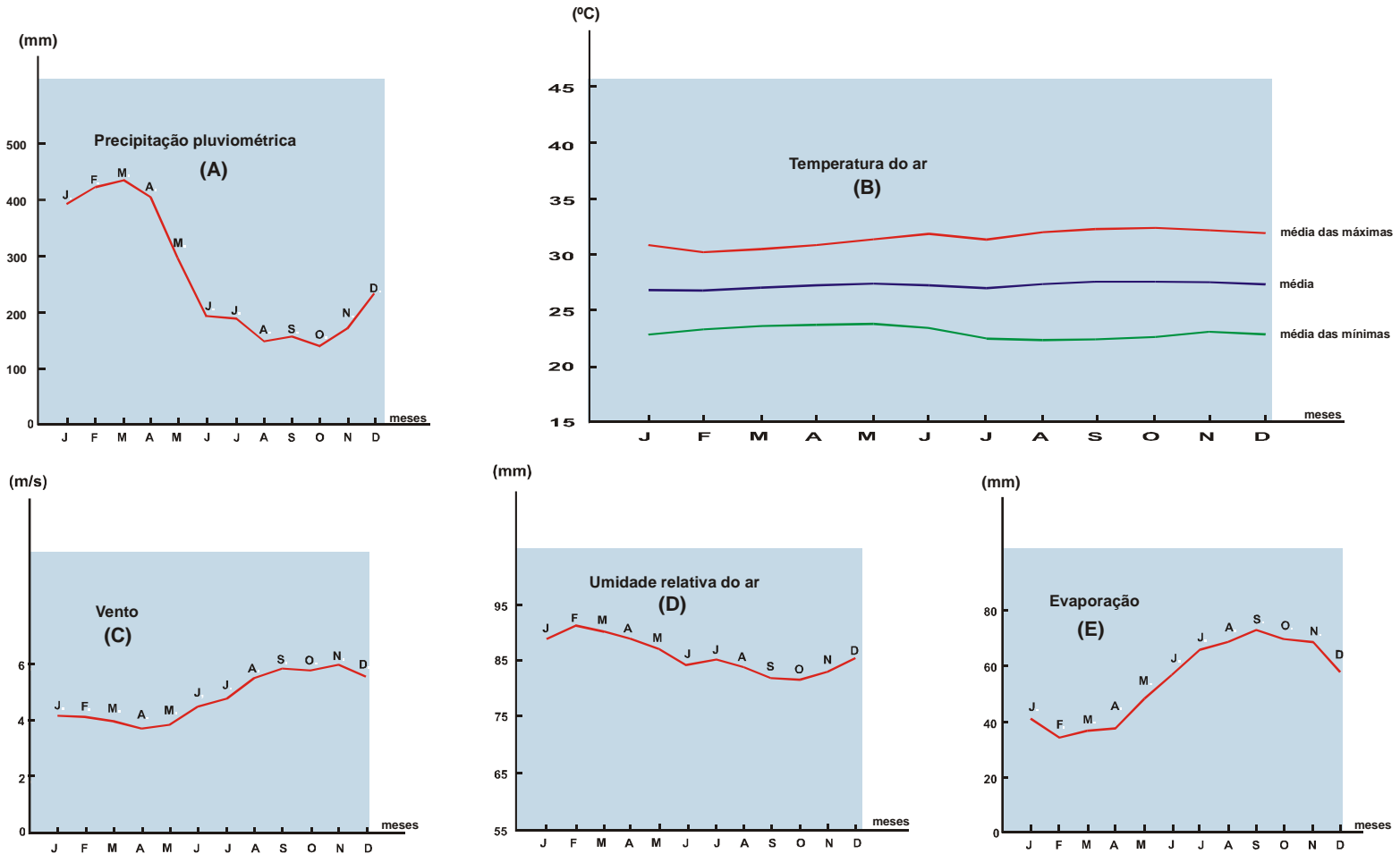


Fig - 02 : (A), (B), (C), (D) e (E)



TABELA 03 - BALANÇO HÍDRICO DA REGIÃO METROPOLITANA DE BELÉM

MESES	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	TEMP. MÉDIA °C	ETP (mm) DIÁRIA	CORREÇÃO	ETP (mm) MENSAL	PRECIP. (P) (mm)	P- ETP MENSAL (mm)	NEGT. ACUMULADA	ARMAZ. (mm)	ALT. (mm)	ETR (mm)	DEF (mm)	EXC (mm)
JANEIRO	26,7	4,6	31,35	144,21	390,60	246,39	0	100	0	144,21	0	246,39
FEVEREIRO	26,7	4,6	28,20	129,72	420,80	291,08	0	100	0	129,72	0	291,08
MARÇO	26,7	4,6	31,20	143,52	437,40	293,88	0	100	0	143,52	0	293,88
ABRIL	27,1	4,9	30,30	148,47	407,10	258,63	0	100	0	148,47	0	258,63
MAIO	27,3	5,2	31,05	161,46	291,10	129,64	0	100	0	161,46	0	129,64
JUNHO	27,3	5,2	30,15	156,78	188,30	31,52	0	100	0	156,78	0	31,52
JULHO	26,9	4,9	31,20	152,88	188,30	35,42	0	100	0	152,88	0	35,42
AGOSTO	27,2	4,9	31,20	152,88	145,40	-7,48	-7,48	92,5	-7,5	152,90	-0,02	0
SETEMBRO	27,4	5,2	30,30	157,56	151,90	-5,66	-13,14	88,0	-4,5	156,40	1,16	0
OUTUBRO	27,3	5,1	31,20	159,12	132,50	-26,62	-39,76	66,0	-22	154,50	4,62	0
NOVEMBRO	27,5	5,2	30,45	158,34	167,60	9,26	0	100	34	158,34	0	-24,74
DEZEMBRO	27,2	4,9	31,35	153,62	237,20	83,58	0	100	0	153,62	0	83,58
TOTAL	27,1			1.818,56	3.158,20	1.339,64			Zero	1.812,80	5,76	1.345,40

Tabela elaborada a partir das Tab. 01 e Tab. 02

$$\Sigma \text{ETPM} = \Sigma \text{ETR} + \Sigma \text{DEF}$$

$$1.818,56 = 1.812,80 + 5,76$$

$$\Sigma P = \Sigma \text{ETR} + \Sigma \text{EXC}$$

$$3.158,20 = 1.812,80 + 1.345,40$$

ALT = Zero

Tabela - 03

AFERIÇÃO DO BALANÇO :

$$\Sigma P = \Sigma \text{ETPM} + \Sigma (P - \text{ETPM})$$

$$3.158,20 = 1.818,56 + 1.339,64$$

BALANÇO HÍDRICO DA REGIÃO METROPOLITANA DE BELÉM

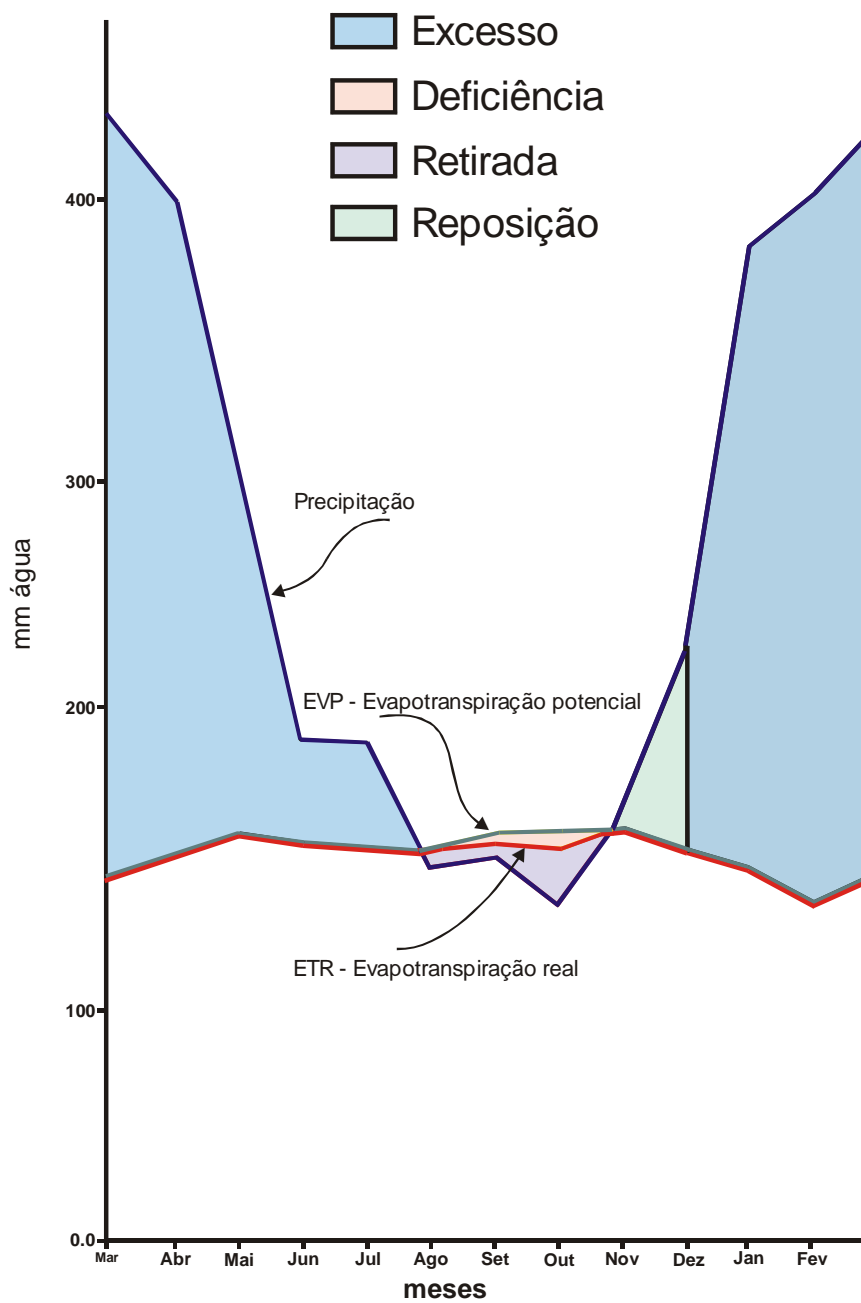


Fig. 03

3.3 - Hidrografia e Relevô

O rio Guamá, com uma extensão de 35 km no sentido de oeste para leste - a partir da confluência do rio Pará até o limite sudeste da área, juntamente com seus afluentes e a baía do Guajará comanda a drenagem local. Antes de juntar-se às baías de Guajará e Marajó, sofre uma inflexão para norte, com uma extensão de 29 km, aproximadamente, até a confluência do rio Maguari. No primeiro trecho, a largura média  de 2.450 m, ao passo que no último  de 4.200 m.

O rio Guamá e seus afluentes sofrem influências das marés oceânicas e recebem constantemente sedimentos da baía do Guajará, esta que possui suas águas barrentas e, temporariamente, salobras no ápice do verão. A oscilao de suas águas, provocando variaoes sazonais, chegam a alagar parte das dezenas de ilhas e elevam o nível d'água dos inúmeros canais, inclusive de alguns setores da Região Metropolitana de Belém. Essa situao, aliada a outros parâmetros ambientais,  prejudicial ao abastecimento público, pois grande parte da água distribuída  populao de Belém  aduzida do rio Guamá para o lago gua Preta e da, passando pelo lago Bolonha, transportada para a Estoo de Tratamento d'água do Utinga.

Os afluentes do rio Guamá, em ambas as margens, desenvolvem um padrão de drenagem dendrítica.

O relevo na área trabalhada, que se apresenta com uma topografia plana e integrante da Planície Amazônica, engloba as feioes: Pediplano Pliocénico, Pediplano Neo-Pleistocnico e Planície de Inundao. A primeira forma de relevo está restrita às feioes expostas do topo da Unidade Barreira (cota 10 m a 25 m), enquanto a segunda modela-se em terrenos da Cobertura Detrítica Pleistocnica (cota 5 m a 15 m). A última feio está representada pela Planície de Inundao que

margeia os cursos d'água, cujas cotas são inferiores a 5 m.

4.0 – CARACTERIZAO GEOLÓGICA

4.1 - Geologia Regional

Face às características do trabalho realizado na área e em consonância com os objetivos visados pelo projeto, tanto a geologia como a hidrogeologia são enfocadas sem a ortodoxia tradicional do tema.

O conjunto de rochas que compõem o quadro litoestratigráfico da Região Metropolitana de Belém e adjcncias, faz parte da Bacia Sedimentar do Amazonas, cuja área emersa  conhecida como Bacia Sedimentar do Marajó, segundo Ludwig, 1964; Aguiar et al., 1966; Castro, 1970; e Schaller et al., 1971).

Os litotipos que compõem a moldura geológica da área estão nos domínios das coberturas fanerozóicas e acham-se representados por uma seqncia carbonática em subsuperfície, denominada Formao Pirabas, de idade miocnica. Esta unidade está recoberta por sedimentos clásticos do Grupo Barreiras, de idade terciária, e, seqüencialmente, pelas coberturas Detrítica Lateríticas, Sub-Recente e Aluvionar Recente, todas de idade quaternária. As duas últimas coberturas são constituídas pelos sedimentos aluvionares inconsolidados que jazem na faixa costeira, leitos das drenagens e manguezais.

A partir da década de 90, vários estudiosos vêm desenvolvendo trabalhos geológicos nesses sedimentos, principalmente na região nordeste do Pará, dos quais se destacam: Góes et al., 1990; Igreja, H. L. S. et al., 1988; Farias, S. E. et al., 1992; Bezerra, L. E. P. et al., 1993; e outros. Estes autores têm designado os sedimentos subaflorentes e aflorantes na Região Metropolitana de Belém, como no nordeste

do Pará, de Formação Pirabas, Grupo Barreiras e Pós-Barreiras. E por se julgar de grande valia para o entendimento da estratigrafia do Cenozóico da região, estão transcritos alguns excertos do trabalho de Teixeira & Conte (1991).

4.1.1 - Formação Pirabas

A Formação Pirabas (Maury, 1925) representa uma das mais importantes unidades litoestratigráficas do Norte, pelo seu conteúdo fossilífero, que caracteriza uma das faunas marinhas mais representativas do Cenozóico. Encontra-se sobre a plataforma continental norte brasileira e com as melhores ocorrências concentradas, principalmente, ao longo do litoral dos Estados do Pará, Maranhão e Piauí (Ferreira, 1964, Apud Pinheiro, 1988).

No Estado do Pará a Formação Pirabas é encontrada em subsuperfície, em toda a Zona Bragantina e em superfície, na faixa litorânea da Zona do Salgado.

As variações litopaleontológicas, já verificadas por Maury (op. cit.), levaram a diversas proposições e divisões faciológicas para a Formação Pirabas: Ackerman, 1964 e 1969; Petri, 1957 e outros. A diferenciação de Ferreira (1967 e 1980) e Francisco & Ferreira (1988) é a mais aceita na literatura. Estes autores definem 3 fácies:

– Fácies Castelo/Inferior: calcário puro diversificado, coquinas, biohermitos, micritos e dolmicritos. O ambiente é de mar aberto de águas agitadas e quentes, com salinidade normal; aflora no litoral, principalmente em Salinópolis e Fortalezinha.

– Fácies Baunilha Grande/Intermediária: argilas negras com vegetais piritizados e carcinólitos, que sugerem um ambiente de mangue; foi observada em furos de sondagem, nos municípios de Quatipuru e Primavera.

– Fácies Capanema/Superior: margas, micritos, bioclásticos, folhelhos rítmicos e arenitos calcíferos, de ambientes lagunares, de borda de bacia e estuarino; aflora em Capanema

A partir da divisão faciológica proposta por Góes et al. (1990), foram definidas 7 fácies como constituintes da Formação Pirabas, sendo estas: biocalcirudito, biocalcarenito não estratificado, biocalcarenito estratificado, margas e subordinadamente, biohermitos, folhelhos negros e verdes e calcilitos.

No nordeste do Estado do Pará, a Formação Pirabas faz contato com as rochas do Pré-Cambiano (Petri, 1957; Ferreira et al., 1984; e Góes, 1981). O contato superior com o Grupo Barreiras é motivo de controvérsia. Alguns o admitem como discordante (Francisco & Ferreira, 1988), outros advogam uma interdigitação faciológica (Rosseti, 1988; Góes et al., 1990), e aqueles que defendem as variações locais (Ferreira et al., 1984; Ackermann, 1964 e 1969).

4.1.2 – Grupo Barreiras

Vários autores se referem ao Grupo Barreiras, enfatizando os seus aspectos litológicos e as relações estratigráficas: Katzer, 1933; Ackermann, 1964 e 1969; e Sá, 1969. No nordeste do Estado do Pará, os principais trabalhos são de Góes & Truckenbrodt (1980), Góes (1981), Arai et al. (1988) e Rosseti et al. (1989).

Góes & Truckenbrodt (op. cit.) e Góes (op. cit.) dividiram os sedimentos Barreiras na região Bragantina em 3 (três) litofácies:

– Fácies argilo-arenosa: interdigitação de camadas argilosas, areno-argilosas, argilo-arenosas e arenosas limpas, maciças ou estratificadas.

– Fácies arenosa/sobrejacente: é a mais representativa; são arenitos

amarelados, de granulometria média e mal selecionados; e os microconglomerados moderadamente selecionados, que são característicos das partes basal e mediana.

– Fácies conglomerática: assenta-se em discordância sobre rochas pré-cambrianas; são seixos de rochas cristalinas com matriz areno-argilosa.

Rosseti et al. (1989), subdividiram o Grupo Barreiras em 13 fácies, admitindo que, no NE do Estado do Pará, se depositou segundo o modelo de leques aluviais (planície de areia – planície de lama), tendo provável influência de marés na porção mais distal do sistema.

No Estado do Pará, Arai et al. (1988), por palinologia, posicionam o Grupo Barreiras no Mioceno, utilizando o esporo de **Crassoretitrites vanreasho-oveni** como palinofóssil exclusivo desta idade. Esta é a idade mais aceita para o referido grupo, porém esta possibilidade pode ser revista.

4.1.3 – Pós-Barreiras

Silva & Loewenstein (1968) introduziram a denominação Pós-Barreiras para designar os sedimentos amarelados sobrepostos ao Grupo Barreiras e que correspondem, em linhas gerais, ao Quaternário Antigo, de Katzer (1933) e Ackermann (1964), e à Formação Pará, de Oliveira & Leonardos (1943, Apud Sá, 1969).

Segundo Sá (op. cit.), os sedimentos Pós-Barreiras são areno-argilosos, de granulometria grossa, amarelados e inconsolidados. Estão em discordância erosional sobre o Grupo Barreiras, cujo contato é marcado por seixos rolados de arenito ferruginoso ou, ainda, fragmentos dos sedimentos Barreiras.

Segundo Rosseti et. al. (1989), o Pós-Barreiras corresponde à fácies argilo-arenosa de Góes (op. cit.), geralmente maciça e caracterizada por are-

nitos argilosos, mal selecionados e com grânulos e, até, seixos de quartzo dispersos. Geralmente não se distinguem estruturas, mas nas proximidades do litoral pode-se observar estruturas de dissipação de dunas eólicas.

O contato com o Barreiras se faz por superfície erosiva e marcada por níveis detríticos. Apresenta características deposicionais sugestivas da atuação de movimentos gravitacionais, além de eólicos na faixa litorânea (Rosseti et al., op. cit.). A idade mais aceita para esta unidade é holocênica, obtida a partir da datação de conchas (Simões, 1981).

4.2 - Geologia Local

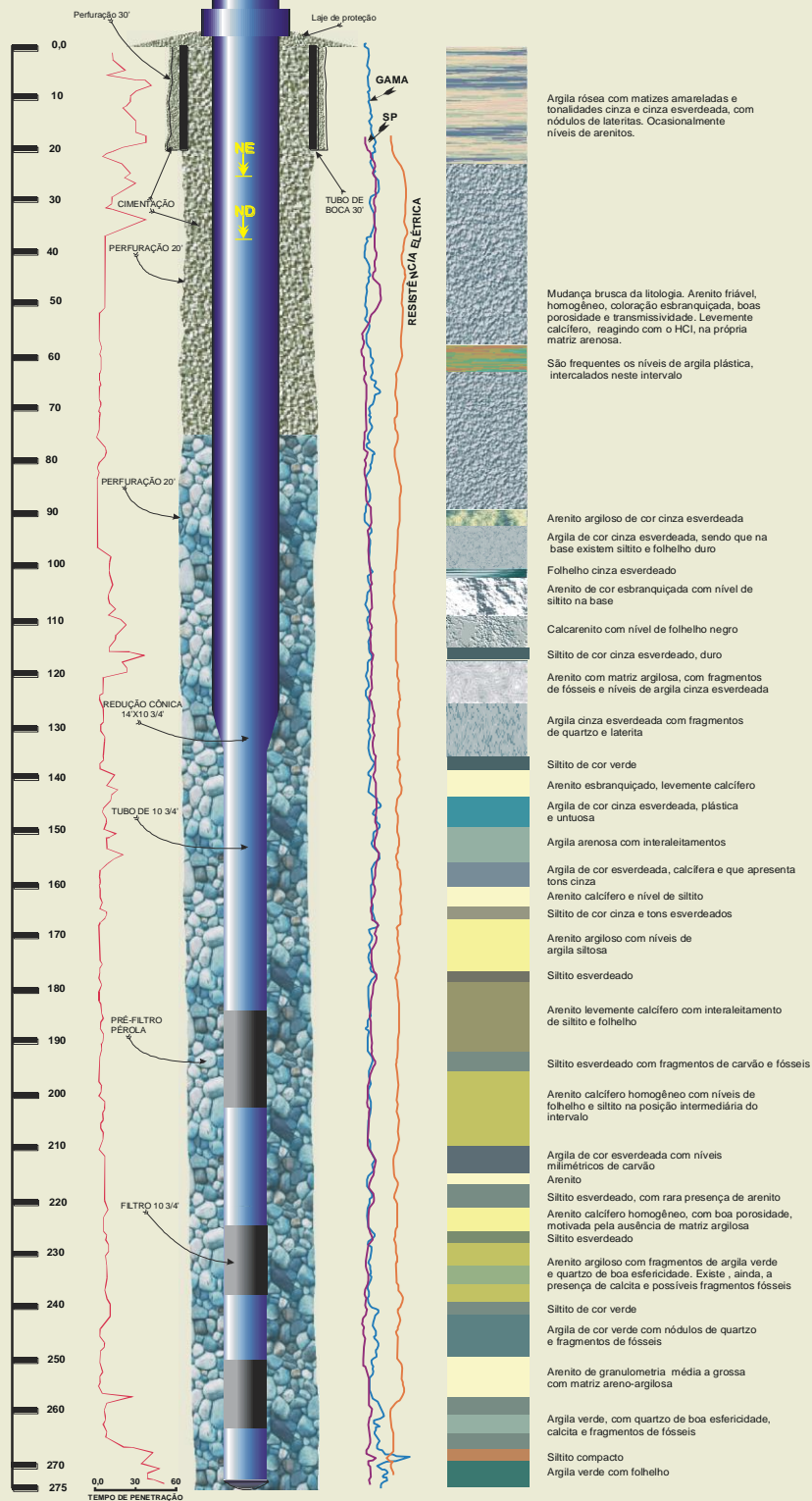
A Fig. 04 e a Fig. 05 mostram o perfil básico das unidades aquíferas da RMB, com descrição litológica, da perfilagem gama e de amostra de calha do poço da Guanabara e do Conjunto Eduardo Angelim perfurados pela CONTEP de Araraquara/SP e FEMAC Geosolo Ltda., de Belém/PA.

O perfil da Fig.04 se inicia com argilas róseo a esbranquiçada, semi-plásticas e maciças, com freqüentes intercalações de laterito e nódulos de quartzo. Níveis de argila cinza aparecem nesse intervalo, como também níveis de argila arenosa esbranquiçada, com tons vermelho-amarelado até a profundidade de 37 m, sendo a parte basal desse pacote progressivamente mais argiloso, conforme denota a ampliação de intensidade na perfilagem gama.

No intervalo de 38 m a 51 m ocorrem arenitos de coloração esbranquiçada, friáveis, heterogêneos, granulação fina à média e matriz levemente calcífera. A partir dessa profundidade até 84 m, segue-se um pacote de argila cinza esverdeada, às vezes carbonatada e calcífera e com freqüentes intercalações centimétricas de calcário, folhelho e arenito. Na seção entre 72 m e 80 m têm-se piritita,

Profundidade do Poço 275 m
Profundidade do Revestimento 271,50

Fig. 04 - PERFIL COMPOSTO DO POÇO DA GUANABARA CONTEP 1 / COSANPA



**Fig. 05 - CONJUNTO EDUARDO ANGELIM
PERFIL COMPOSTO DO POÇO DE ICOARACI**

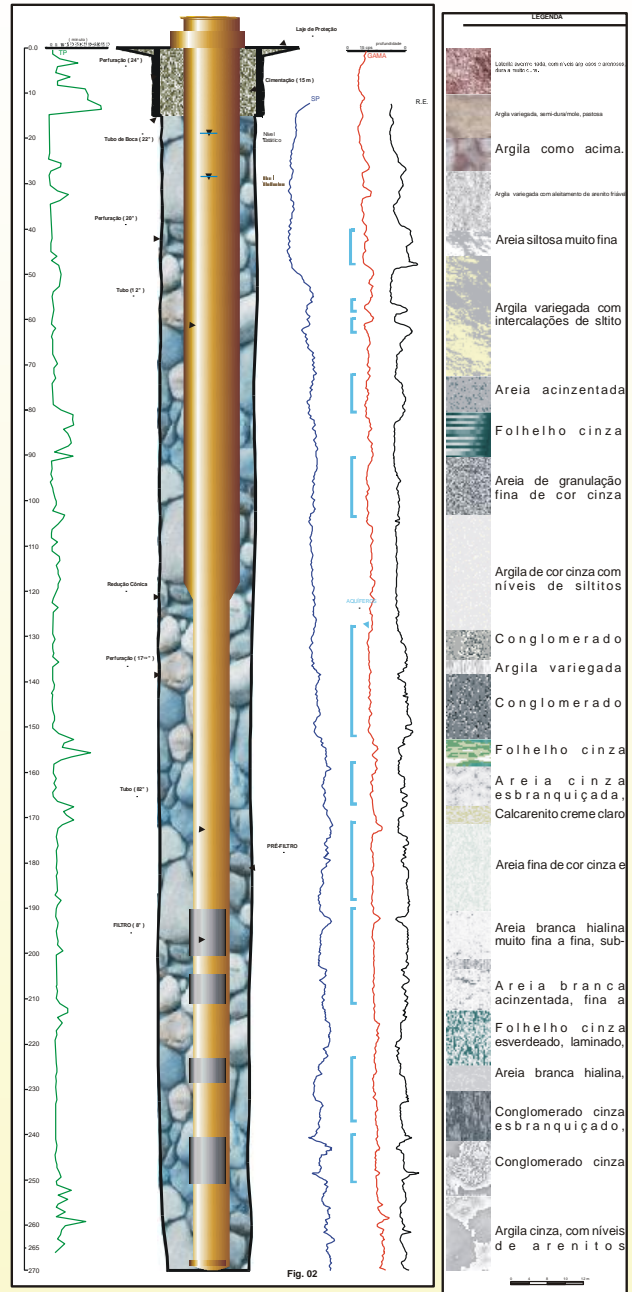


Fig. 02



Projeto Estudos Hidrogeológicos da Região
Metropolitana de Belém e Adjacências

PEHRMB

glauconita e fósseis com mais frequência, possivelmente o topo da Formação Pirabas.

A partir de 84 m até 93 m de profundidade, voltam a aparecer novas intercalações de arenitos médios a finos, heterogêneos, cores amarela à esbranquiçada e de boa importância hidrogeológica. Entre 93 m e 119 m têm-se uma seqüência alternada de argilas, areias e calcários, sendo que, na medida em que se aprofunda, as camadas se tornam mais arenosas.

O intervalo de 119 m a 145 m se caracteriza por uma sucessão de camadas arenosas muito similar ao intervalo anterior, conforme denota a redução de intensidade na perfilagem Gama, principalmente na base do intervalo. Segue-se, até 158m, um pacote de argilas esverdeadas, folhelhos plásticos, siltitos e níveis de calcário bastante impermeáveis e confinantes.

Abaixo dessa profundidade, até 210m, há um sistema aquífero multicamadas, com níveis de argila situados nas profundidades de: 168 m a 170 m; 178 m a 179 m e 194 m a 197 m. Com base na perfilagem gama, os níveis arenosos e argilosos são bem delimitados, conforme denotam a redução e aumento da intensidade desse sensor. É bem verdade que outros tipos litológicos, porém subordinados, ocorrem em determinados intervalos (calcário, folhelho, siltito, calcarenito, etc.) e com desenhos diferentes daqueles, e podem ser determinados por um especialista experiente na interpretação desse tipo de perfilagem.

Entre 211 m e 223 m ocorre um pacote heterogêneo de folhelho, siltito e níveis de carvão e fósseis.

Na parte basal da seqüência, até a profundidade de 258 m, verifica-se a presença de arenitos de coloração clara, granulometrias fina, média e grossa ou até mesmo conglomerática, na forma de sucessivas camadas de espes-

suras variáveis, intercalando níveis argilosos de maiores espessuras.

Finalmente, o perfil revela que, a partir dessa profundidade, volta a aparecer, de forma contínua, argilas avermelhadas, plásticas e interaleitamento de siltito, na maioria das vezes, até a profundidade de 275 m.

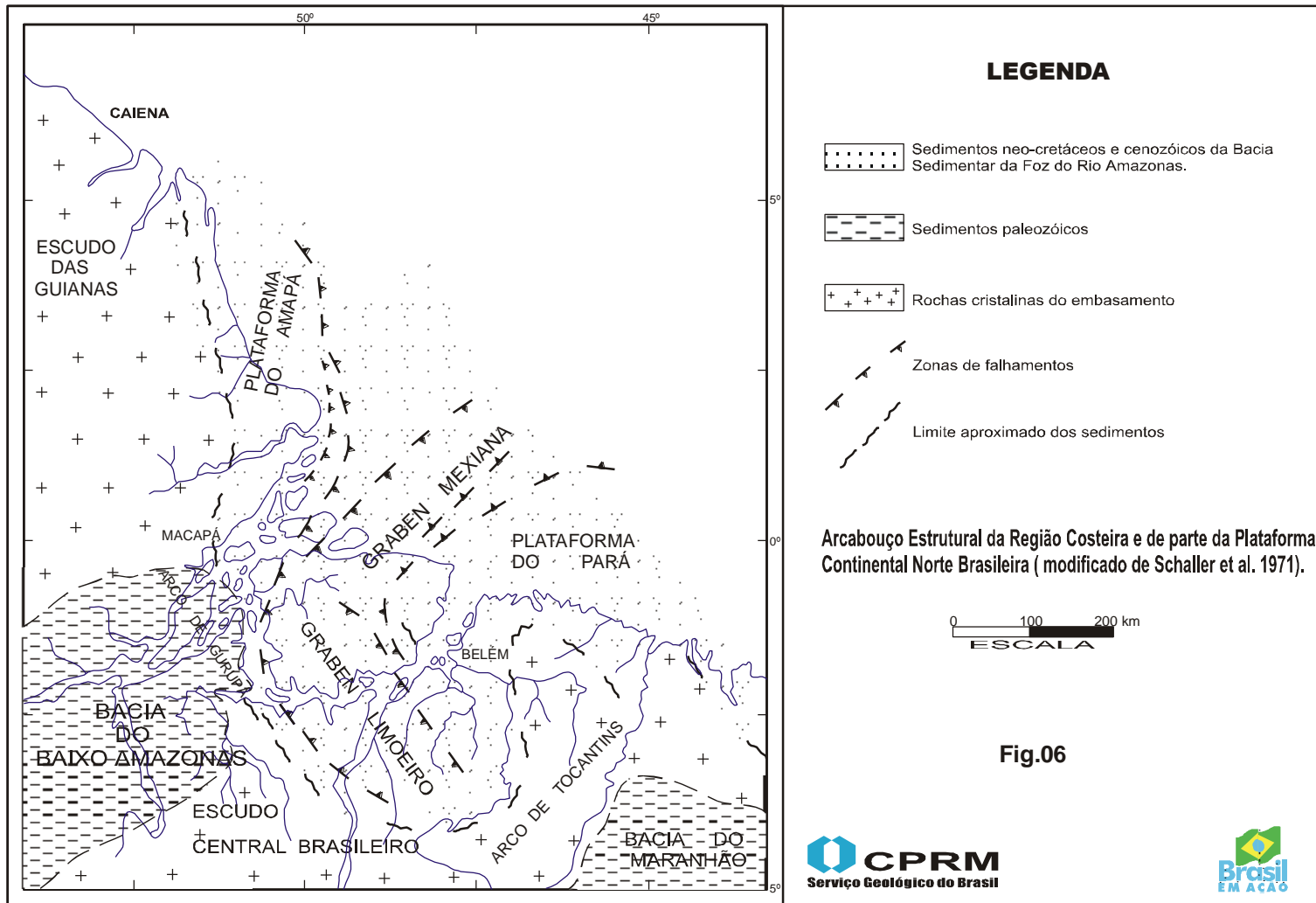
4.3 - Caracterização Estrutural

Este trabalho, em caráter preliminar, não tem a pretensão de estabelecer o arcabouço geológico estrutural regional, uma vez que a área trabalhada abrange somente uma pequena extensão da Bacia Amazônica. Contudo uma série de pesquisadores começou a realizar investigações geotectônicas na área da bacia, com o objetivo de registrar a evolução histórica dos conhecimentos da região, as quais serão descritas a seguir.

A estruturação regional da Bacia da Foz do rio Amazonas está vinculada à ação de esforços distensivos, que definem movimentos rupturais na foz do rio Amazonas, responsáveis pela estruturação básica desta área, definida por estruturas maiores como os grabens do Limoeiro e Mexiana e as plataformas do Pará e Amapá, segundo Schaller et al., 1971 (Fig. 06).

Bahia e Abreu (1985) propõem um modelo de aulacógeno para a Bacia da Foz do rio Amazonas, que seria uma feição resultante da desativação de um "rift", a partir de uma acentuada subsidência regional ocorrida no Siluriano-Devoniano, passando para a condição de "rift" abortado, em articulação com uma junção tríplice na foz do rio Amazonas.

O desenvolvimento da estruturação meso-cenozóica dessa região, segundo muitos autores, está fortemente controlado por estruturas herdadas do embasamento Pré-Cambriano. Rezen-de & Brito, (1973, Apud Pinheiro, 1988), chamam a atenção para o fato



de que as falhas de direção NW coincidem com as orientações estruturais gerais do embasamento, exposto a norte e a sul da bacia.

Segundo Costa et al. (1991 a e b) e Costa & Hasui (1991), o quadro tectônico meso-cenozóico para a região da foz do rio Amazonas, é caracterizado por feixes de falhas normais de direção NNW-SSE, que formam a charneira do “rift” assimétrico do Marajó, sendo seccionadas por falhas transferentes ENE-WSW e NE-SW, responsáveis pela fragmentação do “rift” do Marajó em sub-bacias, que impuseram forte deformação no preenchimento sedimentar da bacia.

Esses autores, estudando a macro estruturação cenozóica da Região do Salgado, admitem a existência de um romboedro transtrativo ou estrutura “pull-apart”, vinculado à atuação de um binário dextral, orientado preferencialmente na direção leste-oeste. Este binário se ajusta ao quadro tectônico global da placa sul-americana, no Cenozóico.

A evolução tectono-sedimentar do Mesozóico na região está atrelada a um regime extensional. Regime este que está associado à atuação de eixos de estiramento litosférico e vinculado à segmentação do Gondwana. A evolução da Bacia do Marajó está ligada ao eixo extensional ENE-WSW (Costa et al., 1991 a e b).

Igreja et al. (1988), estudando as zonas costeiras de Outeiro, Mosqueiro e Belém, identificaram pela primeira vez, em escala macroscópica, dois grandes grupos de falhas normais e transferentes. As primeiras são interpretadas como falhas mestras de estruturas tipo hemigrabens, que se coligam em profundidade para uma zona de “detachment” inclinada para NW, supondo que a Ilha de Marajó comporta-se como uma “microplaca”.

As falhas transferentes, com movimentação direcional, se desenvol-

vem concomitantemente às normais e acomodam parte da direção do eixo distensivo da bacia terciário-quadernária. Estas apresentam características e compensação geral sinistral, denunciando transporte de massa de SE para NW.

5.0 – HIDROGEOLOGIA

Os dados levantados pela equipe do Projeto Estudos Hidrogeológicos da Região Metropolitana de Belém, referem-se, basicamente, aos sedimentos pertencentes às seqüências do Quaternário Recente e do Mioceno Inferior, as quais guardam vários sistemas aquíferos.

Essas Unidades Geológicas são conhecidas na literatura como Formação Pirabas, Grupo Barreiras e Pós-Barreiras, cujos sistemas vêm sendo explorados para abastecimento público, industrial e por particulares, com poços tubulares que variam de 12 m a 300 m de profundidade. Os poços mais rasos (12 m a 18 m) têm se caracterizado por vazões da ordem de 1 m³/h a 3 m³/h, ao passo que nos profundos (> 80 m), as vazões têm variado de 20 m³/h a 300 m³/h.

5.1 – Inventário Hidrogeológico

Para um melhor entendimento das condições aquíferas da RMB, foi realizado um inventário de 2.263 pontos d’água. De posse das características dos pontos d’água, os dados foram preenchidos em fichas padronizadas e, em seguida, transferidos para uma planilha (Anexo I).

Dos 2.263 pontos inventariados, 1.856 são poços tubulares, 335 poços Amazonas e 72 nascentes ou fontes naturais, dentre as quais está incluída a fonte Mar Doce localizada no bairro Júlia Seffer.

A maioria dos poços tubulares com profundidade de até 25 m foram perfurados manualmente, sendo que a grande maioria não existe registro de

dados técnicos, dificultando, sobremaneira, a determinação de importantes parâmetros, tais como: vazão, nível dinâmico, posição dos filtros, dentre outros. Esses elementos, na maioria das vezes, tiveram que ser determinados pela equipe executora. Quando localizados, alguns perfuradores forneceram os dados dos poços para o preenchimento da planilha.

Os poços do tipo Amazonas são de propriedades particulares e, na maioria dos casos, estão funcionando de acordo com as posses, necessidades e circunstâncias de cada usuário. Vale ressaltar que boa parte desses poços, no período de estiagem máxima, secaram, obrigando o aprofundamento dos mesmos ou a utilização de outras alternativas para solucionar, em parte, o problema de abastecimento.

Embora tenham sido cadastrados 2.263 pontos d'água, com certeza esse número seria mais elevado, principalmente nos casos dos poços particulares que vêm aumentando, em consequência da inexistência de abastecimento público nas zonas periurbanas.

5.2 – Sistema Hidrogeológico

Os estratos geológicos que formam o sistema hídrico subterrâneo da área trabalhada, são consubstanciados com base na análise dos relatórios técnicos dos poços do sistema público de abastecimento d'água, construídos, no período de 1978 a 2001, para a COSANPA e para o SAAEB e, também, nos estudos desenvolvidos pela SEICOM (1995).

Merecem destaque, também, os trabalhos desenvolvidos na UFPA, na década de 90, defendidos através de Teses de Mestrado e voltados para a qualidade das águas subterrâneas e perfilagem geofísica.

Nas últimas décadas, muitas perfurações foram executadas pela FSESP (Fundação de Serviços de Saúde Pública), CPRM e outras

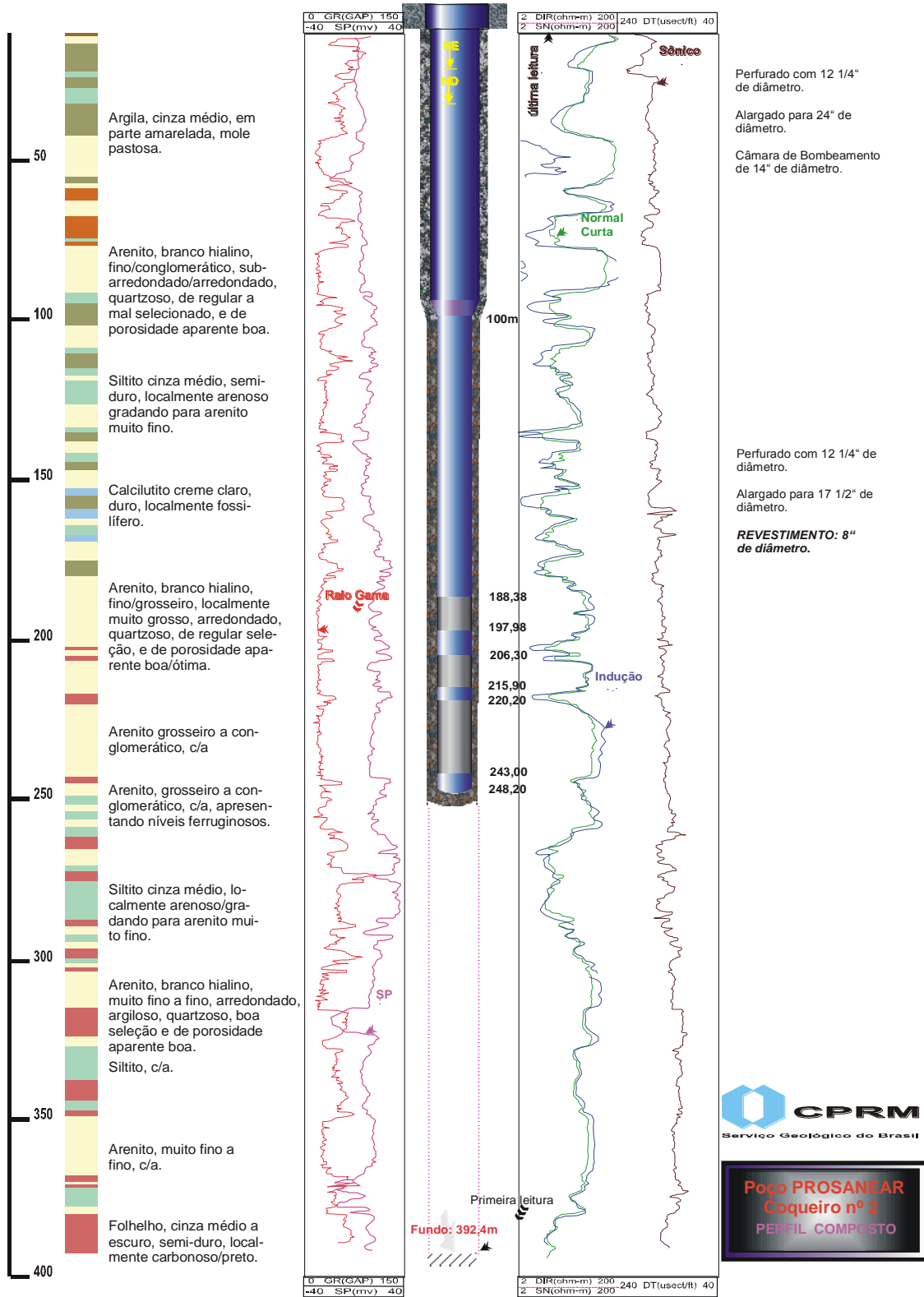
empresas de perfuração (GEOSER, GEONORTE, CORNER; FEMAC CONTEP/SP, HIDROENGE/SP, SÓ POÇOS/AM e PROÁGUA/PI).

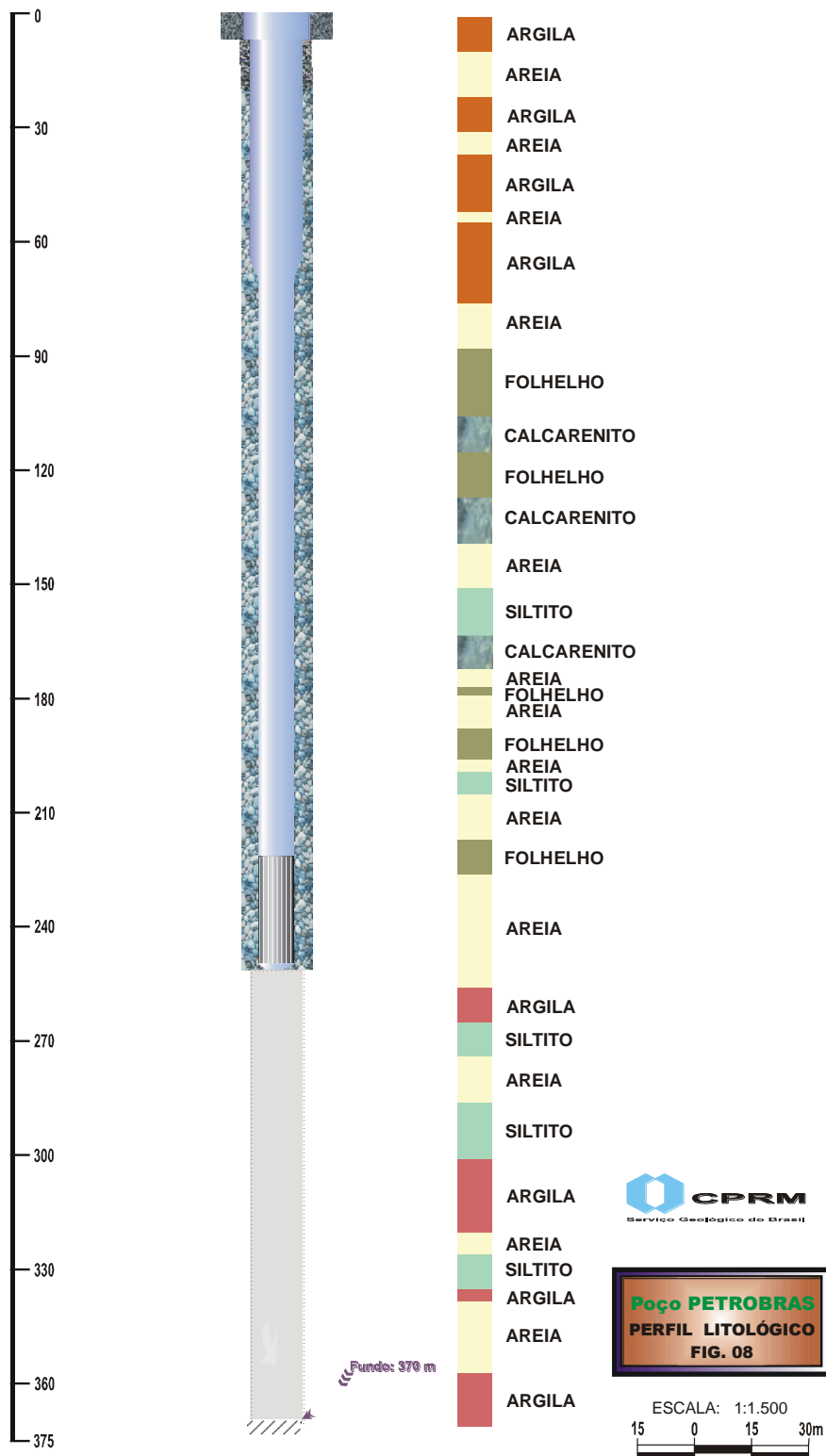
Os trabalhos mais recentes sobre a Hidrogeologia da área trabalhada, foi realizado pela CPRM no município de Ananindeua (1998) e no Distrito de Icoaraci (1999). Estes estudos envolveram o cadastramento de pontos d'água, condicionamento hidrogeológico e projeto de poços. Os perfis hidrogeológicos da RMB mostram que os estratos geológicos se constituem de aquícludes, aquíardos e aquíferos dos sistemas Pirabas, Barreiras e Cobertura Quaternária. A Fig. 07 e a Fig. 08 exibem os perfis compostos dos poços de captação Santa Maria (Prosanear) e da Petrobrás, cujas seções atravessam todas as unidades hidrogeológicas aflorantes e subaflorantes da área e permitiram conhecer as características físicas e hidráulicas de cada unidade, principalmente dos sistemas mais basais.

Não obstante a complexidade lenticular desses aquíferos, com espessuras saturadas de até 35 m interaleitadas com camadas impermeáveis de mesma possança, os mesmos não possuem, em parte, comunicação hidráulica, o que significa, a partir dos 35 m, a existência de aquíferos do tipo confinado, conforme as perfurações de 392 m e 372 m realizadas pela FEMAC e PETROBRAS, respectivamente (Fig. 07 e Fig. 08).

Essas duas perfurações retratam que, até a profundidade de 280 m, já são bem conhecidas as potencialidades hídricas da região, bem como a excelente qualidade físico-química da água subterrânea em suas condições naturais, principalmente no intervalo 180 m a 280 m. Abaixo dessa profundidade não se conhece as características hidrodinâmicas, apenas a litologia do pacote sedimentar até 392,40 m, que se constitui de folhelho e siltito

**Fig. 07 - POÇO PROSANEAR - SANTA MARIA - P 2
FEMAC GEOSOLO**





intercalados com arenitos. Segundo informação verbal do Hidrogeólogo Tancredi, existe uma linha sísmica na Baía do Guajará que atesta o embasamento a 500 m de profundidade. Entretanto, não se conhece a base da Formação Pirabas, apesar do Mapa Bouguer da PETROBRAS, interpretado pela CPRM, na escala 1:250.000, sugerir que o embasamento cristalino se acha entre 1.000 m a 7.000 m de profundidade (Fig. 09).

Para otimizar as potencialidades da área, sugere-se que os aquíferos existentes entre 300 m e 500 m de profundidades sejam testados, pois, com a expansão urbana, haverá necessidade de suprir a demanda de água com a sua captação através de poços tubulares profundos.

Com base na perfilagem geofísica, nos dados da perfuração de poços profundos e na bibliografia consultada, foi estabelecida uma coluna estratigráfica da cobertura sedimentar da Região Metropolitana de Belém (Quadro 01).

5.3 – Sistemas Aquíferos

De posse das informações coletadas e integradas com os perfis litológicos básicos, descritos na área trabalhada, identificou-se a ocorrência de três domínios aquíferos. O primeiro domínio é do tipo poroso, constituído pelos sedimentos da Cobertura Detrítica Laterítica que, por sua vez, está encimada por alúvios e colúvios.

Esses sedimentos alúvio-coluvionares correspondem à unidade aquífera superior, formada por níveis argilo-arenosos, inconsolidados, existentes no intervalo 0 a 35 m, e considerados de potencial hidrogeológico fraco, como atestam as vazões conhecidas. Entretanto, na maioria das vezes, apresentam água de boa qualidade para consumo humano, podendo, em alguns casos, não ser potável devido ao teor excessivo de ferro. São aquí-

feros livres, cuja recarga se dá diretamente pela precipitação pluviométrica, enquanto que a descarga se efetiva através dos rios, fontes, evapotranspiração e poços de captação.

O segundo domínio, corresponde aos sedimentos do Grupo Barreiras, com litotipos heterogêneos, predominando argilitos intercalados com arenitos grosseiros e níveis de lateritos e níveis argilosos caulinizados. Este pacote tem cerca de 80 m de espessura e seus aquíferos não permitem grandes vazões, variando de 15 m³/h a 80 m³/h) e, freqüentemente, apresentam teores de ferro fora do padrão recomendado pelo Ministério da Saúde.

Ainda nesse domínio, os aquíferos são livres, semi-livres e, localmente, confinados. A recarga se dá por contribuição das camadas sobrepostas ou através da precipitação pluviométrica nas áreas de afloramento. Os aquíferos Barreiras e Pós-Barreiras, na maioria das vezes, não estão hidráulicamente conectados.

O terceiro domínio corresponde à unidade Pirabas, formado por dois sistemas aquíferos do tipo multicamadas, que neste trabalho são denominados de Pirabas Superior e Inferior, respectivamente. O primeiro é caracterizado por sedimentos marinhos, fossilíferos, composto por argila calcífera cinza-esverdeada e leitos de calcário duro cinza-esbranquiçado, que se alternam sucessivamente com camadas de arenito calcífero, siltitos e areias existentes no intervalo de 80 a 180 m. Quando diminuem os níveis de calcário e folhelho, aumentam as espessuras de areia. Nos aquíferos confinado, as principais representações arenosas aparecem nos intervalos 84-94m, 119-127m, 140-145m e 162-167m de profundidade. O potencial desse aquífero é moderado, contudo pode-se esperar boas vazões, principalmente nos arenitos mais grosseiros.

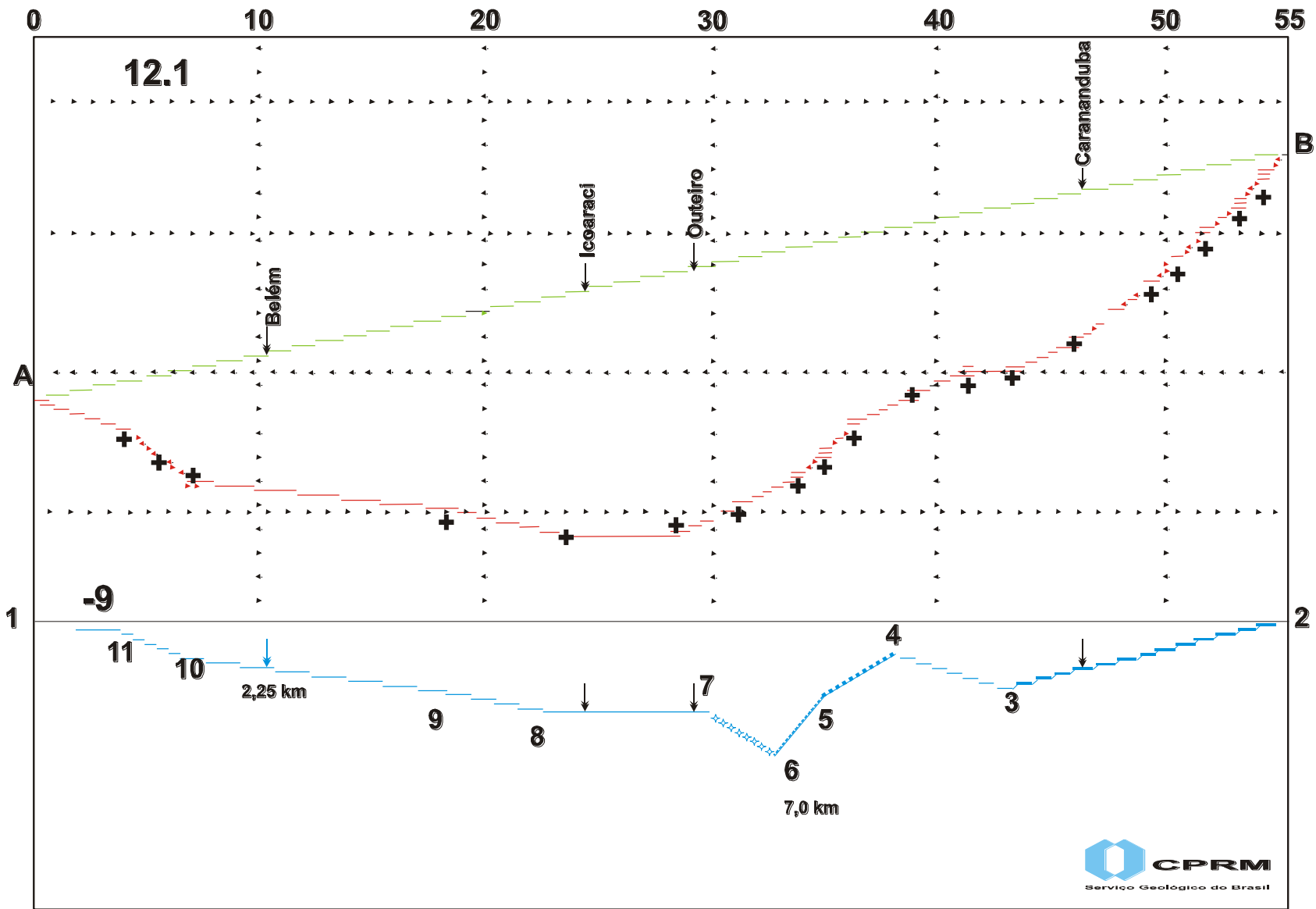


Fig. 09 - Modelamento mostrando baixo e alto gravimétrico da RMB. (Martins, R. C. 1995)

Quadro 01. COLUNA ESTATIGRÁFICA E CARACTERÍSTICAS HIDROGEOLÓGICAS DOS AQUÍFEROS DA RMB

ERA	PERÍODO	ÉPOCA	UNIDADE		ESPESSURA	SÍNTESE LITOLÓGICA	CARACT. HIDROGEOLÓGICA
C E N O Z Ó I C A	QUARTERNÁRIO	HOLOCENO - PLEISTOCENO	CLÁSTICOS FRIÁVEIS		10m	Constituem -se de areias variadas, argilas, limos e várzeas, distribuídas ao longo das valas dos rios, praias e zonas de mangues.	Potencialidade hidrogeológica alta para baterias de poços rasos, tendo em vista as boas condições de recarga desse aquífero. Vazão na ordem de 10m ³ /h.
	TERCIÁRIO	MIO - PLIOCENO	COBERTURA DETRÍTICO LATERÍTICA		35m	Sedimentos argilo - arenosos, variegados, com níveis lateritizados e arenito ferruginoso.	Potencialidade hidrogeológica fraca, devido á constituição litológica, contudo é muito utilizado pela população, através de poços tubulares rasos, que fornecem vazões na ordem de 1 a 3m ³ /h.
			GRUPO BARREIRAS		70m	Constituído de argilas vermelhas com níveis caulinizados e areias continentais..	Potencialidade hidrogeológica média satisfatória para demandas em torno de 20 a 80 m ³ /h , mas tem o inconveniente de apresentar teor excessivo de ferro na maioria das vezes.
		OLIGOMIOCENO	FORMAÇÃO PIRABAS	SUPE RIOR	80m	Constitui a parte marinha da bacia e é caracterizado por calcários, arenitos calcíferos, marga, folhelhos cinza esverdeados e abundante conteúdo fossilífero.	Boa perspectiva hidrogeológica para captação de água subterrânea, com vazões na ordem de 100 m ³ /h. Apresenta também, em alguns casos, teores elevados de ferro, mas é muito utilizado nas indústrias.
				INFE RIOR	120m	Esta unidade é caracterizada por arenitos de granulometria fina a grossa e pelitos associados	Potencialidade hidrogeológica excelente e a mais promissora dentre as unidades terciárias, sendo muito utilizado no abastecimento público e nas industrias. Apresenta vazões acima de 200m ³ /h.
				PRÉ - PIRA BAS	> 300m	Arenitos finos com intercalações de Siltito e argila.	Não São conhecidas as suas características hidrodinâmicas, entretanto apresenta camadas arenosas de 20m de espessura, tropeadas por argilas e siltitos.

O sistema aquífero Pirabas Inferior, constitui-se, predominantemente, de camadas repetitivas de arenitos cinza-esbranquiçado, granulação fina à conglomerática, com intercalações mais espessas de argilas e siltitos esverdeados. Os principais níveis desse aquífero ocorrem nos intervalos de 180 m a 193 m, 197 m a 211 m, 229 m a 240 m e 251 m a 259 m, constituindo um sistema estratificado e confinado pelo pacote subjacente, que se caracteriza por uma permeabilidade vertical variável. Estes sistemas jazem abaixo de 180 m e se apresentam como excelentes aquíferos, com vazões da ordem de 300 m³/h ou maiores, boa potabilidade e teores de ferro baixíssimos ou mesmo ausentes na maioria das vezes.

5.3.1 – Caracterização Geral

O sistema hidrogeológico se estende por toda a área, com espessura conhecida em torno de 400 m. O contexto litoestrutural influencia fortemente as condições hidrogeológicas, onde as camadas permeáveis e impermeáveis das mais variadas espessuras se interrelacionam, encerrando os mais diversos tipos de aquíferos: livres, semi-livres e confinados. Os primeiros, estão relacionados aos Aluviões e Cobertura Detrítico-Laterítica, ao passo que os dois últimos são sedimentos do Grupo Barreiras e da Formação Pirabas, respectivamente.

Os litotipos que constituem a Formação Pirabas, sem sombra de dúvidas, são os que melhores condições reúnem para o acúmulo de água subterrânea. Com base em mais de 60 poços profundos, esta unidade apresenta uma seqüência clástica com grande heterogeneidade e intercalações cíclicas de espessuras variáveis de argila, arenitos calcíferos ou não, calcários, margas e folhelhos; destes sedimentos, alguns são piritosos, contêm fósseis, fragmentos de conchas,

tubos de vermes, etc. Os sistemas aquíferos mais significativos acham-se postados na faixa de 180 m a 270 m, com vários subníveis aquíferos intercalados. A unidade ocorre em subsuperfície em toda região, com sua profundidade diminuindo para leste e atingindo a espessura média de 140 m. Apresenta água boa qualidade, devido à profundidade em que se encontra e, por isto, isenta de contaminação superficial.

As camadas da Formação Pirabas, entre 100 m e 180 m, apresenta importância menor para a captação, pois essa sessão é composta de argila calcífera de cor cinza esverdeada e com interaleitamentos de arenitos médios a finos com arenitos calcíferos ou mesmo calcarenitos e lentes de calcários e folhelhos subordinados. São limitadas no topo pelos clásticos do Grupo Barreiras e na base pelos folhelhos esverdeados do Pirabas Inferior. Sob o ponto de vista hidráulico pouco se conhece, pois somente alguns poços foram perfurados nessa secção. Entretanto há dois poços perfurados pela Só Poços para o Sivam e Shopping Iguatemi, com profundidades de 170 m e 180 m, respectivamente, onde foram cimentados os 125 m iniciais. Referidos poços não apresentaram teores significativos de ferro, pois é este o fator que limita os poços nesta profundidade (Informação verbal do geólogo Isaias da Só Poços).

Já os sedimentos do Grupo Barreiras são composto por argilas variegadas, arenitos médios e siltes arenosos de composição heterogênea. Ocorrem em toda área do projeto, com profundidade variando entre 30 m e 100 m e comportando uma grande potencialidade, contudo com teores de ferro, na maioria das vezes, excessivo, limitando assim a sua utilização para fins nobres. São utilizados em condomínios e indústrias, sendo necessário tratamento d'água como, cloração, sul-

fatação e aeração. As camadas com alto teores de ferro e matéria orgânica são as responsáveis pelo mau cheiro e gosto desagradável da água, inclusive acarretando a desativação de unidades de captação, como Água Boa e Brasília, ambas no distrito de Outeiro.

As Aluviões, juntamente com a Cobertura Detrítico-Laterítica, são sedimentos que evidenciam maiores heterogeneidades, principalmente, quando estão próximos às bacias de inundação dos rios. Seus litotipos variam de areia, silte, argila orgânica, conglomerados e lentes de lateritas ferro aluminosas. Sua espessura é muito variável, oscilando de 8 m a 30 m. Sob o ponto de vista hidráulico, não apresentam boa permeabilidade, mas são muito utilizados pela população doméstica, como também pelos plantadores de hortaliças. No uso dessas água deve-se ter cuidados especiais, pois além do elevado teor de ferro, a contaminação por nitrito, nitrato e amônia são evidentes na maioria das amostras analisadas.

5.3.2 – Parâmetros Hidrodinâmicos

Na Tabela 04 estão listados os parâmetros obtidos nos testes de bombeamento realizados em diversos poços que atingiram os aquíferos profundos (Anexo II). Os parâmetros hidráulicos apresentam certa heterogeneidade, motivada, possivelmente, pela anisotropia do meio físico ou mesmo pelas diferentes espessuras dos estratos litológicos que constituem os sistemas aquíferos estudados. Dois poços profundos foram submetidos a ensaios de aquíferos com observação de piezômetro, um no bairro da Guanabara e outro no distrito de Mosqueiro.

Para se obter os parâmetros hidráulicos dos sistemas aquíferos inferiores, tomou-se como exemplo o teste de aquífero no poço da Vila de Mosqueiro, pertencente à COSANPA e que possui 280 m de profundidade.

Foram utilizados como poços de observação aquele construído pela CORNER, com 270 m de profundidade e distante 59 m, e o poço Carajás, que possui 120 m de profundidade e distante 80 m do poço de bombeamento. Durante o teste não se constatou nenhum rebaixamento no poço Carajás, confirmando, deste modo, a inexistência de conexão hidráulica entre os aquíferos Pirabas e Barreiras.

A principal dificuldade na realização dos testes de aquíferos refere-se à indisponibilidade de poços de observação, pois somente em um poço havia piezômetro com perfil litológico e construtivo, como ilustrado na Fig.10.

Com a utilização da fórmula de Jacob e os dados de bombeamento dos poços cadastrados, calculou-se os parâmetros hidrodinâmicos dos sistemas aquíferos Pirabas. Dois valores de coeficiente de armazenamento foram obtidos, o que ainda são insuficientes para quantificar, com precisão, as reservas de água subterrânea para a Região Metropolitana de Belém

Os testes de aquíferos consistiram no bombeamento de um dos poços a uma vazão constante, medidas com escoadouro de orifício circular (pitot), com observação dos potenciais hidráulicos no poço bombeado (Guanabara I) e no de observação (Guanabara II), distante 70,18 m do primeiro e ambos com 275 m de profundidade. Na interpretação dos ensaios do teste de aquífero, utilizou-se o método de Jacob. A Figura 11 apresenta o gráfico da curva rebaixamento x tempo e o cálculo dos parâmetros hidrodinâmicos (T; S e K). Com base nos testes de produção, obteve-se mais de uma dezena de valores de transmissividade, os quais foram calculados a partir das interpretações das curvas de rebaixamento x tempo.

A Fig. 12 apresenta a evolução teórica do cone de rebaixamento do aquífero Pirabas. Considerando-se o

CARACTERÍSTICAS DOS POÇOS TUBULARES PROFUNDOS DA REGIÃO METROPOLITANA DE BELÉM

Numero do Poço			Município	Local	Cia. de Perfuração	Data de Construção	Profundidade do Poço (m)	Coordenadas		Cota do Poço (m)	Vazão (m³/h)	NE (m)	ND (m)	Rebaixamento (m)	Capacidade Específica (m³/h/m)	Condutividade Hidráulica (m/dia)	Coeficiente	
Nº no Mapa	Cadastro da CPRM	Cadastro do CIAGAS						mN	mE								Armazenamento(S X 10 ⁻⁴)	Transmissividade(T (m²/dia))
01	1829	1976	Anan.	C.Nova I	Corner	28.01.82	267.00	9848490	788300		211.50	16.65	29.02	12.37	17.10			1160
02	1830	1945	Anan.	C.Nova II 4	Femac	04.96	259.00	9848428	788296		171.42	24.10	33.15	9.05	18.94			
03	1831	1988	Anan.	C.Nova II 5	Femac	21.05.97	256.00	9848522	788311		140.26	27.90	36.50	8.68	16.16			
04	1832	1059	Anan.	* C.Nova IV	Corner	08.08.82	239.32	9850421	788477		240.00	12.35	24.25	11.50	20.86	34.0		1630
05	1833	1977	Anan.	* C.Nova VII	Corner	18.06.82	237.45	9850650	788313		225.00	11.94	29.40	17.46	12.88	43.5		2090
06	1834	1136	Anan.	Guanab.I	Contep	04.97	275.00	9845336	787285	23	137.00	25.40	37.20	11.80	11.61	25.4	1.0	2290
07	1835	1137	Anan.	Guanab.II	Contep	05.97	275.00	9845340	787157	23	202.20	25.00	57.88	32.88	6.15			1968
08	1836	1958	Anan.	Paar I	Femac	15.04.88	208.00	9852036	791221		120.00	18.30	24.60	6.30	19.05			
09	1846	-	Anan.	Paar II	Contep	05.07.97	286.00	9852113	794179	24	160.00	22.00	36.00	14.00	11.43			
10	1453	2021	Anan.	INCA	Geoser	15.11.87	202.00	9849091	794009		105.00	12.00	35.00	23.00	4.57			
11	407	900	Belém	E.Angelim	Femac	19.09.97	255.06	9854940	783060		189.40	18.92	28.52	9.60	19.72			3676
12	529	1957	Belém	Paracuri II	Hidro	18.12.97	285.00	9854879	780898		162.00	17.50	32.42	14.92	10.86			
13	04	2016	Belém	S. Roque	CPRM	19.04.80	254.60	9855792	780622		300.00	13.00	44.00	33.00	9.09			
14	03	2017	Belém	*S. Franco I	CPRM	07.02.80	303.00	9856451	781001	22	144.00	6.30	18.30	12.00	12.00			
15	202	-	Belém	Paracuri I	Cohab	25.09.91	186.00	9854876	780792		180.00	6.00	40.00	34.00	5.29			
16	396	2019	Belém	S. Franco II	Femac	04.98	262.16	9855744	780726		211.70	11.25	21.90	10.65	19.87	26.2		1964
17	530	-	Belém	Brasília	Femac	04.06.99	264.00	9858410	781041		131.70	18.80	28.80	10.00	13.17			
18	588	901	Belém	Bengui	Hidro	21.09.98	276.93	9847507	784780		186.94	28.06	47.70	19.64	9.51			
19	610	1947	Belém	C. Farias	Hidro	06.12.98	279.98	9850722	782122		162.00	23.97	46.66	22.69	7.14			
20	1124	-	Belém	Murubira II	Hidro	08.08.98	265.90	9875496	784689		189.50	5.23	20.52	15.29	12.39		1.2	
21	1848	2052	Belém	Lot. Sabiá	Hidro	29.09.98	287.50	9851147	787610		189.00	23.70	42.40	18.70	10.11			
22	611	897	Belém	*T. Bastos	Corner	1982	266.92	9844656	784212		225.00	9.98	28.82	18.84	11.60	24.20		1650
23	406	899	Belém	Satélite	Corner	1982	271.02	9851503	784695	18	128.00	6.47	16.30	9.83	12.63	23.2		
24	606	2047	Belém	Lot. CDP-5	FEMAC	04.98	271.00	9844603	780461		153.24	14.32	38.29	23.97	6.39			
25	1998	1913	Marit.	Marituba	Corner	21.02.82	229.00	9848405	795626		194.00	20.30	40.00	19.30	10.05			
26	1999	1058	Marit.	Marituba I	Hidro	28.10.98	285.00	9847786	796910		189.00	23.70	42.40	18.70	10.11			
27	612	1101	Belém	S. Maria I	Femac	03.04.96	392.00	9848515	786061		174.50	21.68	32.18	10.50	16.62			
28	1849	-	Anan.	C.Nova VI	Hidro	19.02.99	272.00	9850668	789450		198.00	23.80	56.76	32.96	6.01			

Fonte: PHRMBA

* Poços abandonados

Tabela 04

Cont...

CARACTERÍSTICAS DOS POÇOS TUBULARES PROFUNDOS DA REGIÃO METROPOLITANA DE BELÉM

Numero de Poço			Município	Local	Cia. de Perfuração	Data de Construção	Profundidade do Poço (m)	Coordenadas		Cota do Poço (m)	Vazão (m³/h)	NE (m)	ND (m)	Rebaixamento (m)	Capacidade Específica (m³/h/m)	Condutividade Hidráulica (m/dia)	Coeficiente	
Nº no Mapa	Cadastro da CPRM	Cadastro do CIAGAS						mN	mE								Armazenamento(S X 10 ⁻⁴)	Transmissividade(T (m²/dia))
29	613		Belém	UFPa	Pró Água	2000	296.00	9836861	783670		144.00	7.15	24.40	17.25	8.35			
30	567	1959	Belém	Terra Firme	FEMAC		268.00	9838781	784368		186.20	8.41	27.97	19.56	9.51			726
31	587		Belém	Conj.B.Sodré	Hidro		274.00	9849776	784087		180.00	27.03	55.53	28.50	6.32			
32	1846		Anan.	PAAR III	FEMAC		256.00	9851973	791207		144.00	21.74	34.80	13.06	11.03			
33	614	1946	Belém	Benguí	Corner		246.00	9848500	783500		140.00	13.70	45.43	31.73	4.41			
34	615	896	Belém	* Guamá	Corner		260.00	9838237	781679		300.00	1.89	10.68	8.79	34.13	83.3		4830
35	560	1969	Belém	Antártica	Corner		204.00	9843105	784356		102.00	22.80	29.10	6.30	16.19			
36	2237		Belém	UFPa	Geoser		168.00	9836840	783690		158.40	4.60	14.50	9.90	16			
37	2238		Belém	Pratinha I	FEMAC		272.00	9847745	780440									
38	397	895	Belém	Petrobras	Petrobras	1969	370.00	9852211	780256	10.7	22.00	1.00						
39	400	902	Belém	Cerpasa	Corner	30.05.94	297.00	9848656	780531		360.00	9.95	19.40	9.45	36.18			4520
40	1839	2020	Anan.	Jaderlândia I	CONTEP		254.40	9846942	786581		250.00	17.60	22.20	4.60	54.35			
41	1847	2051	Anan.	C. Uirapuru	FEMAC	02.10.98	258.00	9853200	789382		147.90	18.45	34.70	16.25	9.10			
42	533	2000	Belém	C.Catalina	FEMAC	1987	258.00	9847210	783104		70.00	21.00	35.00	14.00	5.00			
43	645	2065	Belém	Praia Bispo			274.00	9871848	781535		150.10							
44	644	2064	Belém	5ª Rua			218.00	9871934	781834		180.00							
45	591	898	Belém	* Marambáia	Corner		281.00	9844595	783924		225.00	8.21	23.98	15.77	14.26			
46	617	2093	Belém	* Marambáia	Corner		270.00	9844655	784205		226.00	9.98	28.82	18.84	12.00			
47	618	2048	Belém	Lot. Ariri	FEMAC	05.12.97	260.00	9844550	781550		144.80	23.05	36.73	13.68	10.58			
48	619		Belém	Água Boa	FEMAC	10.09.99	257.00	9861185	783710		300.00	16.53	31.45	14.97	20.04			
49	331		Belém	COHAB I	FNS		250.00	9856465	781883		140.00							
50	620		Belém	COHAB II	FNS	15.06.99	253.00	9856181	781868		147.95	22.85	31.98	9.13	16.20			
51	1129		Belém	Baia do Sol	FEMAC		274.00	9882141	796537		186.2	6.61	25.94	19.33	9.63	20.4		835
52	532	1967	Belém	* C. Velha	Pentago	12.01.83	270.00	9838322	778131		160.00	1.80	8.00	6.20	25.81			
53	2239	914	Belém	UFPa	Geoser		258.00	9836710	783777		181.50	2.00	11.5	9.50	19.11			
54	2240		Belém	Sta. Maria II	FEMAC	03.94	268.20	9848565	786170		120.00	17.75	25.30	7.55	15.89			



Serviço Geológico do Brasil

Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais
Superintendência Regional de Belém

CARACTERÍSTICAS DOS POÇOS TUBULARES PROFUNDOS DA REGIÃO METROPOLITANA DE BELÉM

Numero de Poço			Município	Local	Cia. de Perfuração	Data de Construção	Profundidade do Poço (m)	Coordenadas		Cota do Poço (m)	Vazão (m³/h)	NE (m)	ND (m)	Rebaixamento (m)	Capacidade Específica (m³/h/m)	Condutividade Hidráulica (m/dia)	Coeficiente	
Nº no Mapa	Cadastro da CPRM	Cadastro do CIAGAS						mN	mE								Armazenamento(S X 10 ⁻⁴)	Transmissividade(T (m²/dia))
55	531	1961	Belém	Bengui	FEMAC	05.94	300.00	9847779	784628		90.00	19.00	30.30	11.30	7.96			
56	1840	1987	Belém	Jaderlândia II	FEMAC	1987	260.00	9846443	786577		55.00	21.40	25.40	4.00	11.54			
57	395		Belém	Conj. Xingu	-	-	285.00	9850443	785178									
58	569	1956	Belém	FACEPA	-	07.90	260.00	9844039	781303									
59	293		Belém	E. do Outeiro	HIDR.	-	272.00	9857369	782783									
60	595		Belém	Sto. Antônio	CORNER	-	248.00	9847781	784377		140.00	13.70	45.43	31.73	9.41			
61	2241	2054	Belém	Lot. CDP-3	FEMAC	05.98	275.00	9844623	780261		211.76	12.83	23.80	10.97	19.30			
62	2242	2050	Belém	Lot. CDP-2	FEMAC	05.95	258.97	9844583	780361		120.00	10.30	19.74	9.44	12.71			
63	2243	2049	Belém	Lot. CDP-1	FEMAC	06.95	257.91	9844553	780301		124.00	11.25	16.45	5.20	23.85			
64	2244	2053	Belém	Lot. CDP-6	FEMAC	06.98	272.57	9844683	780491		216.00	14.35	20.56	6.21	34.78			
65	2245		Belém	C. Tocantins	FEMAC	09.02.00	278.00	9853104	783327		167.32	22.39	36.03	13.64	12.27			
66	2246		Belém	Pratinha II	FEMAC	06.06.00	270.00	9848593	781526		158.40	26.00	32.28	6.28	25.22			
67	2235		Belém	Schahim	Só Poços	27.08.99	174.00	9844060	782546		29.33	19.48	22.87	3.39	8.65			
68	601		Belém	Iguatemi	Só Poços	28.07.00	184.00	9838805	778686		36.00	7.90	27.15	19.25	1.87			
69	2233	2047	Belém	Lot. CDP-4	Só Poços	05.98	270.00	9844600	780310		183.05	14.84	26.44	11.60	15.78			

Fonte: PHRMBA * Poços abandonados

Tabela 04

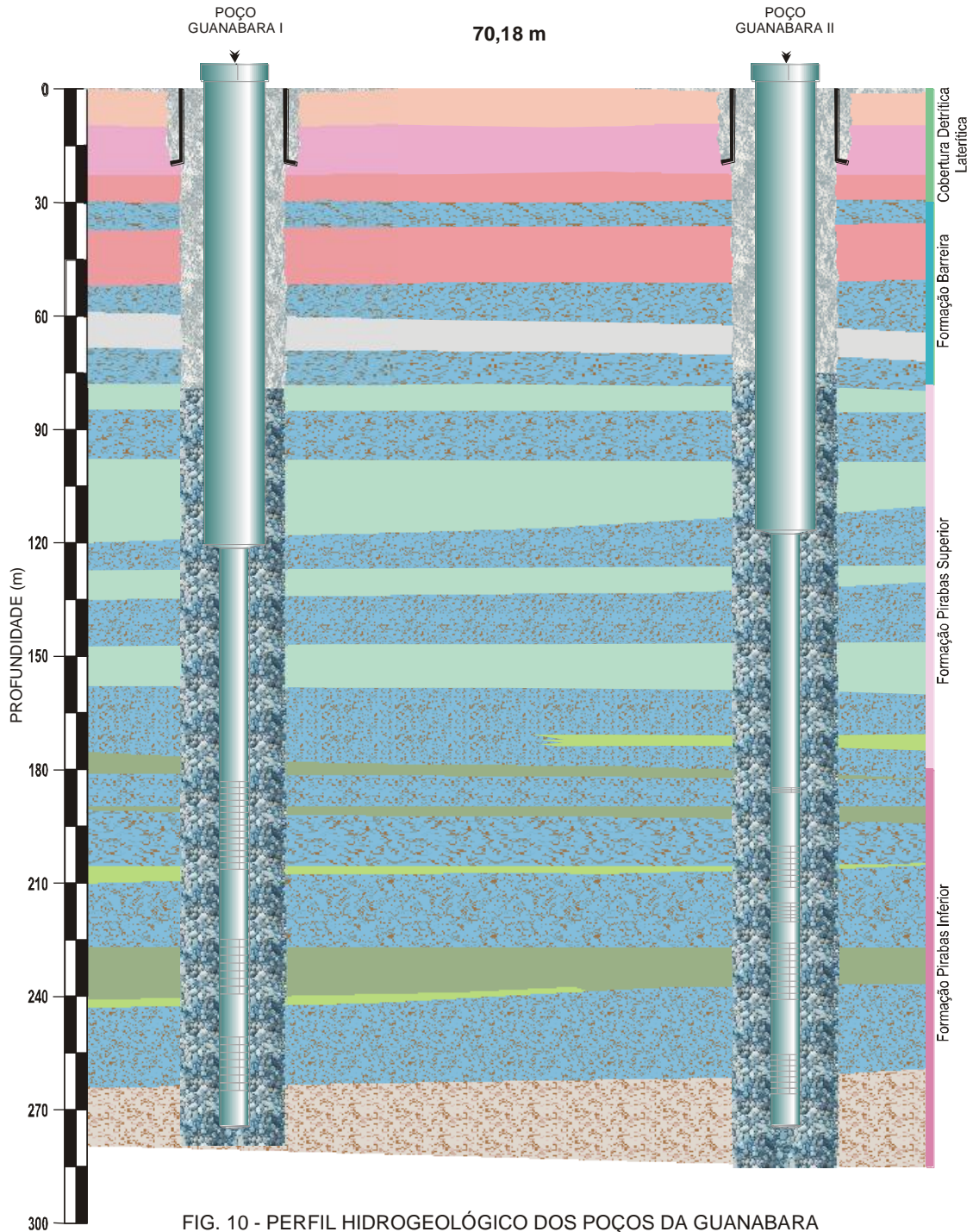
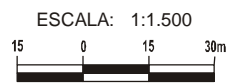


FIG. 10 - PERFIL HIDROGEOLÓGICO DOS POÇOS DA GUANABARA NA REALIZAÇÃO DE TESTE DE AQUÍFERO



Tempo de Bombeamento (min)

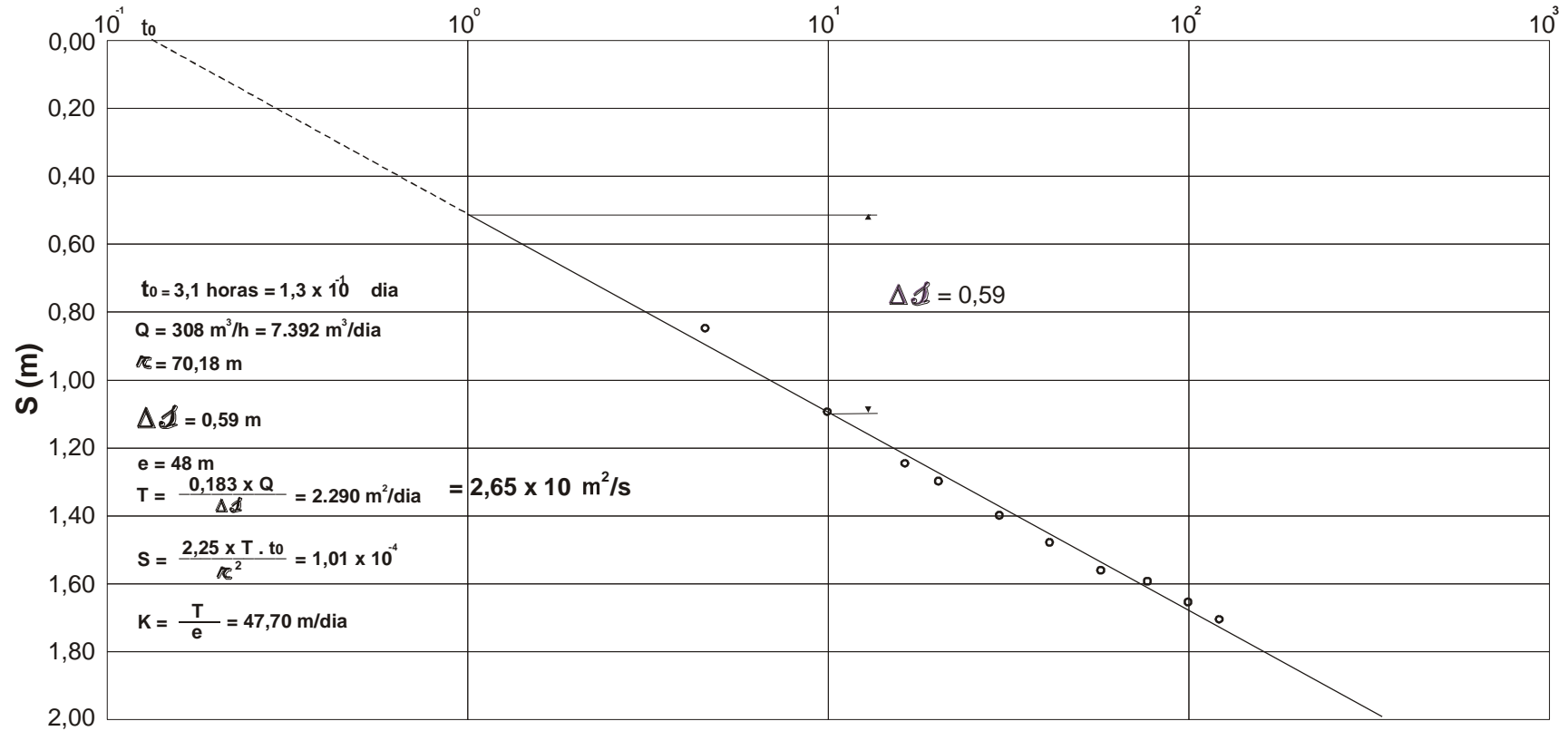


Fig.11 - Diagrama de rebaixamento com o tempo do poço da Guanabara I e observação no Guanabara II, distante 70,18 m

DISTÂNCIA (m)

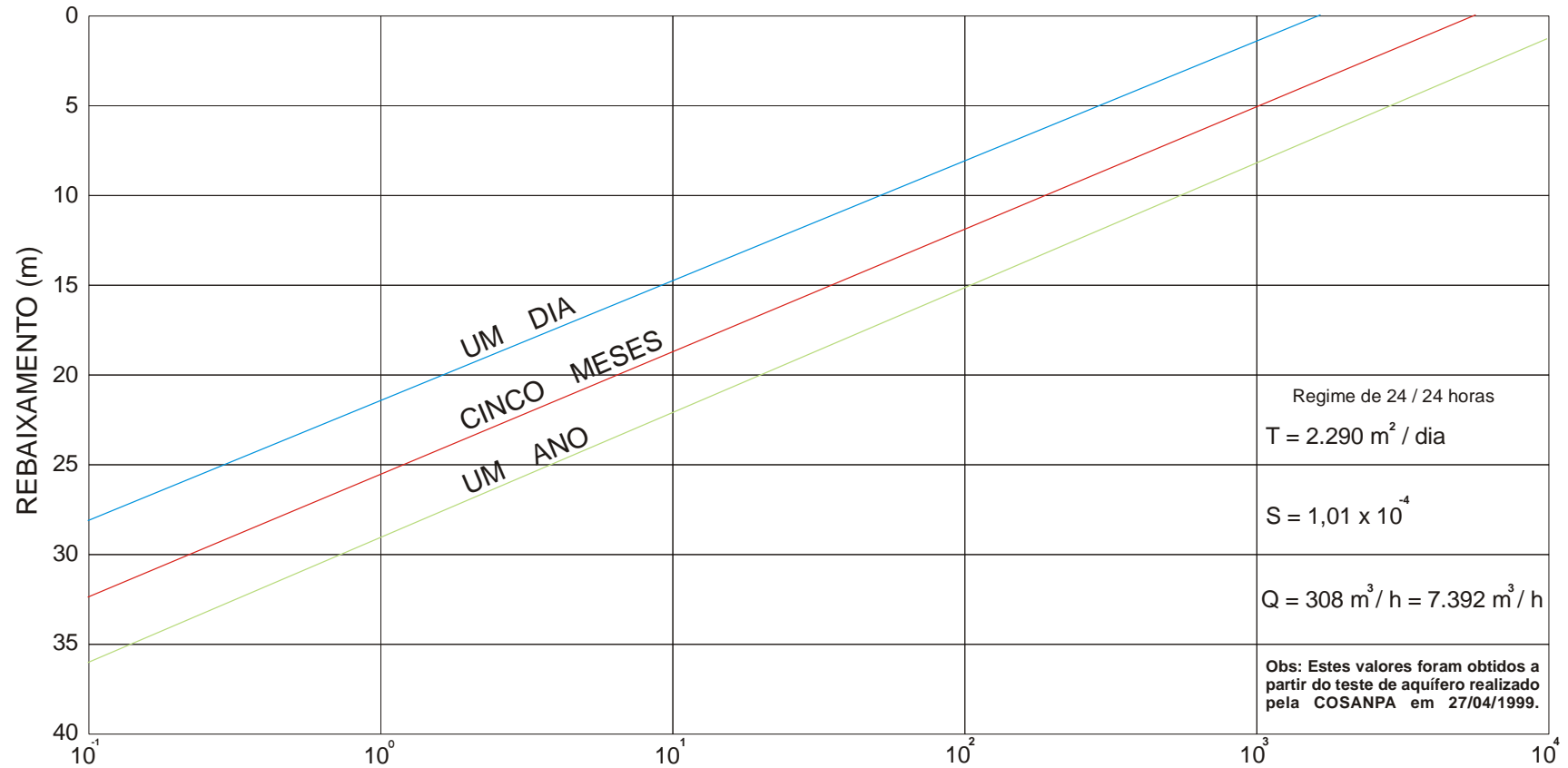


Fig. 12 - Evolução teórica do cone de rebaixamento para o aquífero confinado Pirabas.

bombeamento contínuo com vazão de 308 m³/h, para os períodos de 01 dia, 05 meses e 01 ano, constata-se que, mesmo para longos períodos de bombeamento ininterrupto, o rebaixamento a 70 m do poço bombeado é muito pequeno, não chegando a atingir 15 m. Com base nesta observação, constata-se que o Aquífero Pirabas pode ser considerada como de alta favorabilidade para a captação de água subterrânea, podendo, até mesmo, ser comparada aos aquíferos Alter do Chão, Cabeças e Botucatu das bacias sedimentares do Amazonas, Parnaíba e Paraná, respectivamente. Esses aquíferos atendem a altas demandas, ou seja, àquelas destinadas ao abastecimento público ou aos grandes empreendimentos industriais e agrícolas.

5.4 – Potenciometria da RMB

Apenas foi elaborada a potenciometria para o aquífero mais raso (profundidades inferiores a 52 m), cuja base cartográfica foi baseada em carta planialtimétrica na escala de 1:25.000, com curvas de nível equidistantes de 5 m, compilado da CODEM.

As curvas de mesma carga hidráulica foram elaboradas a partir dos níveis estáticos obtidos em 200 poços, selecionados entre aqueles cadastrados na área (Tabelas 5A, 5B, 5C, 5D, 5E e 5F) e traçadas com auxílio do programa WINSURF. A partir do cadastro dos pontos d'água, pode-se observar que as cargas hidráulicas são todas positivas, isto é, situam-se acima da cota zero em relação ao nível do mar.

Como a carga hidráulica é da unidade aquífera mais superior, a rede hidrográfica, considerada como efluente, exerce papel fundamental no formato do Mapa Potenciométrico. Como não havia uma topografia de detalhe que pudesse fornecer a cota do leito dos rios em diferentes pontos, foi considerado o gradiente de 0,0001 (10 cm para cada quilômetro) para todos os rios. Essa estimati-

va de gradiente, embora tenha sido feita sem apoio de dados, foi fundamental para o traçado das curvas isopotenciométricas (Anexo III). Para a área da Baía do Guajará e para o Rio Guamá, foi considerada carga hidráulica zero, apesar do efeito de maré a que estão sujeitas.

Entretanto, o esboço das curvas issopotenciométricas da área urbana indica a direção do fluxo, cujo sentido se dá para o talvegue dos rios (Fig. 13). Embora as medidas de níveis estáticos tenham sido feitas somente em um ano e três meses, os resultados alcançados são coerentes. Porém seria importante campanhas de medições de níveis estáticos em curtos intervalos (15 a 30 dias), em várias épocas do ano, de forma a permitir a análise da variação potenciométrica nos períodos de inverno e verão.

A potenciometria dos aquíferos profundos não foi realizada, devido à existência de cota de boca em apenas 6 poços. Não foi possível estimar as demais cotas, pois, a maior parte dos poços está fora da área de cobertura do mapa da CODEM, que possui curvas de nível a cada 5 m.

5.5 – Cálculo das Reservas

São consideradas como reservas de água subterrânea as unidades hidrogeológicas de superfície e subsuperfície que possam vir suprir a demanda de água subterrânea em uma região. É um tema muito controvertido, principalmente quando se estende a conceituação à potencialidade e disponibilidade, que são termos aplicáveis à oferta da água. A reserva de água subterrânea se constitui na quantidade de água mobilizável existente nas formações geológicas.

Na Região Metropolitana de Belém ocorrem exclusivamente rochas sedimentares das coberturas quaternárias, Barreiras e Pirabas, compondo um sistema de aquíferos superpostos e que guardam grande volume de água.

REGIÃO METROPOLITANA DE BELÉM

PLANILHA DE PONTOS D' ÁGUA – PIEZOMETRIA DE AQUÍFERO LIVRE

NUMERO CADASTRO	TIPO DO POÇO	MUNICÍPIO	PROFUNDIDADE (m)	NÍVEL		COORDENADAS		COTA	CARGA HIDRÁULICA
				ESTÁTICO	DINÂMICO	LONGITUDE	LATITUDE		
1855	Tubular	MARITUBA	18.00	4.76	-	795.018	9.849.705	10.00	5.24
1858	Tubular	MARITUBA	18.00	3.40	-	794.429	9.849.804	5.00	1.60
1868	Tubular	MARITUBA	24.00	6.00	-	795.779	9.850.138	8.00	2.00
1875	Tubular	MARITUBA	18.00	5.77	-	795.520	9.848.769	15.00	9.23
1876	Tubular	MARITUBA	18.00	6.33	-	795.849	9.848.072	12.00	5.67
1878	Tubular	MARITUBA	25.00	3.75	-	795.859	9.847.712	7.00	3.25
1881	Tubular	MARITUBA	18.00	1.18	-	796.320	9.847.347	5.00	3.82
1901	Tubular	MARITUBA	24.00	9.34	-	797.445	9.847.514	23.00	13.66
1922	Tubular	MARITUBA	45.00	5.65	-	801.436	9.849.185	15.00	9.35
1927	Tubular	MARITUBA	20.00	1.97	-	798.403	9.851.524	10.00	8.03
1949	Tubular	MARITUBA	24.00	8.39	-	797.408	9.849.545	18.00	9.61
1965	Tubular	MARITUBA	18.00	5.27	-	796.534	9.850.766	9.00	3.73
1972	Tubular	MARITUBA	30.00	1.39	-	796.486	9.851.842	5.00	3.61
1979	Tubular	MARITUBA	30.00	4.75	-	796.339	9.851.004	10.00	5.27
1985	Tubular	MARITUBA	12.00	2.49	-	795.698	9.851.046	5.00	2.51
1987	Tubular	MARITUBA	15.00	4.79	-	796.537	9.850.010	14.00	9.21
1993	Tubular	MARITUBA	24.00	6.78	-	796.163	9.849.062	20.00	13.22
419	Tubular	OUTEIRO	22.00	6.45	-	781.903	9.860.481	9.00	2.55
425	Tubular	OUTEIRO	18.00	6.40	-	780.233	9.858.982	9.00	2.60
426	Escavado	OUTEIRO	13.00	7.10	-	781.382	9.858.981	10.00	2.90
427	Escavado	OUTEIRO	12.00	6.45	-	780.592	9.857.784	8.00	1.55
438	Tubular	OUTEIRO	18.00	6.65	-	781.010	9.859.640	15.00	8.35
457	Tubular	OUTEIRO	13.00	2.86	-	782.594	9.861.444	4.00	1.14
461	Tubular	OUTEIRO	18.00	6.40	-	782.815	9.861.785	9.00	2.60
479	Tubular	OUTEIRO	12.00	0.50	-	782.078	9.860.795	4.00	3.50
482	Tubular	OUTEIRO	12.00	2.00	-	782.284	9.861.020	3.00	1.00
508	Tubular	OUTEIRO	18.00	7.57	-	784.279	9.859.457	10.00	2.43
511	Tubular	OUTEIRO	18.00	8.04	-	783.382	9.862.093	10.00	1.96
517	Tubular	OUTEIRO	18.00	8.38	-	785.681	9.859.239	13.00	4.62
520	Tubular	OUTEIRO	17.00	4.40	-	783.286	9.859.833	10.00	5.60
622	Escavado	MOSQUEIRO	10.08	9.12	-	781.450	9.871.632	10.00	0.88
632	Tubular	MOSQUEIRO	18.00	2.92	-	782.543	9.871.177	5.00	2.08
635	Tubular	MOSQUEIRO	18.00	3.03	-	782.904	9.870.808	5.00	1.97
649	Tubular	MOSQUEIRO	18.00	3.25	-	781.896	9.871.284	5.00	1.75
660	Tubular	MOSQUEIRO	18.00	3.57	-	783.014	9.874.263	8.00	4.43
669	Tubular	MOSQUEIRO	24.00	5.71	-	782.178	9.873.469	10.00	4.29
680	Tubular	MOSQUEIRO	24.00	8.91	-	782.208	9.872.846	10.00	1.09
684	Tubular	MOSQUEIRO	16.00	5.35	-	781.906	9.872.286	7.00	1.65

Tabela 05 A

734	Tubular	MOSQUEIRO	18.00	3.52	-	782.091	9.874.168	5.00	1.48
755	Tubular	MOSQUEIRO	18.00	7.81	-	792.988	9.880.047	10.00	2.19
767	Tubular	MOSQUEIRO	24.00	3.17	-	782.919	9.874.616	5.00	1.83
809	Tubular	MOSQUEIRO	15.00	2.90	-	783.089	9.873.416	4.00	1.10
848	Tubular	MOSQUEIRO	18.00	3.59	-	783.893	9.874.276	5.00	1.41
869	Tubular	MOSQUEIRO	18.00	2.02	-	784.323	9.875.820	6.00	3.98
877	Tubular	MOSQUEIRO	24.00	5.38	-	784.242	9.874.789	10.00	4.62
881	Escavado	MOSQUEIRO	5.15	3.44	-	783.681	9.874.810	5.00	1.56
889	Tubular	MOSQUEIRO	18.00	1.46	-	785.204	9.876.022	3.00	1.54
907	Tubular	MOSQUEIRO	18.00	4.20	-	785.658	9.876.128	5.00	0.80
909	Tubular	MOSQUEIRO	18.00	6.00	-	786.456	9.876.647	7.00	1.00
912	Tubular	MOSQUEIRO	18.00	5.39	-	786.013	9.875.682	10.00	4.61
918	Tubular	MOSQUEIRO	22.00	6.90	-	785.907	9.876.504	9.00	2.10
945	Tubular	MOSQUEIRO	24.00	6.14	-	788.204	9.878.576	8.00	1.86
953	Tubular	MOSQUEIRO	20.00	4.63	-	788.011	9.877.131	10.00	5.37
969	Tubular	MOSQUEIRO	18.00	3.91	-	786.507	9.877.271	5.00	1.09
985	Tubular	MOSQUEIRO	25.00	4.83	-	787.588	9.877.581	10.00	5.17
1011	Tubular	MOSQUEIRO	22.00	7.27	-	787.053	9.878.616	8.00	0.73
1029	Tubular	MOSQUEIRO	18.00	6.17	-	789.096	9.877.914	10.00	3.83
1043	Tubular	MOSQUEIRO	18.00	6.00	-	789.572	9.881.156	10.00	4.00
1048	Tubular	MOSQUEIRO	18.00	8.18	-	790.003	9.881.370	10.00	1.82
1054	Tubular	MOSQUEIRO	18.00	2.58	-	789.205	9.878.921	6.00	3.42
1064	Tubular	MOSQUEIRO	18.00	5.91	-	788.375	9.879.078	10.00	4.09
1088	Tubular	MOSQUEIRO	18.00	10.00	-	791.519	9.881.730	12.00	2.00
1093	Tubular	MOSQUEIRO	18.00	4.06	-	797.262	9.881.216	5.00	0.94
1110	Tubular	MOSQUEIRO	18.00	1.75	-	796.969	9.882.168	4.00	2.25
2000	Tubular	BENEVIDES	18.00	6.90	-	801.924	9.849.497	20.00	13.10
2008	Escavado	BENEVIDES	12.00	4.77	-	799.869	9.853.248	10.00	5.23
2030	Tubular	BENEVIDES	18.00	4.00	-	800.883	9.852.853	15.00	11.00
2037	Tubular	BENEVIDES	24.00	6.28	-	801.778	9.852.393	15.00	8.72
2041	Tubular	BENEVIDES	28.00	6.90	-	805.409	9.850.305	20.00	13.10
2043	Tubular	BENEVIDES	25.00	5.73	-	803.783	9.851.781	10.00	4.27
2044	Tubular	BENEVIDES	27.00	5.24	-	802.809	9.854.120	10.00	4.76
2046	Tubular	BENEVIDES	18.00	4.47	-	803.168	9.854.874	5.00	0.53
2054	Tubular	BENEVIDES	24.00	6.00	-	798.377	9.855.513	15.00	9.00
2084	Tubular	BENEVIDES	18.00	3.89	-	799.801	9.854.380	8.00	4.11
2121	Tubular	BENEVIDES	30.00	2.04	-	797.270	9.855.138	5.00	2.96
2157	Tubular	BENEVIDES	25.00	0.97	-	800.491	9.856.194	10.00	9.03
2161	Tubular	BENEVIDES	16.00	4.10	-	800.552	9.858.142	15.00	10.90
2170	Tubular	BENEVIDES	18.00	3.59	-	798.560	9.856.771	5.00	1.41
2175	Tubular	BENEVIDES	18.00	5.53	-	799.527	9.856.934	12.00	6.47
223	Tubular	BENEVIDES	25.00	6.28	-	797.483	9.858.476	9.00	2.72
322	Tubular	BENEVIDES	24.00	5.27	-	805.279	9.848.991	20.00	14.73

Tabela 05 B

326	Tubular	BENEVIDES	18.00	7.71	-	805.493	9.847.715	18.00	10.29
537	Tubular	BELÉM	23.00	3.34	-	781.928	9.844.355	5.00	1.66
553	Tubular	BELÉM	30.00	5.72	-	783.423	9.841.638	15.00	9.28
557	Tubular	BELÉM	24.00	4.38	-	782.635	9.843.256	8.00	3.62
558	Tubular	BELÉM	38.00	8.77	-	784.514	9.841.108	15.00	6.23
566	Tubular	BELÉM	26.00	8.65	10.75	782.500	9.841.600	10.00	1.35
572	Tubular	BELÉM	39.00	10.50	22.46	780.063	9.839.440	12.00	1.50
575	Tubular	BELÉM	18.00	1.84	-	781.420	9.844.963	5.00	3.16
578	Tubular	BELÉM	40.00	10.00	15.00	783.416	9.843.097	15.00	5.00
579	Tubular	BELÉM	18.00	1.89	6.83	784.322	9.839.104	5.00	3.11
580	Tubular	BELÉM	24.00	7.61	-	785.445	9.938.646	10.00	2.39
582	Tubular	BELÉM	20.00	6.00	-	783.654	9.851.974	12.00	6.00
589	Tubular	BELÉM	12.00	2.84	-	785.415	9.846.604	8.00	5.16
607	Tubular	BELÉM	27.00	5.70	13.37	780.339	9.840.785	7.00	1.30
2242	Tubular	STA.BARBARA	18.00	7.66		797.749	9.862.625	9.00	1.34
2243	Tubular	STA.BARBARA	21.00	7.06		804.517	9.860.210	16.00	8.94
2246	Tubular	STA.BARBARA	40.00	8.00		805.366	9.870.895	10.00	2.00
2250	Tubular	STA.BARBARA	52.00	6.81		803.500	9.862.252	12.00	5.19
2251	Tubular	STA.BARBARA	18.00	0.77		798.922	9.869.481	11.00	10.23
2252	Tubular	STA.BARBARA	18.00	5.60		807.333	9.873.407	18.00	12.40
2253	Tubular	STA.BARBARA	20.00	8.00		807.468	9.872.127	17.00	9.00
2254	Tubular	STA.BARBARA	19.00	8.15		804.456	9.875.118	10.00	1.85
2255	Tubular	STA.BARBARA	18.00	8.06		807.174	9.869.144	17.00	8.94
2256	Tubular	STA.BARBARA	21.00	5.23		803.348	9.862.887	10.00	4.77
2257	Tubular	STA.BARBARA	18.00	5.05		803.494	9.862.884	9.00	3.95
2258	Tubular	STA.BARBARA	18.00	4.44		803.617	9.862.573	16.00	11.56
2259	Tubular	STA.BARBARA	35.00	5.37		804.953	9.876.370	10.00	4.63
2260	Tubular	STA.BARBARA	48.00	3.00		796.455	9.870.591	8.00	5.00
2261	Tubular	STA.BARBARA	8.42	6.80		797.855	9.862.477	9.00	2.20
2262	Escavado	STA.BARBARA	4.00	3.00		797.206	9.862.587	7.00	4.00
2263	Tubular	STA.BARBARA	8.00	4.80		803.627	9.862.583	16.00	11.20
21	Tubular	ICOARACI	20.00	7.00		779.577	9.856.624	7.00	0.01
74	Tubular	ICOARACI	18.00	6.00		780.979	9.856.969	6.00	0.01
117	Tubular	ICOARACI	16.00	4.68		780.301	9.856.177	12.00	7.32
59	Tubular	ICOARACI	17.00	6.15		779.601	9.855.349	13.00	6.85
16	Tubular	ICOARACI	13.00	5.00		780.765	9.855.439	11.00	6.00
165	Tubular	ICOARACI	18.00	2.80		779.787	9.854.441	8.00	5.20
62	Tubular	ICOARACI	15.00	5.00		780.831	9.854.772	12.00	7.00
71	Tubular	ICOARACI	15.00	4.00		781.311	9.855.331	13.00	9.00
248	Tubular	ICOARACI	16.00	1.28		780.936	9.853.727	5.00	3.72
247	Tubular	ICOARACI	16.00	1.54		780.059	9.851.706	5.00	3.46
273	Tubular	ICOARACI	18.00	5.88		781.744	9.853.291	11.00	5.12
211	Tubular	ICOARACI	21.00	6.25		780.537	9.852.955	12.00	5.75

Tabela 05 C

215	Tubular	ICOARACI	16.00	0.93		780.661	9.852.115	7.00	6.07
237	Tubular	ICOARACI	20.00	7.70		781.185	9.852.846	11.00	3.30
179	Tubular	ICOARACI	22.00	6.50		781.651	9.852.192	12.00	5.50
239	Tubular	ICOARACI	18.00	6.87		781.297	9.851.704	11.00	4.13
310	Tubular	ICOARACI	18.00	1.70		781.721	9.851.195	11.00	9.30
300	Tubular	ICOARACI	18.00	2.83		782.975	9.850.929	16.00	13.17
324	Tubular	ICOARACI	12.00	2.00		782.146	9.850.265	12.00	10.00
323	Tubular	ICOARACI	12.00	2.50		782.211	9.849.722	12.00	9.50
330	Tubular	ICOARACI	16.00	1.90		782.959	9.851.179	13.00	11.10
326	Tubular	ICOARACI	18.00	6.00		782.270	9.850.962	15.00	9.00
333	Tubular	ICOARACI	12.00	4.00		782.892	9.852.170	4.00	0.01
363	Tubular	ICOARACI	18.00	5.22		783.977	9.851.314	16.00	10.78
373	Tubular	ICOARACI	18.00	3.32		785.323	9.851.865	4.00	0.68
378	Tubular	ICOARACI	18.00	5.31		784.635	9.851.652	12.00	6.69
360	Tubular	ICOARACI	12.00	6.70		784.586	9.852.396	12.00	5.30
356	Tubular	ICOARACI	18.00	4.10		785.076	9.852.458	11.00	6.90
347	Tubular	ICOARACI	18.00	2.80		785.873	9.852.977	5.00	2.20
349	Tubular	ICOARACI	18.00	3.21		785.759	9.852.459	7.00	3.79
359	Tubular	ICOARACI	18.00	1.63		784.938	9.852.861	5.00	3.37
233	Tubular	ICOARACI	16.00	5.80		783.748	9.852.993	16.00	10.20
231	Tubular	ICOARACI	14.00	6.95		783.022	9.853.009	12.00	5.05
159	Tubular	ICOARACI	22.00	4.27		783.608	9.854.437	12.00	7.73
184	Tubular	ICOARACI	18.00	5.90		783.002	9.854.596	12.00	6.10
76	Tubular	ICOARACI	16.00	5.00		782.307	9.856.166	13.00	8.00
1143	Tubular	ANANINDEUA	18.00	8.00		788.249	9.848.280	21.00	13.00
1189	Tubular	ANANINDEUA	17.00	5.00		788.348	9.849.629	17.00	12.00
1228	Tubular	ANANINDEUA	21.00	7.00		789.273	9.849.000	18.00	11.00
1290	Tubular	ANANINDEUA	24.00	8.94		791.293	9.846.418	23.00	14.06
1294	Tubular	ANANINDEUA	18.00	5.37		788.766	9.850.416	17.00	11.63
1299	Tubular	ANANINDEUA	18.00	6.06		789.506	9.849.832	18.00	11.94
1316	Tubular	ANANINDEUA	18.00	6.05		790.031	9.850.415	17.00	10.95
1328	Tubular	ANANINDEUA	18.00	3.13		790.394	9.851.141	14.00	10.87
1354	Tubular	ANANINDEUA	13.00	5.92		791.288	9.850.858	14.00	8.08
1365	Tubular	ANANINDEUA	15.00	6.63		788.887	9.851.864	17.00	10.37
1366	Tubular	ANANINDEUA	18.00	6.63		789.796	9.851.866	13.00	6.37
1377	Tubular	ANANINDEUA	18.00	4.85		790.335	9.852.249	18.00	13.15
1382	Tubular	ANANINDEUA	18.00	6.61		791.170	9.851.924	15.00	8.39
1387	Tubular	ANANINDEUA	18.00	7.98		792.911	9.850.192	16.00	8.02
1394	Tubular	ANANINDEUA	18.00	1.95		795.098	9.848.845	8.00	6.05
1395	Tubular	ANANINDEUA	16.00	3.94		795.065	9.848.000	15.00	11.06
1400	Tubular	ANANINDEUA	36.00	10.81		795.203	9.845.764	15.00	4.19
1401	Tubular	ANANINDEUA	16.00	6.84		795.247	9.846.216	18.00	11.16
1411	Tubular	ANANINDEUA	18.00	7.33		792.213	9.852.872	13.00	5.67

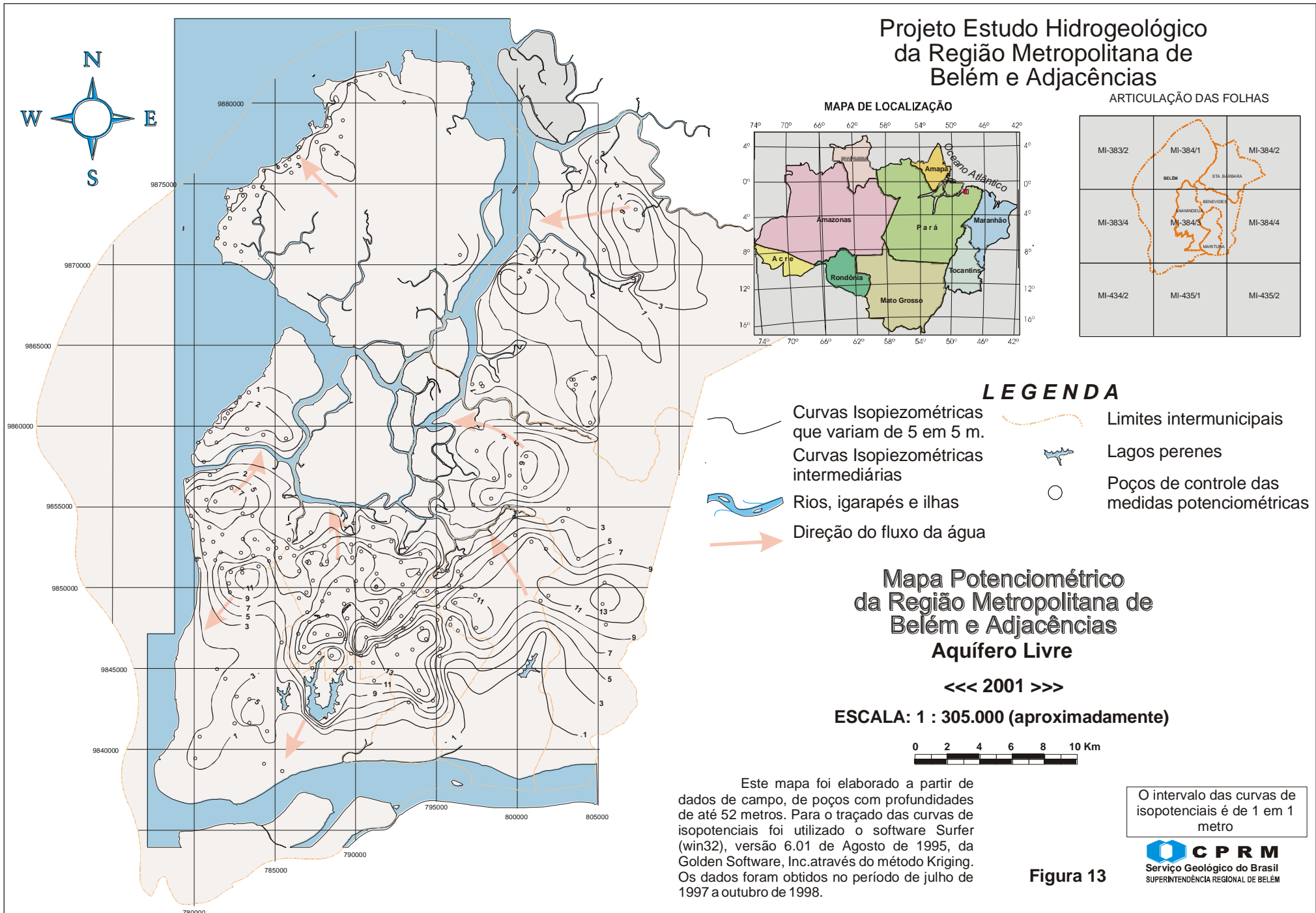
Tabela 05 D

1416	Tubular	ANANINDEUA	12.00	4.36		791.081	9.853.755	8.00	3.64
1417	Tubular	ANANINDEUA	24.00	6.13		794.352	9.846.824	22.00	15.87
1424	Tubular	ANANINDEUA	24.00	9.27		790.867	9.852.598	14.00	4.73
1426	Tubular	ANANINDEUA	15.00	3.86		789.861	9.854.012	7.00	3.14
1432	Tubular	ANANINDEUA	18.00	6.04		794.102	9.847.497	22.00	15.96
1436	Tubular	ANANINDEUA	23.00	7.05		793.460	9.848.046	15.00	7.95
1445	Tubular	ANANINDEUA	12.00	3.80		787.340	9.850.449	12.00	8.20
1452	Tubular	ANANINDEUA	18.00	5.16		786.505	9.851.012	10.00	4.48
1460	Tubular	ANANINDEUA	18.00	6.38		786.186	9.851.985	11.00	4.62
1478	Tubular	ANANINDEUA	18.00	11.37		786.661	9.852.525	12.00	0.63
1483	Tubular	ANANINDEUA	18.00	7.12		786.972	9.851.582	17.00	9.88
1484	Tubular	ANANINDEUA	24.00	4.47		793.907	9.843.644	21.00	16.53
1485	Tubular	ANANINDEUA	30.00	9.86		794.774	9.843.012	22.00	12.14
1486	Tubular	ANANINDEUA	27.00	12.16		793.293	9.842.905	16.00	3.84
1493	Tubular	ANANINDEUA	18.00	6.10		787.862	9.851.428	12.00	5.90
1494	Tubular	ANANINDEUA	18.00	2.34		792.825	9.848.247	6.00	3.66
1496	Tubular	ANANINDEUA	21.00	8.47		793.501	9.846.156	22.00	13.53
1500	Tubular	ANANINDEUA	18.00	4.72		792.960	9.847.498	14.00	9.28
1504	Tubular	ANANINDEUA	24.00	5.75		792.565	9.845.854	21.00	15.25
1505	Tubular	ANANINDEUA	24.00	7.66		792.097	9.848.123	17.00	9.34
1511	Tubular	ANANINDEUA	18.00	1.00		792.467	9.846.972	15.00	14.00
1519	Tubular	ANANINDEUA	12.00	6.53		791.203	9.847.728	20.00	13.47
1523	Tubular	ANANINDEUA	18.00	5.52		793.760	9.848.859	15.00	9.48
1534	Tubular	ANANINDEUA	18.00	5.96		788.227	9.851.618	12.00	6.04
1537	Tubular	ANANINDEUA	18.00	7.01		788.054	9.852.567	12.00	4.99
1538	Tubular	ANANINDEUA	18.00	2.40		787.278	9.852.133	12.00	9.60
1542	Tubular	ANANINDEUA	16.50	7.87		787.225	9.853.421	8.00	0.13
1548	Tubular	ANANINDEUA	18.00	8.00		788.946	9.853.113	15.00	7.00
1564	Tubular	ANANINDEUA	12.00	3.37		789.715	9.852.677	9.00	5.63
1568	Tubular	ANANINDEUA	16.00	3.15		790.641	9.846.931	12.00	8.85
1596	Tubular	ANANINDEUA	15.00	7.30		788.244	9.847.077	23.00	15.70
1607	Tubular	ANANINDEUA	25.00	9.20		790.328	9.845.793	21.00	11.80
1615	Tubular	ANANINDEUA	18.00	3.65		789.023	9.847.117	21.00	17.35
1618	Tubular	ANANINDEUA	16.00	6.53		791.079	9.845.354	18.00	11.47
1624	Tubular	ANANINDEUA	18.00	7.25		791.134	9.844.242	19.00	11.75
1635	Tubular	ANANINDEUA	16.00	4.03		789.478	9.848.108	13.00	8.97
1645	Tubular	ANANINDEUA	18.00	5.60		789.725	9.845.915	19.00	13.40
1646	Tubular	ANANINDEUA	18.00	8.50		789.699	9.845.032	21.00	12.50
1669	Tubular	ANANINDEUA	18.00	6.65		789.361	9.846.816	20.00	13.35
1677	Tubular	ANANINDEUA	24.00	6.47		790.438	9.848.163	18.00	11.53
1683	Tubular	ANANINDEUA	18.00	10.64		788.711	9.844.891	22.00	11.36
1693	Tubular	ANANINDEUA	18.00	8.78		788.511	9.845.779	14.00	5.22
1707	Tubular	ANANINDEUA	18.00	6.21		791.580	9.849.096	19.00	12.79

Tabela 05 E

1712	Tubular	ANANINDEUA	18.00	8.33		787.745	9.845.942	18.00	9.67
1724	Tubular	ANANINDEUA	12.00	0.94		791.263	9.850.024	5.00	4.06
1742	Tubular	ANANINDEUA	18.00	6.80		792.704	9.849.366	17.00	10.20
1746	Tubular	ANANINDEUA	10.00	2.42		793.576	9.849.708	12.00	9.58
1754	Tubular	ANANINDEUA	14.50	6.48		793.909	9.850.877	16.00	9.52
1756	Tubular	ANANINDEUA	24.00	4.53		795.109	9.851.253	11.00	6.47
1766	Tubular	ANANINDEUA	12.00	2.44		786.441	9.847.147	14.00	11.56
1768	Tubular	ANANINDEUA	22.00	3.54		786.495	9.845.974	17.00	13.46
1775	Tubular	ANANINDEUA	12.00	2.85		786.796	9.846.334	18.00	15.15
1776	Tubular	ANANINDEUA	18.00	4.58		794.007	9.852.095	12.00	7.42
1778	Tubular	ANANINDEUA	18.00	4.85		793.177	9.852.447	5.00	0.15
1785	Tubular	ANANINDEUA	18.00	6.77		792.797	9.851.579	15.00	8.23
1798	Tubular	ANANINDEUA	12.00	4.30		787.460	9.847.158	22.00	17.70
1804	Tubular	ANANINDEUA	18.00	5.00		787.125	9.847.879	18.00	13.00
1806	Tubular	ANANINDEUA	18.00	9.09		786.991	9.848.478	17.00	7.91
1812	Tubular	ANANINDEUA	18.00	3.37		787.927	9.849.165	15.00	11.63
1820	Tubular	ANANINDEUA	25.00	7.93		786.493	9.849.344	17.00	9.07
1824	Tubular	ANANINDEUA	20.00	2.77		786.947	9.849.697	8.00	5.23
1827	Tubular	ANANINDEUA	18.00	6.80		787.315	9.845.021	17.00	10.20

Tabela 05 F



Segundo a escola francesa, as reservas de água subterrânea, são classificadas em quatro tipos: Reguladoras, Permanentes, Totais ou Naturais e Recursos Explotáveis.

5.5.1 – Reserva Reguladora

A Reserva Reguladora ou Renovável (Rr), volume hídrico acumulado no meio aquífero em função da porosidade eficaz, é variável anualmente em decorrência dos aportes sazonais de água superficial e do escoamento subterrâneo. Esta reserva reguladora é função das características do aquífero livre, cuja alimentação é determinada pelos parâmetros hidroclimáticos. Elas são submetidas, assim, ao efeito do ritmo sazonal ou interanual das precipitações.

A reserva reguladora obtida para a região apresenta um volume de 480 milhões de m³, a partir da fórmula:

$$Rr = A \times \Delta s \times U$$

onde A = Área (m²);
Δs = Variação sazonal e
U = Porosidade eficaz.
Rr = 0,48 x 10⁹ m³/ano

5.5.2 - Reserva Permanente

Reserva permanente (Rp) é o volume hídrico acumulado no meio aquífero em função da porosidade eficaz e do coeficiente de armazenamento, não variável em decorrência da flutuação sazonal da superfície potenciométrica. A reserva permanente é o volume de água armazenada nos aquíferos, enquanto que a reserva reguladora indica as condições de recarga.

Para o cálculo das reservas permanentes foram considerados os volumes de água de saturação (Vs) e as acumuladas sob pressão (Vp) ou de confinamento, obtidas pelas fórmulas:

$$Vs = A \times h_0 \times u$$
$$Vp = (A \times z \times S) + (A \times b \times u)$$

sendo:
A = área do aquífero (m²)

h₀ = Espessura saturada do aquífero livre (m)

U = porosidade efetiva (ou eficaz)

z = altura d'água sob pressão (m)

S = coeficiente de armazenamento do aquífero confinado

b = espessura do aquífero confinado (m)

Os resultados obtidos para a região, a partir da expressão acima, encontram-se sintetizados na Tabela 06.

5.5.3 - Reservas Totais ou Naturais

As reservas totais ou naturais são (Rt), representadas pelo somatório das reservas permanentes (Rp) e reguladoras (Rr) constituem, assim, a totalidade de água existente em um aquífero ou sistema hidrogeológico, cujos cálculos forneceram um volume total de:

$$Rt = 34,0981 \times 10^9 \text{ m}^3/\text{ano}$$

5.5.4 - Recursos Explotáveis

O conceito de recursos explotáveis é algo bastante controverso, pois, além dos parâmetros hidrodinâmicos dos aquíferos, devem ser considerados outros fatores, como os ambientais e legais. Por exemplo, a extração de água de um aquífero ao rebaixar a superfície potenciométrica pode diminuir ou, até mesmo, secar as nascentes que alimentam riachos, lagoas, etc. Esse fato poderá modificar um determinado ecossistema, com consequências desastrosas. Desta forma a limitação de utilização de um manancial subterrâneo estaria condicionada a questões ambientais.

Porém, na prática, pelo menos no Brasil, são consideradas apenas as questões hidrodinâmicas dos aquíferos para o cálculo das reservas explotáveis. Assim, será utilizado o conceito que está no livro *Hidrogeologia: Conceitos e Aplicações* (CPRM 1997), como sendo constituída das reservas reguladoras e uma parcela da reserva permanente.

Tabela 06. RESERVA PERMANENTE DE ÁGUA SUBTERRÂNEA

SISTEMA AQUÍFERO	ÁREA		COEFICIENTE		Espessura Saturada H0 (m)	ÁGUA DE SATURAÇÃO	Vol. de Água Sob Pressão (2) (x 10 ⁹ m ³)	Reserva Permanente (m ³ /Ano) (3) = (1) + (2)	TOTAL (%)
	Água de Saturação (Km ²)	Água sob Pressão (Km ²)	Porosidade Efetiva	Armazenamento (s)					
PÓS- BARREIRAS	1.200	-	0,2	-	10	2,4	-	2,4	7,14
BARREIRAS	1.200	1200	0,2	1,67X10 ⁴	30	7,2	0,0060	7,206	21,43
PIRABAS	1.200	1..200	0,2	1,01X10 ⁴	100	24	0,0121	24,0121	71,42
TOTAL	-	-	-	-	-	-	-	33,6181	100

Considerando 30% como sendo a parcela da reserva permanente passível de ser aproveitada, a reserva explotável (Re) seria:

$$\text{Re} = 0,48 \times 10^9 + 33,6181 \times 10^9 \times 0,3$$
$$\text{Re} = 10,5654 \times 10^9 (\text{m}^3)$$

5.5.5 – Mapa Hidrogeológico

O Mapa Hidrogeológico é a representação cartográfica do estado físico da água subterrânea dentro de sua moldura geológica. Em essência, é um mapa que mostra as características hidrogeológicas importantes de uma área, agrupadas de acordo com as demandas de utilização e de proteção da água subterrânea.

Dentro desse contexto, o Mapa Hidrogeológico (Anexo III) busca agrupar as ocorrências de água subterrânea segundo os litotipos e estruturas detectadas na área. Como se trata de uma região totalmente sedimentar, cuja capacidade de armazenamento e circulação de água dependem da porosidade das rochas da Formação Pirabas, do Grupo Barreiras e das Coberturas Detríticas Lateríticas e Aluvionares, a compartimentação hidrogeológica é a seguinte:

- Aqüíferos intergranulares descontínuos e livres;
- Aqüíferos intergranulares contínuos, livres e semiconfinados; e
- Aqüíferos intergranulares contínuos, livres e confinados.

A produtividade desses sistemas aqüíferos estão indicadas na legenda do Mapa Hidrogeológico (Anexo III).

5.6 – QUALIDADE DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

5.6.1 - Análises Físico-Químicas e Bacteriológicas

O conceito de qualidade das águas está, geralmente, associado às características quanto à sua utilização. O conhecimento das suas propriedades químicas, físicas e bacteriológicas são

fundamentais, sendo determinadas através de análises específicas.

As análises químicas consistem na determinação dos íons que estão presentes na água, pois a maioria das substâncias dissolvidas se encontram em estado iônico. Dentre os constituintes fundamentais, foram determinados: os cátions sódio, cálcio e magnésio; e os ânions cloreto, sulfato e bicarbonato. Também foram determinados os constituintes secundários nitrato, carbonato, potássio e ferro. Estes constituintes permitem definir a forma de uso da água, como também podem fornecer informações importantes sobre a origem e a evolução da composição da água e, conseqüentemente, da sua qualidade.

As análises físicas correspondem às determinações, entre outras, de temperatura, turbidez e odor, cuja importância é de ordem fundamentalmente estética. As características físicas da água são perceptíveis pelo homem, pois espera-se que ela seja insípida, incolor e inodora. Com relação ao conteúdo bacteriológico, é necessário que a água esteja isenta de bactérias patogênicas.

As análises realizadas pelos laboratórios da COSANPA e da UFPa, totalizando oitenta amostras d'água com resultados físico-químicos e bacteriológicos, acham-se inseridos nas Tabelas 07 e 08. Nos poços profundos que alcançam os calcários ou arenitos calcíferos da Formação Pirabas, os resultados revelaram água de boa qualidade, não havendo nenhuma restrição para consumo humano. O pH das águas desse aqüífero é controlado pelos teores de CO₂ dissolvido e varia de 7 a 7,5. Em geral, contém sólido total dissolvido (STD) entre 242 a 383 mg/l. Segundo a CETESB, teores abaixo de 500 mg/l são, em geral, satisfatórios para todos os usos.

Nas águas captadas da Formação Pirabas, a dureza total varia de

110 a 235 mg/l de CaCO_3 , com uma média de 165 mg/l de CaCO_3 . A Associação Brasileira de Normas Técnicas permite o limite máximo de 200 mg/l de CaCO_3 para água potável.

Quanto à alcalinidade, os resultados detectados não implicam em nenhuma contra indicação para uso. Mas, a turbidez alta, detectada em várias amostras, resulta, provavelmente, do mau desenvolvimento ou da falta de limpeza do poço ou, ainda, por contaminação pelas águas superficiais.

Os íons cálcio, magnésio e sódio são apropriados para aquilatar a prestabilidade da água para fins de irrigação. Estes elementos não constituem nenhum fator de importância para as demais modalidades de uso da água. Assim sendo, não serão detalhadas as concentrações iônicas (Relação de Adsorção do Sódio – SAR), que tratam especificamente da relação de teores desses elementos químicos.

O manganês e o ferro revelaram teores baixos, entre 0 e 0,11 mg/l e 0,67 e 0,08 mg/l, respectivamente. Os demais elementos estão dentro dos padrões de potabilidade.

Com relação ao teor de ferro, algumas amostras apresentaram anomalias de ferro total com valores acima de 0,5 mg/l e que não são recomendados pelo Ministério da Saúde. As águas que apresentam valores elevados em ferro favorecem a proliferação das chamadas bactérias do ferro, podendo causar danos e, até mesmo, obstrução de tubos e adutoras. Há, ainda, o inconveniente de causar manchas nas instalações sanitárias e em roupas lavadas. Os problemas causados por essas ferro-bactérias não podem ser definitivamente resolvidos, devendo ser controlados com a utilização de produtos químicos como o cloro, ácido clorídrico ou outras técnicas.

As águas provenientes dos poços tubulares rasos, muito utilizados pela população, apresentam grande

variedade físico-química e bacteriológica. Algumas análises trouxeram resultados insatisfatórios aos padrões do Ministério da Saúde, no que diz respeito à turbidez, ao ferro, ao nitrato e aos coliformes fecais.

Essas observações iniciais e preliminares demonstram a fragilidade em que se encontram os recursos hídricos subterrâneos da RMB, precisando de monitoramento regular com análises físico-químicas, para que, futuramente, possam ser elaborados projetos que produzam melhorias na qualidade de suas águas e, conseqüentemente, na vida da população.

Os aspectos químicos das águas subterrâneas, segundo as normas de potabilidade da ABNT pode ser classificada como de boa qualidade na grande maioria dos poços estudados, especialmente aqueles perfurados na Formação Pirabas (> 200 m). Os poços, que penetram o Grupo Barreiras, com profundidade de 60 m a 120 m geralmente contêm teores excessivos de ferro, sendo necessário fazer o tratamento da água, utilizando a aeração e desferrificação em sistema fechado ou química.

5.6.2 – Classificação das Águas Subterrâneas da RMB

Na área de abrangência do projeto foram selecionados 80 pontos d'água, entre poços tubulares rasos e profundos e fontes, cujos resultados analíticos revelaram variações na classificação da água, como conseqüência direta da composição química da unidade geológica utilizada como fonte de abastecimento d'água.

Nas Tabelas 07 e 08 são apresentados os resultados analíticos físicos, químicos, físico-químicos e bacteriológicos, ressaltando-se que os parâmetros analisados foram: pH, condutividade elétrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$), sólidos totais dissolvidos (STD em mg/l), turbidez (mg SiO_2), nitrito (mg/l N-NO_3), nitrato

REGIÃO METROPOLITANA DE BELÉM
RESULTADOS ANALÍTICOS DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

IDENTIFICAÇÃO				PARAMETROS FÍSICO-QUÍMICOS																	COLIFORMES		Classificação das Águas	
AMOSTRA	PONTO D'ÁGUA			pH	Condut Elétrica	STD	Turbidez	Dureza Total	Cloreto	Alcalinid. Bicarbon.	S04 ²⁻	Nitrito	Nitrato	Cl ⁻	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Ferro Total	HCO ₃ ⁻	CO ₃ ²⁻	Fecais		Totais
N.º	N.º da ficha	Profund. m	Munic ípio /Distrito		µs/cm	mg/l	mg/l SiO ₂	mg/CaCO ₃	mg Cl/l	mg/CaCO ₃	meq/l	mg/l N-NO ₃	meq/l	meq/l	meq/l	meq/l	meq/l	meq/l	meq/l	mg/l	meq/l	meq/l		NMP/100ml
01	621	38	Coaraci	5,2	181,9	121,90	9,0	27,7	18,5	24,0	0,4320	0,002	0,0018	ND	0,5220	0,0946	0,3194	0,0576	0,02	0,4799	0	0	< 2	Bic.sódica
02	589	12	Belém	6,0	387	259,30	14,0	73,4	47,9	60,0	0,5644	0,056	0,0147	ND	1,5225	0,1919	0,9481	0,1398	1,35	1,1997	0	8	21	Bic.sódica
03	548	60	Anan.	4,2	103,4	69,28	33,0	59,5	7,9	52,0	0,0785	0,004	0,0018	ND	0,0870	0,0077	0,0010	0,0247	2,24	1,0398	0	0	< 2	Bic.sódica
04	556	-	Belém	4,2	384	257,30	11,0	87,3	37,96	30,0	0,8982	0,097	0,0466	ND	0,7830	0,1970	1,0978	0,2220	0,05	0,5999	0	0	< 2	Bic.sódica
05	564	-	Belém	5,0	85,1	57,02	9,0	28,8	12,9	15,0	0,0535	0,002	0,0398	ND	0,1305	0,0205	0,4242	0,0411	0,01	0,2999	0	0	< 2	Bic.sódica
06	578	40	Belém	5,2	42,6	28,54	9,0	6,9	8,9	8,0	0,2704	0,001	0,0018	ND	0,0870	0,0153	0,0549	0,0247	0,82	0,1599	0	0	< 2	Bic.sódica
07	541	28	Belém	4,5	323	216,40	9,0	53,6	51,5	40,0	0,5834	0,072	0,0052	ND	0,9570	0,1612	0,1896	0,0576	0,01	0,7998	0	0	< 2	Bic.sódica
08	594	36	Belém	4,5	333	223,10	9,5	59,5	36,9	40,0	0,5415	0,001	0,2031	ND	1,1310	0,1586	0,9481	0,1727	0,09	0,7998	0	0	< 2	Bic.sódica
09	608	40	Belém	6,0	97	64,99	5,0	39,7	9,9	40,0	0,0327	0,001	0,0085	ND	0,1305	0,0205	0,0250	0,0247	0,22	0,7998	0	0	< 2	Bic.sódica
10	603	24	Belém	4,3	140	93,80	12,0	19,8	24,5	12,0	0,3997	0,001	0,0021	ND	0,4350	0,0767	0,3194	0,0740	0,21	0,2399	0	0	5	Bic.sódica
11	609	120	Belém	4,5	42	28,14	5,0	5,4	5,9	3,0	0,0181	0,0012	0,0227	ND	0,0870	0,0051	0,0150	0,0247	0,13	0,0600	0	0	< 2	Bic.sódica
12	579	35	Belém	5,0	80,9	54,20	12,0	37,2	8,5	39,7	0,0117	0,001	0,0024	ND	0,0870	0,0230	0,2545	0,0493	1,83	0,7938	0	0	< 2	Bic.sódica
13	571	12	Belém	4,5	70	46,90	14,0	12,9	12,5	6,0	0,2203	0,001	0,0082	ND	0,1740	0,0588	0,1148	0,0329	0,26	0,1200	0	0	7	Bic.sódica
14	605	80	Belém	6,0	94,1	63,05	32,0	16,9	50,2	40,0	0,2140	0,013	0,0094	ND	0,0435	0,0665	0,4192	0,1316	10,27	0,7998	0	5	8	Bic.sódica
15	604	60	Belém	5,8	36,6	24,52	18,0	9,9	7,9	15,0	0,0160	0,0015	0,0055	ND	0,0435	0,0486	0,0549	0,0740	4,57	0,2999	0	0	< 2	Bic.sódica
16	590	-	Belém	6,0	614	411,40	21,0	168,6	11,2	80,0	0,9440	0,038	0,1469	ND	1,2615	0,2686	1,6966	0,1075	0,04	1,5997	0	0	< 2	Bic.sódica
17	546	-	Belém	4,2	231	154,80	9,0	5,9	38,9	5,0	0,1014	0,008	0,0032	ND	0,8265	0,1177	0,0499	0,0493	0,19	0,1000	0	0	< 2	Bic.sódica
18	614	28	Mosqueiro	4,7	50,2	33,63	10,0	9,9	53,2	2,0	0,0535	0,001	0,0018	ND	0,1740	0,0051	0,0649	0,0247	0,10	0,0400	0	0	< 2	Bic.sódica
19	607	26	Belém	4,2	395	264,70	14,0	99,2	43,7	140,0	0,0246	0,002	0,0044	ND	0,8265	0,1074	0,1297	0,1234	0,56	2,7994	0	0	< 2	Bic.sódica
20	586	28	Belém	6,2	219	146,70	16,0	104,2	43,7	120,0	0,0348	0,026	0,0169	ND	1,0440	0,1944	1,3473	0,2220	12,30	2,3995	0	23	23	Bic.sódica
21	1372	24,00	Ananind	3,6	100,0	109,0	7,0	14,6	17,25	0,5	0,1170	0,01	0,1802	ND	0,4467	0,0391	0,2200	0,0724	0,42	0,0100	0	0	0	Bic.sódica
22	1844	9,80	Ananind	3,8	78,5	88,0	4,0	11,5	11,50	2,0	0,0304	0,01	0,1702	ND	0,4515	0,0220	0,1861	0,0436	0,31	0,0400	0	NA	NA	Bic.sódica
23	1424	24,00	Ananind	3,5	47,2	52,0	7,0	11,2	7,67	3,0	0,0112	0,07	0,1748	ND	0,1862	0,0095	0,1682	0,0559	0,15	0,0600	0	3,60	3,60	Bic.sódica
24	1414	-	Ananind	3,4	94,4	110,0	7,0	14,8	9,59	2,0	0,0177	0,01	0,1690	ND	0,2928	0,0734	0,2096	0,0864	0,76	0,0400	0	3,60	7,30	Bic.sódica
25	1566	-	Ananind	3,6	113,7	124,0	7,0	17,5	19,17	2,5	0,0239	0,06	0,1718	ND	0,4550	0,0593	0,2630	0,0864	0,39	0,0500	0	9,10	9,10	Bic.sódica
26	1561	7,53	Ananind	3,8	23,0	25,0	4,0	11,1	5,75	2,0	0,0108	0,02	0,0676	ND	0,0213	0,0128	0,1771	0,0452	0,57	0,0400	0	23,00	>11x10 ²	Bic.sódica
27	1555	-	Ananind	3,8	50,2	55,0	4,0	20,1	9,59	2,0	0,0177	0,01	0,1723	ND	0,0722	0,0642	0,3124	0,0896	0,92	0,0400	0	93,00	93,00	Bic.sódica
28	1395	30,00	Ananind	3,6	81,0	90,9	4,0	15,0	14,38	2,0	0,0147	0,03	0,1808	ND	0,3719	0,0179	0,2245	0,0748	0,69	0,0400	0	0	0	Bic.sódica
29	1396	-	Ananind	3,8	46,6	50,0	4,0	12,9	4,79	1,5	0,0144	0,02	0,2105	ND	0,1962	0,0123	0,1996	0,0584	0,68	0,0300	0	0	0	Bic.sódica
30	1394	-	Ananind	3,9	22,3	25,0	3,0	10,9	6,71	1,5	0,0112	ND	0,0592	ND	0,0418	0,0092	0,1746	0,0436	1,74	0,0300	0	0	0	Bic.sódica
31	1483	43,00	Ananind	4,6	74,5	82,0	4,0	28,2	12,46	6,0	0,2767	0,02	0,0482	ND	0,3110	0,0463	0,5020	0,0617	0,95	0,1200	0	0	0	Bic.sódica
32	1451	18,00	Ananind	3,9	137,0	151,0	4,0	16,9	28,76	1,5	0,2341	0,01	0,1686	ND	0,9118	0,0931	0,2695	0,0691	0,49	0,0300	0	0	3,60	Bic.sódica
33	1771	-	Ananind	4,9	53,0	68,0	4,0	23,6	10,54	8,0	0,0976	0,01	0,0471	ND	0,1823	0,0286	0,4117	0,0592	0,14	0,1600	0	43,00	43,00	Bic.sódica
34	1766	12,00	Ananind	5,3	273,0	299,0	7,0	67,0	52,72	23,0	0,4595	ND	0,4986	ND	1,2480	0,2640	1,1412	0,1966	0,08	0,4600	0	0	0	Bic.sódica
35	1374	18,00	Ananind	5,7	470,0	504,0	4,0	106,7	33,55	55,0	0,7693	ND	0,3582	ND	1,9214	0,2901	1,8977	0,2377	0,08	1,1000	0	0	0	Bic.sódica
36	1820	25,00	Ananind	5,3	209,0	224,0	4,0	75,0	14,38	22,5	0,7296	0,11	0,1971	ND	0,4172	0,1215	1,3238	0,1743	0,06	0,4500	0	0	0	Bic.sódica
37	1842	18,00	Ananind	4,3	228,0	248,0	4,0	35,5	38,34	1,5	0,1287	0,10	0,1934	ND	0,9018	0,1785	0,5474	0,1612	0,36	0,0300	0	NA	NA	Bic.sódica
38	1676	24,00	Ananind	4,9	23,1	25,0	4,0	18,7	9,59	5,0	0,0239	ND	0,0758	ND	0,0222	0,0110	0,3239	0,0502	0,08	0,0983	0	0	0	Bic.sódica
39	1662	-	Ananind	4,2	58,3	64,0	7,0	18,6	10,54	1,5	0,0208	ND	0,1933	ND	0,2645	0,0266	0,3034	0,0683	0,08	0,0299	0	9,10	9,10	Bic.sódica
40	1279	20,00	Ananind	4,0	68,1	74,0	4,0	11,7	12,46	1,0	0,0272	ND	0,1933	ND	0,3780	0,0136	0,1682	0,0452	0,29	0,0196	0	NA	NA	Bic.sódica

Tabela 07 ND = Não determinado NA = Não analisado

REGIÃO METROPOLITANA DE BELÉM
RESULTADOS ANALÍTICOS DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

IDENTIFICAÇÃO				PARAMETROS FÍSICO-QUÍMICOS																	COLIFORMES		Classificação das Águas	
AMOSTRA		PONTO D'ÁGUA		pH	Condut. Elétrica µs/cm	STD mg/l	Turbidez mg/l SiO ₂	Dureza Total mg/CaCO ₃	Cloreto mg Cl/l	Alcalinid. Bicarbon. mg/CaCO ₃	SO ₄ ²⁻ meq/l	Nitrito mg/NNO ₃	NitratO meq/l	Cl ⁻ meq/l	Na ⁺ meq/l	K ⁺ meq/l	Ca ²⁺ meq/l	Mg ²⁺ meq/l	Ferro Total mg/l	HCO ₃ ⁻ meq/l	CO ₃ ²⁻ meq/l	Fecais NMP/100ml		Totais NMP/100ml
N.º	N.º	Profund. m	Município / Distrito																					
41	1453	210,00	Ananind	6,8	346,0	383,0	7,0	235,9	14,38	170,0	0,0945	ND	0,0059	ND	0,0840	0,0962	4,0419	0,6727	0,39	3,3992	0	NA	NA	Bic.sódica
42	1836	256,00	Ananind	7,0	298,0	339,0	7,0	210,7	9,59	162,0	0,1357	ND	0,0000	ND	0,1014	0,0888	3,7425	0,4688	0,27	3,2393	0	NA	NA	Bic.sódica
43	1830	276,00	Ananind	7,0	334,0	368,0	4,0	208,8	19,17	164,0	0,0920	ND	0,0000	ND	0,1131	0,0918	3,2934	0,8783	0,67	3,2793	0	NA	NA	Bic.sódica
44	1831	18,00	Ananind	7,0	336,0	368,0	7,0	229,6	14,38	162,0	0,1216	ND	0,0000	ND	0,1175	0,0946	4,0419	0,5469	0,57	3,2393	0	NA	NA	Bic.sódica
45	1839	-	Ananind	7,1	336,0	368,0	4,0	234,4	14,38	165,0	0,1041	ND	0,0000	ND	0,1192	0,0995	4,0419	0,6415	0,61	3,2993	0	NA	NA	Bic.sódica
46	1840	-	Ananind	7,1	341,0	372,0	7,0	229,9	11,50	167,0	0,0976	ND	0,0000	ND	0,1214	0,0990	3,8922	0,7023	0,63	3,3393	0	NA	NA	Bic.sódica
47	-	18,00	Marituba	7,2	323,0	346,0	7,0	237,3	9,59	168,0	0,1010	ND	0,0002	ND	0,1218	0,0596	4,0419	0,6990	0,58	3,3593	0	NA	NA	Bic.sódica
48	406	240,00	Icoaraci	7,4	290,0	314,0	4,0	216,9	5,75	168,0	0,1343	ND	0,0003	ND	0,1379	0,0537	3,6427	0,6908	0,49	3,3593	0	NA	NA	Bic.sódica
49	407	266,00	Icoaraci	8,0	266,0	285,0	4,0	216,0	9,59	182,0	0,1457	ND	0,0005	ND	0,1192	0,0509	3,5339	0,7829	0,33	3,6392	0	NA	NA	Bic.sódica
50	-	270,00	Icoaraci	7,5	295,0	305,0	4,0	221,6	19,17	175,0	0,1443	ND	0,0005	ND	0,3550	0,0514	3,7425	0,6859	0,08	3,4993	0	NA	NA	Bic.sódica
51	1818	18,00	Ananind	3,9	174,2	190,0	7,0	17,1	30,67	3,0	0,1543	ND	0,6336	ND	0,9461	0,1166	0,2350	0,1069	0,08	0,0599	0	9,10	23,00	Bic.sódica
52	1729	30,00	Ananind	3,4	309,0	339,0	4,0	32,7	46,01	1,0	0,0337	ND	0,9084	ND	1,5116	0,2448	0,4731	0,1809	0,08	0,0199	0	3,60	3,60	Bic.sódica
53	1696	-	Ananind	3,7	171,0	187,0	7,0	24,9	30,67	1,5	0,1884	ND	0,5141	ND	0,7760	0,0990	0,3777	0,1201	0,08	0,0299	0	0	0	Bic.sódica
54	1700	-	Ananind	4,0	40,5	44,0	4,0	11,2	7,67	1,5	0,0337	ND	0,1805	ND	0,1801	0,0159	0,1677	0,0567	0,08	0,0299	0	7,30	4,30	Bic.sódica
55	1670	18,00	Ananind	5,1	28,3	31,0	4,0	12,9	5,75	9,5	0,0208	ND	0,2880	ND	0,1357	0,0059	0,2116	0,0469	0,41	0,1899	0	9,10	43,00	Bic.sódica
56	1673	-	Ananind	4,3	60,1	66,0	7,0	9,2	9,59	1,0	0,0337	ND	0,2901	ND	0,5264	0,0143	0,1327	0,0502	0,08	0,0199	0	7,30	11,00	Bic.sódica
57	1659	16,00	Ananind	3,8	77,1	86,0	4,0	14,9	15,34	1,0	0,0303	ND	0,3722	ND	0,5055	0,0427	0,2041	0,0938	0,08	0,0199	0	0	0	Bic.sódica
58	1719	17,50	Ananind	4,0	43,8	48,0	7,0	9,9	16,29	2,0	0,0176	0,02	0,2316	ND	0,4159	0,0153	0,1477	0,0510	0,08	0,0399	0	23,00	43,00	Bic.sódica
59	1625	-	Ananind	3,9	60,9	65,0	4,0	18,1	18,21	0,5	0,0337	0,05	0,2896	ND	0,2519	0,0394	0,2590	0,1036	0,51	0,0099	0	3,60	43,00	Bic.sódica
60	1584	30,00	Ananind	3,8	54,2	60,0	4,0	9,8	15,34	1,5	0,0337	ND	0,2914	ND	0,4380	0,0138	0,1312	0,0657	0,09	0,0299	0	0	0	Bic.sódica
61	1714	-	Ananind	4,1	264,0	267,0	7,0	21,4	31,63	4,0	0,5146	ND	0,7864	ND	1,6216	0,1880	0,3158	0,1110	0,09	0,0799	0	3,60	93,00	Bic.sódica
62	1745	9,00	Ananind	3,7	110,5	122,0	4,0	14,5	19,17	1,0	0,0143	ND	0,4335	ND	0,5594	0,0890	0,1971	0,0937	0,09	0,0199	0	0	0	Bic.sódica
63	1378	18,00	Ananind	3,9	52,0	57,0	5,7	8,8	14,38	2,0	0,0303	ND	0,1422	ND	0,4563	0,0153	0,1347	0,0411	0,09	0,0399	0	0	0	Bic.sódica
64	1751	17,00	Ananind	4,1	97,0	107,0	4,0	21,9	13,42	4,0	0,1798	ND	0,4067	ND	0,5620	0,0383	0,3468	0,0904	0,09	0,0799	0	0	3,60	Bic.sódica
65	1752	24,00	Ananind	3,6	44,0	49,0	4,0	12,4	8,54	0,5	0,0303	ND	0,2088	ND	0,0922	0,0235	0,1776	0,0699	0,08	0,0099	0	0	0	Bic.sódica
66	1276	7,80	Ananind	3,8	23,8	25,0	3,0	8,3	8,63	1,0	0,0143	ND	0,0367	ND	0,0582	0,0086	0,1217	0,0444	0,10	0,0199	0	0	0	Bic.sódica
67	-	18,00	Marituba	3,7	212,0	232,0	4,0	37,2	38,34	1,5	0,0176	ND	0,8103	ND	1,2110	0,1018	0,3942	0,3495	0,09	0,0299	0	0	0	Bic.sódica
68	-	-	Mosqueir	7,2	283,0	310,0	4,0	143,4	14,38	143,0	0,1457	ND	0,0020	ND	0,2096	0,0946	1,8912	0,9737	0,08	2,8593	0	NA	NA	Bic.sódica
69	-	-	Mosqueir	7,4	268,0	294,0	4,0	129,8	11,50	133,5	0,1513	ND	0,0003	ND	0,4197	0,0931	1,6372	0,9556	11,62	2,6694	0	NA	NA	Bic.sódica
70	-	16,00	Ananind	7,4	263,0	287,0	4,0	130,9	8,63	133,5	0,1528	ND	0,0019	ND	0,2057	0,0931	1,6447	0,9712	0,10	2,6694	0	NA	NA	Bic.sódica
71	-	-	Mosqueir	7,4	222,0	242,0	4,0	113,2	6,71	116,0	0,1259	ND	0,0008	ND	0,1748	0,0954	1,3173	0,9441	0,49	2,3195	0	NA	NA	Bic.sódica
72	-	16,50	Ananind	7,3	260,0	284,0	3,0	132,9	9,59	138,0	0,1613	ND	0,0008	ND	0,2044	0,0769	1,8782	0,7763	0,08	2,7594	0	NA	NA	Bic.sódica
73	1626	18,00	Ananind	4,6	26,7	29,0	4,0	8,2	8,63	3,0	0,0239	ND	0,0567	ND	0,1518	0,0038	0,1257	0,0386	0,08	0,0599	0	0	0	Bic.sódica
74	-	17,00	Ananind	4,2	25,8	28,0	3,0	9,2	7,67	2,0	0,0239	ND	0,0898	ND	0,0691	0,0130	0,1327	0,0509	0,08	0,0399	0	0	3,60	Bic.sódica
75	-	-	Marituba	4,3	18,8	21,0	4,0	10,9	8,63	2,5	0,0176	ND	0,0322	ND	0,0600	0,0061	0,1751	0,0427	0,08	0,0499	0	3,60	1,5x10 ²	Bic.sódica
76	-	-	Marituba	3,8	40,1	44,0	4,0	10,1	4,79	1,0	0,1898	ND	0,0048	ND	0,1513	0,0066	0,1402	0,0625	1,76	0,0199	0	0	0	Bic.sódica
77	-	-	Marituba	3,5	47,9	52,0	4,0	8,5	5,75	0,5	0,1628	ND	0,0330	ND	0,0787	0,0053	0,1202	0,0493	0,35	0,0099	0	0	0	Bic.sódica
78	-	-	Marituba	6,0	82,7	91,0	4,0	55,0	5,75	35,0	0,0208	ND	0,0832	ND	0,0809	0,0363	0,9940	0,1052	0,09	0,6998	0	2300	4,3x10 ²	Bic.sódica
79	-	-	Marituba	4,5	57,7	63,0	4,0	16,7	5,75	15,0	0,0176	ND	0,3696	ND	0,4245	0,0181	0,2315	0,1019	0,10	0,2999	0	9,3x10 ²	46,0x10 ²	Bic.sódica
80	-	-	Marituba	4,3	19,8	22,0	4,0	10,2	4,79	10,0	0,0143	ND	0,0687	ND	0,0769	0,0053	0,1621	0,0419	0,09	0,1999	0	0	0	Bic.sódica

Tabela 08

ND = Não determinado NA = Não analisado

(meq/l), cloro livre (meq/l), sulfato (meq/l) dureza total (mg/l CaCO_3), cloreto (mg/l de Cl), alcalinidade de bicarbonato (mg/l de CaCO_3), ferro total (mg/l) e outros parâmetros químicos em meq/l) e coliformes totais e fecais em NMP/100ml.

Em função da profundidade, os diversos poços foram classificados em rasos e profundos. Os rasos foram considerados aqueles com profundidades até 50 m, enquanto os profundos, num total de 6, variaram de 210 m a 276 m.

De uma maneira geral, observa-se, pelos valores apresentados, que existe uma estreita relação entre os parâmetros analisados e as profundidades dos poços. Naqueles considerados rasos, os valores baixos de pH (entre 3,4 e 5,2) têm correspondência direta aos baixos valores de condutividade elétrica, dureza e alcalinidade de bicarbonato. Estes valores, também estão diretamente relacionados às coberturas recentes, cujas águas foram classificadas, segundo o Diagrama de Piper, em cloretada sódica, sulfatada cálcica e bicarbonatada sódica (Fig. 14a e Fig. 14b).

Na maioria dos poços foram detectados baixos teores de nitrito, estando relacionados à presença de fossas localizadas às proximidades, que é ratificada pela presença de coliformes totais e fecais em grande parte das análises bacteriológicas realizadas. A presença de nitrato também é uma constante em todas as análises, correspondendo à poluição antiga, enquanto o nitrito está associado à poluição recente. Deve-se assinalar que 19 desses poços apresentaram elevados valores de dureza, bicarbonato e alcalinidade de bicarbonato, típicas do Aquífero Pirabas (Fig. 14b).

O pH variando entre 6,0 e 7,4 também tem relação direta com os valores elevados de condutividade elétrica, dureza, sólidos totais dissolvidos,

alcalinidade de bicarbonato e de eletrólitos fortes, como Ca, Mg, Na, K e HCO_3 . Com base no Diagrama de Piper (Fig. 15), as águas explotadas desse aquífero foram classificadas como bicarbonatada cálcica.

A dureza da água está diretamente relacionada à presença de bicarbonatos nas formações geológicas, permitindo classificar a água segundo o teor em mg/l de CaCO_3 . Logan (1965) classifica a água em: mole (0 a 100 mg/l CaCO_3), intermediária (100 mg/l a 200 mg/l CaCO_3) e dura (> 200 mg/l CaCO_3). Por essa referência, as águas dos aquíferos superficiais da Região Metropolitana Belém são classificadas como mole, enquanto que as dos poços profundos variam de intermediária à dura.

Segundo a Organização Mundial de Saúde (OMS) o valor máximo permitido (VMP) de ferro é de 0,3 ppm para água potável. Teores acima deste valor trazem problemas, tais como: gosto metálico e manchas em roupas e em instalações hidráulicas. Também criam incrustações nas bombas, nos filtros dos poços e nas canalizações, conseqüentemente provocando a diminuição de vazão e redução da vida útil dos poços. As unidades geológicas mais superficiais (Coberturas Recentes e Grupo Barreiras), por serem constituídas de sedimentos continentais, níveis lateríticos associados e estarem em ambiente oxidante, possuem as maiores probabilidades de conterem ferro acima do VMP.

O Aquífero Pirabas normalmente contém teores de ferro dentro dos limites recomendáveis, tanto pela OMS quanto pelo Ministério da Saúde. Entretanto, quando esses valores são altos é de se supor que o poço em produção também esteja bombeando água dos aquíferos superiores.

Em alguns poços rasos, a presença de coliformes fecais e totais é uma constante, desaconselhando-se a

COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS

PROJETO ESTUDOS HIDROGEOLÓGICOS
DA REGIÃO METROPOLITANA DE BELÉM
E ADJACÊNCIAS

DIAGRAMA DE PIPER

CLASSIFICAÇÃO DAS ÁGUAS DA RMB

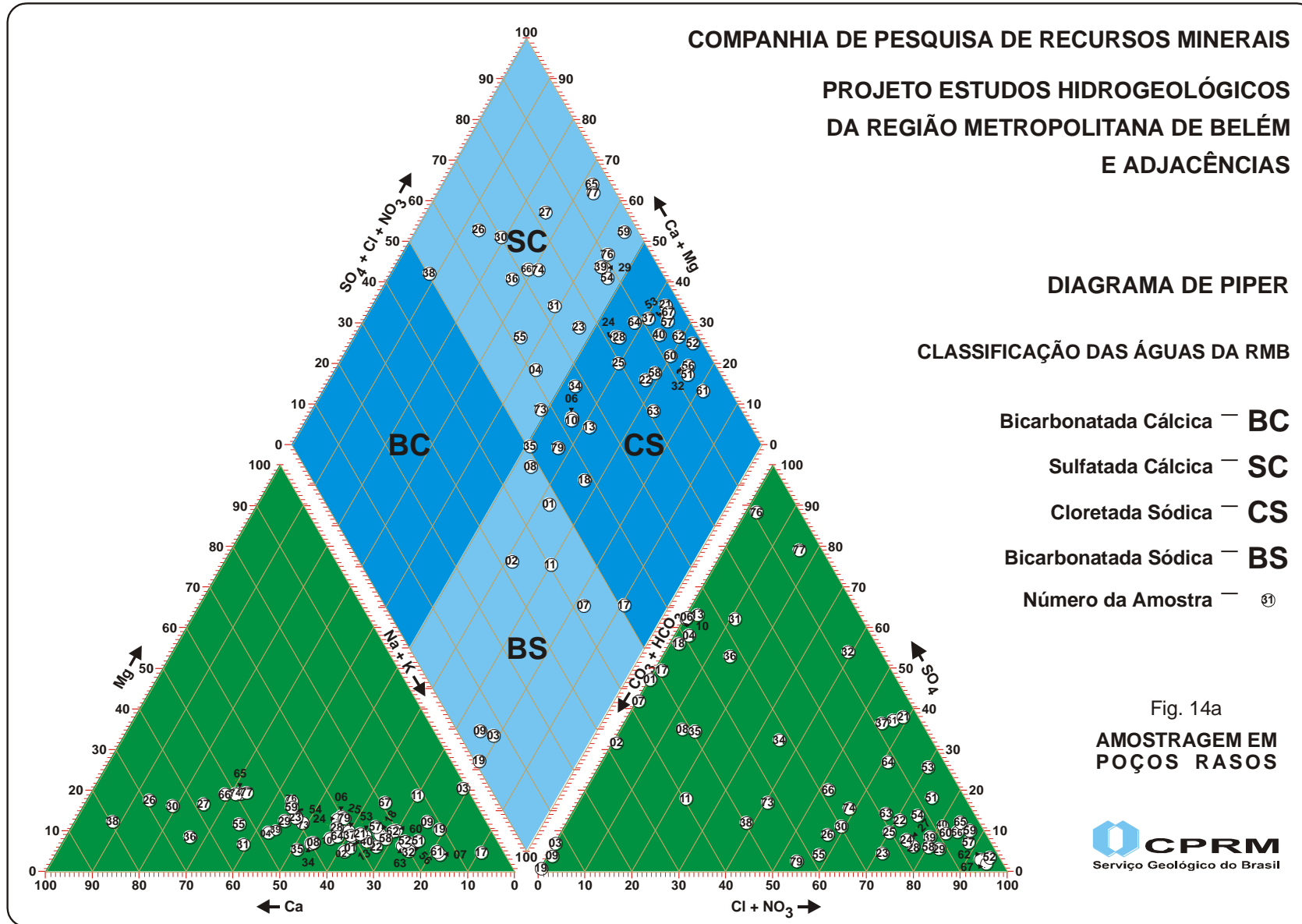
Bicarbonatada Cálcida — **BC**

Sulfatada Cálcida — **SC**

Cloretada Sódica — **CS**

Bicarbonatada Sódica — **BS**

Número da Amostra — **Ⓢ**



COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS

PROJETO ESTUDOS HIDROGEOLÓGICOS
DA REGIÃO METROPOLITANA DE BELÉM
E ADJACÊNCIAS

DIAGRAMA DE PIPER

CLASSIFICAÇÃO DAS ÁGUAS DA RMB

Bicarbonatada Cálcica — **BC**

Sulfatada Cálcica — **SC**

Cloretada Sódica — **CS**

Bicarbonatada Sódica — **BS**

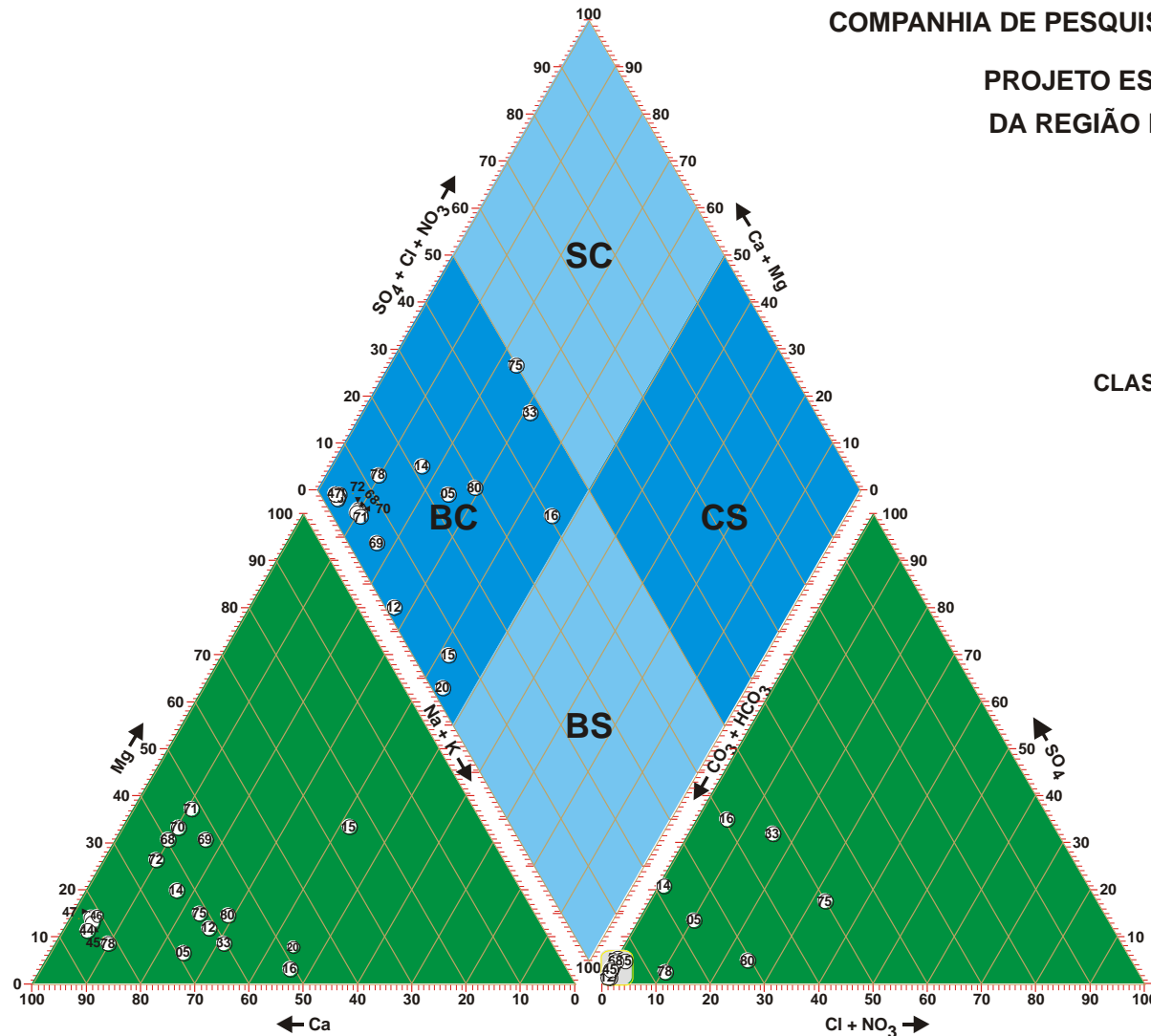
Número da Amostra — $\textcircled{\text{0}}$

Pontos 12, 15, 20, — \square
44 - 46 e 68 - 72

Fig. 14b

AMOSTRAGEM EM
POÇOS RASOS

 **CPRM**
Serviço Geológico do Brasil



COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS

PROJETO ESTUDOS HIDROGEOLÓGICOS
DA REGIÃO METROPOLITANA DE BELÉM
E ADJACÊNCIAS

DIAGRAMA DE PIPER

CLASSIFICAÇÃO DAS ÁGUAS DA RMB

Bicarbonatada Cálcica — **BC**

Sulfatada Cálcica — **SC**

Cloretada Sódica — **CS**

Bicarbonatada Sódica — **BS**

Número da Amostra — ⑤

Pontos 41-43 e 48-50 — ●

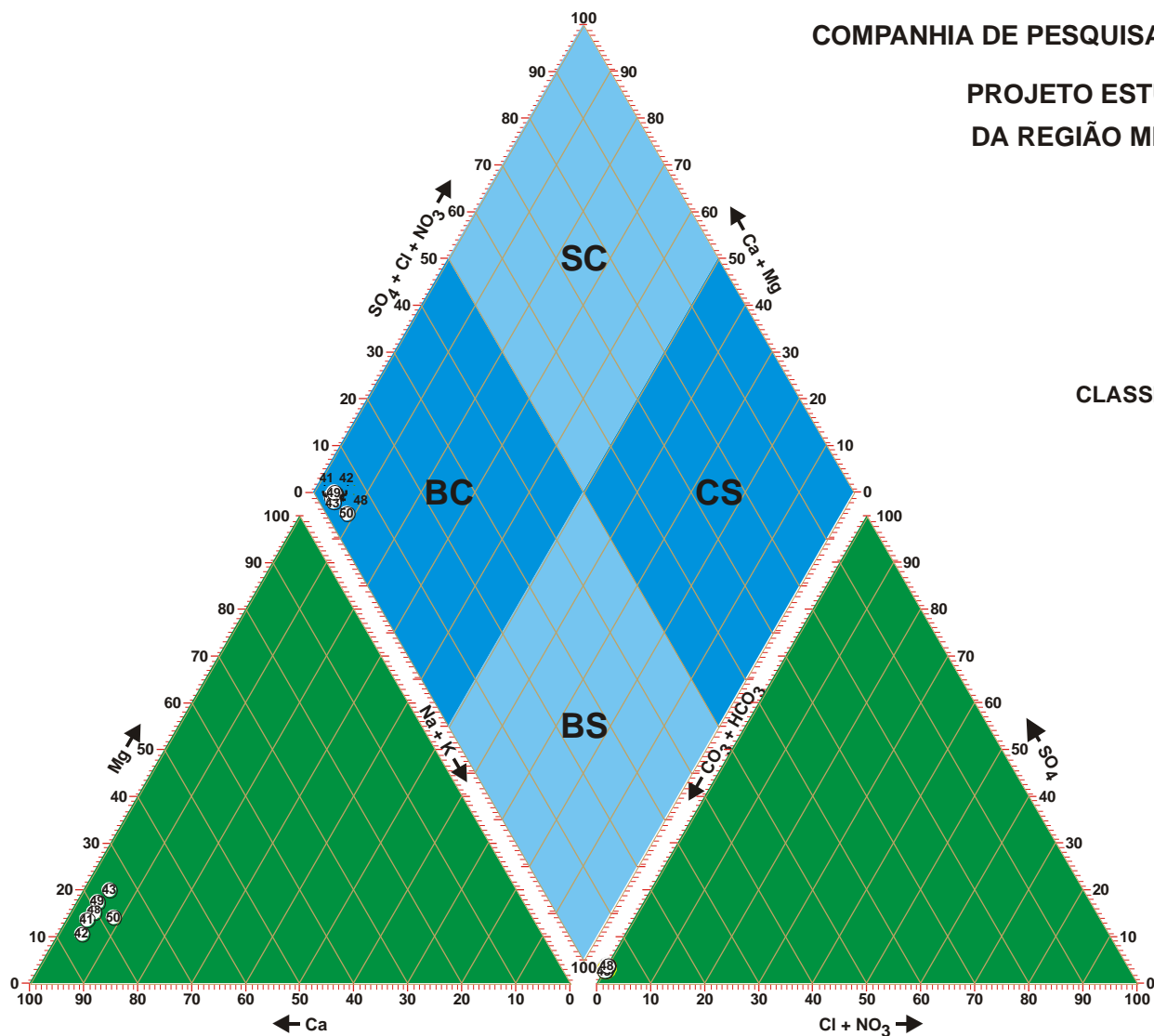


Fig. 15

AMOSTRAGEM EM
POÇOS PROFUNDOS

ingestão dessa água “*in natura*”, por problemas de saúde que trará às pessoas que a consumirem. Sem sombra de dúvidas que a presença das bactérias do grupo coliforme é devido à proximidade de fossas e/ou má construção dos poços, que, neste caso, tem no anular desprotegido o principal meio de acesso dos contaminantes.

5.6.3 – Níveis Atuais de Poluição

A água é um recurso natural que se apresenta de forma dinâmica através do ciclo hidrológico. Encontra-se presente no solo, subsolo, oceano, rios, lagos, etc. Existe um constante interrelacionamento entre as diferentes fases em que a água se apresenta na natureza (precipitação, evaporação, infiltração, escoamento superficial e evapotranspiração). Este ciclo permite a renovação dos recursos hídricos, distribuindo-os de maneira irregular. Por isso existem regiões áridas e outras chuvosas, períodos de estiagem e de grandes chuvas. Outro fator restritivo ao aproveitamento das água, é a forma sob a qual ela se apresenta, uma vez que 97,2 % são águas salgadas dos mares e oceanos, 2,14 % gelo das calotas polares e geleiras, 0,61 % águas subterrânea, 0,009 % água superficial (rios e lagos), 0,005 % umidade do solo e 0,001 % vapor atmosférico. Isto demonstra que a água mais facilmente disponível e de obtenção mais barata aparece em quantidade muito pequena em relação ao total. Frente ao acelerado processo de urbanização da RMB, a demanda aumentou significativamente, além de terem esses mesmos usos provocado a degradação dos recursos hídricos, não apenas os superficiais, como também os subterrâneos, devidos aos resíduos e efluentes das atividades antrópicas.

Dentro desse contexto, a R.M.B. é uma área rica em recursos hídricos, que, no entanto, não se distribuem proporcionalmente em relação as

áreas de maior demanda. Observa-se que o maior problema enfrentado pelos órgãos de saneamento básico, no que se refere ao abastecimento público de água às populações dos municípios, é a qualidade dos mananciais superficiais utilizados. Esses mananciais se encontram bastante comprometidos pelo lançamento de esgotos industriais e domésticos sem tratamento, pela disposição inadequada de resíduos sólidos urbanos, pelo uso de agrotóxicos, pelo vazamento de combustíveis dos tanques enterrados e/ou a migração de poluentes de outras naturezas. Esta situação requer um conjunto de medidas que visem reverter esta tendência, passando pelo gerenciamento do uso da água, que vai desde a outorga de uso até a implantação de eficazes sistemas de tratamento de esgotos

Conforme o levantamento dos pontos d'água da região em estudo, foi possível verificar, através de parâmetros físicos, químicos e biológicos, o comprometimento qualitativo de praticamente todos os cursos d'água e os aquíferos mais superficiais. Os aquíferos apresentam potencialidade para servirem, tanto no presente como no futuro, de mananciais para o abastecimento público e industrial. Eles não estão imunes a problemas, uma vez que, também, podem ser alcançados por contaminantes similares àqueles que comprometem os recursos hídricos superficiais. Convém registrar que as análises bacteriológicas realizadas nas principais drenagens demonstram que os rios urbanos acham-se comprometidos pelos elevados teores de coliformes fecais e totais, turbidez e demanda bioquímica de oxigênio (DBO). Na maioria das amostras coletadas, são altas as concentrações de amônia e nitrogênio e extremamente baixas as de oxigênio dissolvido (OD), chegando a zero em época de estiagem prolongada (Tabela 09).

REGIÃO METROPOLITANA DE BELÉM
RESULTADOS ANALÍTICOS DAS ÁGUAS SUPERFICIAIS
 (Período de 16 a 25/05/98)

PARÂMETROS ANALISADOS	IDENTIFICAÇÃO E LOCALIZAÇÃO DA AMOSTRA														
	AND-01	AND-02	AND-03	AND-04	AND-05	AND-06	AND-07	AND-08	AND-09	AND-10	AND-11	AND-12	AND-13	AND-14	AND-15
	lg. da Pedreirinha	lg. das Toras	lg. das Toras	Rio Uriboca	lg. das Toras	lg. Itabira	Rio Mocajutuba	lg. Curuçambá	lg. 40 Horas	Afl. do lg. Maguari	Afl. do lg. Maguari	lg. Itabira	Afl. do Rio Aurá	Água da COSANPA	Água da COSANPA
pH	5,5	4,7	4,7	4,7	5,2	5,5	5,2	5,2	5,2	6,0	6,0	6,0	4,5	6,5	6,5
Oxig. Dissolvido mg/l O ₂	1,30	3,55	5,30	3,80	3,00	4,95	5,95	5,20	2,90	0,90	2,00	1,10	5,30	-	-
OD de Saturação mg/l O ₂	7,91	8,06	8,07	7,91	8,07	7,91	7,59	7,75	7,75	7,75	7,75	7,59	8,07	-	-
Saturação de OD %	16,43	44,04	65,67	48,04	37,17	62,58	78,39	67,10	37,42	11,61	25,81	14,49	65,68	-	-
DBO ₅ mg/l O ₂	5,0	<5	6,5	<5	<5	6,0	6,5	13,0	8,0	9,0	6,0	10,0	<5	<5	<5
DQO mg/l O ₂	20	10	30	10	20	20	10	20	30	20	20	20	10	10	10
T do ar °C	29	28	29	30	30	32	32	31	34	35	35	35	34	-	-
T da água °C	28	27	27	28	27	28	30	29	29	29	29	30	27	-	-
Sólidos Totais mg/l	117	22	35	27	73	140	54	81	123	320	247	172	21	196	196
Condutividade µS / cm	180,7	22,7	39,1	28,4	74,0	142,0	54,8	82,7	124,8	328,0	251,0	176,1	21,2	199,7	200,0
Turbidez	16	10	10	14	10	7	21	14	14,5	7	9	7	7	9	5
Dureza Total . mg/l CaCO ₃	50	3	6	6	17	32	12	16	30	86	55	36	3	99	99
Cloretos mg/l	19,68	13,92	11,04	10,08	14,88	18,72	13,92	17,76	18,72	24,48	25,44	23,03	16,66	19,68	21,6
Sulfatos mg/l	15,35	7,43	4,95	14,61	11,74	10,30	21,73	17,13	18,38	16,56	16,17	11,48	4,76	9,78	10,04
Nitr. Amoniacal mg/l NH ₃	2,34	0,05	0,05	0,10	0,13	2,88	1,32	1,96	1,02	0,84	0,76	0,95	0,45	0,38	0,52
Nitritos mg/l	0,01	0,01	0,07	0,01	0,06	0,02	0,01	0,03	0,02	ND	0,02	0,01	0,01	ND	ND
Nitratos mg/l	1,07	1,85	8,32	1,33	6,33	2,65	1,19	3,27	2,74	0,50	2,45	1,21	1,84	0,34	0,25
Nitrogênio Tot. mg/l	9,2	9,7	20,7	8,6	20,4	18,5	10,0	17,2	10,1	8,6	12,0	4,5	3,0	1,7	1,7
Fosfato total mg/l	0,14	ND	ND	ND	ND	0,87	ND	ND	0,1	0,05	0,13	0,28	ND	ND	ND
Ferro total mg/l	1,72	0,63	0,48	1,51	1,07	1,35	0,92	0,69	0,68	1,74	0,95	0,49	0,14	0,08	0,08
Coliformes Tot. NMP/100 ml	11 x 10 ⁶	43 x 10 ⁴	46 x 10 ⁵	46 x 10 ⁵	93 x 10 ³	93 x 10 ⁴	23 x 10 ³	23 x 10 ³	23 x 10 ³	43 x 10 ³	43 x 10 ³	24 x 10 ⁵	4,3 x 10 ²	0	0
Coliformes Fec. NMP/100 ml	93 x 10 ³	43 x 10 ²	93 x 10 ³	15 x 10 ³	23 x 10 ³	11 x 10 ⁴	43 x 10 ²	15 x 10 ³	23 x 10 ³	23 x 10 ³	23 x 10 ³	9 x 10 ⁴	4,3 x 10 ²	0	0

ND = Não Detectado
 - Não Analisado

As análises bacteriológicas, DBO₅ e DQO foram efetuadas pelo laboratório de Eng. Química – UFPa. As demais determinações foram realizadas pelo Laboratório de Hidroquímica do Centro de Geociências – UFPa.

Tabela 09

Esse quadro deplorável dos recursos hídricos é proveniente da falta de saneamento básico, em virtude da ineficiência das redes de esgotamento sanitário e das respectivas estações de tratamento. Assim, toda carga orgânica gerada será, em sua maior quantidade, lançada nos cursos d'água da região. Os aquíferos mais superficiais, os mais utilizados pela população periférica, estão, em parte, contaminados pela infiltração dos resíduos sólidos decompostos e de efluentes.

Durante os trabalhos de campo, constatou-se contaminação por derivados de petróleo nos poços do entorno de alguns postos de gasolina (Texaco nas avenidas Primeiro de Dezembro e Senador Lemos, Linderberg no Km 08 da BR-316 e Ipiranga na Avenida Pedro Álvares Cabral, dentre outros). É iminente o risco de contaminação por hidrocarbonetos, pois, quase todos os postos estão em áreas urbanas e a grande maioria dos tanques subterrâneos de armazenamento estão velhos, sem proteção contra corrosão e sem mecanismos de detecção de vazamentos.

Foram cadastrados 118 postos de combustíveis, com um total aproximado de 510 tanques (Tabela 10). Assim, esses tanques de combustíveis da RMB já oferecem riscos de vazamentos e podem ser considerados, juntamente com fossas, cemitérios e lixões, como fontes potenciais de poluição das águas subterrâneas.

5.6.4 – Potabilidade

O conceito de potabilidade é utilizado para se definir o padrão de qualidade da água para consumo humano e considera os diversos parâmetros físicos, químicos e bacteriológicos que afetam ou restringem a composição da água. As diversas normas para potabilidade da água seguem os padrões estabelecidos pelas: OMS, EPA (Environmental Protection Agency) e ABNT.

Os padrões de potabilidade da água tornaram-se mais rigorosos com o passar dos anos, quer acompanhando o desenvolvimento da técnica de tratamento e das pesquisas epidemiológicas, quer em atenção ao crescente padrão de conforto requerido pelo ser humano.

Normalmente a água subterrânea apresenta concentrações muito baixas de constituintes dissolvidos, dentro dos limites de potabilidade. Na RMB as baixas concentrações resultam das características hidrogeológicas da Formação Pirabas, onde a água subterrânea circula, e das condições do clima equatorial, com elevada pluviosidade.

Os resultados da amostragem em mais de uma dezena de poços tubulares indicaram que a água subterrânea que a COSANPA e o SAAEB captam - em grande parte, tratam e distribuem para a população, é potável e de boa qualidade para o consumo humano. Revelam também prestabilidade para as demais modalidades de uso, embora os poços com profundidades de 60 m a 120 m, na maioria das vezes, apresentem teores elevados de ferro, merecendo, assim, uma solução que possa minimizar os percentuais excessivos de ferro.

Dentro das normas de potabilidade, a água deve estar consoante aos padrões estabelecidos pela OMS, isto é, quando pode ser consumida pelo homem sem perigo algum para a sua saúde (Tabela 11).

Os padrões para determinar a potabilidade das águas baseiam-se na importância para saúde humana, no que diz respeito aos efeitos tóxicos, carcinogênicos e multigênicos, e nos aspectos organolépticos ou estéticos. No primeiro caso, intervêm os caracteres químicos e bacteriológicos. Deste modo, a água é de boa qualidade química, quando as concentrações de seus elementos satisfazem às condições químicas fixadas e estiver isenta

Nº DE ORDEM	NOME DO POSTO	BANDEIRA	LOCALIZAÇÃO	UTM (N)	UTM (E)
01	AZULINO	PETROBRÁS	A. BAENA COM 25 DE SETEMBRO	9840282	781899
02	CHERMONT II	PETROBRÁS	DUQUE COM DR. FREITAS	9842538	782969
03	ENTRONCAMENTO	PETROBRÁS	BR. 316 (PRÓX. CASTANHEIRA)	9844400	785486
04	CASTANHEIRA	SHELL	BR. 316 (PRÓX. CASTANHEIRA)	9844632	785968
05	BELO HORIZONTE	TEXACO	BR. 316 (PRÓX. CASTANHEIRA)	9844885	786274
06	MM AUTO POSTO	IPIRANGA	BR. 316 (PRÓX. CASTANHEIRA)	9844887	786266
07	CANINDÉ	SHELL	BR. 316 (PRÓX. VIADUTO)	9846680	788524
08	LINDEMBERG	SHELL	BR. 316 (PRÓX. B. DO BRASIL)	9848615	791818
09	MARECHAL	SHELL	BR. 316 (PRÓX. A PRF)	9848917	793561
10	SUPER POSTO 2000	PETROBRÁS	BR-316	9848936	794029
11	PINDORAMA	PETROBRÁS	BR-316	9848936	794611
12	SÃO CRISTÓVÃO	IPIRANGA	BR. 316 (PRÓX. A MARITUBA)	9848944	796581
13	BALBINO	SHELL	BR-316	9848870	797045
14	SUPER POSTO ORIENTE	PETROBRÁS	BR-316	9848736	797808
15	CANINDÉ II	SHELL	BR-316	9850519	805479
16	AUTO POSTO BENEVIDES	PETROBRÁS	ENTRADA P/ MOSQUEIRO	9851779	806665
17	VICOM	TEXACO	BR. 316 (PRÓX. A SEFA)	9848996	796663
18	AMERICANO	BRANCA	EM FRENTE AO E. CHAGAS	9848083	790833
19	TOKIO	SHELL	BR-316	9847565	789976
20	UBN	TEXACO	BR-316	9847447	789781
21	CLASSIC	IPIRANGA	BR-316	9847004	789029
22	TRÊS ESTRELAS	SHELL	BR-316	9846931	788892
23	YAMAGA	SHELL	BR. 316 (PRÓX. VIADUTO)	9846328	787891
24	SIQUEIRA	TEXACO	PRÓX. TRANSCOQUEIRO	9846474	785394
25	ICCAR V	BRANCA	AUG. M. NEGRO	9848206	784559
26	CAMILA	SHELL	AUG. M. NEGRO	9848297	784504
27	TRÊS ESTRELAS	SHELL	AUG. M. NEGRO	9849154	783885
28	POSTO TEXACO	TEXACO	AUG. M. NEGRO	9850644	783511
29	MAGUARI	ESSO	AUG. M. NEGRO	9852736	783814
30	MARAJÓ	PETROBRÁS	AUG. M. NEGRO	9855568	782513
31	ALESSANDRO	IPIRANGA	AUG. M. NEGRO	9855565	782515
32	MANO	SHELL	ENT. P/ OUTEIRO	9855985	781828
33	OUTEIRENSE	PETROBRÁS	OUTEIRO	9861133	782500
34	ELITE	PETROBRÁS	ICOARACI (CRIST. COLOMBO)	9856465	780879
35	POSTO SHELL	SHELL	ICOARACI (CRIST. COLOMBO)	9856401	779818
36	ARTUR BERNARDES	SHELL	ROD. ARTUR BERNARDES	9851313	780647
37	MAGUARI	PETROBRÁS	ARTUR BERNARDES	9848899	780795

Cont...

Cont. Tabela 10

Nº DE ORDEM	NOME DO POSTO	BANDEIRA	LOCALIZAÇÃO	UTM (N)	UTM (E)
38	ICCAR I	TEXACO	ROD. DOS TRABALHADORES	9846332	781381
39	DIPLOMATA	IPIRANGA	AV. T. BASTOS	9844288	784225
40	SUPER POSTO BELÉM	ESSO	AV. T. BASTOS	9844816	783561
41	CIDADE DE BELÉM	TEXACO	MAURITI C/ 25 DE SETEMBRO	9841247	782558
42	POSTO TEXACO	TEXACO	MAURITI C/ A. EVERDOSA	9842229	781038
43	ALESSANDRO	ESSO	DIOGO MÓIA C/ A. CACELA	9840533	780624
44	POSTO ESSO	ESSO	9 DE JANEIRO C/ D. MARREIRO	9840238	780911
45	SALOZAK	PETROBRÁS	9 DE JANEIRO C/ A. BARRETO	9840383	780896
46	AUTO POSTO NOGUEIRA	ESSO	AV. NAZARÉ	9839029	780745
47	RENTOR	SHELL	A. CACELA C/ GENTIL	9839026	780744
48	POSTO TEXACO	TEXACO	CONS.C/ ALC. CACELA	9838893	780756
49	LAVÃO	ESSO	MUND. C/ ALC. CACELA	9838774	780765
50	ALESSANDRO	SHELL	PARIQUIS C/ ALC. CACELA	9838559	780454
51	UBN	SHELL	AV. NAZARÉ C/ 14 DE MARÇO	9839364	780395
52	14 DE MARÇO	TEXACO	14 DE MARÇO C/ A.BARRETO	9840265	780396
53	POSTO SHELL	SHELL	GENERALÍSSIMO C/ D. MÓIA	9840366	780140
54	RESENDE	TEXACO	GENERALÍSSIMO C/ GENTIL	9839037	780170
55	VYDIA	ESSO	VISCONDE DE SOUZA FRANCO	9840023	779591
56	AUTO P. STA BÁRBARA	TEXACO	ENTRADA P/ MOSQUEIRO	9862519	803315
57	AZULINO	PETROBRÁS	MOSQUEIRO	9875103	787059
58	N. S. DE FÁTIMA	TEXACO	AV. BEIRA MAR (MOSQUEIRO)	9875609	783978
59	POSTO TEXACO	TEXACO	VILA DE MOSQUEIRO	9871259	781311
60	POSTO TEXACO	TEXACO	ROD. MÁRIO COVAS	9847267	788026
61	ICCAR XI	BRANCA	TRANSCOQUEIRO	9847511	786309
62	POSTO TEXACO	TEXACO	TRANSCOQUEIRO	9847506	786310
63	ALESSANDRO	SHELL	ROD. MÁRIO COVAS	9848102	787350
64	POSTO PETROBRÁS	PETROBRÁS	ENT. CIDADE NOVA	9847733	787815
65	AUTO POSTO NOGUEIRA	ESSO	CIDADE NOVA	9848305	788487
66	POSTO FORMOSA	TEXACO	SUPER M. FORMOSA	9848731	788812
67	POSTO ARTERIAL	PETROBRÁS	ART. 18 (CIDADE NOVA)	9850148	788998
68	PAAR	PETROBRÁS	CIDADE NOVA	9851115	790193
69	XEQUE MATE	BRANCA	ESTRADA DO MAGUARI	9849488	792196
70	STA RITA DE CÁSSIA	PETROBRÁS	ART. 18 (CIDADE NOVA)	9850691	788331
71	POSTO QUATRO	PETROBRÁS	16 DE NOVEMBRO	9838172	778667
72	VIRGEM DE NAZARÉ	ATLANTIC	ROBERTO CAMELIER	9838078	778975
73	GRÃO PARÁ	TEXACO	TAMOIOS	9837938	778826
74	AUTO POSTO NOGUEIRA	ESSO	ROBERTO CAMELIER	9837704	779507
75	ALMIRANTE TAMANDARÉ	PETROBRÁS	ALMIRANTE TAMANDARÉ	9838724	778448
76	BRAZ DE AGUIAR	TEXACO	AV. BRAZ DE AGUIAR	9839059	779456
77	BANDEIRANTE	TEXACO	JOSÉ BONIFACIO. C. SILVA CASTRO	9838021	781752
78	VITÓRIA	PETROBRÁS	JOSÉ BONIFÁCIO 4439	9836886	781734
79	PLATON	IPIRANGA	PADRE EUTÍQUIO C/ A.CACELA	9837526	780850

Cont....

Cont. Tabela 10

Nº DE ORDEM	NOME DO POSTO	BANDEIRA	LOCALIZAÇÃO	UTM (N)	UTM (E)
80	AUTO POSTO AÇAÍ	PETROBRÁS	PADRE EUTIQUIO C/ TAMBÉS	9837411	780646
81	CONCEIÇÃO	TEXACO	PADRE EUTIQUIO C/ F. GUILHON	9837981	779872
82	POSTÃO	SHELL	PADRE EUTIQUIO C/ A ROCHA	9838875	778551
83	ALMIRANTE TAMANDARÉ	IPIRANGA	ALM. TAMANDARÉ C/ A ROCHA	9838572	788190
84	ICCAR VI	ESSO	BERNARDO SAIÃO 3862	9836835	781201
85	UNIVERSITÁRIO	TEXACO	RUA AUGUSTO CORREA	9836735	782741
86	BELÉM-BRASÍLIA	SHELL	JOSÉ BONIFÁCIO 1246	9838783	781705
87	SUPER POSTO MONTEPIO	PETROBRÁS	MUNDURUCUS 4734	9838843	782457
88	DALLAS II	IPIRANGA	1º DE DEZEMBRO C/ AV. CEARÁ	9839914	782471
89	TRIÂNGULO	TEXACO	1º DE DEZEMBRO C/ F. MONTEIRO	9840091	782611
90	BRASIL	IPIRANGA	1º DE DEZEMBRO C/ TIMBÓ	9840620	782954
91	A. POSTO 1º DE DEZEMBRO	PETROBRÁS	1º DE DEZEMBRO C/ LOMAS	9841314	783352
92	INVENCÍVEL	IPIRANGA	ALM. BARROSO 1814	9841513	783045
93	PETROBRÁS	PETROBRÁS	LOMAS C/ DOQUE 1649	9841855	782529
94	IPIRANGA	IPIRANGA	LOMAS C/ DOQUE 1559	9841902	782454
95	TEXACO	TEXACO	LOMAS C/ PEDRO MIRANDA	9842445	781643
96	AUTO POSTO NOGUEIRA	SHELL	P. MIRANDA C/ ÁLVARO ADOLFO	9841173	780764
97	HUMAITÁ	IPIRANGA	TV. HUMAITÁ C/ P. MIRANDA	9841474	781023
98	AUTO POSTO NOGUEIRA	TEXACO	HUMAITÁ C/ ALM. BARROSO	9840526	782419
99	VERDÃO	PETROBRÁS	DR. FREITAS C/ MARQUES	9843052	782583
100	SENADOR LEMOS	TEXACO	DR. FREITAS	9843416	781020
101	OURO NEGRO	IPIRANGA	SEN. LEMOS PASS. DAS FLORES	9842345	780001
102	ROSAMAR	TEXACO	SENADOR LEMOS C/ DOCA	9840426	779306
103	UBN	SHELL	GASPAR VIANA C/ PÇA. MAGALHÃES	9840056	778869
104	ITEX	TEXACO	MUNICIPALIDADE C/ D. R. COELHO	9840852	779326
105	22 DE ABRIL	ESSO	PEDRO ALVARES CABRAL	9841689	779325
106	ALIANÇA	TEXACO	PEDRO ALVARES CABRAL	9842182	779457
107	PETROBRÁS	PETROBRÁS	PEDRO ALVARES CABRAL	9842494	779714
108	JOVITA	TEXACO	PEDRO ALVARES CABRAL	9843537	780768
109	TEXAS	TEXACO	PEDRO ALVARES CABRAL	9843882	781589
110	DALLAS	IPIRANGA	PEDRO ALVARES CABRAL	9844048	781858
111	JAMBOCK	PETROBRÁS	PEDRO ALVARES CABRAL	9844287	782779
112	ANJO DA GUARDA	SHELL	P. A. CABRAL C/ T. BASTOS	9844205	784278
113	DOM CARLOS	TEXACO	P. A. CABRAL C/ T. BASTOS	9844225	784357
114	RENASCI	ESSO	ALM. BARROSO C/ AV. DALVA	9844264	785245
115	ALESSANDRO	SHELL	PEDRO ALVARES CABRAL	9844450	785282
116	N. SENHORA DAS GRAÇAS	PETROBRÁS	JULIO CÉSAR (CONJ. BELA VISTA)	9845008	783819
117	ALMIRANTE	PETROBRÁS	ARTUR BERNARDES	9845467	779587
118	ICCAR III	BRANCA	ARTUR BERNARDES	9843380	778974

Tabela 11 - QUALIDADE DA ÁGUA PARA CONSUMO HUMANO

PARÂMETROS CONSIDERADOS	VALORES OBTIDOS NA RMB		PADRÕES RECOMENDADOS		
	Mínimo	Máximo	Decreto n.º 39.367		Organização Mundial de Saúde
			Mínimo Desejável	Máximo Permissível	
Temperatura °C					
pH	6,8	7,2			6,5 – 8,5
Condutividade Elétrica µ S/cm	298	346			
Alcalinidade mg/l CaCO ₃	162	170			
Dureza mg/l CaCO ₃	62	172			500
Na mg/l	1,93	2,79			200
K mg/l	3,47	3,89			
Ca mg/l	66	81			
Mg mg/l	5,70	10,68			
Fe Total mg/l	0,2	0,63	0,3	1,0	0,3
Cl mg/l	9,45	19	200	600	250
SO ₄ mg/l					400
HCO ₃ mg/l					
SiO ₂ mg/l	4	7			

Valores mínimo e máximo obtido nos parâmetros analisados da água subterrânea da RMB;
Valores mínimo desejável e máximo permissível das normas brasileiras de potabilidade, do Decreto n.º 39.367 e os padrões recomendados pela Organização Mundial da Saúde (OMS,1984).

de bactérias patogênicas. O último caso, refere-se ao sabor, à cor, ao odor e à turbidez.

Entre os constituintes químicos, existem aqueles de natureza inorgânica, os mais comuns, e aqueles de natureza orgânica, cujas conseqüências ainda não são bem conhecidas. As Tabelas 12a e 12b (OMS, 1984) exibem, respectivamente, as concentrações limites desses constituintes na água potável. No caso dos constituintes orgânicos, estão incluídos os hidrocarbonetos derivados de petróleo e os compostos sintéticos, tais como os solventes, desinfetantes e pesticidas, que têm uso muito difundido na atividade industrial. Com relação aos teores bacteriológicos, os guias atuais da OMS recomendam que as águas de suprimento devem ser isentas de bactérias indicadoras de poluição fecal.

Os padrões de qualidade das águas para fins industriais são complexos, variando conforme o tipo de indústria e os processos de industrialização, gerando necessidades diferentes de qualidade de água para cada uso. Apesar de não ter sido realizado análises específicas para uso industrial, na Tabela 13 estão os parâmetros utilizados para este fim.

5.6.5 – Uso

O abastecimento de água potável da região é feito fundamentalmente através dos recursos hídricos superficiais, complementados pela exploração de água subterrânea, captada por meio de poços tubulares profundos tanto particular como oficial. Quanto ao uso, a água subterrânea é de superior qualidade sanitária, quando é límpida e incolor e possui baixo conteúdo bacteriano. Sua composição reflete também o contato que ela manteve com os minerais formadores da sua rocha hospedeira.

A água potável tem múltiplos usos pelos consumidores, tais como:

domiciliar (consumo, higiene e lavagem em geral); público (clubes, balneários, escolas e repartições públicas); comercial (estabelecimentos bancários, hospitais, supermercados e postos de serviços) e industrial (bebidas, alimentos, etc.). O volume de água consumida nestes usos varia com o porte do empreendimento.

5.7 – Vulnerabilidade Natural dos Aqüíferos e Proteção das Águas Subterrâneas

Apenas 3% da população da RMB é beneficiada pelo esgotamento sanitário, enquanto o restante usa fossas sépticas e negras ou lançando os dejetos “in natura” diretamente nos igarapés e canais que drenam os núcleos urbanos. O levantamento realizado pela CPRM atesta que a maioria dos poços tubulares rasos apresenta índices de contaminação por nitrato acima dos valores aceitáveis pela OMS, tendo como fundamento as análises laboratoriais, cujos resultados revelaram teores de até 20 mg/l de nitrato, inclusive em poços amazonas.

Essa contaminação está associada à geologia local, com terreno predominantemente arenoso, e à construção de poços sem critérios técnicos adequados. Sob estas condições, outras formas de contaminação vêm alcançando os aqüíferos mais superiores da RMB, como são aquelas decorrentes de vazamento em postos de combustíveis, disposição inadequada do lixo, esgoto a céu aberto, efluentes de limpa-fossa, resíduos industriais, lixo hospitalar, necrochorume e outras.

De acordo com a legislação, as secretarias estaduais e municipais são as responsáveis pela fiscalização do tratamento da água encanada e dos poços artesianos. Esses dados foram consubstanciados nos itens 2.7 e 5.6, onde são enfocados as causas da contaminação da área.

REGIÃO METROPOLITANA DE BELÉM PADRÕES DE POTABILIDADE DA ÁGUA

<i>CONCENTRAÇÃO DE INORGÂNICOS</i>			
<i>Não Metálicos</i>		<i>Metálicos</i>	
<i>Composto</i>	<i>Limite Máximo Tolerável (mg/l)</i>	<i>Elementos Metálicos (mg/l)</i>	<i>Limite Máximo Tolerável (mg/l)</i>
AMÔNIA (NH ₄)	0,01	ALUMÍNIO (Al)	0,2
NITRATO (NO ₃)	45	CÁDMIO (Cd)	0,005
SÓDIO (Na)	200	CROMO (Cr)	0,05
SULFATO (SO ₄)	400	COBRE (Cu)	1
FLUORETO (F)	1,5	FERRO (Fe)	0,3
CLORETO (Cl)	250	CHUMBO (Pb)	0,05
ARSÊNIO (As)	0,5	MANGANÊS (Mn)	0,1
SELÊNIO (Se)	0,01	MERCÚRIO (Hg)	0,001
CIANURETO (CN)	0,1	ZINCO (Zn)	5

TABELA 12 a – Concentração Limite de Constituintes Inorgânicos para a Qualidade da Água Potável, segundo a OMS (1984).

<i>CONCENTRAÇÃO DE ORGÂNICOS</i>			
<i>Não Halogenados</i>		<i>Halogenados</i>	
<i>Compostos</i>	<i>Limite Máximo Tolerável (mg/l)</i>	<i>Compostos</i>	<i>Limite Máximo Tolerável (mg/l)</i>
HIDROCARBONETOS ALIFÁTICOS	0,010	TRICLOROETILENO	0,030
FENOIS	0,0005	TETRACLOROETILENO	0,010
BENZENO	0,010	CLOROBENZENO	0,0001
TOLUENO	-	TETRACLOROETO DE CARBONO	0,003
POLIAROMÁTICOS	0,0001	CLOROFENOIS	0,0001

TABELA 12 b – Concentração Limite de Constituintes Orgânicos para a Qualidade da Água Potável, segundo a OMS (1984)

REGIÃO METROPOLITANA DE BELÉM

TABELA 13 - PADRÕES DE QUALIDADE DA ÁGUA PARA INDÚSTRIAS

Parâmetro	Unidade	1	2	3	4	5	6	7	8	9
PH	-	-	-	7,5	-	7	-	8	-	-
Dureza	mg/l de CaCO ₃	50	180	50-80	30-100	50-75	25	50	50	100
Alcalinidade	mg/l de CaCO ₃	-	-	80-150	-	-	128	135		
Cálcio	mg/l Ca	-	-	500	20	200	-	-	10	
Cloreto	mg/l Cl	-	30	-	20	100	250	-	100	75
Ferro	mg/l Fe	0,5	0,3	0,2	0,1	0,1	0,2	0,2	0,25	75
Manganês	mg/l Mn	0,5	0,1	0,2	-	0,1	0,2	0,2	0,25	0,05
R. S.	mg/l	-	500	850	-	1000	850	-	-	200
Nitrato	mg/l N	-	30	15	-	10	-	-	-	-
Amônia	mg/l NH ₃	-	Traços	0,5	-	-	-	-	-	-
Sulfatos	mg/l SO ₄	-	60	-	20	-	250	-	100	-
Fluoretos	mg/l F	-	-	1,0	-	1,0	1,0	-	-	-
Magnésio	mg/l Mg	-	-	-	10	30	-	-	-	-

Notas

1 – Águas e Refrigeração

2 – Indústria de Laticínios

3 – Indústrias de Conservas Alimentícias

4 – Indústrias Açucareira

5 – Cervejaria

6 – Indústria de Bebidas e Sucos de Frutas

7 – Curtume

8 – Indústrias Têxtil

9 – Indústrias de Papel

Fonte: Mathess (1982); Szikszay (1993); e Driscoll (1986).

5.7.1 – Critérios de Vulnerabilidade

A vulnerabilidade da água subterrânea está relacionada à inacessibilidade hidráulica para a capacidade de atenuação dos estratos acima do aquífero. O próprio terreno pode atuar como filtro, devido, principalmente, às baixas permeabilidades.

A vulnerabilidade natural dos aquíferos se baseia essencialmente em suas características hidrogeológicas. Para a avaliação da vulnerabilidade dos aquíferos Foster, 1987 (Fig. 16) e Foster e Hirata, 1988 (Fig. 17), propõem diversos critérios e que foram adaptados às condições da RMB. Esses critérios são os seguintes:

- Tipo de ocorrência da água subterrânea (condição do aquífero);
- Características litológicas da zona não saturada.
- Profundidade do nível d'água (espessura da zona não saturada).

As diferentes categorias de vulnerabilidade foram estabelecidas através da combinação dos valores atribuídos a esses três parâmetros. O tipo de ocorrência da água subterrânea ou condição do aquífero da área apresenta: aquíferos livres com cobertura argilosa (índice 0,6) e aquíferos livres (índice 1,0). Subjacente ao aquífero livre ocorrem os aquíferos confinados (índice 0,2).

A litologia considerada da zona não saturada, nesta avaliação, constitui-se de: argilas (índice 0,35); siltes, argilas arenosas, areias argilosas (índice 0,5); e areias com ou sem seixos (índice 0,8).

A profundidade do nível d'água ou espessura da zona não saturada foi tomada em quatro classes: > 35 m (índice 0,5); de 35 a 25 m (índice 0,6); de 25 m a 15 m (índice 0,7), de 15 m a 5 m (índice 0,8) e < 5 m (índice 0,9).

Com esses três parâmetros e seus respectivos índices definidos e multiplicando-os entre si, obteve-se o índice de vulnerabilidade versus grau

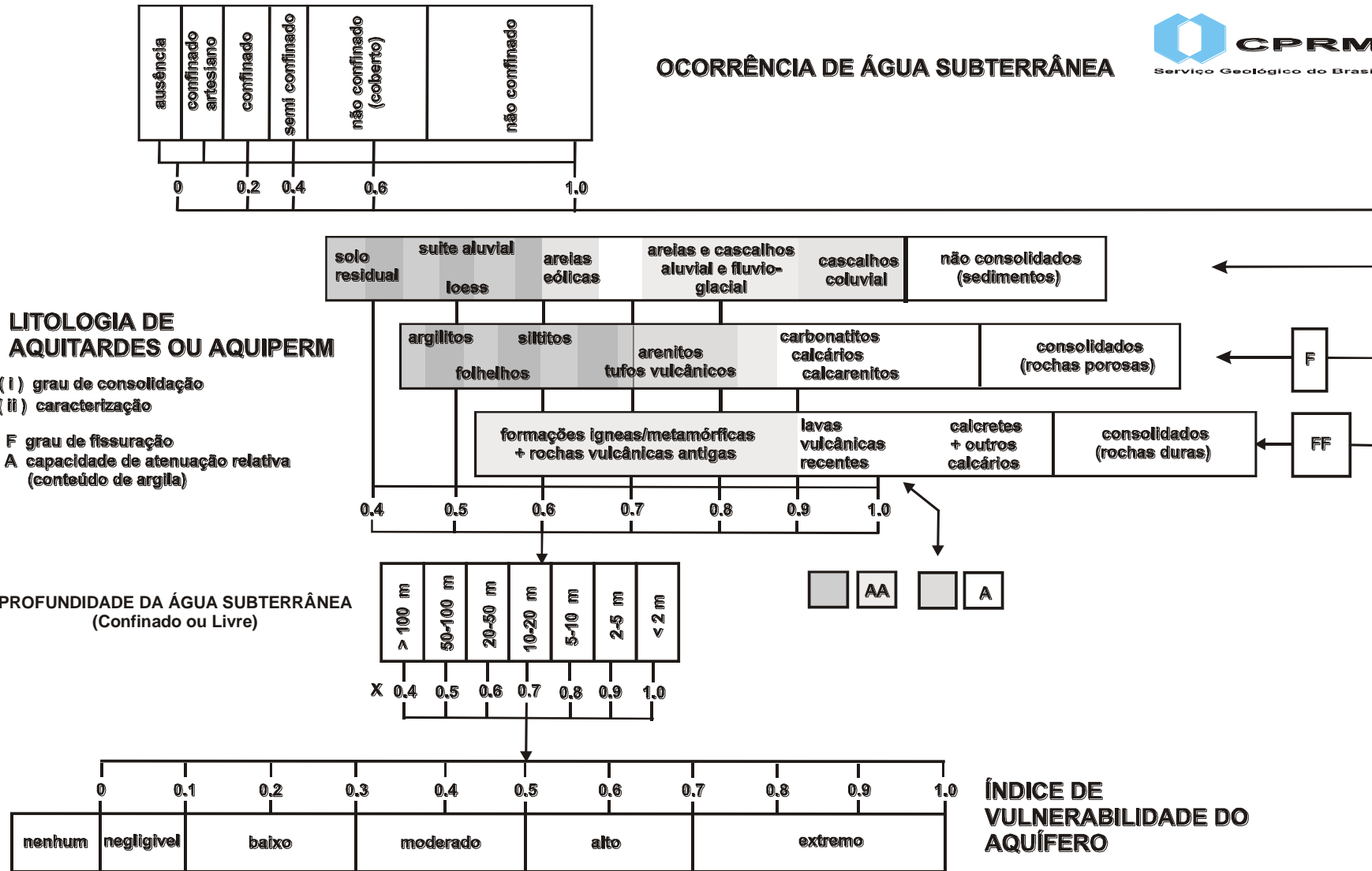
de contaminação da água subterrânea na RMB (Tabela 14).

5.7.2 – Fatores de Risco de Contaminação das Águas Subterrâneas.

O risco potencial de contaminação das águas subterrâneas, em sua conceituação básica (Foster, et al., 1987; Foster, et al., 1988; Hirata, et al. 1990; e Bastos, et al., 1990), é atribuído à interação entre dois fatores fundamentais. Primeiro, a carga contaminante lançada no solo como resultado da atividade humana; e, à vulnerabilidade natural do aquífero ser afetado pela carga contaminante. Essa carga é caracterizada em função de sua classe, intensidade e modo de disposição e duração no terreno, enquanto a vulnerabilidade do sistema aquífero depende da litologia e da estrutura geológica do terreno. Portanto, a carga contaminante pode ser controlada ou modificada, o que não acontece com a vulnerabilidade do aquífero, a não ser quando as condições naturais são alteradas, mediante a remoção de solos (caso das fossas sépticas, por exemplo) ou de material da zona insaturada, o que pode tornar o aquífero mais vulnerável, semelhante ao que ocorre na RMB.

A Fig. 17 apresenta o esquema conceitual de risco de contaminação das águas subterrâneas. Observa-se que há a possibilidade de uma alta vulnerabilidade sem risco de contaminação, pela ausência de uma carga significativa de contaminante, e vice-versa. É freqüente considerar que um meio é pouco vulnerável quando a contaminação se propaga muito lentamente. Esta consideração é questionável, pois se um terreno é pouco vulnerável a curto prazo nada significa em relação ao longo prazo, pois se o contaminante é pouco degradável ou conservativo, acabará por aparecer (Custódio e Carrera, 1989). Além disso,

OCORRÊNCIA DE ÁGUA SUBTERRÂNEA



FONTE: FOSTER et alli - 1988

Fig. 16 - Esquema para avaliação da vulnerabilidade natural do aquífero

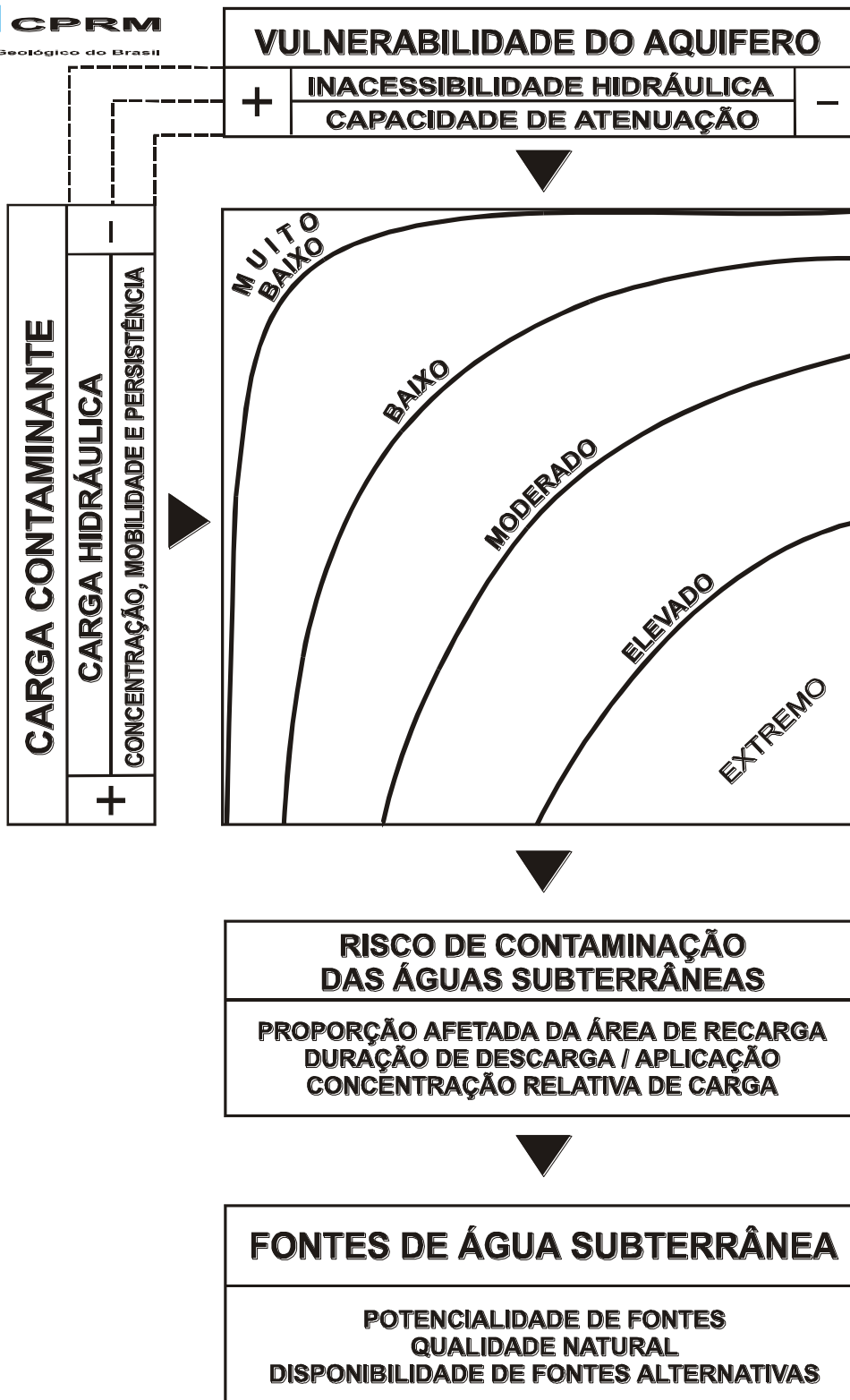


Fig. 17 - Esquema conceitual de risco de contaminação - FONTE: FOSTER et alli - 1988



CPRM

Serviço Geológico do Brasil

REGIÃO METROPOLITANA DE BELÉM

Tabela 14 - VULNERABILIDADE VERSUS GRAU DE CONTAMINAÇÃO

ZONA NÃO SATURADA	Espessura (m)	< 5	5 a 15	15 a 25	25 a 35	> 35
	Índice	0,90	0,80	0,70	0,60	0,50

OCORRÊNCIA		AQUÍFERO		GRAU DE VULNERABILIDADE				
Tipo Litológico	Índice	Tipo	Índice					
Arenoso	0,75	Livre	1,00	0,68	0,60	0,53	0,45	0,38
				Alta	Alta	Moderada	Moderada	Moderada
		Livre com Cobertura	0,60	0,41	0,36	0,32	0,27	0,23
				Moderada	Moderada	Baixa	Baixa	Baixa
		Confinado	0,20	0,14	0,12	0,11	0,09	0,08
				Baixa	Baixa	Baixa	Negligível	Negligível
Argilo Arenoso	0,50	Livre	1,00	0,45	0,40	0,35	0,30	0,25
				Moderada	Moderada	Moderada	Moderada	Baixa
		Livre com Cobertura	0,60	0,27	0,24	0,21	0,18	0,15
				Baixa	Baixa	Baixa	Baixa	Baixa
		Confinado	0,20	0,09	0,08	0,07	0,06	0,05
				Negligível	Negligível	Negligível	Negligível	Negligível
Argiloso	0,35	Livre	1,00	0,32	0,28	0,25	0,21	0,18
				Baixa	Baixa	Baixa	Baixa	Baixa
		Livre com Cobertura	0,60	0,19	0,17	0,15	0,13	0,11
				Baixa	Baixa	Baixa	Baixa	Negligível
		Confinado	0,20	0,06	0,06	0,05	0,04	0,04
				Negligível	Negligível	Negligível	Negligível	Negligível

os aquíferos de menor vulnerabilidade à contaminação, em termos gerais, tendem a ser os mais difíceis de reabilitar uma vez contaminados (Foster e Hirata, 1991) e, portanto, constituindo-se em mais uma limitação prática do conceito de vulnerabilidade.

5.7.3 - Processo de Transporte e Atenuação dos Contaminantes

O acesso de contaminantes aos recursos hídricos subterrâneos depende do resultado de ações naturais de defesa que se processam no meio poroso não saturado, em especial na zona biologicamente ativa do solo. Essas ações são atribuídas a interações físicas com o solo (camada insaturada) que retardam o processo de contaminação e reações químicas com os contaminantes que podem reduzir total ou parcialmente a concentração dos mesmos.

As interações físicas são produzidas graças a fenômenos de filtração mecânica, sorção e intercâmbio de íons, enquanto que as ações atenuadoras são atribuídas principalmente a reações de hidrólise, precipitação e complexação, além de transformações bioquímicas. A Fig. 18 ilustra a importância relativa de cada um desses processos nas zonas insaturada e saturada.

Os contaminantes dispostos na superfície do solo podem ser eliminados naturalmente e com maior facilidade do que aqueles aplicados no fundo de escavações, como é o caso de fossas, já que a camada do solo propriamente dita é removida, como ocorre na zona periurbana de Belém.

No caso de contaminantes persistentes e móveis, como os nitratos, a zona insaturada exerce pouca influência, podendo apenas aumentar o tempo de trânsito dos mesmos nas águas subterrâneas (Foster et al., 1987 e Foster e Hirata 1991). Em situações como estas, a zona saturada é mais

eficiente para reduzir a concentração dos contaminantes, mediante o mecanismo de diluição pelas águas do fluxo subterrâneo. Todos os processos assinalados para a zona insaturada ocorrem na zona saturada, porém com intensidade muito menor. Ainda, nessas zonas, os contaminantes sofrem uma série de processos que atuam como auto depuradores, podendo provocar diluição, retardação na chegada à zona saturada ou mesmo eliminação.

5.7.4 - Caracterização da Vulnerabilidade Natural dos Aquíferos na RMB

O mapa de vulnerabilidade da água subterrânea está relacionado às características hidrogeológicas do ambiente subsuperficial que determinam sua maior ou menor vulnerabilidade. A distribuição espacial dos graus de vulnerabilidade dos sistemas aquíferos na RMB é apresentada no Anexo IV, considerando os graus de vulnerabilidade (Tabela 14) obtidos para os aquíferos situados mais próximos à superfície do terreno, que são as coberturas quaternárias e Grupo Barreiras.

A vulnerabilidade do sistema aquífero confinado Pirabas foi classificada como baixa e negligenciável. Essa proteção natural se deve basicamente à presença dos aquíferos e/ou aquícludes intercalados entre os aquíferos livres e o confinado. Os confinados possuem, portanto, maior proteção natural à infiltração de contaminantes a partir da superfície e são, pois, menos vulneráveis à poluição, como são os aquíferos Barreiras e, principalmente, o Pirabas.

Não obstante essa proteção, deve-se considerar as características do aquífero livre, tendo em vista o risco de contaminação que poderá afetar os aquíferos confinados. Uma área com maior grau de vulnerabilidade poderá não ter risco de poluição, devido à ausência de uma ou mais carga

PROCESSOS REDUZINDO A CONCENTRAÇÃO DE CONTAMINANTES

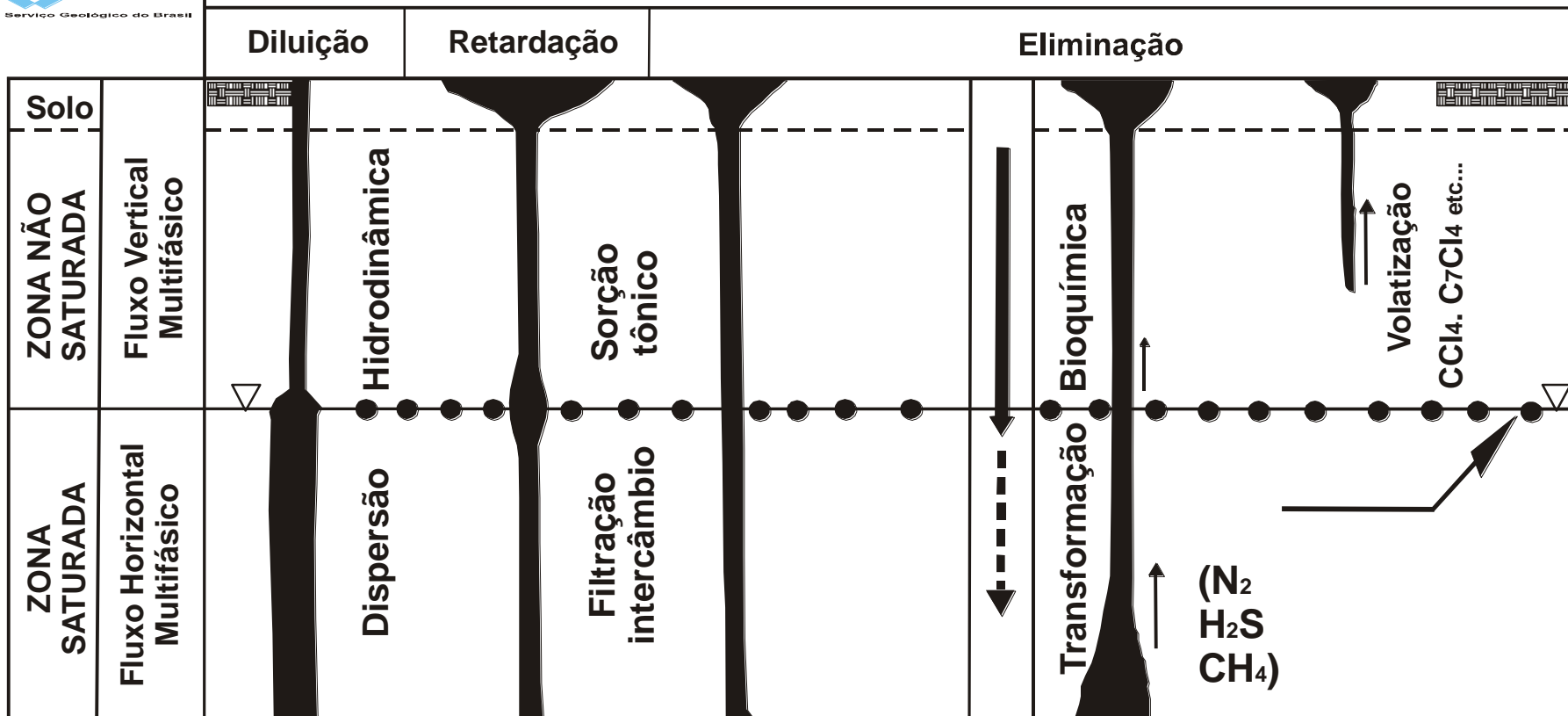


Fig.18 - Processos de atenuação em superfície (Glowler, 1983, in Hirata, 1994)

poluente e vice-versa. As cargas contaminantes potenciais estão relacionadas a postos de combustíveis, esgotos, cemitérios, lixões, poços abandonados e outras fontes contaminantes.

Na RMB existem mais de uma centenas de postos de combustíveis, e considerando que alguns deles já operam há muito tempo, é possível que seus tanques e tubulações apresentem vazamentos para o subsolo. Esses postos de combustíveis estão relacionados na Tabela 10. Como a gasolina é pouco solúvel em água e contém mais de uma centena de componentes químicos, ao ser derramada no solo, permanece, inicialmente, como líquido de fase não aquosa. Ao entrar em contato com a água subterrânea se dissolverá parcialmente. E, por serem considerados perigosos, seus componentes podem afetar o sistema nervoso central e causar leucemia em exposições prolongadas.

As contaminações do solo e água subterrânea geram passivos que permanecem mesmo após o fim de qualquer atividade impactante. Conhecendo-se a contaminação, é imprescindível aplicar medidas mitigadoras sobre esses contaminantes, a fim de preservar o meio ambiente. Nesse sentido, é de suma importância o Mapa de Vulnerabilidade, a ser utilizado como mais um instrumento pelos gestores estaduais e municipais, quando da seleção de sítios para instalação de qualquer empreendimento que possa causar impacto ambiental.

5.7.5 – Área de Proteção de Poços

Para um controle adequado da qualidade das águas subterrâneas, é necessário se conhecer: as características dos aquíferos, suas interações com as águas superficiais, as condições de recarga, circulação e descarga; e as atividades humanas desenvolvidas na área, levando-se em conta os fins a que as águas se destinam. Res-

salte-se que a Região Metropolitana de Belém é de natureza sedimentar, onde os aquíferos são heterogêneos, porosos e, via de regra, com elevado potencial hídrico, além de apresentar facilidades para a determinação de suas características hidráulicas.

A determinação do perímetro de proteção de poço é uma prática observada em vários países, objetivando a preservação das águas subterrâneas contra contaminações. O traçado dessa área depende das condições aquíferas em que se encontra o poço.

Na maioria das vezes, o crescimento urbano se estende a áreas sem saneamento, onde as atividades são as causas de poluição das águas. Durante a infiltração, a água se enriquece em elementos lixiviados, tanto da superfície como das rochas, podendo atingir um poço em operação.

Cleary (1989), estabelece para o Perímetro de Proteção de Poços - PPP três diferentes zonas (Fig. 19), segundo suas características hidráulicas: ZI - Zona de Influência, ZC - Zona de Contribuição e ZT - Zona de Transporte ou Zona de Captura. A ZI é aquela associada ao cone de depressão de um poço em bombeamento, enquanto a ZC é a área de recarga associada ao poço. Teoricamente, qualquer substância móvel e persistente que se encontre dentro desta zona é conduzida para o poço em exploração, tornando-se motivo de preocupação com a qualidade da água.

A Zona de Transição ou Zona de Captura (ZT), para determinado tempo de trânsito é estabelecida com relação aos tempos específicos que supostas plumas contaminantes levam para atingir o poço, muitas vezes sem considerar a dispersão hidrodinâmica, retardação ou a degradação. Esta zona foi criada para restringir a área da Zona de Contaminação (ZC), que, em alguns casos, podem atingir valores muito elevados.

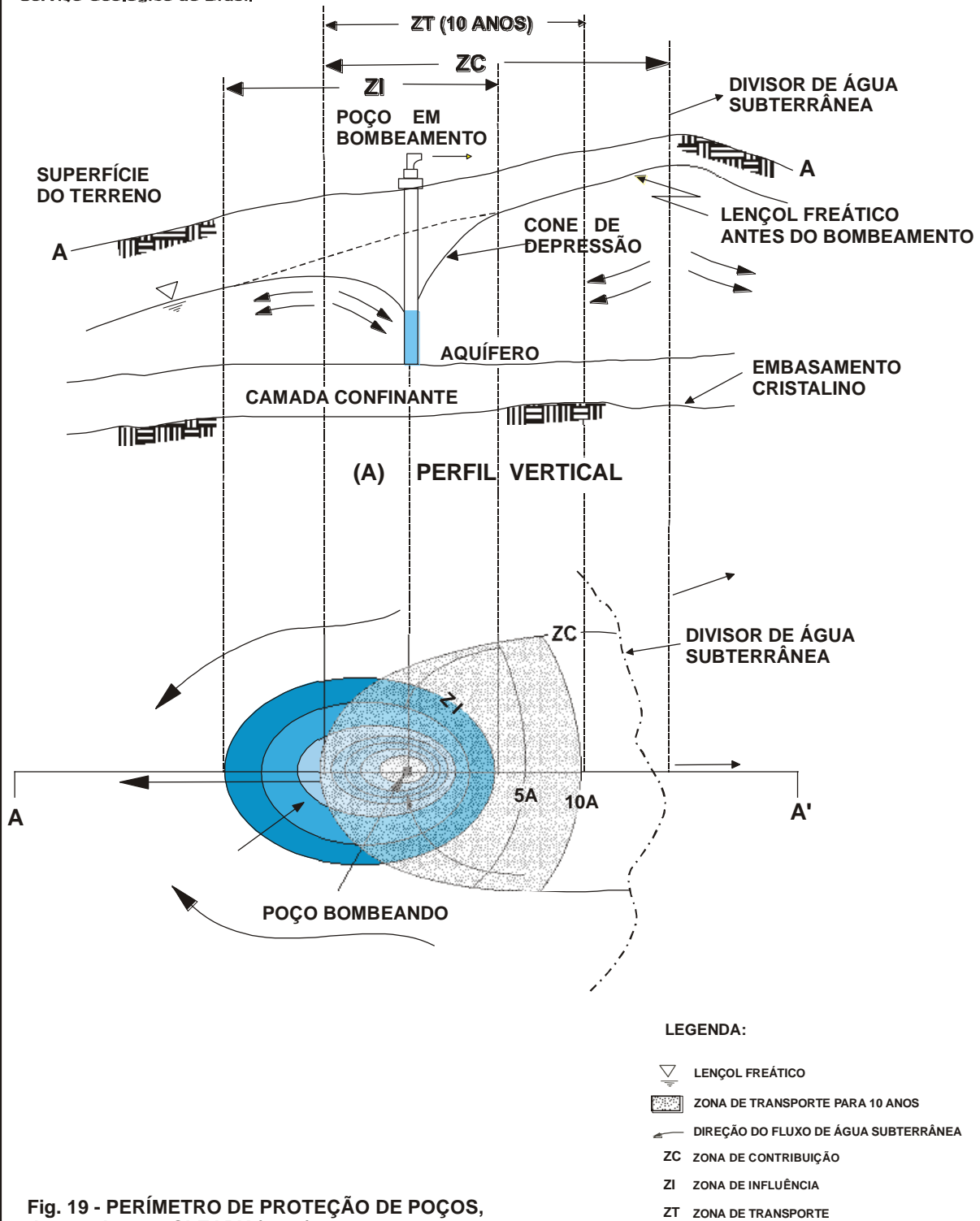


Fig. 19 - PERÍMETRO DE PROTEÇÃO DE POÇOS, de acordo com CLEARLY (1989)

Analisando-se o comportamento hidráulico de aquíferos, as ZC e ZI são iguais somente quando a superfície potenciométrica for perfeitamente plana e horizontal. Num aquífero homogêneo e isotrópico, quando apresentar a superfície potenciométrica inclinada, situação mais comum, a ZC perde o formato circular, adquirindo uma forma elíptica. Algumas condições de contorno, como a presença de barreiras positivas (rios, lagos) ou negativas (rochas impermeáveis, falhas) ou mesmo a anisotropia e heterogeneidade do meio, podem alterar o formato do PPP.

Em síntese, o monitoramento das águas subterrâneas é o controle quanto à sua qualidade, levando em conta as fontes potenciais de contaminação, bem como suas disponibilidades, em função dos desperdícios, da superexploração, das interferências e dos rebaixamentos excessivos da superfície piezométrica, dentre outros.

6.0 – MODELO PROPOSTO PARA POÇOS TUBULARES NA RMB

Em uma formação aquífera não consolidada, o filtro tem a função de suportar as pressões exercidas pelas camadas circundantes, permitir a máxima entrada de água e proporcionar meios que impeçam a passagem de areia para o interior do poço. Assim, para determinar a dimensão correta da abertura dos filtros, é necessário conhecer a granulometria dos sedimentos das camadas aquíferas.

Para a RMB foram utilizados os dados do poço tubular profundo do Conjunto Eduardo Angelim, executado pela FEMAC, em Icoaraci, e com profundidade de 266 m. Com base em amostras de calha a partir de 190 m, foram selecionados quatro intervalos significativos na produção de água. São intervalos com granulometrias heterogêneas e que apresentam intercalamentos centimétricos a métricos de calcário e argila. Estas característi-

cas são observadas a partir de 40 m, o que confere um caráter confinante para os aquíferos abaixo de desta profundidade.

Foram analisados intervalos com domínios de areia fina (190m a 200m), areia média (204 m a 212 m), areia grossa (222 m a 228 m) e apenas um intervalo de conglomerado e arenito argiloso (240 m a 252 m). De cada intervalo separou-se uma quantidade de material e o conjunto das amostras julgado como representativo dos sistemas aquíferos identificados. A granulometria das frações arenosas foi determinada por peneiramento mecânico das amostras de calha. Essas análises mostram areia fina a conglomerática, de boa a mal selecionada e seixos ou cascalhos com diâmetro de até 4 mm ou maiores.

De acordo com a escala proposta pela ABNT, as areias e pedregulhos (seixos ou cascalhos) são caracterizados pelos seguintes tamanhos:

– Areias:

Areia fina: diâmetro entre 0,05 mm e 0,42 mm;

Areia média: diâmetro entre 0,42 mm e 2,0 mm; e

Areia grossa: diâmetro entre 2,0 mm e 4,80 mm.

– Seixos ou Cascalhos:

diâmetro > 4,8 mm

De posse das amostras de calha dos intervalos selecionados, efetuou-se estudo das análises granulométricas dos aquíferos Barreiras (80 m) e Pirabas (> 190 m). De acordo com a Tabela 15, as amostras foram identificadas como 01; 02; 03; e 04 e pesaram, respectivamente, 226 g, 305 g, 315 g e 420 g.

Os dados da Tabela 15 permitiram elaborar as curvas de distribuição granulométrica e que indicam a quantidade de material retido em uma determinada peneira. Assim os grãos foram classificados como areia fina

(0,05 mm a 0,42 mm) e areia muito grossa (2 mm a 4,8 mm). No conjunto analisado, o intervalo de 190 a 200 m, e correspondente à amostra n.º 01, apresentou granulometria fina a média, enquanto a amostra n.º 04, do intervalo 240 m a 252 m, varia de areia grossa à conglomerática (Fig. 20).

Amostra N.º Fração	Material Retido Acumulado (% em peso)			
	01	02	03	04
4,00	6,63	9,73	20,52	33,50
3,36	9,26	12,38	25,26	38,83
2,83	11,91	15,40	29,56	44,73
2,38	16,27	19,56	36,08	54,21
1,98	20,37	23,44	42,19	62,72
1,68	24,43	26,94	46,56	70,22
1,00	34,49	34,22	55,16	82,61
0,71	41,16	39,71	59,61	85,55
0,42	54,39	53,69	66,98	88,59
0,25	71,22	72,16	75,09	91,18
0,17	81,07	83,51	81,52	93,27
Fundo	100,00	100,00	100,00	100,00

Tabela 15 – Análise Granulométrica dos sistemas aquíferos mais inferiores – Poço FEMAC/Conjunto Eduardo Angelim.

Ao analisar a Fig. 20, verifica-se que as curvas de distribuição granulométrica têm declividades e formatos variados. Estão próximas ou afastadas do eixo das ordenadas (origem das aberturas), revelando areia fina ou grossa. Essas características (granulometria, declividade e formato da curva) podem variar independentemente uma da outra e o estudo detalhado de cada uma delas é indispensável para o conhecimento completo da granulometria do material.

Com base nas curvas de distribuição granulométrica (diâmetro do grão e declividade da curva), obteve-se os diâmetros efetivos - **Def** e os coeficientes de uniformidades - **U**, de acordo com a Tabela 16. Estes parâmetros determinaram a abertura do filtro a ser colocado diretamente na unidade aquífera, de acordo com a Fig. 21, e correspondente aos intervalos que se apresentaram com maior ou menor retenção nos diâmetros d40% ou d50%.

Amostra N.º	Formação				Pré - Filtro			
	Def ⁽¹⁾ (mm)			U ⁽²⁾	Def ⁽¹⁾ (mm)			U ⁽²⁾
	D90	D70	D40		D90	D70	D40	
01 ⁽¹⁾	0,08	0,25	0,75	9,40	1,11	1,25	1,46	1,32
02 ⁽²⁾	0,10	0,27	0,70	7,00	1,20	1,35	1,57	1,31
03 ⁽³⁾	0,08	0,35	2,10	26,25	-	-	-	-
04 ⁽³⁾	0,30	1,67	3,20	10,67	-	-	-	-

Def⁽¹⁾ – Diâmetro Efetivo;
U⁽²⁾ – Coeficiente de Uniformidade

Tabela 16 – Coeficiente de Uniformidade e Diâmetro Efetivo da formação e do Pré-filtro.

- (1) A espessura de 190 m a 200 m é a porção fina da camada aquífera.
- (2) A espessura de 204 m a 212 m é a faixa média da camada aquífera.
- (3) A espessura de 222 m a 252 m é a faixa grossa da camada aquífera.

As curvas porcentagem retida acumulada X abertura da peneira (mm) mostra que o mais baixo **d40** é o de 0,70 mm e o mais alto é o de 3,20 mm, indicando que, para essas granulometrias, o filtro de abertura 0,70 mm é o mais compatível para a Unidade Aquífera Pirabas.

Nesse caso, onde há o envolvimento do filtro com uma camada de material mais grosso que o da formação, é necessário fixar as características do pré-filtro, que deverá ser constituído simplesmente de areia grossa a média, segundo o critério da E. E. Johnson. Assim, a abertura do filtro será correspondente ao diâmetro efetivo do material de envolvimento, equivalente à abertura que retém 90 % do material preparado, isto é, 1,11 mm para a Unidade Pirabas.

Além disso, esses dados permitiram determinar a granulometria do pré-filtro, que está compreendida entre 1,11 mm a 1,57 mm, diâmetros indicados para reter adequadamente a formação circundante, enquanto que para as outras amostras os diâmetros estão indicados na Tabela 16 e Fig. 21.

Como se trata de um aquífero estratificado, com alternância de areias, argila e calcário, caracterizando-o

ANÁLISES GRANULOMÉTRICAS

POÇO SESAN/SAEAB – CONJUNTO EDUARDO ANGELIM

RODOVIA AUGUSTO MONTENEGRO

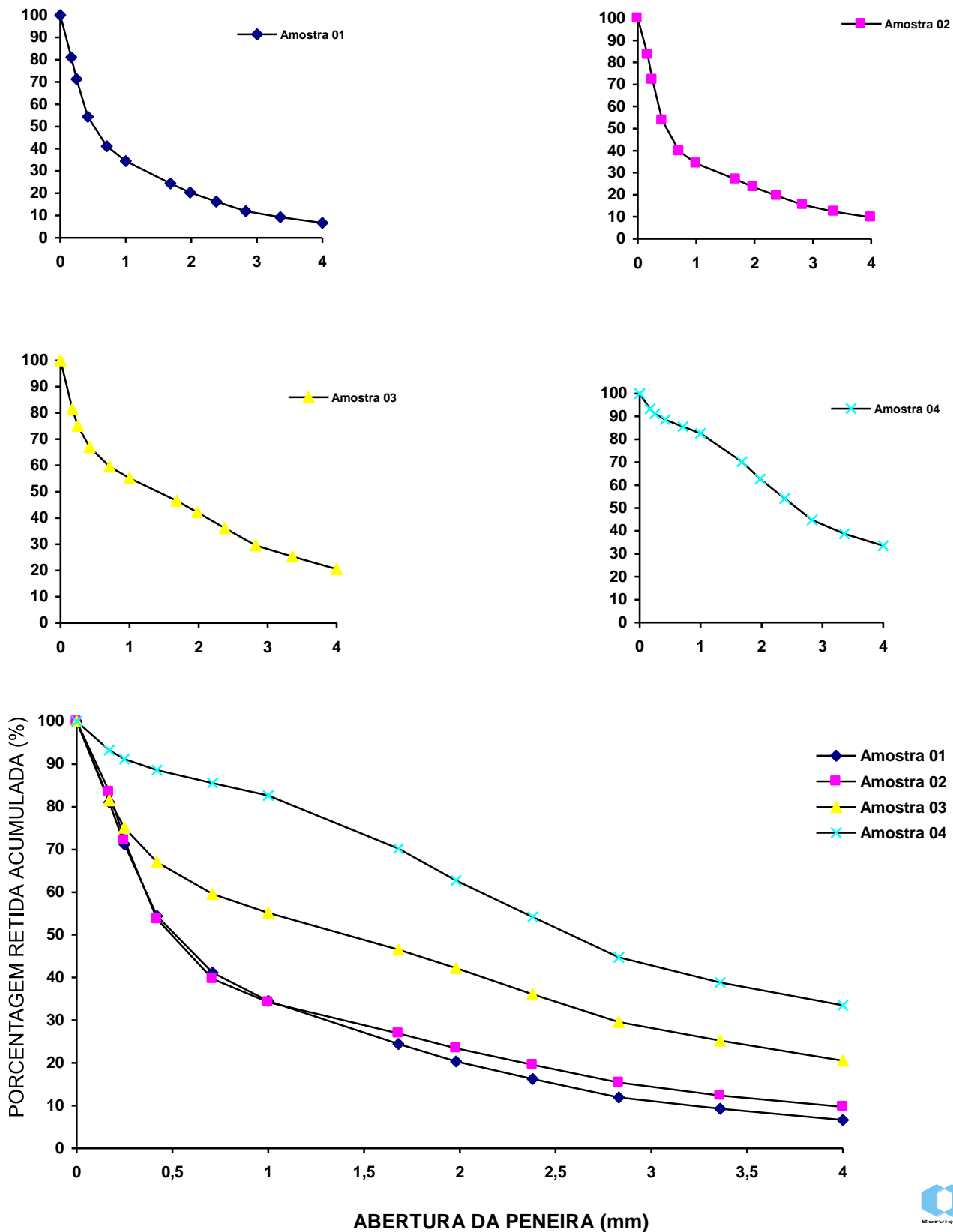


Fig. 20

ANÁLISE GRANULOMÉTRICA

POÇO FEMAC - CONJ. EDUARDO ANGELIM

SESAN / SAAEB

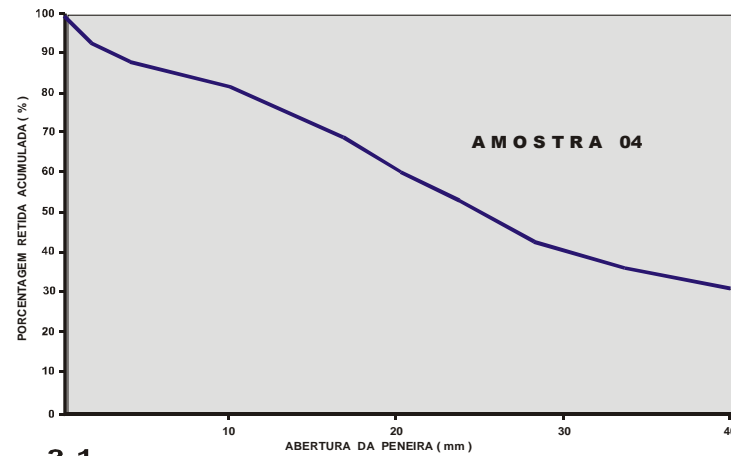
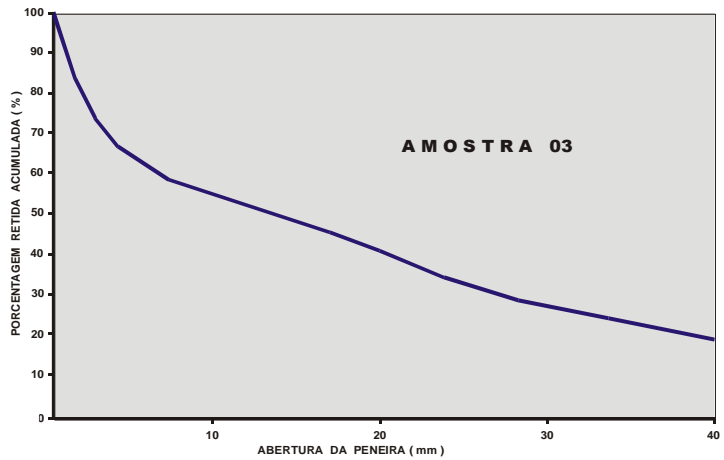
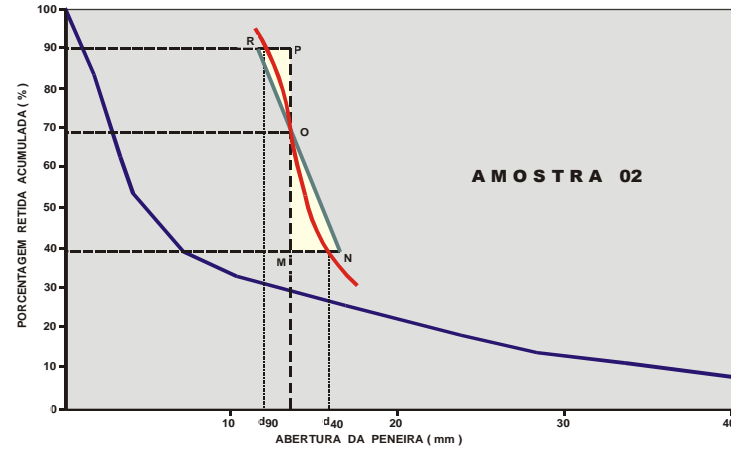
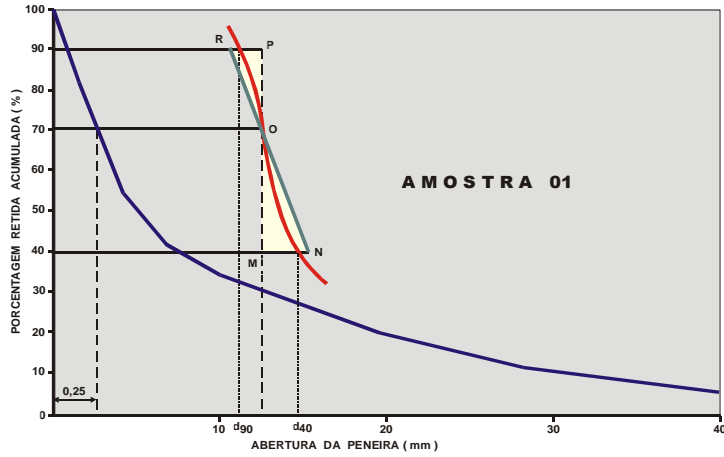


FIG. 21

como confinado, pode ser aproveitada toda a sua espessura se houver disponibilidade de filtros; caso contrário, utilizar 2/3 da camada ou selecionar os níveis aquíferos por intermédio da perfilagem gama e aplicar a metodologia da Johnson para aquífero confinado.

6.1- Dados Técnicos para Projetos de Poços Tubulares

As variáveis envolvidas na construção de poços tubulares são múltiplas, como o tipo de rocha a ser perfurada, complexidade estrutural, material a ser usado na coluna de revestimento, disponibilidade financeira, etc.

De posse desses elementos e do conhecimento dos parâmetros hidrodinâmicos do aquífero, determinados em trabalhos anteriores, define-se com segurança o diâmetro da câmara de bombeamento que, para os poços profundos da RMB, é de 14" e base postada a 100 m do solo. Mas o comprimento da câmara de bombeamento se dá em função do tipo de aquífero e da relação custo/benefício, entre outros parâmetros. Levando-se em conta essa situação e o conhecimento hidrogeológico adquirido durante a execução do projeto, foram propostos modelos esquemáticos de poço (Fig. 22 e Fig. 23), visando os aquíferos da Região Metropolitana de Belém.

Para os poços profundos, pode-se também calcular os raios ou diâmetros dos filtros através da fórmula:

$$Q = 3,14 \times 2 \times r \times h \times a \times b \times K^{1/2}$$

onde:

Q = Vazão ;

r = Raio do Filtro;

h = Extensão do Filtro;

a = % de área aberta dos filtros;

K = Condutividade Hidráulica da formação aquífera; e

b = 0,5 (admitindo-se a obstrução de 50% de "a" por cascalho).

Ressalte-se que, durante a fase de instalação da coluna de revesti-

mento, os filtros são solicitados por esforços de tração radiais e eventualmente de compressão. Esses esforços, geralmente, serão tanto maiores quanto maior for a profundidade de instalação da coluna. Entretanto os esforços de tração transmitida ao filtro pelo peso da coluna abaixo do mesmo são facilmente identificáveis (Fig. 24).

Um poço, conforme especificação acima, revestido com tubo de aço comum, filtros inoxidáveis e construído com técnica adequada, custa, na praça de Belém, em torno U\$ 200,00 o metro linear. Este custo pode variar de empresa para empresa, principalmente quando utilizados revestimentos do tipo geomecânico, como foi o caso do poço construído no Conjunto Eduardo Angelim, em Icoaraci.

Como não existe projeto padrão para construção de poços tubulares, a sua execução depende da geologia da área e da experiência do hidrogeólogo ou projetista. Para terrenos areno-argilosos, como é o caso da RMB, a perfuração deve ser rotativa, com circulação de lama à base de polímeros (CMC). O fluido de perfuração deve manter uma viscosidade aproximada de 48 s e peso específico de 9 lb/gal.

6.2 - Demanda de Água

A captação subterrânea tende a criar condições para que a água seja retirada do manancial em quantidade suficiente para atender o consumo, de forma mais racional e econômica. Faz-se necessário o conhecimento da vazão desejada, que por sua vez, é função do consumo previsto.

A demanda prevista para a RMB é função do número de habitantes. De acordo com os padrões de consumo estabelecidos pela ABNT, o consumo médio de água é de 250 l/dia "per capita". Assim, para uma população de 1.700.000 habitantes, o consumo atinge 425 milhões l/dia ou 425.000 m³/dia ou 4,95 m³/s.

PROJETO DE POÇO (PERFIL CONSTRUTIVO)

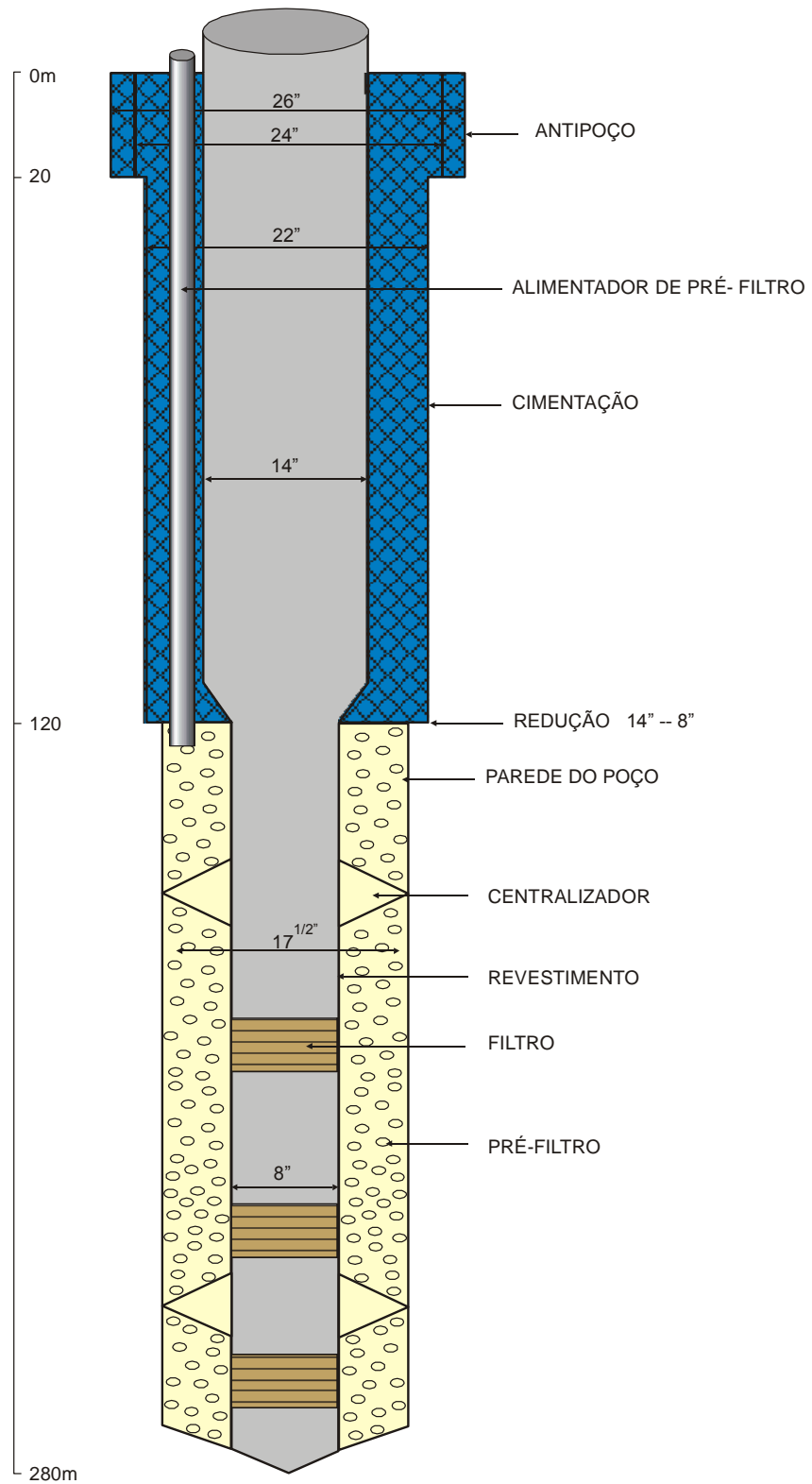


Fig. 22

PROJETO ESQUEMÁTICO DE POÇOS TUBULARES RASOS

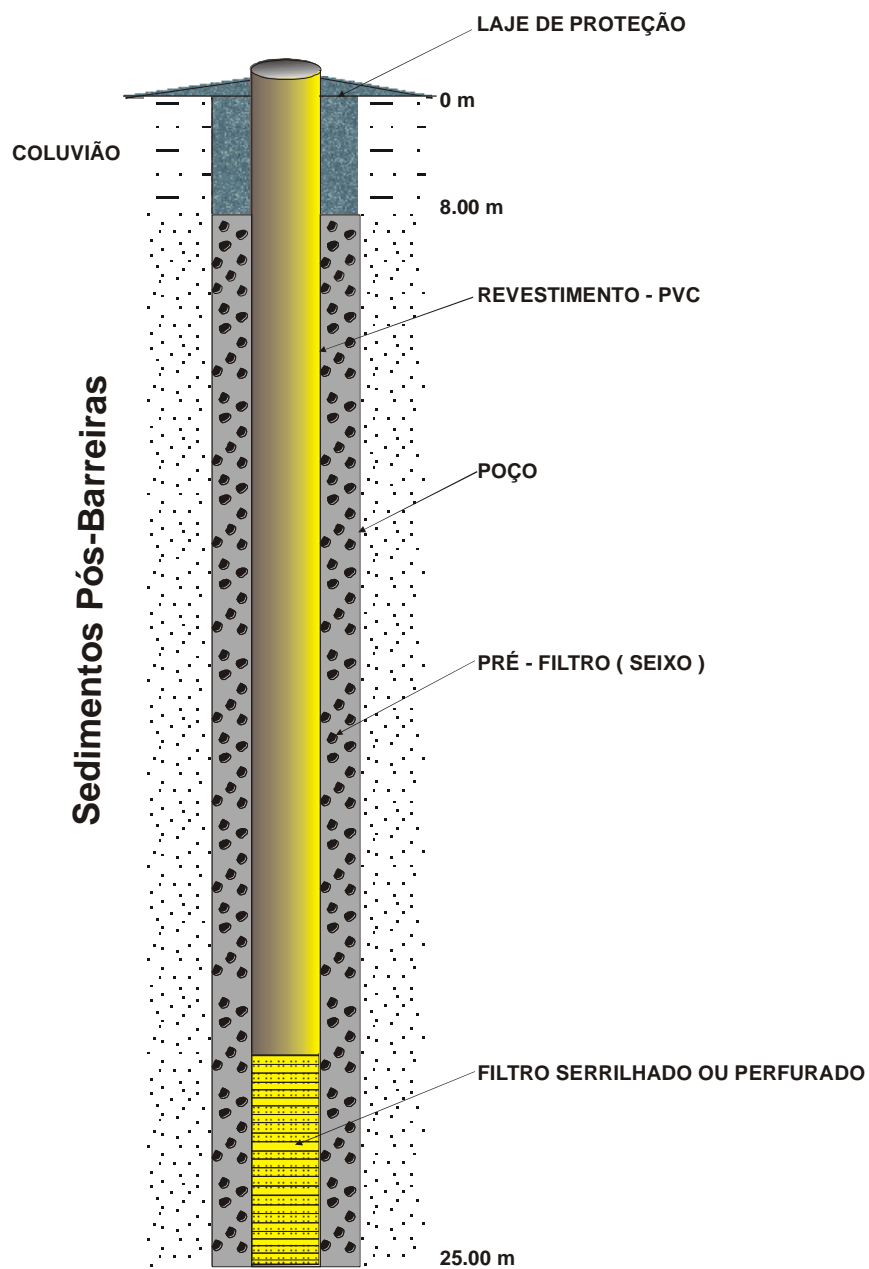
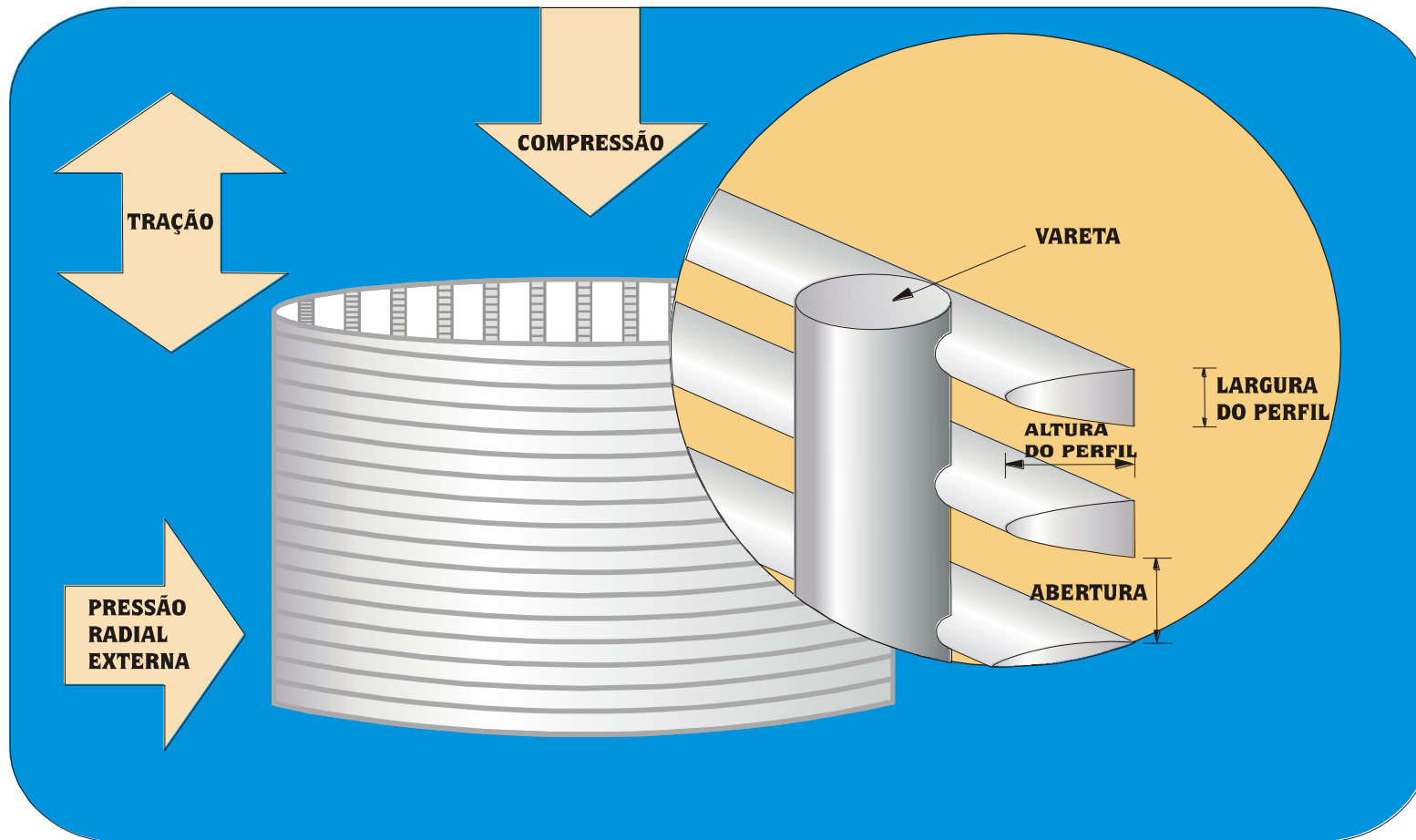


Fig. 23



Fonte: Johnson Screens

Fig. 24 - ESFORÇOS QUE ATUAM SOBRE O FILTRO

6.3 - Número de Poços (área urbana)

Para um regime de bombeamento de 20 h/dia, a produção estimada por poço de 250 m³/h e a demanda diária de 425.000m³, prevê-se cerca de 75 poços profundos para atender as atuais necessidades de abastecimento público de água da RMB, assim determinadas: divide-se a demanda diária (425.000 m³/dia) pela produção diária do poço (250 m³/h x 20 h/dia), resultando em 71 poços. Como existem 45 poços tubulares produtores na área trabalhada, há necessidade de 26 poços, no mínimo, para atender a demanda atual.

Dependendo das vazões obtidas nos poços e do condicionamento hidrodinâmico do sistema aquífero, poderá ser diminuído ou aumentado o número de poços.

6.4 - Captação Subterrânea

Com base no inventário realizado, foi avaliada, ainda de maneira preliminar, a situação da exploração atual, bem como a caracterização das zonas onde a densidade de poços mostrou-se suficiente para identificar os domínios aquíferos.

Os poços tipo amazonas (Fig. 25) exploram, geralmente, zonas aquíferas dos terraços alúvio-coluvionares, cujas profundidades variam de 4 m a 10 m, diâmetros de boca na ordem de 0,90m a 1,50 m e nível estático, medido no período, variando de 3 m a 6 m, com valor médio de 4 m. São poços, em sua maioria, adaptados com bombas submersas ou similares. Também foram registradas 71 nascentes na região, utilizadas como fontes de suprimento de granjas ou mesmo de balneários. Essas fontes são muito provavelmente afloramentos do freático, em consequência de efeito topográfico.

Já nos poços tubulares rasos, explorando zonas aquíferas dos sedimentos Pós-Barreiras, os diâmetros de perfuração são de 8" a 6" e revestidos

com tubos de PVC ou similar de 4" ou 3". A profundidade oscila entre 12 m e 18 m, raramente chegando a 25 m (Fig. 25). O nível estático, medido na época do cadastramento, entre 3 m e 5 m, com valor médio de 4 m.

Os poços tubulares de média profundidade, alguns atingindo até 100 m, exploram a Unidade Barreiras. Os diâmetros de perfuração são de 12 ¼", na maioria das vezes, e revestidos por tubos e filtros de 6".

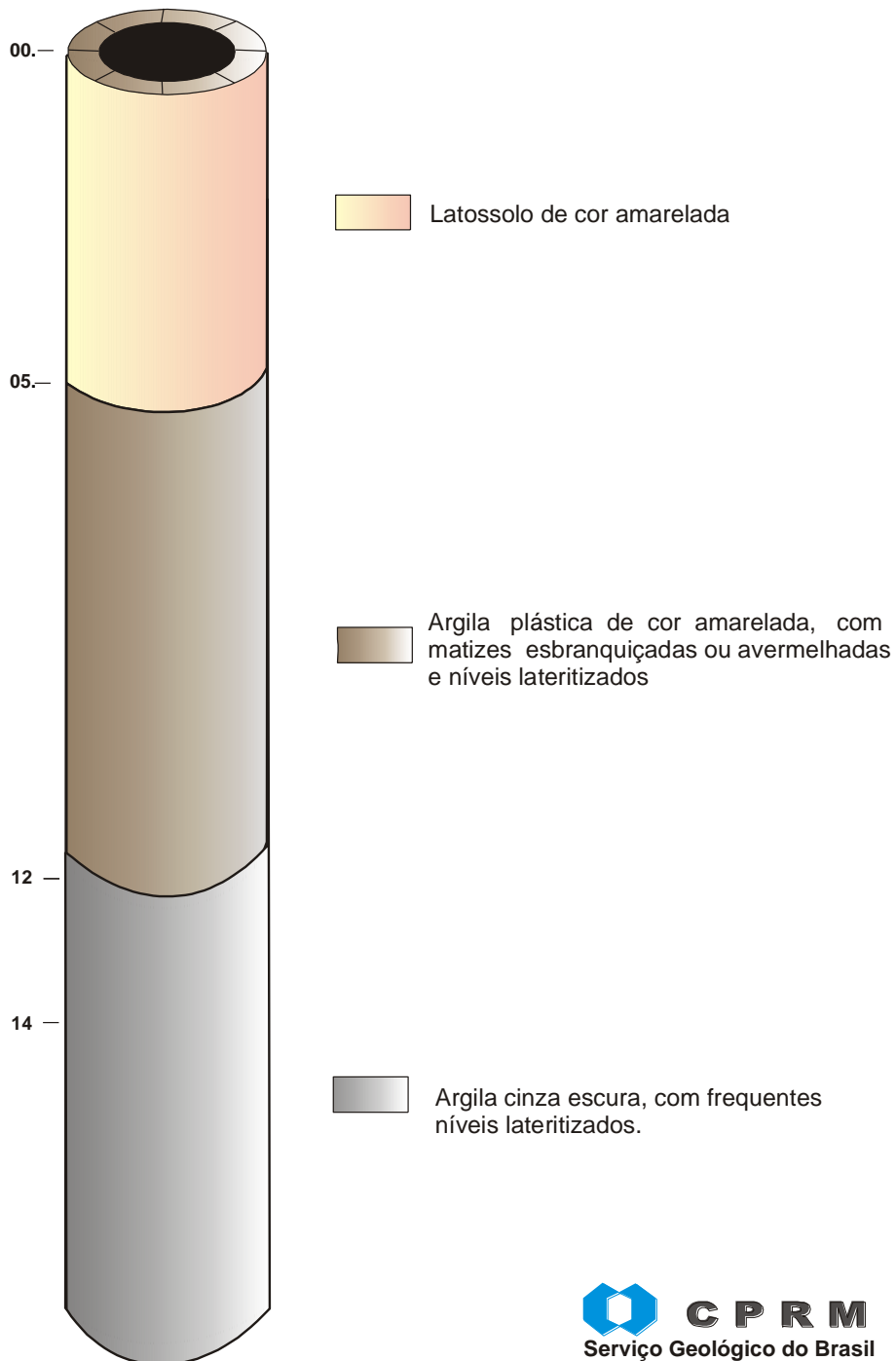
Já os poços tubulares profundos exploram a Unidade Pirabas a uma profundidade de até 280 m, sendo que o nível ideal, em qualidade e em quantidade acha-se entre 180 m e 270 m. Para estas profundidades, os diâmetros de perfuração variam de 22" a 17 ½" e são revestidos com 14" e 8", respectivamente (Fig. 04). Na composição do revestimento foram usados tubos de aço carbono "schedule 40" e filtros de aço inoxidável 304, com aberturas de 0,50 mm - 0,75 mm. Para profundidades de 200 m, em alguns poços foram utilizados tubos geomecânicos e filtros inox com ranhura de 0,5 mm e 0,75 mm.

Tanto a COSANPA quanto o SAAEB vêm utilizando um modelo novo de captação (Fig. 26) no sistema de bombeamento da maioria dos poços perfurados no final da década de 90. O modelo foi adaptado da SABESP, considerado uma inovação em termos de instalação e reposição de bombas submersas, pois reduz substancialmente o tempo nas citadas operações. Além disso dispensa tubos edutores que são corrosivos e pesados. Essa educação é substituída pela própria câmara de bombeamento do poço.

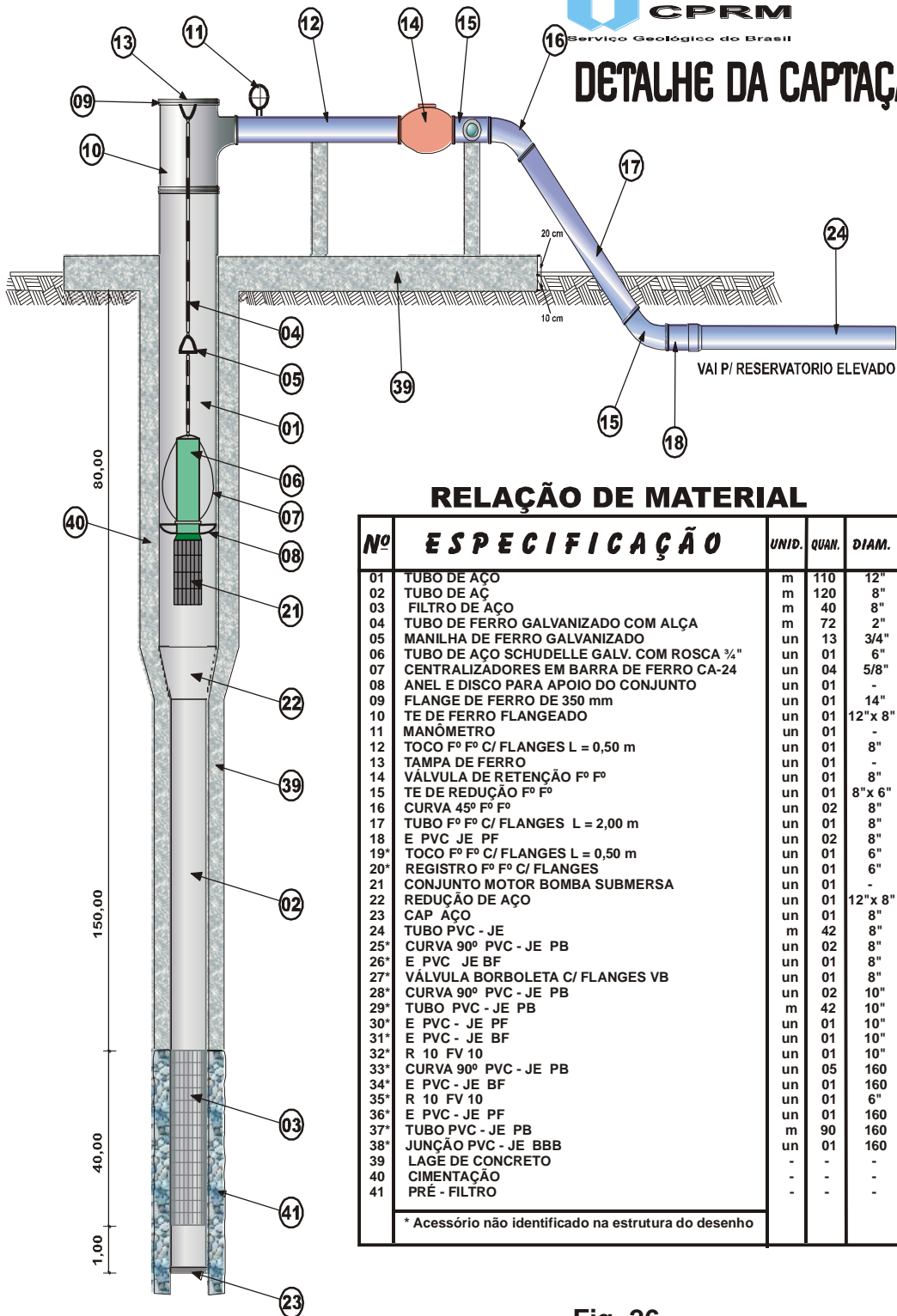
6.5 - Perfilagem geofísica

Na grande maioria dos poços profundos, foram realizadas perfilagens geofísicas, com o objetivo de determinar os aquíferos e suas espessuras (Fig. 04, Fig. 05 e Fig. 08).

PERFIL ESQUEMÁTICO DE POÇOS TIPO AMAZONAS



DETALHE DA CAPTAÇÃO



RELAÇÃO DE MATERIAL

Nº	ESPECIFICAÇÃO	UNID.	QUAN.	DIAM.
01	TUBO DE AÇO	m	110	12"
02	TUBO DE AÇO	m	120	8"
03	FILTRO DE AÇO	m	40	8"
04	TUBO DE FERRO GALVANIZADO COM ALÇA	m	72	2"
05	MANILHA DE FERRO GALVANIZADO	un	13	3/4"
06	TUBO DE AÇO SCHUDELE GALV. COM ROSCA 3/4"	un	01	6"
07	CENTRALIZADORES EM BARRA DE FERRO CA-24	un	04	5/8"
08	ANEL E DISCO PARA APOIO DO CONJUNTO	un	01	-
09	FLANGE DE FERRO DE 350 mm	un	01	14"
10	TE DE FERRO FLANGEADO	un	01	12"x 8"
11	MANÔMETRO	un	01	-
12	TOCO Fº Fº C/ FLANGES L = 0,50 m	un	01	8"
13	TAMPA DE FERRO	un	01	-
14	VÁLVULA DE RETENÇÃO Fº Fº	un	01	8"
15	TE DE REDUÇÃO Fº Fº	un	01	8"x 6"
16	CURVA 45º Fº Fº	un	02	8"
17	TUBO Fº Fº C/ FLANGES L = 2,00 m	un	01	8"
18	E PVC JE PF	un	02	8"
19*	TOCO Fº Fº C/ FLANGES L = 0,50 m	un	01	6"
20*	REGISTRO Fº Fº C/ FLANGES	un	01	6"
21	CONJUNTO MOTOR BOMBA SUBMERSA	un	01	-
22	REDUÇÃO DE AÇO	un	01	12"x 8"
23	CAP AÇO	un	01	8"
24	TUBO PVC - JE	m	42	8"
25*	CURVA 90º PVC - JE PB	un	02	8"
26*	E PVC JE BF	un	01	8"
27*	VÁLVULA BORBOLETA C/ FLANGES VB	un	01	8"
28*	CURVA 90º PVC - JE PB	un	02	10"
29*	TUBO PVC - JE PB	m	42	10"
30*	E PVC - JE PF	un	01	10"
31*	E PVC - JE BF	un	01	10"
32*	R 10 FV 10	un	01	10"
33*	CURVA 90º PVC - JE PB	un	05	160
34*	E PVC - JE BF	un	01	160
35*	R 10 FV 10	un	01	6"
36*	E PVC - JE PF	un	01	160
37*	TUBO PVC - JE PB	m	90	160
38*	JUNÇÃO PVC - JE BBB	un	01	160
39	LAGE DE CONCRETO	-	-	-
40	CIMENTAÇÃO	-	-	-
41	PRÉ - FILTRO	-	-	-

* Acessório não identificado na estrutura do desenho

Fig. 26

Ressalte-se que todos os poços submetidos a perfilagem geofísica (Potencial Espontâneo, Resistência Elétrica e Raios Gama) foram perfilados pela UFPA, com exceção dos poços de Brasília, no Outeiro, e Santa Maria em Ananindeua, ambos perfilados pela HIDROLOG/SP (Raios Gama, Normal Curta, Indução e Sônico).

Esta ferramenta é de grande utilidade para o conhecimento do pacote atravessado pela perfuração e assim definir os níveis para a colocação dos filtros. Cita-se o caso de dois poços profundos construídos em Belém, muito próximos, profundidades iguais e que atravessaram as mesmas unidades geológicas, mas que apresentaram vazões diferentes. O poço com perfilagem geofísica teve excelente vazão e o segundo, sem dados geofísicos, apresentou vazão inferior a 50 % do primeiro.

6.6 - Eficiência de poços

Na construção de poços a eficiência representa um tema importante no aproveitamento das unidades hidrogeológicas, de vez que tem implicações diretas e determinantes no custo de captação das águas subterrâneas. Portanto, um poço pode ser considerado eficiente quando se consegue obter bons resultados em termos de capacidade produtiva. Nesse sentido, deve-se evitar as mínimas dificuldades e resistências possíveis para que a água do sistema aquífero se movimente em direção à captação.

Dentro deste contexto, dois aspectos fundamentais têm implicações diretas na eficiência hidráulicas dos poços. O primeiro diz respeito ao próprio desenho construtivo da obra de captação, como os fatores ligados aos diâmetros da coluna de revestimento (tubos e filtros), espessura penetrada no aquífero e a resistência a ser criada ao fluxo d'água em direção à bomba. A outra questão se refere

aos procedimentos utilizados durante a construção do poço, onde, na maioria das vezes, os danos causados na parede dos aquíferos são produzidos pelo fluido de perfuração, criando resistências sérias e indesejáveis ao escoamento da água subterrânea.

A Tabela 17, exhibe os dados extraídos dos testes de três (03) etapas do sistema aquífero Pirabas. Assim, é possível avaliar se os poços são construídos com boa técnica. O rebaixamento real de um poço bombeado é traduzido pela equação de Jacob ($s=BQ+CQ^n$), onde s é o rebaixamento total medido no poço em produção; B e C , perdas de carga no aquífero e no poço, respectivamente; e Q , a vazão de bombeamento. Essas perdas podem ser determinadas graficamente, com plotagem das vazões no eixo das abcissas e rebaixamentos específicos na ordenada.

Com base nos resultados obtidos nos testes de produção escalonado do Poço SAAEB/COHAB (Tabela 17) foi construído o gráfico Rebaixamento Específico ($m^3/h/m$) x Vazão (m^3/h) mostrado na Fig. 27, onde substituindo-se estes valores na equação de Jacob, obtém-se a equação característica do poço ($s=0,031Q+0,00009Q^2$). De posse desse dado (Teste de Produção) construiu-se outro gráfico que forneceu a curva característica do poço (Fig. 28), mostrando que o mesmo poço pode ser explotado com vazão superior à vazão final de teste, que é de $211,76 m^3/h$, já que, a partir do "ponto crítico", o aumento dos rebaixamentos é bastante desproporcional em relação ao aumento de vazão. A vazão máxima corresponde ao ponto crítico. É recomendável que a vazão máxima não ultrapasse $340 m^3/h$, o que corresponde limitar a velocidade ascensional em $0,3 m/s$ na coluna de $8"$, evitando-se, assim, a possibilidade da ocorrência de turbilhonamento do fluxo na seção da coluna de filtros.

REGIÃO METROPOLITANA DE BELÉM
TESTE DE VAZÃO ESCALONADO

POÇO N.º	ETAPAS	Q (m ³ /h)	s (m)	s/Q (m/m ³ /h)	N. E. (m)	N. D. (m)	Coeficiente das Perdas		TEMPO (h)
							B	C	
CDP 04	1 ^a	71.52	3.48	0.049	14.84	18.32	-	-	6:00
	2 ^a	110.20	5.98	0.054	-	20.82	-	-	6:00
	3 ^a	183.05	11.54	0.063	-	26.44	0.04	0.00013	6:00
ARIRI COHAB	1 ^a	56.04	4.73	0.084	23.05	27.78	-	-	6:00
	2 ^a	110.00	10.05	0.091	-	33.10	0.076	0.00013	6:00
	3 ^a	144.88	13.57	0.094	-	36.73	0.076	0.00013	6:00
UIRAPURU COHAB	1 ^a	62.79	5.76	0.092	18.45	34.70	-	-	6:00
	2 ^a	105.82	10.69	0.101	-	29.14	-	-	6:00
	3 ^a	147.94	16.13	0.109	-	34.70	0.078	0.0002	6:00
SABIÁ 40 HORAS	1 ^a	135.00	-	-	23.70	36.13	-	-	1:00
	2 ^a	189.00	-	-	-	42.40	-	-	1:00
	3 ^a	-	-	-	-	-	-	-	1:00
CDP 06	1 ^a	90.75	2.01	0.022	14.35	16.36	-	-	6:00
	2 ^a	196.36	5.26	0.027	-	19.36	-	-	6:00
	3 ^a	216.00	6.16	0.028	-	20.56	0.018	0.00004	6:00
CDP 03	1 ^a	162.85	5.27	0.051	12.83	18.10	-	-	6:00
	2 ^a	168.75	8.92	0.053	-	21.75	-	-	6:00
	3 ^a	211.76	11.43	0.054	-	23.08	0.048	0.00003	6:00
CDP 05	1 ^a	52.25	6.77	0.129	14.32	21.09	-	-	8:00
	2 ^a	96.92	13.53	0.139	-	27.85	-	-	8:00
	3 ^a	153.24	23.97	0.153	-	38.25	0.115	0.00026	8:00
PARACURI 02	1 ^a	109.00	10.10	0.093	17.50	27.60	-	-	2:00
	2 ^a	133.00	12.20	0.092	-	29.70	-	-	2:00
	3 ^a	162.00	14.92	0.092	-	32.42	-	-	2:00
BENGUÍ	1 ^a	53.67	10.57	-	28.06	38.63	-	-	2:00
	2 ^a	123.14	14.19	-	-	42.25	-	-	2:00
	3 ^a	186.94	19.34	-	-	47.40	-	-	2:00
CORDEIRO DE FARIAS	1 ^a	85.26	18.76	-	23.97	38.33	-	-	2:00
	2 ^a	118.53	-	-	-	42.73	-	-	2:00
	3 ^a	162.00	-	-	-	46.66	-	-	2:00

Tabela 17

REGIÃO METROPOLITANA DE BELÉM
TESTE DE VAZÃO ESCALONADO

POÇO N.º	ETAPAS	Q (m ³ /h)	s (m)	s/Q (m/m ³ /h)	N. E. (m)	N. D. (m)	Coeficiente das Perdas		TEMPO (h)
							B	C	
MOSQUEIRO	1 ^a	98.00	-	-	5.23	17.12	-	-	2:00
	2 ^a	129.00	-	-	-	18.84	-	-	2:00
	3 ^a	189.00	-	-	-	20.52	-	-	2:00
SABIÁ SINCOL	1 ^a	135.00	-	-	23.70	36.13			2:00
	2 ^a	189.00	-	-	-	42.40			2:00
	3 ^a	-	-	-	-	-			2:00
*SAAEB COHAB	1 ^a	60.00	2.53	0.042	22.85	25.38			2:00
	2 ^a	110.20	5.93	0.054	-	28.78			2:00
	3 ^a	147.95	9.13	0.062	-	31.98	0.028	0.00023	2:00
SAAEB ICOARACI	1 ^a	90.75	3.50	0.039	11.29	14.75			6:00
	2 ^a	161.19	7.49	0.046	-	18.74			6:00
	3 ^a	211.76	10.49	0.050	-	21.90	0.031	0.00009	6:00
PROSANEAR COQUEIRO 02	1 ^a	97.62	5.13	0.052	21.68	26.86			5:00
	2 ^a	130.90	7.19	0.055	-	28.87			5:00
	3 ^a	174.54	10.47	0.059	-	32.18	0.044	0.000084	5:00
SAAEB BAIA DO SOL	1 ^a	72.00	6.62	0.092	6.61	13.23			6:00
	2 ^a	124.13	12.17	0.098	-	18.78			6:00
	3 ^a	186.20	19.08	0.102	-	25.94	0.086	0.00009	6:00
BENGUI 03	1 ^a	108.00	4.55	0.042	22.40	31.10			6:00
	2 ^a	168.00	7.50	0.044					6:00
	3 ^a	189.47	8.70	0.046			0.039	0.00003	6:00
CIDADE NOVA II Nº 05	1 ^a	50.47	2.42	0.048	27.90	36.57			6:00
	2 ^a	99.08	5.53	0.056					6:00
	3 ^a	140.26	8.66	0.062			0.040	0.00016	6:00
GUANABARA I	1 ^a	71.00	5.95	0.0838	25.40	31.35			2:00
	2 ^a		7.87	0.084		33.27			2:00
	3 ^a	136.80	11.80	0.086		37.20	0.0802	0.00005	2:00
GUANABARA II	1 ^a	89.80	10.58	0.1252	25.00	35.58			2:00
	2 ^a	142.00	20.79	0.1439		45.79			2:00
	3 ^a	202.20	32.88	0.1654		57.88	0.093	0.0004	2:00

Tabela 17

*Característica (Equação e Curvas) do poço SAAEB/COHAB.

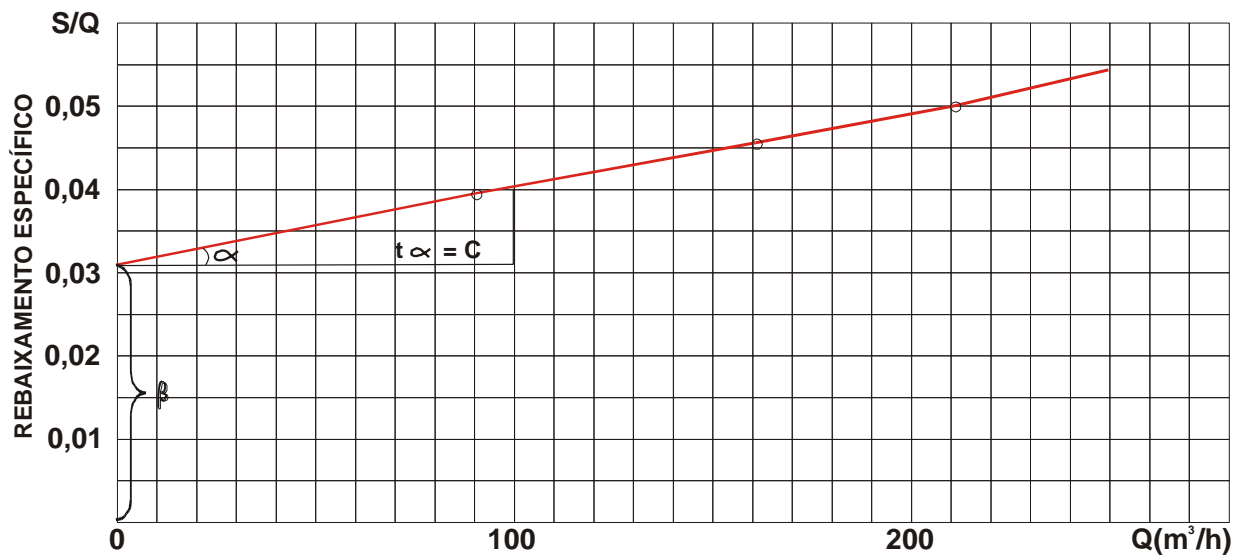


Fig. 27 - EQUAÇÃO CARACTERÍSTICA DO POÇO SAAEB/COHAB

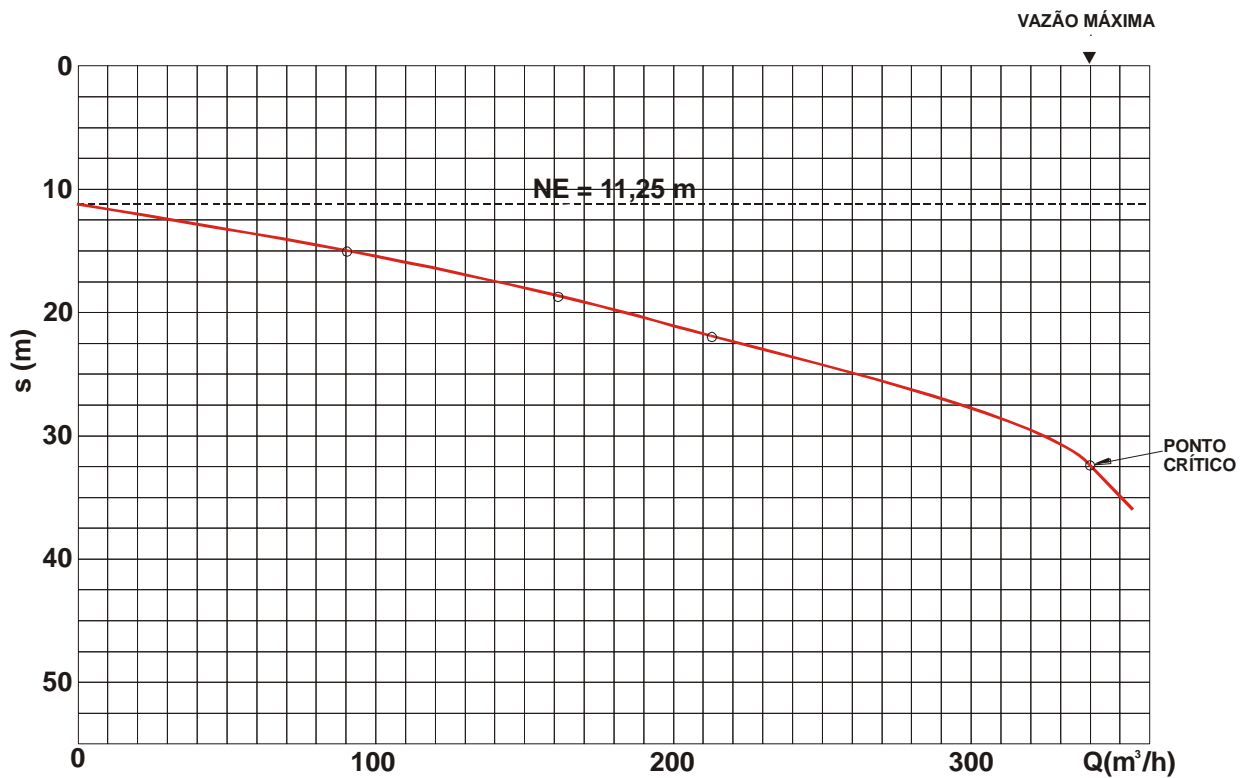


Fig. 28 - CURVA CARACTERÍSTICA DO POÇO SAAEB/COHAB



Analisando os testes de produção executados nos poços que captam a Formação Pirabas, constatou-se que as perdas de carga não lineares são bastante baixas. O poço que apresentou maior perda foi o da Guanabara.

6.7 - Manutenção de Poços

Poço é uma obra complexa de engenharia e representa a principal forma de captar água dos aquíferos. Para isso, é importante acompanhar as condições de bombeamento dessa unidade, sempre comparando as condições iniciais de funcionamento. De posse dessas informações, é possível estabelecer a manutenção adequada, a fim de evitar diminuição de vazão e desgaste da coluna de revestimento e equipamentos de bombeamento.

Os principais problemas apresentados pelos poços da Região Metropolitana de Belém, geralmente decorrem do desconhecimento das características técnicas dos poços, da vazão de exploração dimensionada de forma inadequada, da deficiência de construção do poço, do mal dimensionamento da bomba e da falta de controle dos parâmetros físico-químicos da água, dentre outros.

Vários poços, pelo menos os mais antigos, ou até mesmo os atuais, na maioria das vezes, foram construídos sem projeto técnico. Vários desses poços não têm informações sobre profundidade, posição dos filtros, tubos de revestimento, diâmetros de perfuração e dos revestimentos e descrição das litologias atravessadas. Frequentemente são comuns passagens de areia em teores excessivos ao permitido pela ABNT, tendo em vista o mal dimensionamento das ranhuras dos filtros e pré-filtros. As cimentações geralmente inexistem; quando aplicadas isolam apenas os primeiros 10 m a 20 m, insuficientes para proteger os aquíferos mais profundos das contaminações. Os testes de vazão, quando

executados, muitas vezes são mal conduzidos.

Em suma, o objetivo principal da manutenção de poços consiste em estabelecer um programa que avalie as condições de exploração, mediante o conhecimento da vazão ótima explotável, das perdas de carga, da eficiência, das características hidráulicas do aquífero captado e da qualidade da água durante todo o ano, permitindo, assim, controlar o desempenho do sistema aquífero/poço/bomba.

6.8 - Avaliação Econômica

Para a avaliação econômica de uma alternativa de abastecimento d'água, tornou-se necessário considerar alguns conceitos de matemática financeira, que têm aplicabilidade em grandes e pequenos projetos, a exemplo da construção de um poço.

A fim de possibilitar a obtenção dos dados para o projeto, procedeu-se a um levantamento dos principais fatores que interferem no custo da captação subterrânea, como preço do poço, equipamentos e consumo de energia.

Estimando-se em R\$ 200.000,00 o custo de um poço em rocha sedimentar, bem como o preço da bomba submersa em R\$ 3.000,00 e sua vida útil em 10 anos e regime de bombeamento em 20 h/dia e considerando, ainda, a taxa de manutenção em 5% do valor do poço e o custo de energia $P \text{ (KW)} = 15 \text{ Q.H}$ para a bomba submersa, pode-se calcular o fator de recuperação do capital investido. Ainda projetou-se uma câmara de bombeamento de 14", com altura manométrica de 100 m, para extrair uma vazão de 250 m³/h. Com base nestes parâmetros, o custo de produção da água fica em R\$ 0,0735/m³. Sob estas circunstâncias, podem ser determinados os custos relativos aos consumos mensal ou anual (demanda x custos) e, assim, calcular em quanto tempo será repostado todo o capital investido.

6.8.1 – Cálculo do Fator de Recuperação de Capital do Poço Tubular

$$Pp = R\$ 200.000 \quad n = 30 \text{ anos,}$$

Sendo $i = 12\%$

$$Ap = P \cdot i (1+i)^n / [(1+i)^n - 1], \text{ onde:}$$

Ap = valor da amortização anual;

P = custo inicial;

i = taxa de juros de 5% ao ano;

n = período de duração. ($n=30$ anos).

$$Ap = 24.828,73$$

6.8.2– Cálculo do Fator de Recuperação das Gerações de Bombas

$$Ab = F / (1+i)^n, \text{ onde}$$

Ab = valor principal do conj de bombas;

F = custo inicial ;

i = taxa de juros, 5% ao ano;

n = período de duração.

$$Ab_1 = R\$ 3.000,00$$

$$Ab_2 = R\$ 311,00$$

$$Ab_3 = R\$ 100,13$$

$$Sb = Ab_1 + Ab_2 + Ab_3$$

$$Sb = R\$ 3.411,13$$

6.8.3. - Cálculo do Fator de Recuperação do Custo de Energia ($P = 15 \times Q.H$)

$$Q = 250 \text{ m}^3/\text{h} = 6,94 \times 10^{-2} \text{ m}^3/\text{s}$$

$$H = 100\text{m (Altura manométrica)}$$

$$P = 15 \times Q \times H \text{ (KW)}$$

$$P_{1h} = 15 \times 6,94 \times 10^{-2} \times 100$$

$$P_{1h} = 104,17$$

(P_{1h} - Potência de energia consumida em uma hora de bombeamento).

$$P_{20h} = 104,17 \times 20$$

$$P = 2083,40 \text{ KW}$$

(P_{20h} - Potência de Energia consumida em 20 horas de bombeamento).

$$Ae = 2083,40 \times 0,1169 \times 365 \text{ dias}$$

$$Ae = R\$ 88.895,55$$

(Ae - Tarifa de energia)

6.8.4– Cálculo do Fator de Recuperação do Custo de Manutenção

$$Am (5\% Pp) = 0,05 \times 200.000,00$$

$$Am = R\$ 10.000,00$$

6.8.5. - Cálculo do Custo de Produção/ m^3 de Água: CP

$$\begin{aligned} \text{Produção Prevista anual} &= Q \times h = \\ &= 250\text{m}^3/\text{h} \times 7.200\text{h} = \\ &= 1.825.000 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

$$CP = (Ap + Ab + Ae + Am) / \text{Volume Anual}$$

$$CP = (24.828,73 + 411,13 + 88.895,55 + 20.000,00) / 1.825.000$$

$$CP = R\$ 0,0735/\text{m}^3$$

7.0 – CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

As informações aqui transmitidas têm caráter preliminar e expõem o estado de exploração dos recursos hídricos subterrâneos, servindo, portanto, como ponto de partida para trabalhos futuros. Nesta fase, foram cadastrados 2.263 pontos d'água. Certamente, muitos poços amazonas seriam ainda detectados em um trabalho de censo, casa a casa, mas que foge aos objetivos propostos.

Os objetivos concebidos para este projeto foram, em parte, alcançados, destacando-se a problemática do abastecimento d'água para a população, projeto de poço tecnicamente adequado às características hidrogeológicas da área, análise química e caracterização das unidades aquíferas

potenciais. São itens que virão auxiliar na maximização do aproveitamento técnico-econômico dos poços que, doravante, venham a ser construídos na região.

O levantamento hidrogeológico realizado na Região Metropolitana de Belém obteve êxito, em especial à cartografia, à descrição das unidades litoestratigráficas e à avaliação dos recursos hídricos subterrâneos, permitindo as conclusões pertinentes a seguir:

- As rochas mais antigas pertencem à Bacia Amazônica, que englobam a Formação Pirabas (Mioceno Inferior), Grupo Barreiras (Mioceno Superior), Cobertura Detritico-Laterítica (Plio-Pleistoceno) e pelos Depósitos Aluviais (Quaternário).

- O Aquífero Pirabas se constitui na principal opção para captação imediata de água subterrânea, com poços de profundidades de 220 m a 300 m, vazões em torno de 200 a 500 m³/h; e água de excelente qualidade, portanto, utilizável para quaisquer fins.

- O Aquífero Barreiras se apresenta como segunda opção de captação; os poços, com profundidades de 40 m a 100 m e vazões na ordem de 20 a 100 m³/h, apresentam, na maioria das vezes, alto teor de ferro, sendo desaconselhável para fins nobres sem tratamento.

Os aquíferos da Cobertura Detritico-Laterítica (areno-argilosos) e os depósitos quaternários (essencialmente arenosos) são os mais utilizados pela população, com poços de 12 m a 30 m. Em alguns locais, como nos platôs e planície de inundação, não são favoráveis para a captação de água por poços rasos, já que o teor de ferro é excessivo. As vazões não ultrapassam a 10 m³/h, sendo a média aproximada de 3 m³/h. Nas áreas de baixa-
da, os poços estão sujeitos a alta poluição, devido às baixas condições de higiene em que vivem os moradores.

No que se refere a exploração e exploração dos recursos hídricos subterrâneos, recomendam-se estudos adicionais que visem o melhor conhecimento qualitativo e quantitativo dos aquíferos regionais. Nesse sentido, cabem as seguintes ações:

- Realização de poços de 500 m, visando a determinação de sistemas aquíferos sotopostos aos atuais e que possam ser mais favoráveis quanto a vazão, qualidade e reservas.

- Apresentação sistemática, sob forma de relatório, das características hidrogeológicas das unidades aquíferas, com testes de aquífero e acompanhamento em piezômetros, a fim de consubstanciar os parâmetros hidrodinâmicos.

- Monitoração das áreas mineradas, onde a lavra de areia e brita, que ocorre na periferia, é efetuada até quase a exposição do nível freático, o que poderá permitir a contaminação dos aquíferos mais superficiais, pois, na maioria desses depósitos, não há recuperação das áreas degradadas, tendo em vista a falta de fiscalização pelos órgãos de preservação ambiental.

- O progressivo grau de poluição dos principais rios urbanos da RMB, detectados pela CPRM, através de análises físico-químicas e bacteriológicas, sugere o desenvolvimento de programas para diagnosticar e mapear as fontes poluidoras desses mananciais.

- Poços para pequenas demandas devem ser dirigidos para as formações quaternárias e Cobertura Detritico-Laterítica; são notórias suas limitações como reservatórios de água, porém, alguns níveis arenosos justificam as perfurações de poços tubulares rasos, buscando vazões da ordem de 5 a 10 m³/h.

- No caso de demanda expressiva, recomenda-se a captação do Aquífero Pirabas, de onde poderão ser exploradas vazões de até 400 m³/h, numa profundidade de 500 m ou mais.

- A realização de análises físico-químicas se reveste de importância capital, não apenas como ferramenta auxiliar para uma maior compreensão dos mecanismos de recarga e descarga dos sistemas aquíferos, mas, também, para a determinação da qualidade da água armazenada; Estas observações iniciais e preliminares demonstram a fragilidade em que se encontram os recursos hídricos da RMB, que precisam de monitoramento mais detalhado com análises físico-químicas e bacteriológicas, para que, futuramente, sejam elaborados projetos que produzam melhorias na qualidade de suas águas e conseqüentemente na vida da população.

- Para poços escavados e tubulares rasos devem ser dadas atenções especiais, por serem utilizados em larga escala pela população mais carente, pois a mesma não dispõe de esgoto sanitário e seus poços têm uma relação promíscua com as fossas biológicas; os dejetos das fossas, com o passar do tempo, se infiltram e atingem o lençol freático, contaminando, assim, as águas dos poços.

- Face à inexistência de estudos hidrogeológicos específicos na região, recomenda-se a realização dos mesmos, em nível que permita estabelecer uma política de gestão dos recursos hídricos de origem subterrânea.

- Para subsidiar os bancos de dados que vierem a ser formados no país, as Prefeituras da RMB poderão criar Leis Municipais para que todo poço construído seja registrado e o cadastro repassado aos órgãos gestores da água subterrânea.

Há necessidade, por parte do Poder Público, de realizar planejamento e saneamento mais eficazes para a região, de modo a contemplar, também, os bairros da periferia urbana, através da construção de rede de distribuição de água tratada, construção de poços

tubulares profundos ou mesmo a implantação de microsistemas.

- Do exposto, o abastecimento de água é um dos mais cruciantes e graves problemas da RMB, sendo necessárias medidas mitigadoras, por parte dos gestores municipais, para minimizar este lastimável quadro; nestas circunstâncias, uma alternativa é a utilização de água subterrânea, armazenada nos sistemas aquíferos mais profundos, conforme atestam os poços da COSANPA e do SAAEB, que possuem centenas de metros.

- Elaborar Mapa Isopiezométrico dos aquíferos, a fim de calcular as flutuações de suas reservas e delimitar as bacias hidrogeológicas.

- Melhorar o aproveitamento dos poços tubulares, com a instalação de unidades de bombas submersas adequadas à vazão do poço, para suprir as necessidades de água de forma mais eficiente.

- Consubstanciar o Mapa Hidrogeológico na escala 1 : 50.000 com as seções dos poços profundos.

- Conscientizar as entidades governamentais, como a SECTAM e o Ministério Público, para o gerenciamento dos recursos hídricos do estado do Pará, exercendo o controle na captação dos recursos hídricos subterrâneos e no cumprimento das normas vigentes. Ao Conselho Regional de Engenharia, Arquitetura e Agronomia cabe acompanhar a construção de poços tubulares dentro das normas da ABNT, exigindo um Relatório Técnico do Poço, além da respectiva Anotação de Responsabilidade Técnica (ART).

- Alertar o poder público, quando da implantação de sistema de abastecimento na RMB, para que sejam feitos estudos técnicos que levem em consideração as características hidrogeológicas locais, visando a escolha da melhor alternativa e evitar desperdícios de recursos financeiros.

A análise do problema ambiental, provocado pelos postos de combustíveis da RMB, permite sugerir o seguinte:

- Construir um banco de dados com todos os postos de combustíveis existentes na região;

- Criar um órgão centralizador das informações relativas aos postos revendedores de combustíveis e dos responsáveis pela fiscalização da segurança dos mesmos;

- Definir as áreas consideradas de segurança, considerando a proximidade das atividades sensíveis aos postos revendedores de combustíveis. Os postos de combustíveis nessas áreas deveriam obedecer critérios mais rígidos de proteção contra vazamentos em SASCs;

- Elaborar um plano de testes e de monitoramento a ser implementado em todos os postos revendedores de combustíveis, com definição clara da periodicidade com que os mesmos devem ser realizados; e

- Mapear a relação de proximidade entre os postos e as diversas instalações urbanas, como os canais fluviais, rede de esgoto, dutos de eletricidade, túneis e garagens subterrâneas.

8.0 – BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

- ACKERMANN, F. L. Esboço para Geologia entre a cidade de Belém - Rio Gurupi e Atlântico – Rio Guamá. – Belém: UFPa, 1969. 90p.
- ARAI, M., UESUGUI, N. ROSETTI, D. F.; GÓES, A. M. Considerações sobre a idade do Grupo Barreiras no Nordeste do Estado do Pará. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 35, Belém, 1988. Anais... Belém: SBG, 1988. P. 738–752.
- BAHIA, R. R., ABREU, F. de A. M. O “rift” do Amazonas”. Sistema aulacogênico na Plataforma Amazônica. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DA AMAZÔNIA, 1, Belém, 1985. Anais... Belém: SBG, 1985. P. 222 – 229.
- BARBOSA, G. V.; RENNÓ, C. V.; FRANCO, E. M. S. Geomorfologia da Folha SA-22. Belém. - Rio de Janeiro: DNPM/RADAM, 1974. P.11 (Levantamento de Recursos Naturais, 5)
- BEZERRA, P.E.L.; PEREIRA, E. R. Plano Diretor de Mineração em áreas urbanas. Região Metropolitana de Belém e adjacências; relatório final. - Belém: IBGE/SEICOM, 1993. 141 p. il.
- CONCEIÇÃO, A. L., Riscos Ambientais para o manancial do Utinga (Belém) Belém: 1995. Monografia (Área de riscos Ambientais) Centro Tecnológico e Núcleo de Meio Ambiente – NUMA, UFPa.
- COSANPA. Relatório de Construção de poços profundos, Bairro PAAR, Z. – Ananindeua - Pa: CONTEP, 1997, 41 P il.
- COSANPA. Relatório de Construção de poços tubulares profundos - Bairro Guanabara. - Ananindeua - Pa: CONTEP, 1997. il.
- COSANPA. Relatório de construção de poços tubulares profundos, Bairro Cidade Nova II. – Ananindeua - Pa: FEMAC, 1996. il.
- COSTA, J. B. S. HASUI, Y. O. Tectônica Mesozóica-Cenozóica da Região Norte do Brasil. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE ESTUDOS TECTÔNICOS, 3, Rio Claro - SP, 1991. Resumo... Rio Claro - SP: SBG, 1991. p. 108 – 109.

- FARIAS, E. S.; NASCIMENTO, F. S.; FERREIRA, R. A. A. Relatório Final de Estágio de Campo, 3, área Belém / Outeiro. – Belém: UFPa/CG, 1992.
- FERREIRA, C. S. Contribuição à Paleontologia do Estado do Pará. O gênero *Orthaulax* Gabb, 1872 na Formação Pirabas. In: SIMPÓSIO. SOBRE A BIOTA AMAZÔNICA, Rio de Janeiro, 1967. Atas do..., Rio de Janeiro: 1967, v.1 p.169–185.
- FOSTER, S. Fundamental concepts in aquifer vulnerability risk and protection strategy. Proc Intl Conf. “Vulnerability of soil and groundwater to pollutants” (Noordwijk, The Netherlands/April 1987).
- FOSTER, S. S. D. & HIRATA, R. Riscos de Poluição de Águas Subterrâneas. In: CONGRESSO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, São Paulo, 1988. Anais... São Paulo: ABAS, 1988, . P.175 - 185.
- FRANCISCO, B. H., FERREIRA, C. S. As relações da Formação Pirabas (Oligoceno-Mioceno) com as Formações continentais terciárias no nordeste do Pará. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 35, Belém, 1988. Anais do... Belém: SBG, 1988. v. 2 p. 761 – 764.
- GÓES, A. M. Modelo deposicional preliminar para Formação Pirabas., nordeste do Pará. Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi. Belém, v 2 p 3 - 15, 1990.
- GOLWER, A. Underground purification capacity. IAHS Publication v. 142, p. 1063 – 1072, 1983.
- IGREJA, H. L. S. Estudos neotectônicos nas ilhas de Outeiro e Mosqueiro – Nordeste do Estado do Pará. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 35; Belém, 1988. Anais... Belém: SBG, 1988. v. 6 P. 2110 – 2123.
- KATZER, F. Geologia do Estado do Pará (Brasil) Boletim do Museu. Paraense de História e Ethnografia. Belém, n. 9, 1933. 269p. il.
- LEAL, O. Vulnerabilidade das águas subterrâneas da Região Metropolitana de Recife. - Recife: CPRM/FIDEM, 1994. 24p. il. (Série Recursos hídricos, 2).
- LIMA, M. J. C. de Geologia da Folha SA.22. Belém. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 22, Porto Alegre, 1974. Resumo das... Porto Alegre: SBG, 1974. P. 691 – 696.
- LUDWIG, G. Geology of the Marajó Basin. - PETROBRÁS DEXPRO/DIVEX, 1964. Relatório Interno.
- MAURY, C. Fósseis terciários do Brasil com descrições de novas formas cretáceas. Monografia do Serviço Geológico e Mineralógico. Rio de Janeiro, nº 4, 1924. 665p.
- OLIVEIRA, J. R. de. Caracterização preliminar das Potencialidades aquíferas do município de Ananindeua com proposta técnica para perfuração de poços tubulares profundos para captação de água subterrânea – Pará. Belém: CPRM/PEHRMB, 1998.
- OLIVEIRA, J. R. de Caracterização preliminar das potencialidades aquíferas do Distrito de Icoaraci com proposta técnica para perfuração de poços tubulares profundos para captação de água

- subterrânea – Pará. – Belém: CPRM/PEHRMB, 1998.
- OLIVEIRA, J. R. Construção de poços tubulares profundos no RMB. In: CONGRESSO MUNDIAL DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 1, Fortaleza, 2000. Anais... Fortaleza: ABAS, 2000.
- OLIVEIRA, J. R. de. Estudo preliminar sobre as potencialidades hidrogeológicas da área urbana de Itaituba com proposta, técnica para perfuração de poços tubulares profundos para abastecimento de água subterrânea – Sudoeste do Estado do Pará. – Belém: CPRM-PRIMAZ. 1996.
- OLIVEIRA, J. R. de. Potencialidades hidrogeológicas da área urbana de Marabá com proposta técnica para perfuração de poços tubulares profundos para abastecimento de água subterrânea – sudoeste do Estado do Pará. – Belém: CPRM/PRIMAZ, 1996.
- OLIVEIRA, J. R. de. Potencialidades hidrogeológicas da área urbana de Santarém com proposta técnica para perfuração de poços tubulares profundos para captação de água subterrânea – sudoeste do Estado do Pará. – Belém: CPRM/PRIMAZ, 1996.
- PETRI, S. Foraminíferos miocênicos da Formação Pirabas. Boletim da Faculdade de Filosofia Ciências e Letras da USP, nº 216, 1957. 72p. (Série Geologia, 16).
- PINHEIRO, R. V. L. Estudo Hidrodinâmico e Sedimentológico estuarino Guajará - Belém (PA). Belém: 1988. Tese (Mestrado) Instituto de Geociências – UFPa.
- PIUCI, J. Hidrogeologia da área piloto de Ponta de Pedras. Ilha de Marajó. – Belém: 1978. Tese (Mestrado) Centro de Geociências da UFPa.
- REBOUÇAS, A. da C. Geologia. Módulo de gestão de aquíferos. 1996. (Curso de Especialização em águas subterrâneas).
- ROSSETTI, D. F. Estudo Paleoambiental e Estratigráfico na Região Bragantina, Estado do Pará. Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi, Belém, 1988. 87p. (Trabalho de Aperfeiçoamento Científico).
- ROSSETTI, D. F., TRUCKENBRODT, W.; GÓES, A. M. Estudo Paleoambiental e estratigráfico dos Sedimentos Barreiras e Pós-Barreiras na Região Bragantina, nordeste do Pará. Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi, v. 1, n. 1, 1989 74p.
- SÁ, J. S. Contribuição à geologia dos sedimentos Quaternários e Terciários da Região Bragantina. Estado do Pará. Boletim do Instituto de Geociências e Geológico.
- SAAEB. Relatório de Construção de Poços Tubulares Profundos, Conjunto Eduardo Angelim, FEMAC. Belém: 1997, il
- SAAEB. Relatório de Construção de Poços Tubulares Profundos, Icoaraci, Belém - Pa. Belém: FEMAC, 1998.
- SAAEB. Relatório de Construção de Poços Tubulares Profundos, Belém -Pa. Icoaraci. HIDROENGE Araraguara -SP: 1997.
- SAUMA FILHO, M. As águas subterrâneas de Belém e adjacências: Influência da Formação Pirabas e parâmetros

- físico-químicos para medidas de qualidade. Belém: 1996. 128p. Dissertação (Mestrado em Geoquímica e Petrologia) Centro de Geociências da UFPa
- SCHALLER, H., VASCONCELOS, D. N., CASTRO, J. C. Estratigrafia preliminar da Bacia Sedimentar da foz do rio Amazonas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 25, São Paulo, 1971. Anais... São Paulo, SBG, 1971 v. 3 P. 189 – 202.
- SILVA, S. O., LOEWENSTEIN, P. Contribuição à Geologia da Folha de São Luís (SA-23) no Estado do Pará; II – Novas Localidades e Razão magnésio/cálcio do calcário Pirabas. Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi. Belém, n.13. 1968. 17p. il (Nova Série Geologia).
- SIMÕES, M. F. Coletores – pescadores ceramistas do Litoral do Salgado (Pará). Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi. Belém, v.78, p.1 – 33, 1981. (Nova Série Antropologia).
- SUDAM-EMBRAPA. Estudos Climáticos do Estado do Pará, Classificação Climática (Köppen) Deficiência Hídrica (Thorntwaite, Mather). Belém: SUDAM, 1993 53p. il.
- TANCREDI, A. C. F. N. S. Recursos hídricos Subterrâneos de Santarém – Fundamentos para Uso e Proteção. Belém: 1996. Tese (Doutorado) CPGC da Universidade Federal do Pará.
- TEIXEIRA, L. V. B., CONTE, L. T. R. Estudo integrado da Região de Soure – Salvaterra (PA). 1991.
- VITAL, H. Estudo do Geossistema do Lago Arari, Ilha de Marajó – Pará. – Belém: 1988. 108p. Tese (Mestrado) Centro de Geociências da UFPa.