



Universidade Federal do Pará
Centro de Geociências
Curso de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica

**“AS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DE BELÉM E ADJACÊNCIAS: INFLUÊNCIA DA
FORMAÇÃO PIRABAS E PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS PARA MEDIDAS DE
QUALIDADE”.**

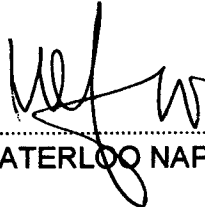
TESE APRESENTADA POR

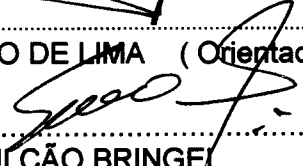
MICHEL SAUMA FILHO

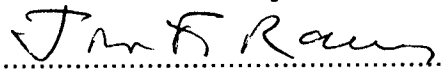
Como requisito parcial à obtenção do Grau de Mestre em
Ciências na Área de GEOQUÍMICA.

Data de Aprovação 08 / 04 / 96

Comitê de Tese:


.....
WATERLOO NAPOLEÃO DE LIMA (Orientador)


.....
SÉRGIO ROBERTO BULÇÃO BRINGEL


.....
JOSÉ FRANCISCO DA FONSECA RAMOS

BELÉM

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
CENTRO DE GEOCIÊNCIAS
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA E GEOQUÍMICA

AS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DE BELÉM E ADJACÊNCIAS:
INFLUÊNCIA DA FORMAÇÃO PIRABAS E PARÂMETROS FÍSICO-
QUÍMICOS PARA MEDIDAS DE QUALIDADE

TESE APRESENTADA POR
MICHEL SAUMA FILHO

Como requisito parcial à obtenção do
Grau de Mestre em Ciências na área de
GEOQUÍMICA E PETROLOGIA

Orientador:
WATERLOO NAPOLEÃO DE LIMA

ABR/1996

Aos meus pais.

A Fátima, minha esposa pela
paciência e compreensão,
grande responsável por este
trabalho.

A meus filhos. Michel, Camila
e Marcel, ainda crianças, que
um dia possam compreender este
legado.

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Waterloo N. de Lima pela orientação deste trabalho, com manifestações serenas e de sabedoria fundamentais a sua conclusão.

Aos Profs. Drs. Francisco Ramos e Sérgio Roberto B. Bringel pelas sugestões na apreciação como membros da Comissão Examinadora.

Aos Profs. Drs. José Luís Gouveia e Geraldo Alves pelo apoio cedendo dados de perfis geofísicos.

Aos colegas Tancredi e Eliene por suas colaborações e incentivo durante todas as etapas deste trabalho.

Aos colegas e empresas que sempre receberam com atenção nas inúmeras visitas: IDESP(Vitor Hugo), FSESP (Manfredo), CIBRASA (Nilson), COSANPA, IBIFAM, FEMAC-GEOSOLO, GEOSER (Matos), PETROBRÁS.

A colega Valdenira Santos na sua paciência e ajuda na digitação dos textos.

Ao colega Edivan pela ajuda na execução das análises químicas.

Ao colega Albano na confecção dos diagramas e pelo companheirismo.

As sras. Cilda, Gladys e Maria pelo apoio em relação a materiais de escritório.

Ao Pompeu, bom motorista e companheiro nas viagens de campo.

Aos funcionários da Biblioteca do CG, pela indispensável atenção na hora das consultas.

Ao CNPq pelo apoio financeiro na forma de bolsa de estudos.

Aos companheiros de pós-graduação que aqui não foram citados, mas sabem que merecem para sempre na lembrança, um agradecimento deste colega.

Ignorar.....

o que aconteceu antes de
termos nascido equivale
a sempre ser criança.

Cícero (102-43 a.C.)

SUMÁRIO

DEDICATÓRIA	i
AGRADECIMENTOS	ii
EPÍGRAFE	iv
LISTA DE ILUSTRAÇÕES	viii
LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS	xi
RESUMO	1
ABSTRACT	6
1 - INTRODUÇÃO	11
2 - CARACTERIZAÇÃO FISIAGRÁFICA DA ÁREA	14
2.1 - LOCALIZAÇÃO	14
2.2 - CLIMA	14
2.3 - VEGETAÇÃO	18
2.4 - SOLOS	19
2.5 - HIDROGRAFIA	21
2.6 - RELEVO	23
2.6.1 - Terrenos Sedimentares do Quaternário- Pleistoceno	23
2.6.2 - Terrenos Sedimentares do Quaternário- Holoceno	24
2.6.3 - Zonas Rebaixadas e Terraços Fluviais Inundáveis	24
2.6.4 - Planícies Flúvio-Marinhas	25
3 - GEOLOGIA	26
3.1 - GEOLOGIA REGIONAL	26

3.1.1 - Pré-Cambriano	26
3.1.2 - Eopaleozóico	28
3.1.3 - Cenozóico	30
3.1.3.1 - Terciário	30
3.1.3.2 - Quaternário	30
3.2 - GEOLOGIA LOCAL	35
3.2.1 - Formação Pirabas	36
3.2.2 - Grupo Barreiras	36
3.2.3 - Sedimentos Pós-Barreiras	39
3.2.4 - Sedimentos Modernos	40
4 - TRABALHOS ANTERIORES	40
5 - MATERIAL E MÉTODOS	42
5.1 - TRABALHOS DE CAMPO	48
5.2 - TRABALHOS DE LABORATÓRIO	48
6 - RESULTADOS E DISCUSSÃO	52
6.1 - CONSIDERAÇÕES PRELIMINARES	56
6.2 - AQUÍFEROS ASSOCIADOS AO QUATERNÁRIO	56
6.3 - AQUÍFEROS ASSOCIADOS AO GRUPO BARREIRAS	58
6.4 - AQUÍFEROS ASSOCIADOS À FORMAÇÃO PIRABAS	59
6.5 - QUALIDADE DA ÁGUA	60
6.5.1 - Considerações Gerais	61
6.5.2 - Normas de Potabilidade	61
6.5.3 - Análise dos Parâmetros Físico-Químicos e Químicos	63 64
6.5.4 - Diagrama Eh-pH	76
6.5.5 - Diagrama de Schöeller	77

6.6 - A PROBLEMÁTICA DO FERRO	81
6.6.1 - A Importância da Presença do Ferro nas Águas	81
6.6.2 - O Ferro nas Águas Subterrâneas de Belém ..	84
7 - CONCLUSÕES	88
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	92
ANEXOS	105
ANEXO A - Designação e localização dos poços coletados na área, acompanhada das fichas de sondagens.....	106
ANEXO B - Resumo dos valores limites fixados pela Organização Mundial da Saúde para a qualidade da água potável.....	128

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figuras

Figura 1 - Mapa de Localização das Sub-áreas Estudadas	16
Figura 2 - Variações Mensais Médias da Temperatura e Precipitação Pluviométrica no Município de Belém (PA).....	17
Figura 3 - Coluna Estratigráfica Regional do Nordeste do Pará	27
Figura 4 - Coluna Estratigráfica da Região de Belém	37
Figura 5 - Localização dos Poços Tubulares Coletados	50
Figura 6 - Correlação entre a Condutividade Elétrica e a Soma de Cátions Na+K+Ca+Mg das Águas dos Poços Coletados da Região da Grande Belém	69
Figura 7 - Correlação entre a Condutividade Elétrica e o pH das Águas dos Poços Coletados da Região da Grande Belém ...	70
Figura 8 - Correlação entre Cl^- e Na^+ para as Águas dos Poços Coletados da Região da Grande Belém	71
Figura 9 - Correlação entre HCO_3^- e Ca^{2+} para as Águas dos Poços Coletados da Região da Grande Belém	72

Figura 10 - Diagrama triangular Mg-(Na+K)-Ca ²⁺ para as Águas dos Poços Coletados da Região da Grande Belém	73
Figura 11 - Diagrama Triangular SO ₄ -Cl ⁻ -HCO ₃ ⁻ para as Águas dos Poços Coletados na Região da Grande Belém	74
Figura 12 - Diagrama Triangular (Ca+Mg)-(Na+K)-SiO ₂ para as Águas dos Poços Coletados da Região da Grande Belém	75
Figura 13 - Correlação entre Eh e Fe Total para as Águas dos Poços Coletados da Região da Grande Belém	76
Figura 14 - Diagrama Eh-pH para Águas Subterrâneas no Município de Belém, Coletadas no Período de Estiagem e Chuvoso.....	78
Figura 15 - Diagrama Semi-logarítmico de Schöller para as Águas Subterrâneas coletadas na Região Metropolitana de Belém	80
Figura 16 - Correlação entre Ferro Total e a Profundidade para as Águas Subterrâneas da Região Metropolitana de Belém	87

Tabelas

Tabela 1 - Parâmetros e Constituintes Físico-Químicos e Químicos de Águas Subterrâneas do Município de Belém. Amostras coletadas no período de estiagem em 1992	65
Tabela 2 - Parâmetros e Constituintes Físico-Químicos e Químicos das Águas Subterrâneas do Município de Belém. Amostras coletadas no período chuvoso em 1993	66

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

CIBRASA - Cimentos do Brasil S.A.

CORNER S.A. - Perfuração de Poços.

COSANPA - Companhia de Saneamento do Pará

FEMAC. GEOSOLO - Engenharia e Tecnologia de Solos Ltda.

FSESP - Fundação Serviço de Saúde Pública

GEONORTE - Serviços de Geologia, Sondagens e
Perfurações Ltda.

GEOSER - Geologia e Engenharia Ltda.

IBIFAM - Indústria Biológica e Farmacêutica da Amazônia
S.A.

IDESP - Instituto de Desenvolvimento Econômico Social
do Pará.

PETROBRÁS - Petróleo Brasileiro S.A.

RESUMO

Na Região Metropolitana de Belém (PA) o abastecimento de água à população é proveniente de mananciais (área fisiográfica do Utinga) e de uma rede de poços tubulares posicionados, em geral, em zonas urbanas mais afastadas ou onde o bombeamento é precário.

Este trabalho avalia as águas subterrâneas utilizadas na Região Metropolitana de Belém, correlacionando dados de parâmetros físicos, físico-químicos e químicos, na tentativa de compor um quadro compreensível sobre a qualidade dessas águas, e verificar a influência que sofrem das unidades geológicas nas quais estão situados os aquíferos que as preservam.

Para a execução dos trabalhos, procedeu-se a coleta de amostras de água em dois períodos sazonais diferentes: de estiagem e chuvoso. Após exaustiva consulta aos arquivos de empresas, instituições e de pesquisadores, foram selecionados 17 poços tubulares,

sendo 9 em Belém, 5 em Icoaraci, 2 em Mosqueiro e 1 em Ananindeua (Anexo A).

Os índices mais frequentes de turbidez situaram-se entre 9 e 14 unidades (ppm de SiO_2), mas alguns poços apresentaram valores mais elevados (33, 41 e 71 ppm de SiO_2). Somente em alguns casos, essa turbidez pode ser imediatamente correlacionada com o teor de sílica obtidos por análise química. As medidas de cor mais frequentes se encontram no intervalo de zero a 7,5 U.C., predominando o índice zero. No entanto, alguns poços apresentaram valor acima de 100 U.C. e outros, menos frequentes, com índices variando entre 20 e 60 U.C.

Constituíram-se parâmetros bastante diferenciados o pH e a condutividade elétrica. Assim, foram verificados os índices mais elevados de pH e de condutividade elétrica nos aquíferos da Formação Pirabas. Nesses casos, o pH se apresentou em torno de 6,4 a 7,6 e a condutividade entre 231 e 362 $\mu\text{S}/\text{cm}$, com uma descontinuidade em 87,5 $\mu\text{S}/\text{cm}$, também atribuída a um poço associado à supracitada Formação. Águas mais

ácidas (pH abaixo de 6,38 e acima de 4,01) são, certamente, atribuídas aos aquíferos do Grupo Barreiras e Pós-Barreiras.

Os constituintes químicos, notadamente os teores de Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ e K^+ , são condizentes com a interpretação dos valores numéricos de pH e condutividade elétrica. Sem exceção, as concentrações de Ca^{2+} são superiores às dos demais cátions, estabelecendo-se uma ordem decrescente segundo $\text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > \text{Na}^+ > \text{K}^+$, com alguma inversão entre Na^+ e Mg^{2+} . As concentrações mais elevadas de Ca^{2+} (logo seguidas pelas de Mg^{2+}) são resultantes da dissolução de carbonatos presentes no calcário Pirabas. Aliás, confirmando esta assertiva, também as concentrações de HCO_3^- são bem mais elevadas do que as concentrações de Cl^- e SO_4^{2-} . É de se esperar, portanto, que a dissolução de sedimentos Pirabas produzem concentrações mais elevadas de Ca^{2+} e HCO_3^- .

Os teores de sílica e ferro também discriminam tais águas. Em geral, os teores mais elevados de sílica correspondem às maiores profundidades, como, aliás, seria de se esperar, levando-se em conta a ação do intemperismo químico em minerais de silicato. Quanto ao

ferro, este constitui um parâmetro diferenciador das águas da Formação Pirabas, quase sempre com teores bem mais baixos do que os valores correspondentes associados aos aquíferos Barreiras e Pós-Barreiras, havendo, no entanto, exceções, nas quais se registraram índices apreciáveis de ferro relacionado aos sedimentos Pirabas.

Saliente-se que a Formação Pirabas aparece na Região Metropolitana de Belém quase sempre às profundidades maiores do que 100m, havendo registro, no entanto, de profundidades menores, mas são situações, aparentemente, mais raras, como são os casos do poço número 3, no Campus Universitário, às proximidades do rio Guamá, com 76m de profundidade, e o poço de 94m do Museu Paraense Emílio Goeldi, em zona central da cidade (Anexo A).

A exaustiva consulta aos já mencionados arquivos de instituições, empresas e pesquisadores levou à constatação de que muitos poços tubulares instalados na zona urbana aproveitam águas associadas aos aquíferos Barreiras e Pós-Barreiras, onde os valores de pH são,

quase sempre, abaixo de 6 unidades, e as medidas de condutividade elétrica raramente atingem 100 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

Constata-se, finalmente, que há necessidade de maiores investimentos no sentido de aumentar a prospecção e a utilização de águas subterrâneas na região, pois estas, além de dispensarem tratamento prévio à distribuição, ainda são uma fonte de recursos, não dimensionados, mas de grande potencial.

ABSTRACT

In the Metropolitan Region of Belém (PA) the water supply destined to the population comes from fountainhead (physiographic area of Utinga) and from a net of tubular wells which are positioned in general, in further urban zones or where pumping is precarious. This work evaluates the underground water which is used in the Metropolitan Region of Belém, correlating physical, physical-chemical and chemical data, trying to compose a comprehensive frame about the quality of this water and verify the influence that it suffers from the geological units where the acquiferous are situated.

For the execution of this work it was done a collection of water samples in two different seasonal periods: dryness and rainy periods. After several tiring consults to enterprises, institutions and researchers files, 17 tubular wells were selected: 9 in Belém, 5 in Icoaraci, 2 in Mosqueiro and 1 in Ananindeua (Annex A).

The more frequently turbidity indexes are situated between 9 and 14 units (ppm of SiO_2) but some wells show higher values (33,44 and 71 ppm of SiO_2). Only in some cases this turbidity may be immediately correlated to the silica contents got through chemical analysis. The measures of more frequent colors are in the interval from zero to 7,5 U.C., with predominance of zero index. However, some wells show values higher than 100 U.C. and others, less frequent, show values varying from 20 to 60 U.C. Very differentiated factors were constituted: pH and electrical conductivity. Therefore, the highest levels of pH and electrical conductivity were verified in the aquiferous from Pirabas Formation. In these cases, pH was around 6,4 to 7,6 and conductivity between 231 and 362 $\mu\text{S}/\text{cm}$ with a discontinuity of 87,5 $\mu\text{S}/\text{cm}$ also attributed to a well associated to the mentioned formation. More acid water (pH lower than 6,38 and higher than 4,01) are certainly attributed to aquiferous from Barreiras and Post Barreiras groups. The chemical constituents, Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , and K^+ contents, are in accordance with the

interpretation of the numerical values of pH and electrical conductivity. Without exception, the Ca^{2+} concentrations are higher than the other cations, establishing a decreasing order according to $\text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > \text{Na}^+ > \text{K}^+$ with some inversion between Na^+ and Mg^{2+} . The highest Ca^{2+} concentrations (followed by the Mg^{2+} concentration) result from the concentration of carbonate which is present in Pirabas limestone. By the way, confirming this statement, also the concentrations of HCO_3^- are much higher than the concentrations of Cl^- and SO_4^{2-} . Therefore, one can expect that the dissolution of Pirabas sediments can produce higher concentrations of Ca^{2+} and HCO_3^- .

The contents of silica and iron also discriminate such waters. In general the highest contents of silica are related to the highest depths, as expected, considering the action of chemical weathering in silicate minerals. About the iron, it constitutes a differing parameter of the waters from Pirabas Formation, almost always with contents much lower than the related values associated to the Barreiras and

Post-Barreiras aquifers, therefore existing some exceptions where some appreciate indexes of iron related to Pirabas sediments were registered.

One can emphasize that Pirabas Formation outcrops in the Metropolitan Region of Belém almost always deeper than 100m, however existing register of lower depths, although these are apparently rarer situations, as the case of the well number 3 in the University Campus, next to Tio Guamá, with 76m deep; and the well from Emilio Goeldi Paraense Museum with 94m deep, located downtown (Annex A). The exhausting consulting to the mentioned files of institutions, enterprises and researchers took to the conclusion that many tubular wells set in the urban zone use water which is associated to Barreiras and Post-Barreiras aquifers, where the pH values are almost always downer than 6 units and the electrical conductivity measures rarely reach 100 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

Finally, one can conclude that it is necessary higher investments aiming to increase the prospection and usage of underground water in the region, since it

is a great potencial resource not yet dimensioned,
besides refusing treatment previous to its
distribution.

1 - INTRODUÇÃO

No município de Belém o crescimento populacional e industrial não foi acompanhado por uma oferta de água que atendesse continuamente as necessidades. Atualmente o sistema de abastecimento é constituído pelos lagos Bolonha e Água Preta, que são complementados por água bombeada do Rio Guamá, e cerca de 30 poços tubulares profundos, localizados em zonas do município onde o bombeamento é deficitário.

As águas superficiais estão sujeitas a contaminação de vários tipos, decorridas da expansão demográfica e industrial, como a provocada pelo homem em atitudes agressivas (como o despejo de substâncias tóxicas no solo). Devido, principalmente, à qualidade, é hoje cada vez maior o número de pessoas que utilizam a água subterrânea para seu consumo. A isso alia-se o fato de que essas águas são puras, ou seja sem nenhuma substância poluente, o que é verdade desde que tomem-se cuidados básicos, que vão desde a construção do poço até sua utilização e conservação.

As águas subterrâneas no município de Belém estão armazenadas em aquíferos predominantemente arenosos. Eles estão intercalados às rochas de duas principais unidades litológicas sedimentares: o Grupo Barreiras e a Formação Pirabas, do topo para a base.

Este trabalho examina as águas destas duas principais unidades litológicas, além daquelas da cobertura quaternária mais recente, e mostra sua situação atual quanto à qualidade, tanto para consumo humano como industrial. Foram determinados parâmetros químicos, físico-químicos e físicos, e tentou-se compreender a relação desses parâmetros com as unidades litológicas.

Foram coletadas amostras de águas de 17 poços previamente selecionados, distribuídos no município de Belém (Anexo A) e, após a preservação adequada, realizadas as análises de laboratório. Obtiveram-se os resultados de pH, Eh, condutividade elétrica, alcalinidade, turbidez, sódio, potássio, cálcio, magnésio, ferro, cloreto, bicarbonato, sílica e sulfato. Com o fim de verificação de variações sazonais

foram selecionados dois pontos para repetição de amostragem durante os períodos de estiagem e chuvoso. Os resultados vão permitir obter uma caracterização das águas subterrâneas resultantes de sua interação com a unidade geológica que as contém, sendo este um dos objetivos principais deste estudo.

As informações necessárias à organização do arquivo de poços, para a pré-seleção, foram obtidas através de pesquisa em arquivos públicos (da Companhia de Saneamento do Pará - COSANPA e da Fundação de Serviços de Saúde Pública - FSESP) e de particulares (de empresas e pessoal técnico) como os fornecidos por Herberto Maltez, Antonio Carlos Tancredi, Vitor Hugo Serra, GEOSER, GEONORTE e FEMAC. Muitos dos poços destes arquivos faziam-se acompanhar dos boletins de análises, o que auxiliou na pré-seleção (Anexo A).

2 - CARACTERIZAÇÃO FISIAGRÁFICA DA ÁREA

2.1 - LOCALIZAÇÃO

A microregião de Belém abrange os municípios de Ananindeua, Barcarena, Belém, Benevides e Santa Bárbara do Pará e faz parte da Mesoregião Metropolitana de Belém (BRITO & MAUÉS, 1992). A cidade de Belém situa-se na confluência do rio Guamá com a Baía de Guajará, fazendo parte do estuário do rio Amazonas (Figura 1). É uma cidade plana, baixa, onde as maiores cotas atingem 14-15 metros acima do nível do mar. O município de Belém abrange os distritos de Belém, Val-de-Cães, Icoaraci e Mosqueiro (CODEM, 1975). Está localizada entre os paralelos 1° 10' S e 1° 30' S e os meridianos 48° 25' e 48° 35' W de Greenwich.

2.2 - CLIMA

Belém é uma cidade de clima quente e úmido, apresentando uma pluviosidade elevada, com frequentes chuvas no período tarde/noite. Os primeiros quatro meses do ano são os mais chuvosos e os meses de outubro

e novembro os de menor pluviosidade (Figura 2). Os ventos predominantes são do quadrante leste, de origem atlântica (MOREIRA, 1966).

Na área do município de Belém, segundo PENTEADO (1967), as amplitudes térmicas são inferiores a 2°C (variação entre períodos mais quentes e mais frios), observando-se que os valores são calculados pelas médias dos meses mais quentes e mais frios. Assim sendo, nas horas de maior insolação, a temperatura fica em torno de 30°C , e durante a madrugada esta temperatura situa-se em torno de 23°C (Figura 2).

Segundo PENTEADO (op cit.) o contraste dos diferentes índices pluviométricos, relativos aos períodos chuvoso e menos chuvoso, é resultado de que no primeiro a média atinge 23 dias e, no segundo, de apenas 13 dias. O mesmo autor define esta variação do regime pluvial como característica de um microclima com ausência de amplitudes térmicas capazes de dividir o ano em estações distintas.

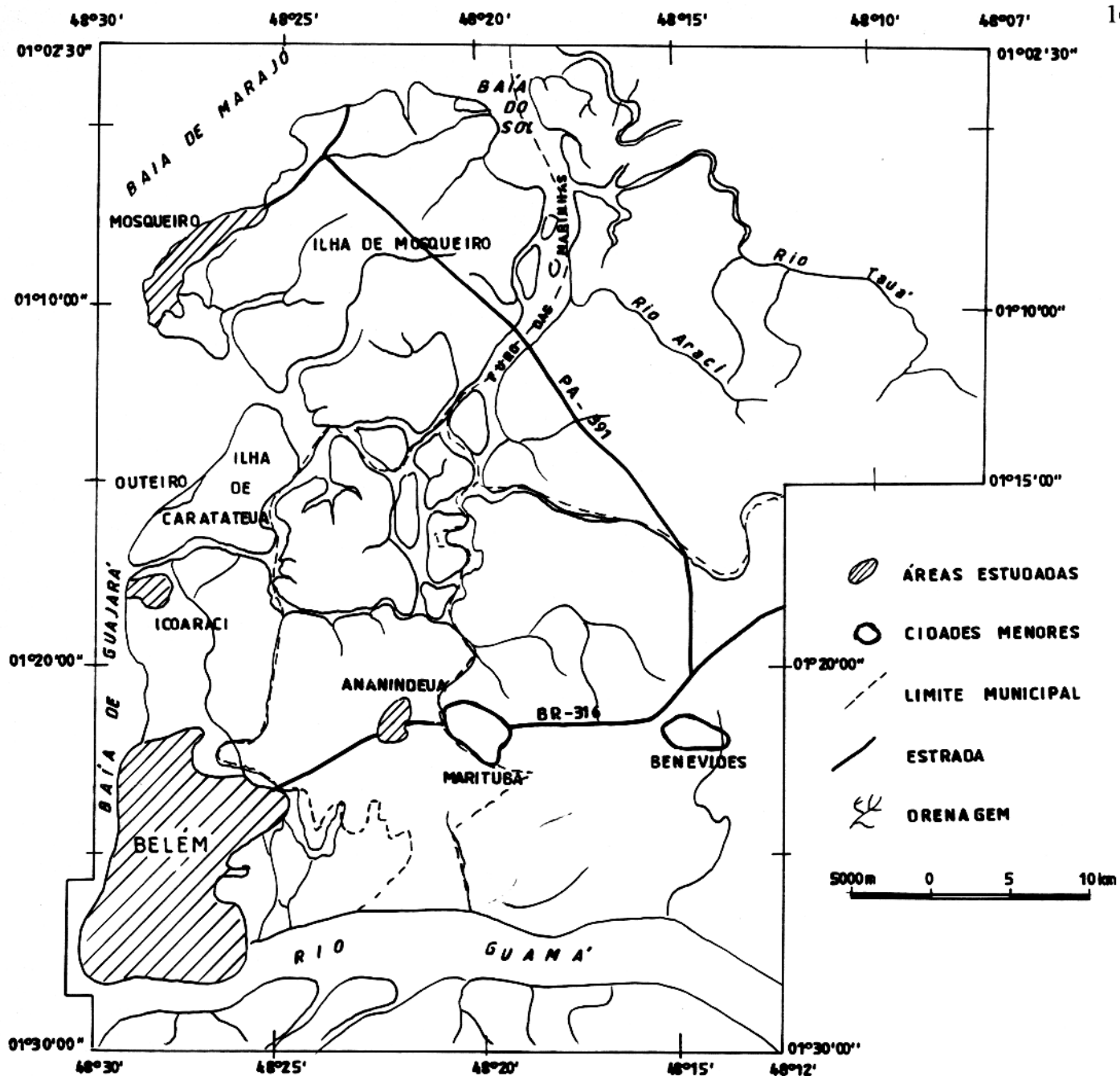
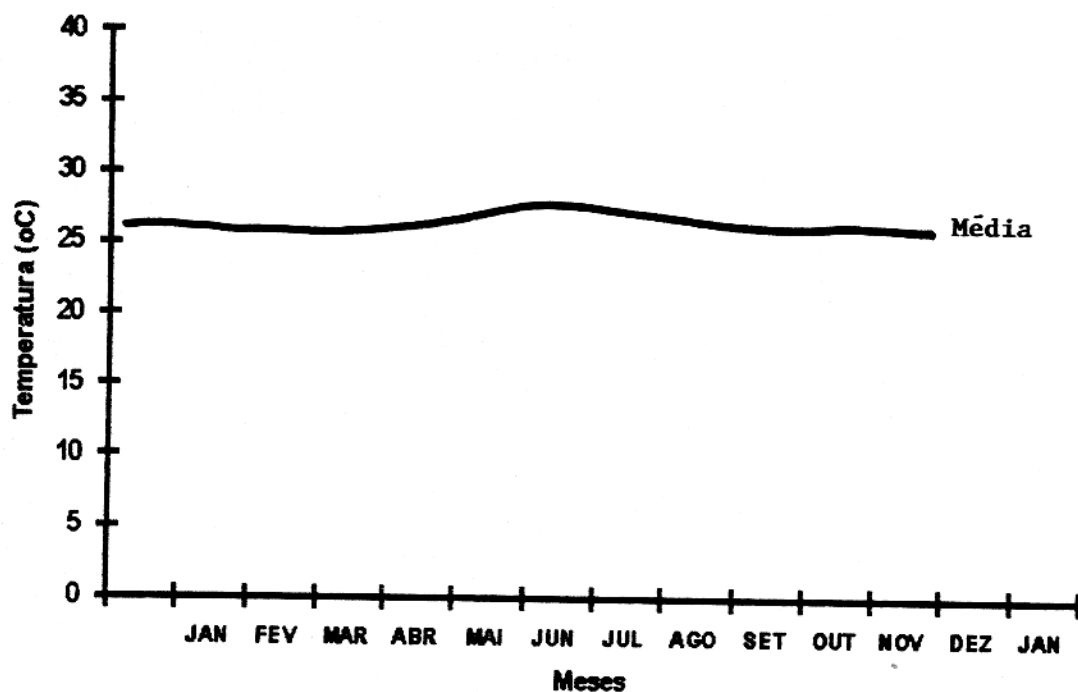
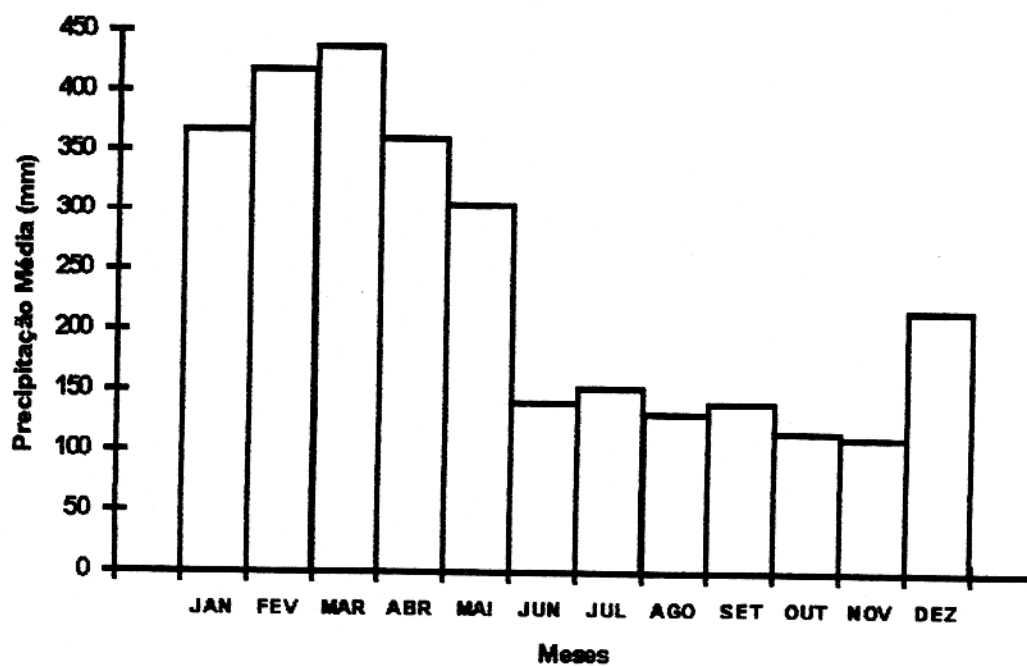


Figura 1 - Mapa de localização das sub-áreas estudadas (Belém, Icoaraci, Mosqueiro, Ananindeua)
(Fonte: BRASIL. Ministério do Exército. Diretoria de Serviços Geográficos do Exército, 1982)



(2A)



(2B)

Figura 02 - Variações mensais médias da temperatura (2A) e precipitação pluviométrica (2B) para a Região Metropolitana de Belém no período de 1961-1990. (Fonte: BRASIL. Departamento Nacional de Meteorologia, 1991).

O clima de Belém é do tipo "Afi" da classificação de Köppen (BRASIL. DNOS, 1968), sendo:

A: clima tropical chuvoso, onde a temperatura média do mês mais frio é superior a 18° C;

f: ocorrência de chuva durante todo o ano, condicionando o tipo de vegetação conhecida como selva tropical, dado que o mês de menor cota pluviométrica é superior a 60mm;

i: o clima não conhece variação estacional sensível, dado que a oscilação anual de temperatura é inferior a 5° C.

2.3 - VEGETAÇÃO

A cobertura vegetal predominante na Região Amazônica é do tipo floresta densa, ocorrendo manchas de cerrado na faixa sedimentar de idade paleozóica do norte e nos "tesos" da porção oriental da ilha de Marajó. Campos de composição florística diversas ocorrem nessa ilha, Baixo-Amazonas e terrenos recentes estendendo-se até a borda sedimentar paleozóica sul e em contato com o Complexo Xingu, Grupo Tocantins e

coberturas sedimentares meso-cenozóicas (VIEIRA & SANTOS, 1987).

No município de Belém ocorrem 3 tipos principais de vegetação, segundo MOREIRA (1966): 1) vegetação de várzea, típica de áreas inundáveis, sob influência periódica das marés; 2) vegetação de floresta densa, associada aos terrenos mais elevados (terra firme) e 3) florestas secundárias, em áreas uma vez desmatadas. Dentro do espaço urbano nada mais resta da floresta tropical que existiu originalmente.

2.4 - SOLOS

No nordeste do Estado do Pará são identificados segundo VIEIRA & SANTOS (op cit.) os seguintes tipos de solos: latossolo amarelo (LA), podzólico vermelho amarelo (Pv), concrecionário laterítico (CL), plintossolo (hidromórficos gleizados) (P), areias quartzosas (podzol hidromórfico) (AQ), hidromórficos gleizados (HG) e solos de mangue (SM).

Na Região Metropolitana de Belém, o solo predominante é o concrecionário laterítico, em

Ananindeua e Mosqueiro o Latossolo amarelo e às margens do rio Guamá (região das baixadas de Belém), o tipo "Gley Pouco Úmido" (BRASIL, CIPGC, 1981).

Os solos concrecionários lateríticos são originados a partir de rochas do Pré-Cambriano, constituindo relevo suavemente ondulado sob densa cobertura vegetal. São solos profundos ou medianamente profundos, constituídos por partículas minerais finas e concreções ferruginosas abundantes. As concreções ferruginosas ocorrem sob forma de arenito ferruginosos, onde o teor de ferro é mais elevado que o de alumínio (EBPT, 1979).

Os latossolos amarelos são formados em relevo plano, sob cobertura vegetal de floresta densa. São solos profundos, argilosos, com baixo conteúdo de carbono orgânico. A origem é associada a sedimentos holocênicos e por vezes a decomposição de argilitos do Terciário (MOREIRA, 1966).

Os solos do tipo Gley Húmico têm origem em sedimentos argilo-sílticos e são pouco profundos. Formam-se em relevo plano, são pouco permeáveis e predominam às margens dos igarapés.

Segundo MOREIRA (1966) além dos tipos citados acima, em Belém, associados a sua topografia ainda ocorrem três tipos de solos: 1) solo de igapó, que são encharcados, inconsistentes e ácidos; 2) solos de várzea, que ficam encharcados durante o período chuvoso mais intenso; 3) os solos de terra firme, que são secos a soltos, sendo porém lixiviados e ácidos, devido a intensa pluviosidade.

2.5 - HIDROGRAFIA

Os elementos hidrológicos de maior expressão na área do município de Belém são o rio Guamá e a baía de Guajará além dos vários igarapés que cortam a cidade, entre os quais os maiores são o Val-de-Cães, o Tucunduba e o Una.

A baía de Guajará faz parte do estuário do rio Amazonas, tem forma alongada e estreita, e tem continuidade na baía de Marajó, sofrendo diretamente a influência das marés oceânicas. Situa-se a oeste da cidade de Belém, e recebe as águas dos rios Acará e Guamá, principalmente (MOREIRA, op cit.). Suas águas

são barrentas e, no período de baixa pluviosidade na região, ficam salobras devido ao "avanço" das águas oceânicas.

O rio Guamá margeia a cidade de Belém pelo sul, desaguando na baía de Guajará. Suas águas são pouco transparentes, ocorrendo grande quantidade de material em suspensão, provenientes das atividades erosivas nas margens. O material em suspensão é, principalmente, argiloso, o que torna as águas turvas de coloração amarelada. No seu curso inferior, até acima de São Domingos do Capim, sofre influência das marés que provocam correntezas periódicas, principalmente no período da estiagem (PENTEADO, 1967). É importante no aspecto hidrológico estando diretamente ligada ao abastecimento de água da cidade de Belém.

A importância do rio Guamá no abastecimento de água da população de Belém reside no fato de que a COSANPA posicionou em seu leito uma adutora (agora duplicada), que leva a água do Guamá diretamente para seus reservatórios naturais compostos pelos lagos Bolonha e Água Preta. Devido ao elevado teor de material em

suspensão nas águas deste rio, os dois lagos vêm sofrendo um processo de assoreamento lento e progressivo que vem se constitutindo um problema relacionado ao contínuo bombeamento da água do Rio Guamá.

2.6 - RELEVO

As unidades de relevo descritas a seguir foram definidas através de estudos geológico-geomorfológicos, efetuados pela Companhia de Desenvolvimento da Área Metropolitana de Belém - CODEM (1975) e constam de quatro unidades: terrenos sedimentares do Quaternário - Pleistoceno; terrenos sedimentares do Quaternário - Holoceno; zonas rebaixadas e terraços fluviais inundáveis, e planícies flúvio-marinhas.

2.6.1 - Terrenos Sedimentares do Quaternário-Pleistoceno

É a unidade de maior expressão na área do município de Belém e corresponde a pediplanos aplainados, observando-se localmente ondulações suaves de topos

arredondados. São feições que se sustentam por níveis de concreções ferruginosas, e que podem pertencer a base dos sedimentos Pós-Barreiras. Na cidade de Belém a unidade corresponde às maiores cotas topográficas dos bairros do Marco, Pedreira e Terra Firme (CODEM, 1975).

2.6.2 - Terrenos Sedimentares do Quaternário - Holoceno

Essa unidade corresponde às áreas de baixada na Região Metropolitana de Belém (CODEM, op cit.) e acha-se bem representada nos bairros do Jurunas, Terra Firme, Guamá, Batista Campos, Sacramenta, Telégrafo e adjacências das vilas de Icoaraci e Mosqueiro. A feição é relacionada a antigos depósitos em terraços fluviais.

2.6.3 - Zona Rebaixada e Terraços Fluviais Inundáveis

Corresponde aos depósitos que sobrepõem-se aos terrenos quaternários mais antigos, sendo bem representados nas zonas de baixadas do município de Belém, em zonas onde ocorrem inundações periódicas, ou por ocorrência de chuvas ou por marés lançantes. Está relacionada às menores cotas topográficas da região

(sendo as vezes negativa). A deposição de sedimentos em geral argilosos, dá-se com o represamento dos rios e igarapés na região, com o aporte da maré alta, sendo, por isso, encontrados em toda a área, urbanizada ou não (CODEM, 1975).

2.6.4 - Planícies Flúvio-Marinhas

Esta feição corresponde às áreas de manguezais, praias, rios e igarapés, onde depositam-se sedimentos modernos. Em CODEM (op cit.) a feição é também relacionada as zonas de várzea, em virtude dos constantes períodos alagados.

3 - GEOLOGIA

3.1 - GEOLOGIA REGIONAL

O nordeste do estado do Pará tem sua geologia representada por unidades do Pré-Cambriano, EoPaleozóico e Cenozóico (ARAI et al., 1988; ROSSETTI et al., 1989).

O Pré-Cambriano consiste num conjunto de rochas agrupadas no Complexo Maracaçumé, Formação Santa Luzia, Formação Tromaí, Formação Gurupi, Formação Igarapé de Areia, Formação Vizeu e Granito Cantão. Segundo ALMEIDA & HASUI (1984), as rochas foram agrupadas em formações por não se visualizar sua divisibilidade. A unidade Maracaçumé é considerada um complexo por reunir litologias diversas, estruturadas de modo intrincado.

Do EoPaleozóico encontram-se unicamente os sedimentos da Formação Piriá.

Do Cenozóico encontram-se a Formação Pirabas e o Grupo Barreiras. As rochas deste grupo cobrem cerca de 65% da área total da região e são recobertas pelos sedimentos do "Pós-Barreiras" e sedimentos modernos (Figura 3).

ERA	PERÍODO	ÉPOCA	UNIDADE	DESCRIÇÃO SUMÁRIA
C E N O Z Ó I C O	QUATER- NÁRIO	HOLOCENO	SEDIMENTOS MODERNOS	sedimentos recentes, quartzosos com matéria orgânica; argilas e siltes.
		PLEISTOCENO	PÓS- BARREIRAS	sedimentos areno-argilosos, inconsolidados, quartzosos, sultos e argilosos com arenito ferruginoso.
	TERCIÁ- RIO	MIOCENO- PLIOCENO	GRUPO BARREIRAS	sedimentos finos, compactos, de cores avariadas com concreções ferruginosas.
		OLIGO- MIOCENO	FORMAÇÃO PIRABAS	calcáreos e margas, intercalados com folhelhos cinza-esverdeados com variado conteúdo calcífero.
EO- PALE OZÓI CO			FORMAÇÃO PIRIÁ	Arcóseos a sub-arcóseos, finos a grossos, de cor cinza.
P R É - C A M B R I A N O				Rochas intrusivas: diques de diabásio, granitóides de Tracuateua e Mirasselas Granito Cantão: leucocrático, cinza esbranquiçado, textura heterogranular Formação Igarapé de Areia: arcóseos e arenitos grosseiros Formação Gurupi: ardósias, filitos, metagrauvacas e metatufos Formação Tromai: tonalitos, quartzo andesitos, granitos granodioritos, riolitos, dacitos e trondhjemitos Formação Vizeu: metarenitos finos a conglomeráticos, arcoseanos Formação Santa Luzia: xisto a biotita, muscovita, granatíferos, estaurolita e grafitosos Complexo Maracaçumé: gnaisses diversos e migmatitos.

Figura 3 - Coluna estratigráfica regional do Nordeste do Pará (baseada em ALMEIDA & HASUI, 1984 e FARIAS et al., 1992).

3.1.1 - Pré-Cambriano

O Complexo Maracaçumé é composto por rochas gnaíssicas, tonalíticos a graníticos, migmatitos e corpos anfibolíticos, colocados concordantemente à estruturação dos gnaisses e migmatitos (ABREU et al., 1980). As melhores exposições dessas rochas são encontradas em uma faixa que vai de Vizeu (PA) na direção Sul até cerca de 19 quilômetros da região de Rosário (MA).

A Formação Santa Luzia contém biotita xistos, muscovita xistos, xistos granatíferos, xistos com estaurolita e xistos grafitosos. As melhores exposições ocorrem na região da Vila de Santa Luzia e em uma faixa de cerca de 180 Km que vai da região de Ourém (PA) para sudeste até a divisa das bacias dos rios Gurupi e Turiaçu (ABREU et al., op cit.).

A Formação Tromai é constituída por rochas intrusivas e extrusivas compostas por tonalitos, quartzo andesitos, granitos, trondhjemitos, granodioritos, riolitos e dacitos, às quais acham-se associados os granitóides de Tracuateua e Mirasselas

que afloram nos municípios de Capanema e Bragança (ABREU et al., 1980).

A Formação Gurupi foi o termo adotado por ABREU et al. (op cit.) para parte das rochas da Formação Santa Luzia e constituem-se de metamorfitos de baixo grau representados por ardósias, filitos, metagrauvacas e metatufos, além de níveis de menor expressão de quartzitos, formações ferríferas e anfibolitos. Esta unidade pode ser encontrada ao longo da rodovia BR-316 entre Capanema e o rio Gurupi.

A Formação Igarapé de Areia reúne arcóseos e arenitos grosseiros que exibem estratificação cruzada tabular ressaltada por minerais pesados. Na base do conjunto aparecem leitos conglomeráticos e no topo sedimentação pelítica (ABREU et al., op cit.).

A Formação Vizeu é representada por metarenitos, com estratificação cruzada e horizontes onde a sedimentação varia de fina a conglomerática, de natureza arcoseana (ABREU et al., op cit.).

O Granito Cantão é uma rocha leucocrática, cinza esbranquiçada, cuja textura varia de heterogranular com granulação média a grossa, a porfirítico.

As rochas intrusivas são representadas pelos diques de diabásio da Suíte Laranjal e corpos intrusivos, entre eles os de Mirasselas e Tracuateua, que se acham circundados por sedimentos cenozóicos (ALMEIDA & HASUI, 1984).

3.1.2 - EoPaleozóico

O Eopaleozóico é representado pela Formação Piriá e compreende arcóseos e sub-arcóseos, de granulometria variando de fina a grossa, cinza a esbranquiçados (COSTA et al., 1975). Ocorre principalmente entre Santa Luzia e Gurupi, em cortes de rodovias e leitos de rios.

3.1.3 - Cenozóico

3.1.3.1 - Terciário

- Formação Pirabas

A Formação Pirabas tem sua ocorrência registrada nas faixas da costa dos estados do Pará, Maranhão e

Piauí. Em território paraense, apesar de mostrar grande extensão em subsuperfície, na região nordeste, seus afloramentos são descontínuos e ligados ao litoral e Zona Bragantina. A ocorrência de maior expressão na unidade situa-se na ilha de Fortaleza, no município de São João de Pirabas.

Esta formação é constituída por margas e calcários micríticos, bioclásticos, biohéricos e dolmicritos que se intercalam com folhelhos de cor cinza-esverdeados e negros. Também ocorrem arenitos calcíferos (FERREIRA, 1982).

A idade da Formação é atribuída ao Oligo-Mioceno (FERREIRA, op cit.) e sua fauna relacionada a zonas bioestratigráficas internacionais (FERNANDES, 1988).

Devido a mudança na composição química e oscilações da fauna verticais e horizontais, autores como ACKERMANN (1976), ALMARAZ (1979), TRUCKENBRODT (1981) e FERREIRA (op cit.), entre outros, propuseram subdivisões faciológicas, a saber, segundo o último, a

divisão da unidade se faz em 3 fácies distintas e dispostas da base para o topo, como descrito a seguir:

- **Fácies Castelo** - tem o nome derivado de uma localidade na ilha de Fortaleza, caracterizando-se litologicamente por calcários de diversas composições, com coquinas, em destaque para os micritos, biohermitos e dolmicritos que afloram no litoral dos estados do Pará e Maranhão. A unidade foi depositada em mar aberto sobre a influência de águas agitadas e quentes, com salinidade normal (FERREIRA, 1982). Este mesmo autor caracterizou dentro desta fácies a biozona **Orthaulax pugnax** Helprin.
- **Fácies Capanema** - tem bons afloramentos no município de Capanema, estado do Pará, compreendendo litotipos representados por calcários argilosos (margas), micritos, bioclastos, folhelhos rítmicos e arenitos calcíferos. Estes litotipos sugerem ambiente lagunar e de borda de bacia (ou estuário), com águas calmas e salinidade abaixo do normal (FERREIRA, op cit.).

- **Fácies Baunilha Grande** - constitui-se litologicamente por argilas negras com vegetais piritizados e nódulos de calcários escuros, contendo fragmentos de crustáceos que refletem ambiente redutor, típico de mangue.

- **Grupo Barreiras**

BIGARELLA & ANDRADE (1964) propuseram a denominação Grupo Barreiras para os sedimentos cenozóicos que ocorrem desde o litoral do Rio de Janeiro até o estado do Pará, sob a forma de falésias ou terraços nas margens dos rios, denominados anteriormente de Série das Barreiras por OLIVEIRA & LEONARDOS (1943).

Aqui aceitamos a terminologia do Grupo Barreiras adotada por BIGARELLA & ANDRADE (po cit.), NUNES et al. (1973) e IGREJA (1992) que incorporam três litofácies definidas por GÓES & TRUCKENBRODT (1980): argilo-arenosa, arenosa e conglomerática, da base para o topo:

- **Fácies argilo-arenosa:** aflora em meio aos sedimentos quaternários, sendo sua melhor expressão no trecho entre Santa Maria do Pará e Capanema (GOES &

TRUCKENBRODT, 1980). Consiste em camadas argilosas, argilo-arenosas, areno-argilosas e arenosas, interdigitadas. As argilas tem cores variadas e os outros sedimentos padrões, mosqueadas. Localmente ocorrem lentes de areia, de granulometria fina a grossa, com estratificação cruzada.

- **Fácies arenosa:** geralmente capeia a anterior, com contato brusco, e é a fácies de maior representação areal. Ela e a anterior constituem uma topografia de morros suaves, com baixas altitudes (mais ou menor 50 metros) que a destaca dos sedimentos quaternários. É composta por arenitos amarelados de granulação média, com lentes de microconglomerados na base.
- **Fácies conglomerática:** tem ocorrência restrita a área de Ourem e Capitão Poço, em contato discordante com os xistos da Formação Santa Luzia. Forma morros arredondados e alongados, com altitudes em torno dos 60 metros. O conglomerado é polimitico, com abundante matriz de areia grossa argilosa.

A deposição do Grupo Barreiras segundo ROSSETTI et al. (1989) segue o esquema de leques aluviais, planícies de areia, planícies de lama, sendo provável influência das marés.

A idade do Grupo Barreiras é relacionada ao Mioceno-Plioceno com base em palinomorfos (ARAI et al., 1988). GÓES (1981) considera os sedimentos Barreiras em parte interdigitados com os da Formação Pirabas.

3.1.3.2 - Quaternário

Segundo SILVA & LOEWENSTEIN (1968), utiliza-se o termo Pós-Barreiras para os sedimentos amarelados que sobrepõem-se às camadas dos Grupo Barreiras. A unidade é também reconhecida por SA (1969), ROSSETTI et al. (op cit.), IGREJA et al. (1990).

É representado por sedimentos areno-argilosos, inconsolidados, compostos principalmente por grãos de quartzo e frações de silte e argila, com leitos finos de seixos de arenito ferruginoso (SILVA & LOEWENSTEIN, op cit.).

No nordeste do Estado do Pará ocorrem como corpos

alongados de areias brancas de granulometria fina.

O contato com o Grupo Barreiras é reconhecido por um nível de paleopavimento composto por fragmentos lateríticos discóides (SÁ, 1969; ROSSETTI et al., 1989).

Ao Quaternário Superior pertencem os sedimentos mais recentes, que ocupam as calhas dos rios, igarapés e formam dunas litorâneas.

3.2 - GEOLOGIA LOCAL

A geologia da região de Belém foi descrita com base nos dados de sondagens acompanhadas pelo autor e de vários outros trabalhos como BRANDÃO FILHO & MALTEZ (1983), SOARES (1984) e SILVA & TRUCKENBRODT (1985) com os quais foi montada a coluna estratigráfica modificada da Tese de PINHEIRO (1987) (Figura 4).

3.2.1 - Formação Pirabas

Neste item são destacados alguns aspectos da Formação Pirabas, com maior enfoque a sua ocorrência na área de estudo.

ERA	PERÍODO	ÉPOCA	UNIDADE	DESCRIÇÃO SUMÁRIA
C E N O Z Ó I C A	Q U A T E	H O L O C E N O	SEDIMENTOS MODERNOS	Areias de granulometria fina a média, marrons, intercaladas a argilas escuras, com restos vegetais, distribuídas nas orlas dos rios e igarapés
	R N Á R I O	P L E I S T O C E N O	PÓS- BARREIRAS	Sedimentos inconsolidados, areno-argilosos, finos a médios, com concreções ferruginosas.
	T E R C I Á R I O	M I O C E N O	GRUPO BARREIRAS	Arenitos ferruginosos, areias finas a médias, siltosas e argilas.
	I Á R I O	O M L I O C E N O	FORMAÇÃO PIRABAS	Calcáreos muito fossilíferos e margas, intercalados com folhelhos ritmicos e arenitos calcíferos.

Figura 4 - Coluna estratigráfica da cidade de Belém e adjacências (baseada em PINHEIRO, 1987, modificada).

As ocorrências dessa formação estão principalmente na ilha de Fortaleza, município de Primavera (PA), mas ocorrendo também ao longo da faixa da costa do estado do Pará, nas localidades de Salinópolis, Maracanã, São João de Pirabas, Curuçá e nos arredores da cidade de Capanema.

Segundo FERREIRA (1966 e 1982), ALMARAZ (1979) e FERNANDES (1984), entre outros autores, na Formação Pirabas predominam calcários de variada composição que intercalam-se com arenitos e folhelhos com deposição atribuída a um paleoambiente marinho de águas rasas e quentes.

O contato inferior da Formação não é conhecido, assim como sua espessura, pois as sondagens realizadas no município de Belém ainda não chegaram a ultrapassá-la, porém, acredita-se que ela está assentada sobre rochas pré-cambrianas (PETRI, 1957; FERREIRA, op cit.; ALMARAZ, op cit.).

O contato superior com o Grupo Barreiras, que é observado em sondagens, varia de concordante, discordante e interdigitado (GÓES, 1981).

A extensão lateral da unidade é de grande expressão, com gradação em direção a plataforma para os sedimentos da Formação Amapá e na direção da ilha do Marajó, para os sedimentos da Formação Marajó (SCHALLER et al., 1971).

É oportuno lembrar que os níveis arenosos da Formação Pirabas com grande expressão lateral e expressivas médias em torno dos 30 metros, são considerados os melhores aquíferos da região por demonstrarem os resultados das análises dentro dos padrões de potabilidade solicitados pela legislação.

3.2.2 - Grupo Barreiras

A ocorrência do Grupo Barreiras é registrada na região do Salgado, Bragantina e nas adjacências da Região Metropolitana de Belém (ilhas de Mosqueiro e Outeiro). Este grupo é litologicamente composto por arenitos, siltitos, argilitos e conglomerados com cores variadas que estão laterizados, sob a forma de um perfil imaturo (COSTA, 1991).

O posicionamento das unidades litoestratigráficas que compõem este grupo é confirmada na descrição de poços tubulares na região de Belém.

A ocorrência de ferro nas águas dos poços tubulares da região de Belém está diretamente associada ao Grupo Barreiras como se verifica nos resultados das Tabelas 1 e 2 tomando-se por base a profundidade e descrição dos sedimentos nos perfis dos poços.

3.2.3 - Sedimentos Pós-Barreiras

Litologicamente é constituída por sedimentos areno-argilosos, quartzosos, inconcolidados, de coloração amarelada, geralmente mal selecionados, sem estruturas sedimentares relacionadas, com granulometria fina a média. São encontrados seixos milimétricos de quartzo leitoso e concreções ferruginosas.

O Pós-Barreiras tem grande expressão areal na área do município de Belém, recobrando-a em mais de 60%.

3.2.4 - Sedimentos Modernos

São observados às margens dos rios e igarapés, melhor à maré baixa e nas praias da região. São areias, siltes e argilas, sendo as areias finas a médias, de coloração marron; as argilas são escuras, com restos vegetais e intercaladas com as areias. Também compõem a unidade os solos ricos em humus, de coloração escura a amarronzada (SÁ, 1969).

4 - TRABALHOS ANTERIORES

Os trabalhos sobre águas subterrâneas na região são isolados e descontínuos. Poucos têm cunho acadêmico, e contribuem para seu conhecimento.

O Instituto de Desenvolvimento Econômico-Social do Estado do Pará - IDESP, através de seu Departamento de Recursos Hídricos foi pioneiro em trabalhos do gênero no Estado, realizando uma série de pesquisas hidrogeológicas, principalmente na ilha de Marajó, mas também em Bragança e Monte Alegre. Os estudos executados por TANCREDI e colaboradores (entre 1972 e 1986) mostram as principais características dos aquíferos da região e alguns parâmetros hidrogeoquímicos que exprimem a qualidade da água.

Estudos hidrogeológicos da região do Marajó também foram realizados, utilizando-se métodos geofísicos para a prospecção, como observado em estudos de TANCREDI et al. (1986).

A Fundação Serviço Nacional de Saúde Pública - FSESP executa perfurações de poços profundos na região com o objetivo do abastecimento público, e através

deles é possível se fazer avaliações sobre a qualidade da água (como os poços MSQ.01 e MSQ.02). Apesar de não publicarem nenhum trabalho, informações verbais de seus sondadores e do geólogo M. Ximenes muito auxiliam a pesquisa dos aquíferos dos sedimentos Barreiras e Pirabas.

A Companhia de Saneamento do Pará - COSANPA é responsável pela distribuição de água para a região do município de Belém salvo algumas zonas de Icoaraci (bairros de Paracuri e parte da Agulha) e Mosqueiro (na chamada "vila"). Esse monopólio estende-se desde 1936 quando foi construída a primeira estação de tratamento de águas na cidade de Belém. Os dados disponíveis são isolados, ainda que importantes, pois poços como BEL.02, BEL.03, BEL.05 e BEL.08 (Anexo A) oferecem vazões de 250 a 300 m³ por hora.

É importante observar que a COSANPA tem uma importância histórica na avaliação da qualidade das águas subterrâneas na região de Belém com a manutenção de seu laboratório de análises químicas, criado

efetivamente em 1961. Este realiza trabalhos tanto para a Companhia como para particulares.

Os trabalhos de PIUCI (1979) descrevem com detalhes os aquíferos de parte da ilha do Marajó (município de Ponta de Pedras), e fornecem novos dados sobre a estratigrafia local e características dos aquíferos da região, que servem para comparação com áreas adjacentes.

As observações de MALTEZ & MALTEZ (1982) em coletânea de perfis de poços, esclareceram mais sobre o posicionamento espacial dos aquíferos da região de Belém e a qualidade da água armazenada.

A atuação de empresas privadas de perfuração auxilia no sentido de fornecer novos dados para a compreensão dos aquíferos da região. Trabalhos da GEOSER, PENTÁGONO e GEONORTE (entre outras) permitem emitir novos conceitos sobre o subsolo e possibilitam a execução de pesquisas.

Exemplos claros da continuidade dos trabalhos de empresas de perfuração de poços são os trabalhos de conclusão de curso de alunos concluintes do Curso de

Geologia da UFPA, que os executaram utilizando dados de sondagens, como o de BRANDÃO FILHO (1983), que fez comparações entre os poços nº 3 do Campus da UFPA e um do Museu Emílio Goeldi, interpretando os resultados de análises químicas e perfis geofísicos; SOARES (1984), faz uma interpretação do perfil estratigráfico do poço nº 3 do Campus da UFPA com base em testemunhos de sondagem; BAHIA (1986), faz uma correlação entre poços das cidades de Belém (na indústria cerâmica INCA) e Barcarena (no núcleo urbano da CODEBAR), com o objetivo de observar a extensão dos sedimentos Pirabas e Barreiras, e concluiu sobre seus potenciais aquíferos. SOUZA (1993), utiliza perfis geofísicos na identificação dos aquíferos da Região Metropolitana de Belém.

Também mereceu atenção a discussão sobre as características físico-químicas e químicas de águas subterrâneas associadas ao Quaternário amazônico às proximidades de Belém (LIMA & KOBAYASHI, 1988). Estes autores chegaram a conclusão que as águas subterrâneas estudadas possuíam semelhanças com águas de áreas às

proximidades de Belém e com terrenos euivalentes na Ilha de Marajó, principalmente quanto a acidez, baixa dureza, pequenas condutividades elétricas e pobreza em cátions, principalmente calcio.

Em trabalho prévio, SAUMA FILHO et al. (1991) procederam estudo introdutório utilizando a condutividade elétrica como critério preliminar na avaliação de parâmetros hidrogeoquímicos úteis à caracterização de águas subterrâneas na Região Metropolitana de Belém e adjacências. O texto então apresentado baseou-se em compilação de dados disponíveis em instituições e empresas particulares sobre amostras de águas subterrâneas coletadas em diferentes pontos, não somente na cidade de Belém (PA), mas nos seus arredores, em direção ao arquipélago de Marajó e à área fisiográfica leste do Estado, que compreende as microrregiões do Salgado e Bragantina. O referido trabalho orientou a escolha de pontos de coleta para o presente estudo.

Foram apresentadas as análises de águas de 27 poços, onde denota-se a notável influência da

condutividade elétrica como parâmetro útil a
caracterização das águas subterrâneas.

5 - MATERIAL E MÉTODOS

5.1 - TRABALHOS DE CAMPO

Na seleção dos pontos de coleta das amostras foram consultados os arquivos da Fundação SESP, COSANPA, IDESP, INPA e UFPA (*), além de empresas privadas de perfuração como FEMAC-GEOSOLO e GEONORTE. Levou-se em consideração as águas consideradas potáveis pelos usuários, sendo definidos 17 pontos: nove em Belém, cinco em Icoaraci, um em Ananindeua e dois em Mosqueiro (Anexo A).

As amostras foram identificadas pela localização do poço e sua classificação, de acordo com:

- em Belém, BEL.01, BEL.02, etc. até BEL.09;
- em Icoaraci, ICO.01, ICO.02 e ICO.03;
- em Ananindeua, apenas ANA.01;
- em Mosqueiro, MSQ.01 e MSQ.02

Os trabalhos de campo obedeceram foram executados segundo a variação sazonal, no período compreendido entre setembro de 1992 e julho de 1993, que corresponde

* no IDESP através do geólogo Vitor Hugo, no INPA geólogo Antonio Carlos Tancredi e na UFPA o Prof. Herberto Maltez.

a um período de estiagem (principalmente de agosto a novembro) seguido por época de chuvas intensas (notadamente de fevereiro a junho).

Os pontos de amostragem estão representados no mapa de localização dos poços (Figura 5). Os anexos a partir da página 104, descrevem, de modo sucinto, algo da litologia associada à profundidade dos perfis geológicos dos poços amostrados.

A coleta e a preservação das amostras em campo foram efetuadas segundo recomendações da literatura que são sumarizadas a seguir (SOUZA & DERÍSIO, 1977; CETESB, 1978):

- no local de coleta e dentro do prazo de 24 horas foram avaliados os seguintes parâmetros: pH, condutividade elétrica, Eh, cor, acidez, alcalinidade, aspecto, odor;
- para análise dos metais (Ca, Mg, Na, K e Fe) por espectrofotometria de absorção atômica, acidificaram-se, previamente, as amostras com gotas de HNO_3 concentrado;

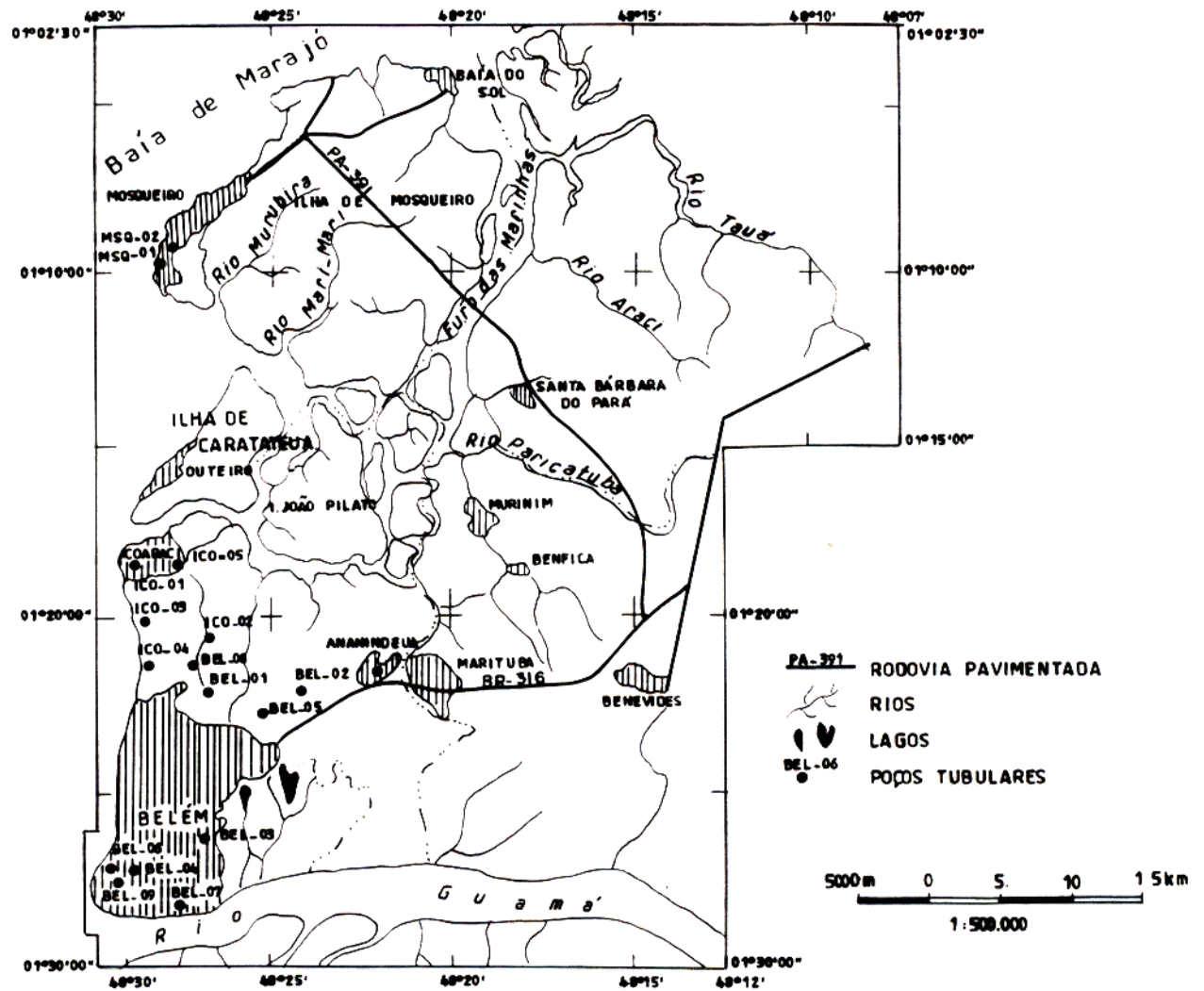


Figura 5- Localização dos poços tubulares coletados (Belém, Icoaraci, Mosqueiro, Ananindeua). (Fonte: BRASIL, Ministério do Exército, Diretoria de Serviços Geográficos do Exército, 1982).

- procedeu-se análise dos demais componentes químicos no prazo de 24 horas.

Foram coletados 1,5 litros de água de cada ponto, em frascos de polietileno, completamente cheios, sem bolhas de ar e hermeticamente lacrados.

Para análise do ferro ferroso foram coletados 250 ml de cada ponto, sendo a preservação (no local da coleta) feita com adição de 2 ml de ácido clorídrico concentrado para cada 100 ml de amostra (SOUZA & DERISIO, 1977).

Para a dosagem de ferro total foram coletados 250 ml de cada ponto sendo as amostras preservadas (no local da coleta) com ácido nítrico concentrado, até pH menor que 2.

Para os elementos que foram analisados por absorção atômica (metais) foram coletados 250 ml de cada ponto, sendo as amostras também preservadas com ácido nítrico concentrado (no local da coleta) até pH menor que 2.

5.2 - TRABALHOS DE LABORATÓRIO

Na chegada ao laboratório foram executadas as análises restantes:

turbidez

cloreto

sulfato

sílica

ferro ferroso

ferro total

sódio

potássio

cálcio

magnésio

Os métodos analíticos empregados foram:

- Eh, pH: determinados pelo método eletrométrico, utilizando pHmetro WTW.
- cor: utilizou-se o método da comparação visual, com Aqua-Tester Hellige. Faixa de aplicação 1 a 500 mg Pt/l.

- condutividade elétrica: determinada no local pelo método condutivimétrico, usando-se condutivímetro YSY, de campo; com nova leitura em laboratório pelo método eletrométrico utilizando condutivímetro Hach, com limite de detecção 0,2 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (CETESB, NT.L5.115).
- turbidez: determinada pelo método nefelométrico, utilizando-se o turbidímetro, de Hellige, que se aplica para leituras a partir de zero (CETESB, NT.L5.156).
- alcalinidade: utilizou-se o método volumétrico pela titulação com ácido sulfúrico, usando-se fenolftaleína e o metilorange como indicador (RODIER, 1981).
- acidez: utilizou-se o método volumétrico pela titulação com hidróxido de sódio, usando-se fenolftaleína como indicador (RODIER, op cit.).

- cloreto: determinado pela titulação com nitrato mercúrico em presença de difenilcarbazona (CETESB, NT.L5.113).
- sulfato: pelo método turbimétrico utilizando cloreto de bário em meio ácido com formação de sulfato de bário em suspensão; leitura em espectrofotômetro PM6-Zeiss, $\lambda=420\text{nm}$ (CETESB, NT.L5.153).
- sílica: determinada por método colorimétrico usando-se o ácido 1-amino, 2-naftol, 4-sulfônico, com leitura em espectrofotômetro PM6-Zeiss, $\lambda=650\text{nm}$ (APHA, AWWA, WPCF, 1975).
- ferro ferroso: determinado por colorimetria pelo método da ortofenantrolina em meio ácido com adição de acetato de amônio como tampão. A leitura foi realizada em espectrofotômetro PM6-Zeiss, $\lambda=510\text{nm}$ (CETESB, NT.L5.126).
- ferro total: determinado por absorção atômica utilizando-se espectrofotômetro PM6-Zeiss

e lâmpada de cátodo oco do elemento, com chama ar/acetileno, $\lambda=510\text{nm}$ (CETESB, NT.L5.126).

- Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} : analisados por absorção atômica, utilizando-se espectrofotômetro FMD4-Zeiss e lâmpadas de cátodo oco dos elementos determinados. As amostras foram nebulizadas em chama ar-acetileno, com os seguintes comprimentos de onda: Na $\lambda=589,6\text{nm}$, K $\lambda=776\text{nm}$, Ca $\lambda=423\text{nm}$ e Mg $\lambda=226\text{nm}$.

6 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1 - CONSIDERAÇÕES PRELIMINARES

As águas subterrâneas de Belém têm baixa velocidade de escoamento devido ao relevo plano e aos sedimentos argilosos, que têm baixa permeabilidade (TANCREDI, 1980).

Esses sedimentos argilosos, de cores variadas, e níveis arenosos distribuem-se de forma ampla e irregular (às vezes contínua, às vezes descontínuas), e constituem os principais reservatórios naturais de água subterrânea, ou aquíferos, que podem ser explorados através de poços.

Os aquíferos na área de Belém e adjacências são encontrados principalmente (do topo para a base do pacote sedimentar) em estratos horizontais ou sub-horizontais, associados aos sedimentos superficiais do Quaternário, do Grupo Barreiras, que aflora em muitos locais e, da Formação Pirabas, sendo esta apenas em subsuperfície (TANCREDI, op cit.).

Dos dezessete poços, de abastecimento público e particular, analisados, em alguns foi possível

verificar as areias dos aquíferos explotados e que são descritas a seguir na identificação dos aquíferos.

Observações preliminares nos perfis geológicos descritos no Anexo A, relacionadas com esses 17 poços de águas subterrâneas, revelam a ocorrência de sedimentos Pirabas, em algumas situações. Ao contrário, o poço BEL.01, cuja profundidade atinge 200m, aparentemente não se observa o registro de material geológico associado à Formação Pirabas. A mesma situação se observa nos poços BEL.04 (57m), BEL.09 (27m) e ANA.01 (83m). São típicos de Pirabas argilas associadas a folhelhos, produzindo coloração cinza-esverdeada (BEL.02, profundidade 255m e BEL.05, profundidade de 270 m); material fossilífero (conchas, principalmente), tais como se registra nos poços BEL.06 e BEL.07; folhelho, como observado em BEL.08; camadas de calcário aparece em ICO.02 e fósseis e folhelho verde em ICO.03.

6.2 - AQUÍFEROS ASSOCIADOS AO QUATERNÁRIO

Nesta unidade acham-se localizados a grande maioria dos poços do Município de Belém, sendo utilizados somente em residências. São perfurações rasas que situam-se na média dos 20 metros e que por este motivo não envolvem melhores tecnologia de construção nem pessoal técnico qualificado envolvido. Em grande parte são escavados manualmente.

Os poços neste zona mostram níveis arenosos de granulometria fina a média, quartzosas, de origem continental (formado quase na totalidade por material desagregado do Grupo Barreiras), com pequena distribuição espacial, o que reflete-se na vazão de baixo calibre.

Devido aos aspectos da construção do poço (pessoal, equipamento, etc..), a constituição da unidade e a pequena profundidade dos níveis arenosos, as perfurações tem alta taxa de vulnerabilidade a contaminação principalmente por infiltração de fossas, combustíveis e outros materiais tóxicos.

No material compilado de dados disponíveis em arquivos de empresas particulares e instituições (SAUMA FILHO et al., 1991), observou-se que a condutância específica é, em geral, muito baixa (em torno de 20 $\mu\text{S}/\text{cm}$, sendo predominante a influência de águas de precipitação atmosférica. Tais situações também foram observadas por LIMA & KOBAYASHI (1988) na área fisiográfica do município de Barcarena. (PA), em poços escavados pouco profundos (em geral, 2 a 3 metros da superfície do solo), registrando-se um máximo em condutância da ordem de 45 $\mu\text{S}/\text{cm}$ e média em torno de 35 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

6.3 - AQUÍFEROS ASSOCIADOS AO GRUPO BARREIRAS

Os níveis arenosos, armazenadores de água subterrânea, acham-se intercalados de maneira irregular com horizontes argilosos, constituindo aquíferos com espessuras muito variáveis e distribuição espacial confusa (GOÉS, 1981). Intercalados às areias e argilas encontram-se níveis lateríticos formados pela migração do ferro para a superfície. As areias tem granulometria

fina a média com níveis grosseiros, quartzosas, que apresentam vazões maiores, em torno dos 80 m³/h.

Os aquíferos relacionados a esta unidade normalmente fornecem água com teores de ferro acima do permitido, o que leva a uma série de problemas aos usuários. Mas assim como o posicionamento espacial dos aquíferos, a presença do ferro na água é também de confuso entendimento, pois muitas vezes poços no Barreiras apresentam água de ótima qualidade como o poço ANA.01 (Anexo A).

6.4 - AQUÍFEROS ASSOCIADOS À FORMAÇÃO PIRABAS

Os aquíferos localizados nesta unidade tem sua utilização restrita ao poder público e algumas unidades do polo industrial. A dificuldade de acesso é principalmente a profundidade da perfuração, que envolve profissionais de elevada capacitação técnica, em função dos equipamentos envolvidos e problemas operacionais.

Os reservatórios são compostos por areias de granulação fina, média e grossa e, níveis com seixos

arredondados a sub-arredondados, quartzosos (FERREIRA, 1977). As areias intercalam-se com calcáreos fossilíferos, margas e folhelhos, principalmente, e localizam-se em profundidade média, a partir dos 90 metros (com exceções, como o poço BEL-07, onde seu topo foi localizado aos 80 metros). Os aquíferos tem grande extensão lateral e boas espessuras, o que propicia acúmulos de grande volume de água, grande transmissividade e vazões significativas, em torno dos 300.000 m³/h (poços deste porte podem atender até seis mil ligações domiciliares).

6.5 - QUALIDADE DA ÁGUA

6.5.1 - Considerações Gerais

O conceito de qualidade da água está geralmente associado as suas características quanto à utilização de qualquer forma. Para tecer comentários sobre este assunto é fundamental o conhecimento de suas características físicas, químicas e bacteriológicas determinadas através de análises específicas.

As águas coletadas para a confecção deste trabalho foram submetidas à avaliação físico-química cujos parâmetros discutiremos a seguir.

A percepção inicial do homem na avaliação da qualidade da água através dos sentidos, pois é esperada que ela seja incolor, insípida e inodora. As águas subterrâneas de Belém, com exceção dos poços profundos (abaixo de 150 metros), normalmente mostram teores de ferro acima dos padrões de potabilidade, conferindo quando os valores são muito altos (> 5 ppm) cor, odor e sabor quando de sua utilização. Mas, de maneira geral os teores de ferro, apesar de quando acima de 1 ppm (permitido pela legislação), não prejudicam quanto ao consumo pela população. É justo ressaltar que a maioria das águas analisadas mostraram características físico-químicas que as classificam como potáveis.

Nas águas subterrâneas naturais a maioria das substâncias dissolvidas estão no estado iônico. Estes íons determinados por análises químicas são denominados de constituintes fundamentais e são principalmente o

sódio, potássio, cálcio, magnésio, cloreto, sulfato, bicarbonato, silício e para estas águas o ferro.

A interpretação das análises de água, principalmente os resultados de análises químicas, além de permitir a caracterização das mesmas são importantes para a pesquisa e utilização de seus mananciais; pois colabora nas avaliações hidrogeológicas (zonas de recarga, descarga e movimentação) e orienta sua utilização em função da finalidade a que é destinada.

6.5.2. - Normas de Potabilidade

Geralmente a água é considerada potável quando pode ser consumida pelo homem sem nenhum perigo para sua saúde. As secretarias de saúde das várias regiões do país cuidam da fiscalização dos índices de potabilidade das águas de consumo públicas, de acordo com a legislação vigente, com as devidas comparações com os índices fixados pela Organização Mundial de Saúde - OMS.

No Anexo B apresenta-se um resumo dos valores limites, fixados pela Organização Mundial da Saúde - OMS, para a qualidade da água potável.

6.5.3 - Análise dos Parâmetros Físico-Químicos e Químicos

A Tabela 1 resume dados analíticos das amostras de águas subterrâneas coletadas nos 17 poços aqui selecionados para estudo, no período de estiagem. A Tabela 2 refere-se ao período chuvoso.

Um exame preliminar dessas tabelas logo indica valores de pH às proximidades de 7 unidades (um pouco abaixo, um pouco acima) e abaixo de 5,5. Tais valores discriminam águas sob influência diferenciada de substrato geológico: águas mais ácidas referem-se à lixiviação de material algo mais ácido, águas mais alcalinas refere-se à influência de substrato algo mais rico em material mais básico. Tais fatos levam a uma primeira constatação de material geológico associado à Formação Pirabas, que são sedimentos ricos em argila e calcário.

Tabela 1 - Parâmetros e constituintes físicos e químicos de águas subterrâneas do Município de Belém (média de duas amostras praticamente idênticas). Eh em mV; condutividade elétrica (Cond.) em $\mu\text{S/cm}$, turbidez (Turb.) em mg SiO_2 , cor em U.C. Alcalinidade ao metilorange (Alcal.), sílica e ferro em ppm; os demais em meq/l, profundidade (Prof.) em metros. Primeira amostragem. Amostras coletadas no período de estiagem em 1992.

ANÁLISE FÍSICO-QUÍMICA DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS																	
AMOSTRA	Prof. (m)	Parâmetros Físicos e Físico-Químicos						Parâmetros Químicos									
		pH	Eh	Cond.	Turb.	Cor	Alcal. (CaCO ₃)	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Fe ²⁺	HCO ₃	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	SiO ₂	Fe total
BEL.01	200	5,16	391	37,40	14,0	20,0	2,5	0,19	0,005	0,010	0,020	1,59	0,050	0,130	*	10,28	1,81
BEL.02	255	7,46	431	310,0	11,0	0	150,0	0,03	0,040	2,750	0,573	0,51	3,000	0,043	0,070	23,14	0,90
BEL.03	240	6,93	450	362,0	21,0	30,0	152,5	0,13	0,020	2,825	0,610	0,78	3,050	0,435	0,111	18,00	1,33
BEL.04	57	4,18	542	41,7	9,0	0	9,0	0,20	0,003	0,035	0,054	0,10	0,180	0,210	*	11,57	0,20
BEL.05	270	6,72	483	259,0	12,0	5,0	125,0	0,03	0,021	2,185	0,650	0,28	2,500	0,090	0,036	26,14	0,61
BEL.06A	128	6,38	487	340,0	71,0	>100	130,0	0,15	0,020	2,737	0,475	6,12	2,600	0,644	0,145	19,28	7,21
BEL.07	176	6,45	504	356,0	41,0	>100	125,0	0,05	0,017	2,880	0,720	2,05	2,500	0,825	0,260	20,57	3,09
BEL.08	258	7,20	160	323,0	19,0	0	150,0	0,05	0,019	2,210	0,600	0,13	3,000	0,120	0,100	24,85	0,63
ICO.01	256	6,9	379	301,0	11,5	7,50	143,0	0,03	0,015	2,500	0,515	0,68	2,860	0,072	0,065	22,28	1,05
ICO.02	85	6,59	401	87,5	6,0	0	53,5	0,16	0,012	0,500	0,130	0,03	1,070	0,060	*	13,71	0,06
ICO.03A	370	7,60	416	273,0	17,0	25,0	125,0	0,03	0,020	2,105	0,610	0,68	2,500	0,072	0,070	20,57	1,01
ICO.04	150	6,71	454	231,0	33,0	60,0	106,5	0,03	0,022	1,841	0,323	3,41	2,130	0,135	0,032	24,85	3,55
ICO.05	270	7,01	410	293,0	11,5	0	137,5	0,04	0,020	2,374	0,546	0,15	2,750	0,072	0,072	21,00	0,20
MSQ.01	250	7,1	222	308,0	12,0	0	134,0	0,04	0,025	2,158	0,750	0,076	2,680	0,240	0,073	20,57	0,26
MSQ.02	250	7,2	232	307,0	12,0	0	140,0	0,05	0,025	2,170	0,706	0,050	2,800	0,120	0,073	21,43	0,19
ANA.01	83	4,01	525	47,3	14,0	0	9,0	0,30	0,010	0,022	0,042	0,015	0,180	0,130	*	8,14	0,05

* Resultados abaixo do limite de detecção do aparelho.

Tabela 2 - Parâmetros e constituintes físicos e químicos de águas subterrâneas do Município de Belém (média de duas amostras praticamente idênticas). Eh em mV; condutividade elétrica (Cond.) em $\mu\text{S/cm}$, cor em U.C. Alcalinidade ao metilorange (Alcal.) , sílica e ferro em ppm; os demais em meq/l, profundidade (Prof.) em metros. Segunda amostragem. Amostras coletadas no período chuvoso em 1993.

ANÁLISE FÍSICO-QUÍMICA DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS															
AMOSTRA	Prof. (m)	Parâmetros Físicos e Físico-Químicos				Parâmetros Químicos									
		pH	Cond.	Cor	Alcal. (CaCO ₃)	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Fe ²⁺	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	SiO ₂	Fe total
BEL.06B	128	6,66	305	>100	139,0	0,591	0,112	1,871	0,360	4,12	2,78	0,147	0,112	21,43	5,11
ICO.03B	370	7,10	294	20,0	145,0	0,296	0,113	2,223	0,536	0,25	2,90	0,045	0,060	23,57	0,34
BEL.09	27	5,40	>300	≅100	29,5	1,027	0,260	0,961	0,257	5,80	0,59	0,600	1,727	6,96	6,48

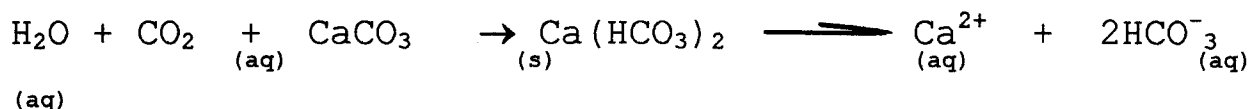
Quanto aos valores de Eh, todos aparecem sempre acima de 220 mV, sendo a maioria acima de 370 mV, revelando, portanto, influência de ambiente aerado.

A condutância específica se estende desde valores mínimos (em torno de pouco mais de 35 $\mu\text{S}/\text{cm}$ até pouco abaixo de 50 $\mu\text{S}/\text{cm}$) indicando águas pobres em eletrólitos. Por outro lado, valores numéricos de condutância específica aparecem acima de 200 $\mu\text{S}/\text{cm}$, revelando, claramente, presença de eletrólitos fortes em solução. Uma descontinuidade aparece em 87,5 $\mu\text{S}/\text{cm}$, que merecerá atenção posterior.

Quanto aos cátions maiores componentes dessas águas, predomina o Ca^{2+} na maioria dos casos. Em certas situações, é o Na^+ que predomina. Tais situações se encontram compatíveis com a origem geológica dos substratos associados a tais águas.

Compatível com a análise dos cátions, é a análise dos ânions. Na maioria dos casos, predomina o HCO_3^- . Associando-se Ca^{2+} e HCO_3^- tem-se confirmada a influência dos sedimentos de carbonato da Formação

Pirabas. Tais fatos são explicados pelas reações em solução aquosa:



O ambiente intemperizado na Amazônia, às proximidades de Belém, caracteriza-se pela forte ação lixiviadora (abundância de chuvas, decomposição da matéria orgânica, principalmente), capaz de produzir substâncias ácidas, que atacam os minerais formadores de rochas sedimentares. Tais rochas, ricas em ferro, logo produzem soluções diluídas ricas em ferro. No ambiente aerado, situações são aqui fartamente comprovadas, havendo casos em que o ferro total atinge índices algo alarmantes (vide poços BEL.07, ANA.01, ICO.04 e, principalmente, BEL.09 e BEL.06), chegando até mesmo a 7,21 ppm de Fe.

Na tentativa de melhor visualizar tais parâmetros, confeccionou-se alguns gráficos elucidativos.

Assim, por exemplo, na Figura 6 o diagrama de condutância específica versus a soma dos

miliequivalentes de cátions (Na^+ , K^+ , Ca^{2+} e Mg^{2+}) mostra dois grupos distintos de amostras. Um grupo de baixas condutividades e pobre em eletrólitos, em contraposição e um outro, rico em eletrólitos e condutividade elétricas elevadas. Este último grupo está relacionado com as amostras associadas à Formação Pirabas, enquanto o primeiro relaciona-se com o Grupo Barreiras, bem como ao Quaternário preservado.

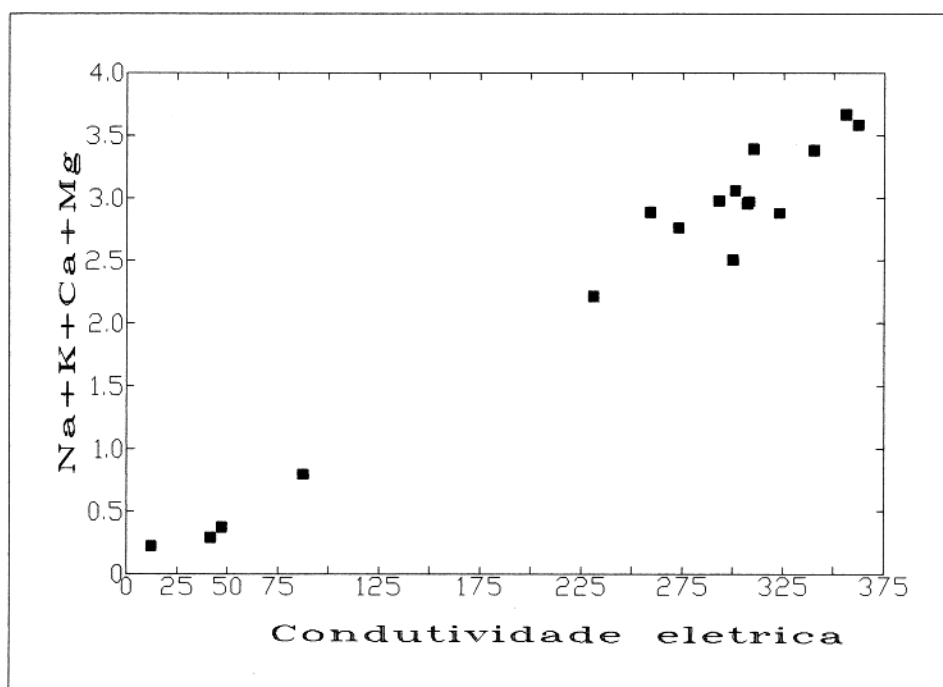


Figura 6 - Correlação entre a condutividade elétrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$) e a soma de cátions $\text{Na}+\text{K}+\text{Ca}+\text{Mg}$ (meq/l) dos poços coletados da região da Grande Belém.

A Figura 7 ratifica a correspondência entre os maiores valores de pH com as condutividades elétricas mais elevadas, típicas de águas associadas à Formação Pirabas. Também se distingue grupos de amostras, típicos.

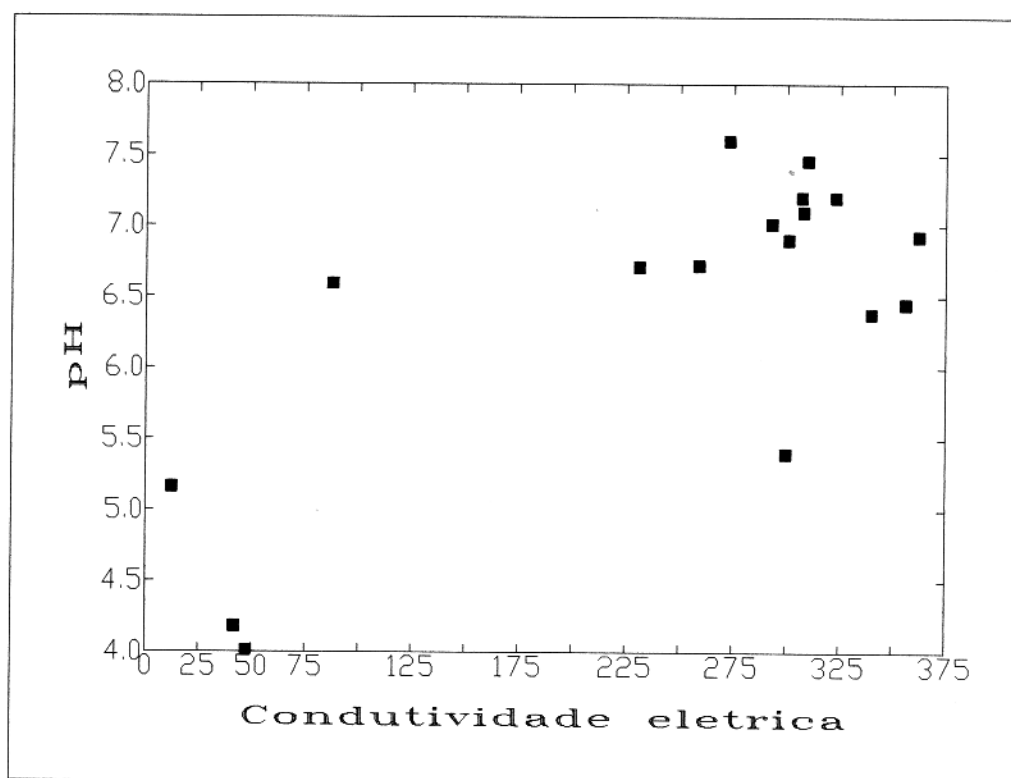


Figura 7 - Correlação entre a condutividade elétrica ($\mu\text{S/cm}$) e o pH da água dos poços coletados da região da Grande Belém.

Na tentativa de estabelecer maior relação entre o miliequivalentes de sódio com os de cloreto, averigou-se a relação estequiométrica associada ao cloreto de sódio, mas o que se observou é que, enquanto o teor de

cloreto aumenta, o sódio pouco se manifesta. Há, porém, um grupo de amostras que exhibe alguma tendência para a relação estequiométrica associada ao cloreto de sódio (Figura 8).

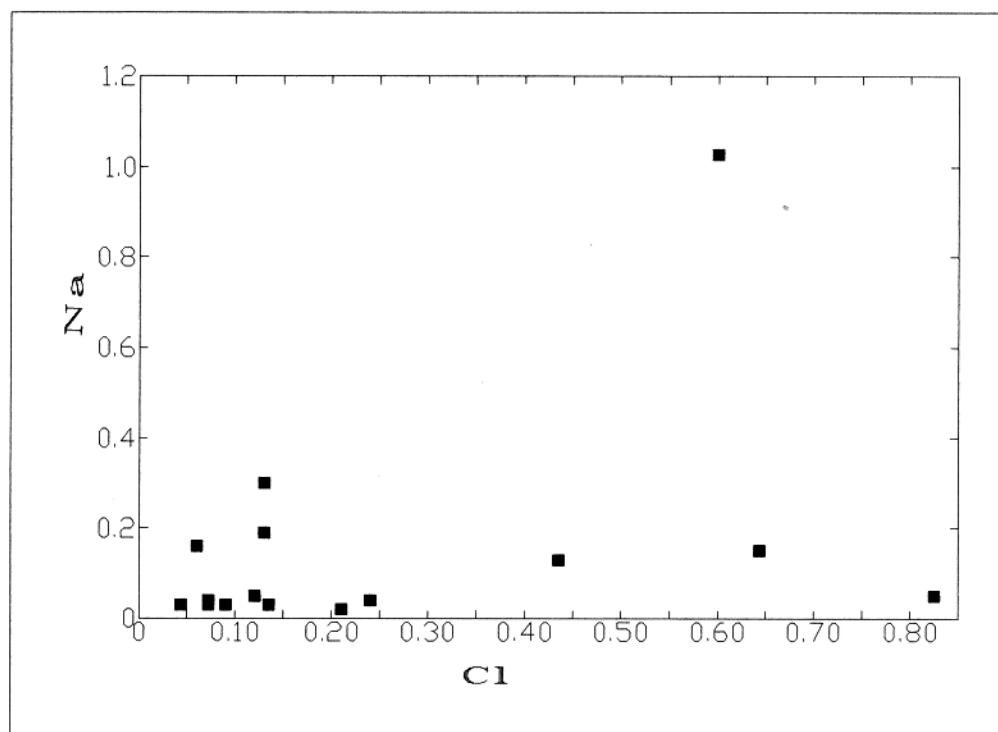


Figura 8 - Correlação entre Cl^- e Na^+ (valores meq/l) para as águas dos poços coletados da região da Grande Belém.

Uma estreita relação aparece entre Ca e HCO_3 na Figura 9. Confirma-se aqui, a notável influência da Formação Pirabas, rica em carbonato de cálcio, na produção dos eletrólitos Ca^{2+} e HCO_3^- . Valores

discrepantes estão relacionados com o Grupo Barreiras e com os sedimentos do Quaternário.

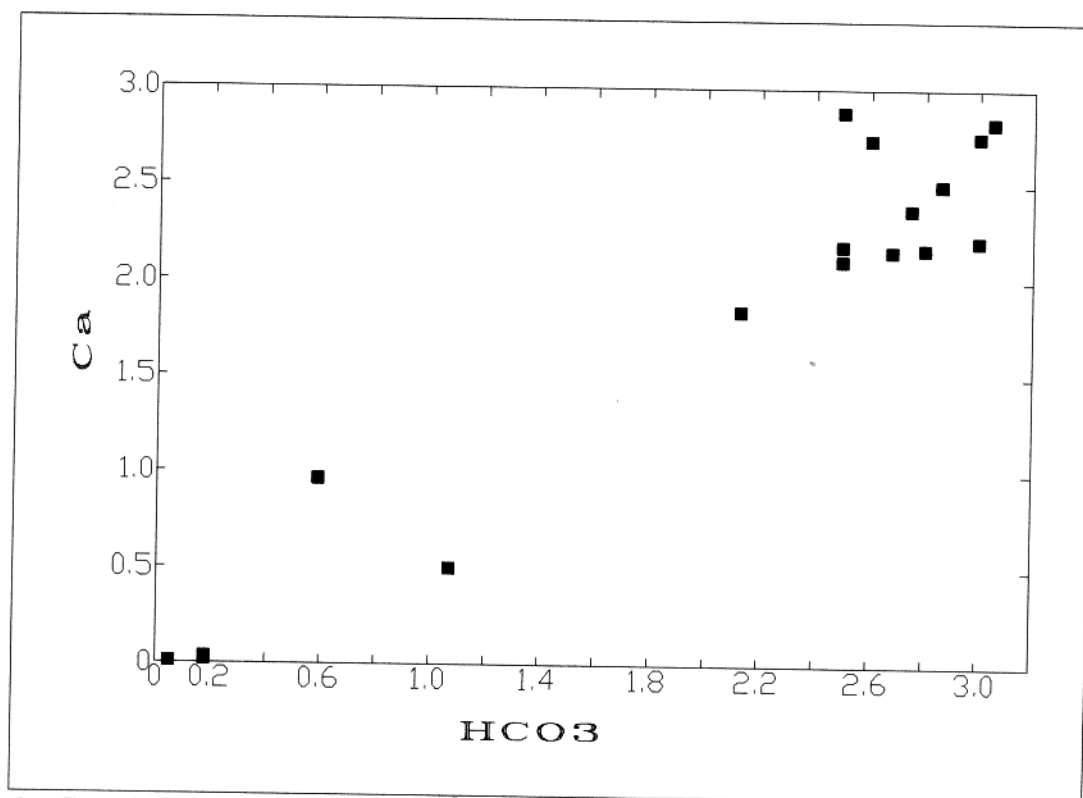


Figura 9 - Correlação entre HCO_3^- vs. Ca^{2+} (valores em meq/l) para as águas dos poços coletados na cidade de Belém e adjacências.

A Figura 10 exibe o diagrama triangular Mg-(Na+K)-Ca, revelando maior tendência para o campo do Ca, o que confirma as observações anteriores já mencionadas. Algumas amostras, porém, também ratificam predominância de Na+K (com maior influência de Na) para algumas amostras. Tais casos discriminam águas associadas à

Formação Pirabas (maior tendência para o Ca) e ao Grupo Barreiras e ao Quaternário (predominância de Na+K).

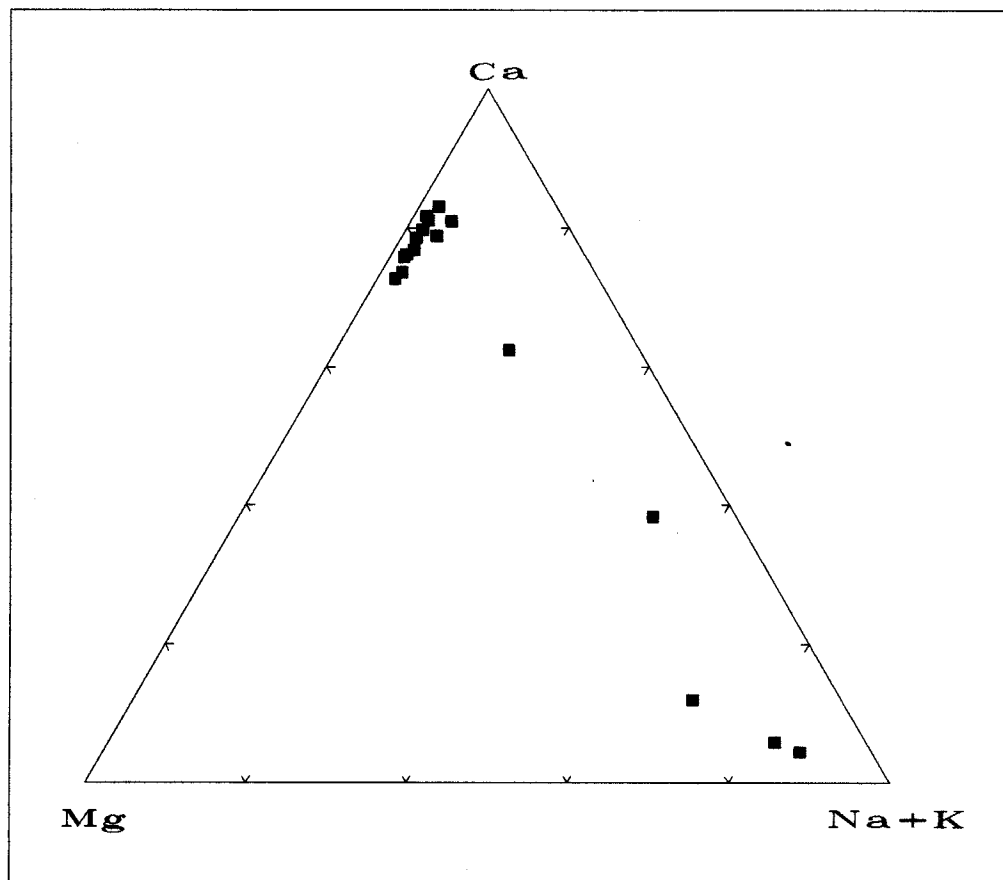


Figura 10 - Diagrama triangular Mg-(Na+K)-Ca (valores em meq/l) para as águas dos poços coletados na região da Grande Belém.

Na Figura 11 o diagrama triangular $\text{SO}_4\text{-HCO}_3\text{-Cl}$ mostra a predominância do íon bicarbonato, como, aliás, seria de se esperar. Todavia, uma amostra anômala aparece (rica em SO_4^{2-}). Trata-se de uma situação especial (poço BEL.09), aparentemente associada a despejos urbanos, a julgar pelos seus parâmetros apresentados.

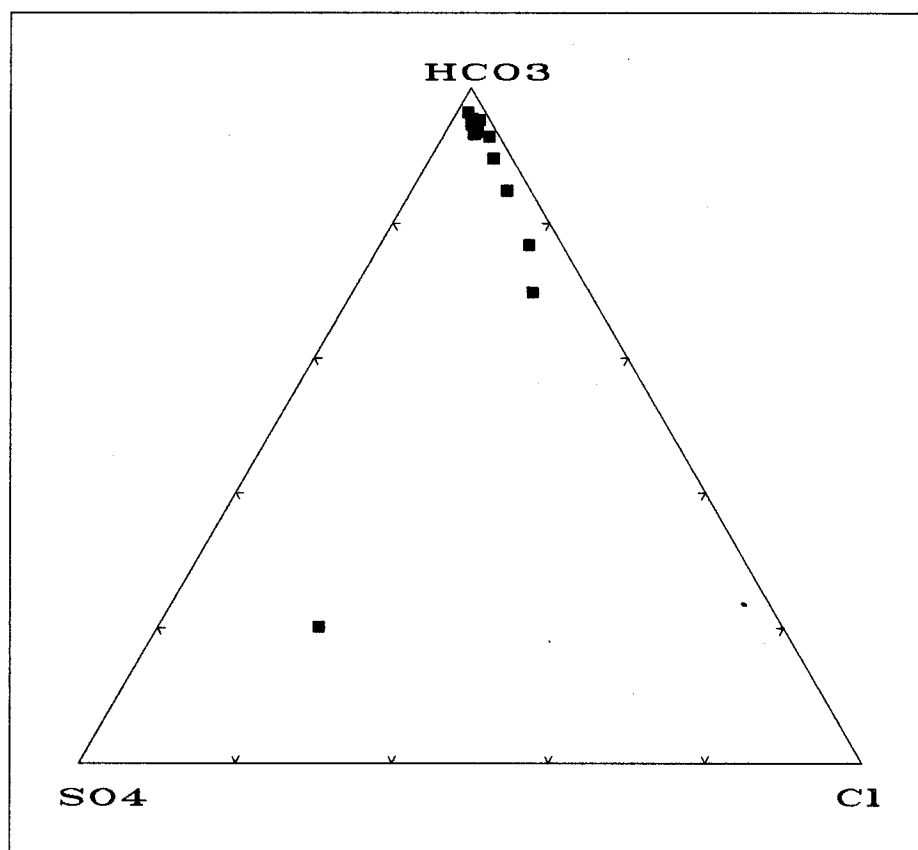


Figura 11 - Diagrama triangular SO₄-Cl-HCO₃ (valores em meq/l) para as águas dos poços coletados na região da Grande Belém.

O diagrama da Figura 12 mostra a coerência dos poços estudados com os valores mais pronunciados de cálcio e magnésio, representando a Formação Pirabas. Os valores deslocados em direção ao sódio e potássio identificam os pocos mais rasos, domínio do Grupo Barreiras.

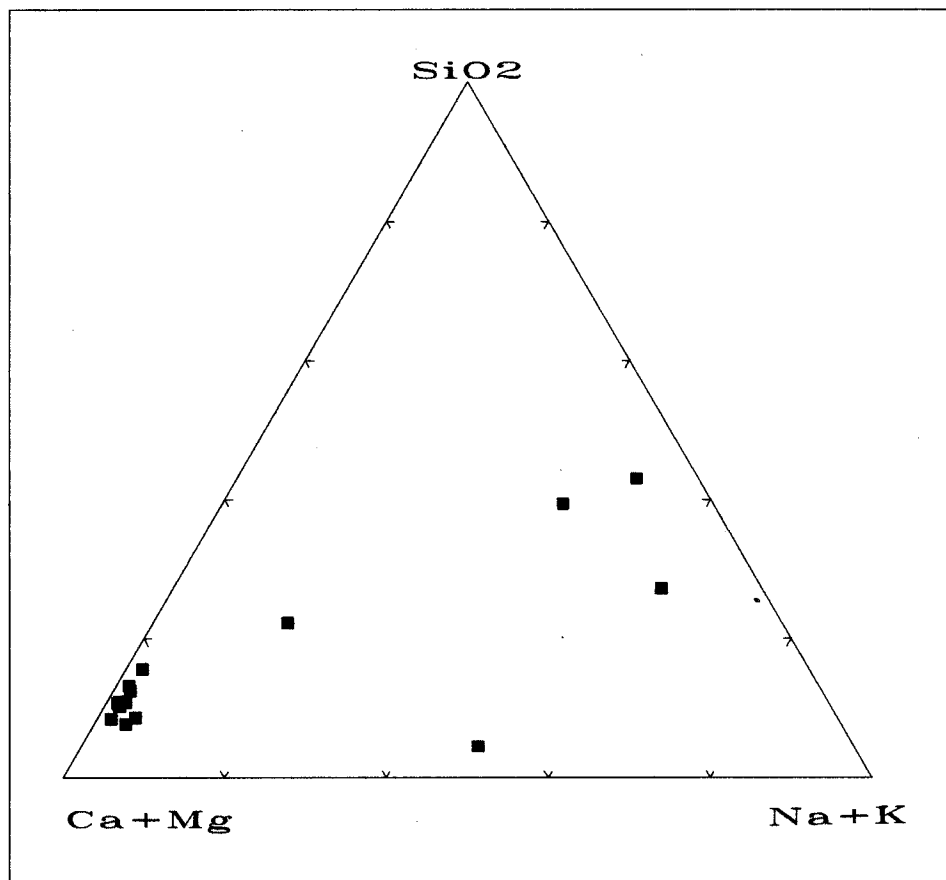


Figura 12 - Diagrama triangular $(\text{Ca} + \text{Mg}) - (\text{Na} + \text{K}) - \text{SiO}_2$, para as águas dos poços coletados na região da Grande Belém. SiO_2 em mmol e dos demais em meq.

A Figura 13 evidencia a correlação já esperada para ambientes laterizados. Há notável deslocamento para uma tendência geral do aumento do ferro total com os valores de Eh. Quanto mais aerado o ambiente, mais propícia será a manifestação da presença de ferro nessas águas, revelando a intensa laterização no meio geológico.

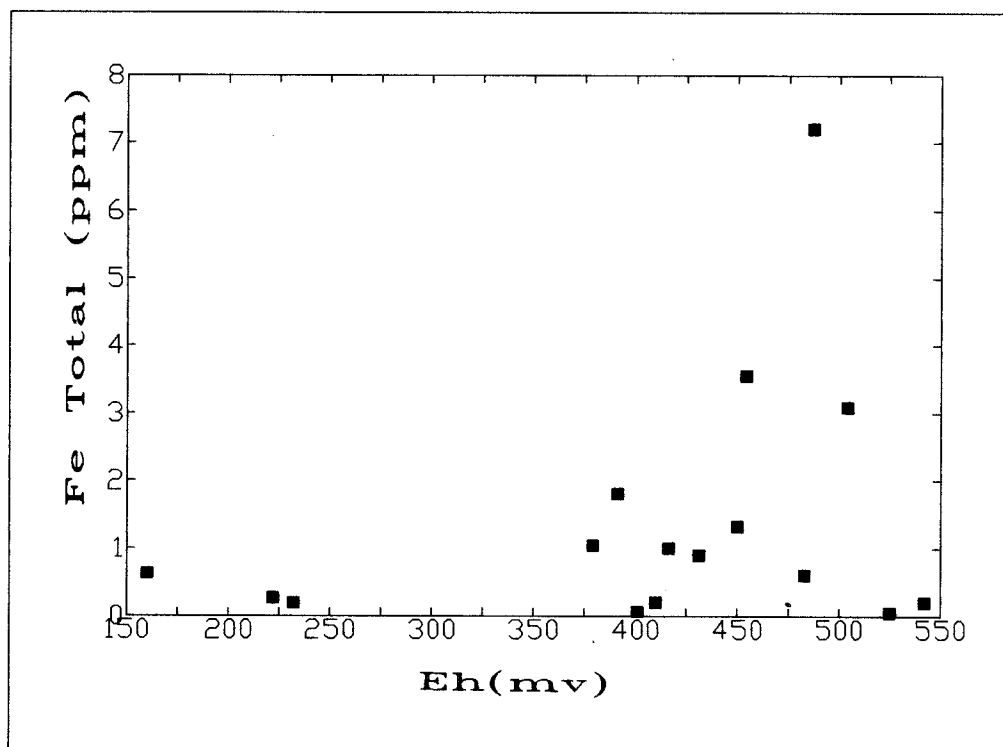


Figura 13 - Diagrama Eh vs. Fe total dos poços coletados da região da Grande Belém.

6.5.4 - Diagrama Eh-pH

O potencial de oxidação (Eh) é um parâmetro físico-químico que avalia a tendência de um meio aquoso em causar reações de oxidação e redução. Em muitos casos é análogo ao pH (KRAUSKOPF, 1972).

Representam-se graficamente os valores de Eh e pH como coordenadas e abcissas, respectivamente (KRAUSKOPF, op cit.; LEVINSON, 1974). Estes diagramas são importantes para a descrição das características de

várias espécies químicas. A variação do pH no diagrama é de 4 a 9, que é o intervalo no qual muitas reações ocorrem no ambiente intemperizado.

A Figura 14 exhibe uma aplicação do diagrama Eh-pH para águas subterrâneas do município de Belém. As amostras se encontram localizadas no campo do ambiente intemperizado, como, aliás, seria de se esperar, tratando-se de águas naturais submetidas à ação do intemperismo químico. Alguns exemplos deslocam-se para valores de pH mais ácidos, outros para pH mais neutros ou ligeiramente alcalinos. Algumas amostras apresentam componentes mais redutores, outras mais oxidantes, porém todas dentro do campo comum do ambiente sujeito à ação da aeração.

6.5.5 - Diagrama de Schöeller

Os diagramas de Shöeller mostram os valores numéricos dos elementos em solução, assim como a relação entre eles. É um diagrama semi-logarítmico em que procura-se demonstrar se há similaridade entre os constituintes químicos das águas.

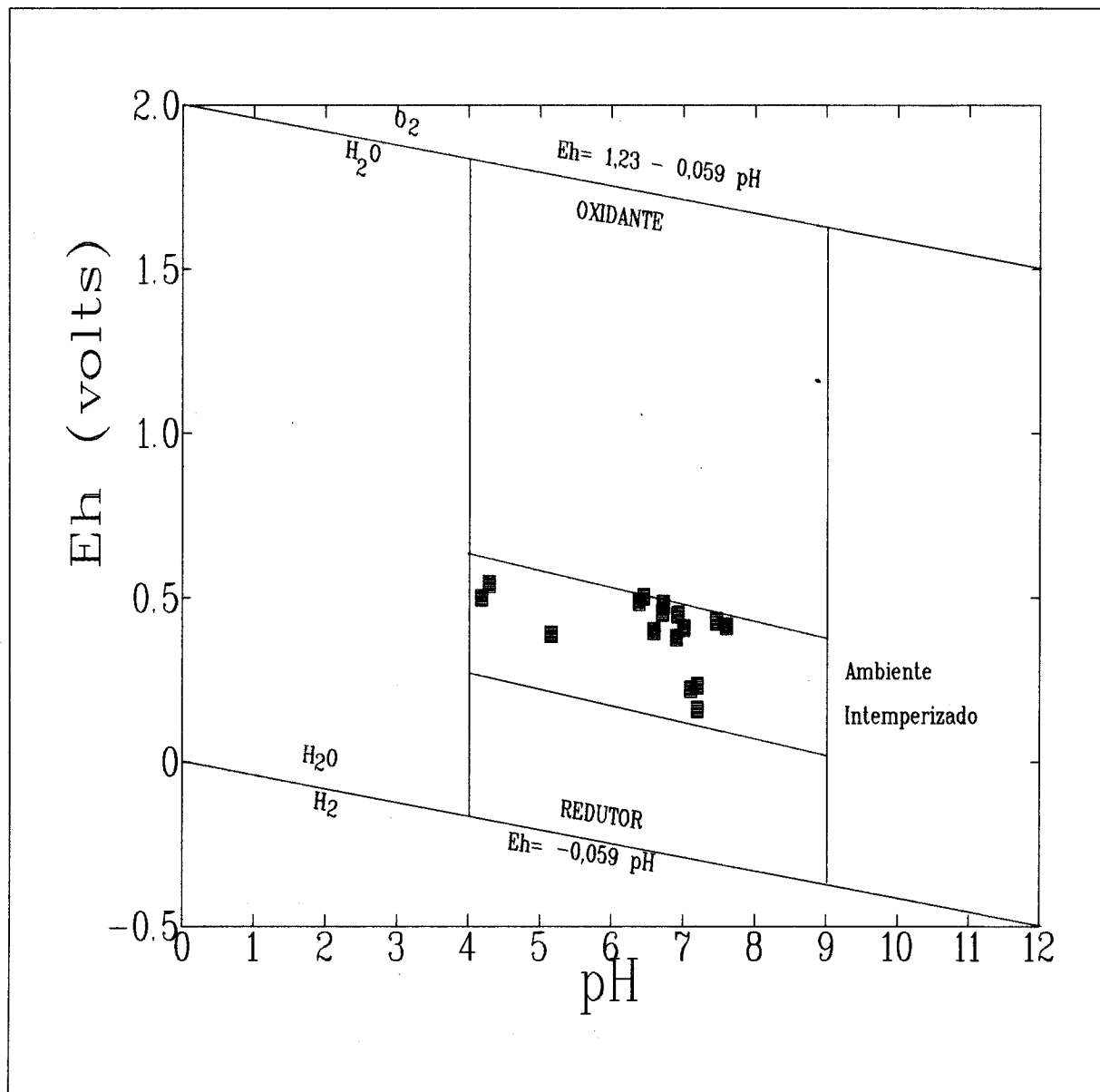


Figura 14 - Diagrama Eh vs. pH para águas subterrâneas do município de Belém, coletadas no período de estiagem e chuvoso. Modelo de LEVINSON (1974).

Das águas subterrâneas analisadas foram tomados 4 poços sendo 2 da Formação Pirabas, 1 no Grupo Barreiras e 1 no Quaternário. As amostras foram plotadas no diagrama representado na Figura 15, e representados por 1 e 2, 3 e 4, respectivamente. Observa-se que os poços representativos do Pirabas tem um comportamento semelhante com altos teores de cálcio e bicarbonato. Os poços 3 e 4, mostram similaridade na composição de suas águas com baixos teores associados. Isso é explicado pois a unidade mais recente (Quaternário) formou-se também por desagregação do Grupo Barreiras. As águas de seus aquíferos por demonstrarem a associação com as rochas que percolam, tem composição semelhante.

No capítulo 6.6 descreve-se amplamente o elemento ferro que é o maior problema dos poços explotados no município de Belém.

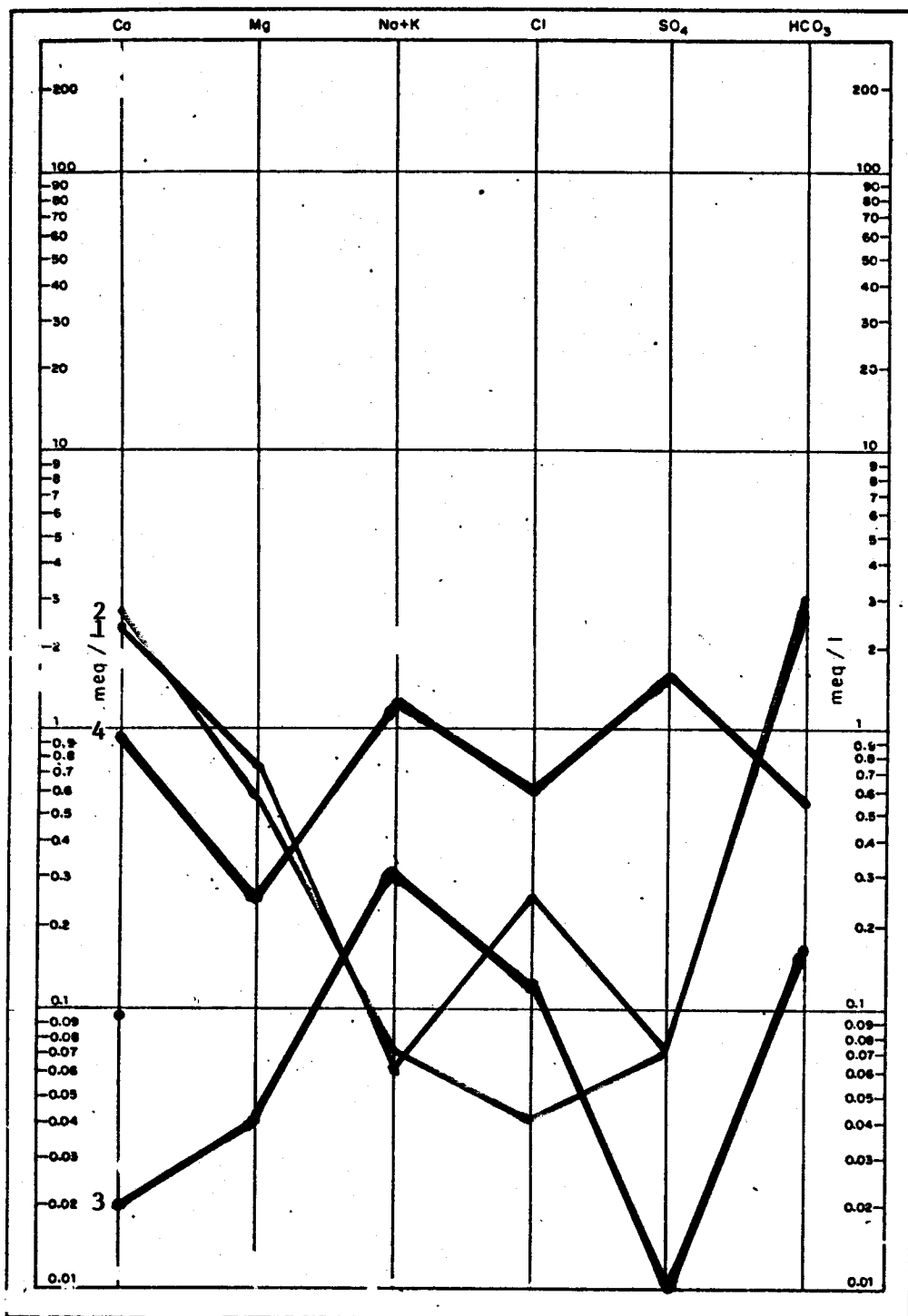


Figura 15. Diagrama semi-logar-itmico de Schöeller das águas subterrâneas do Município de Belém.

- 1) MSQ.01 - Formação Pirabas
- 2) BEL.02 - Formação Pirabas
- 3) ANA.01 - Grupo Barreiras
- 4) BEL.09 - Quaternário

6.6 - A PROBLEMÁTICA DO FERRO

6.6.1 - A Importância da Presença do Ferro nas Águas

Praticamente todas as águas consideradas potáveis contém algum teor de ferro, e este é considerado como um dado importante, quando acima do limite permitido, por afetar suas finalidades, sejam domésticas ou industriais.

O ferro é considerado a maior problemática das águas subterrâneas explotadas no município de Belém. Problema que se reflete, como exemplo, em poços como BEL.06, BEL.07, ICO.04 e BEL.09 (Anexo A), impedindo em parte sua utilização doméstica, além de levar complicações às instalações por onde circulam essas águas.

A procedência do elemento ferro está ligada a silicatos ferríferos (HEM, 1970).

Quando a água que contém o ferroso entra em contato com o ar muda para o estado férrico (oxidação) ocorrendo então a precipitação. Segundo HEM (op cit.) a forma mais comum de ferro em solução nas águas subterrâneas é o íon Fe^{2+} .

Geralmente as águas ácidas mantêm grandes quantidades de ferro em solução (exemplos serão tratados posteriormente).

De acordo com os padrões de potabilidade do Ministério da Saúde, no Brasil, é tolerável o limite de 1 mg/l de ferro em águas tratadas. Ressalta-se porém, que o limite não é fixado por razões fisiológicas, visto que o corpo humano requer 5 a 6 mg de ferro por dia. Os padrões são estabelecidos em função de problemas sanitários e de engenharia hidráulica, além do gosto desagradável, que águas com altos teores de ferro apresentam (CUSTÓDIO & LLAMAS, 1976).

Teores de ferro acima de 0,5 ppm podem causar vários efeitos, como:

- problemas de gosto (sabor metálico);
- manchas nas roupas lavadas;
- manchas nas instalações sanitárias (pias, tanques, torneiras, etc...);
- incrustações nos filtros de poços e nas canalizações, causando diminuição da vazão e a consequente redução de sua vida útil; entre outros.

A água também pode adquirir ferro pelo contato com o revestimento dos poços, bombas e instalações hidráulicas, recomendando-se como prevenção a utilização quando possível de materiais não oxidantes.

Segundo CUSTÓDIO & LLAMAS (1976) as condições indispensáveis para o desenvolvimento das bactérias de ferro são relacionadas ao:

- O₂ dissolvido na água
- CO₂ dissolvido na água
- algum conteúdo de Fe²⁺ ($\geq 1,6$ mg/l)
- pH entre 5,4 e 7,2.

Observa-se que o aspecto muitas vezes não é critério para a avaliação da presença do ferro. Em geral, águas completamente límpidas na hora da coleta, quando retidas por algum tempo e em contato com o ar tornam-se turvas, e podem formar até depósitos de ferrugem no fundo dos recipientes de coleta.

Quando o teor de ferro é excessivo torna-se necessário fazer o tratamento da água de acordo com a sua finalidade. Alguns tipos de práticas para a remoção do ferro das águas naturais são: a aeração,

desferrisação em sistema fechado e desferrisação química.

6.6.2 - O Ferro nas Águas Subterrâneas de Belém

Segundo as informações colhidas das perfurações acompanhadas e os dados geológicos, pode-se inferir alguns aspectos a cerca da presença do elemento ferro nas águas subterrâneas do município de Belém.

Considerando-se o fator geológico, o Grupo Barreiras tem maiores possibilidades de fornecer água com ferro, por ser constituído de sedimentos continentais com alguns minerais oxidantes (assim como o ambiente). O Quaternário (Pós-Barreiras) aonde situam-se grande parte dos poços tubulares rasos (até 40 metros), principalmente os residenciais, também oferece grande probabilidade de fornecer ferro, pois foi formado em grande parte por material erodido do Grupo Barreiras. As areias da Formação Pirabas por serem sedimentos desprovidos de quantidades significativas de ferro têm menor possibilidades de fornecerem águas ricas neste elemento.

Após coleta e preservação das amostras colhidas para a análise do elemento ferro, o resultado mostra que poços como BEL-01, BEL-02, BEL-03, BEL-05 e BEL-08 (Anexo A), apesar de possuírem teores acima do recomendável (Tabelas 1 e 2), ainda podem ter suas águas tratadas por métodos mais baratos. Poços como BEL-06, BEL-07, BEL-09 e ICO-04 mostram teores muito elevados, variando de 3 a 7 ppm, o que recomenda desferrisação mais sofisticada. Alguns poços são profundos, mas a captação é feita sem diferenciação da unidade geológica, ou seja, foram colocados filtros em todos os aquíferos que denotassem boa vazão, o que finalmente comprometeu a qualidade da água quanto ao teor de ferro.

Analisando-se as observações anteriores, não é consistente o dito que poços profundos não apresentam águas com teores elevados de ferro. O que se pode inferir, baseando-se nos dados geológicos e de experiências práticas de perfuração, como as relatadas por A. C. Tancredi (INPA) e C. A. Schenato (GEONORTE), nos seus trabalhos de campo (informação verbal), é que

quando os poços são completados dentro da Formação Pirabas (isolando-se o fornecimento de outras unidades), tem grandes possibilidades de fornecer água com teores de ferro aceitáveis e dentro dos padrões de potabilidade oficiais.

A Figura 16 apresenta um diagrama de correlação entre os teores de ferro (total) e a profundidade dos poços estudados neste trabalho.

Segundo este diagrama, as amostras abaixo de 200 metros mostram teores mais reduzidos de ferro, que passam a aumentar à medida que se aproxima dos 100 metros. Ressalte-se que as rochas da Formação Pirabas, às quais estão associadas as águas de menor concentração deste metal, são calcáreas, divergindo da unidade que a sobrepõe, o Grupo Barreiras, que pela composição de argilas e níveis lateríticos associados, favorece o enriquecimento em ferro e, conseqüentemente, as maiores concentrações nas águas subterrâneas aí associadas.

As amostras situadas em torno dos 150 metros, e ainda enriquecidas em ferro, têm a maior concentração

explicada pela mistura das águas, ou seja, no posicionamento dos filtros do poço faz-se a captação das águas do Barreiras e de Pirabas, como acontece com o poço BEL.06.

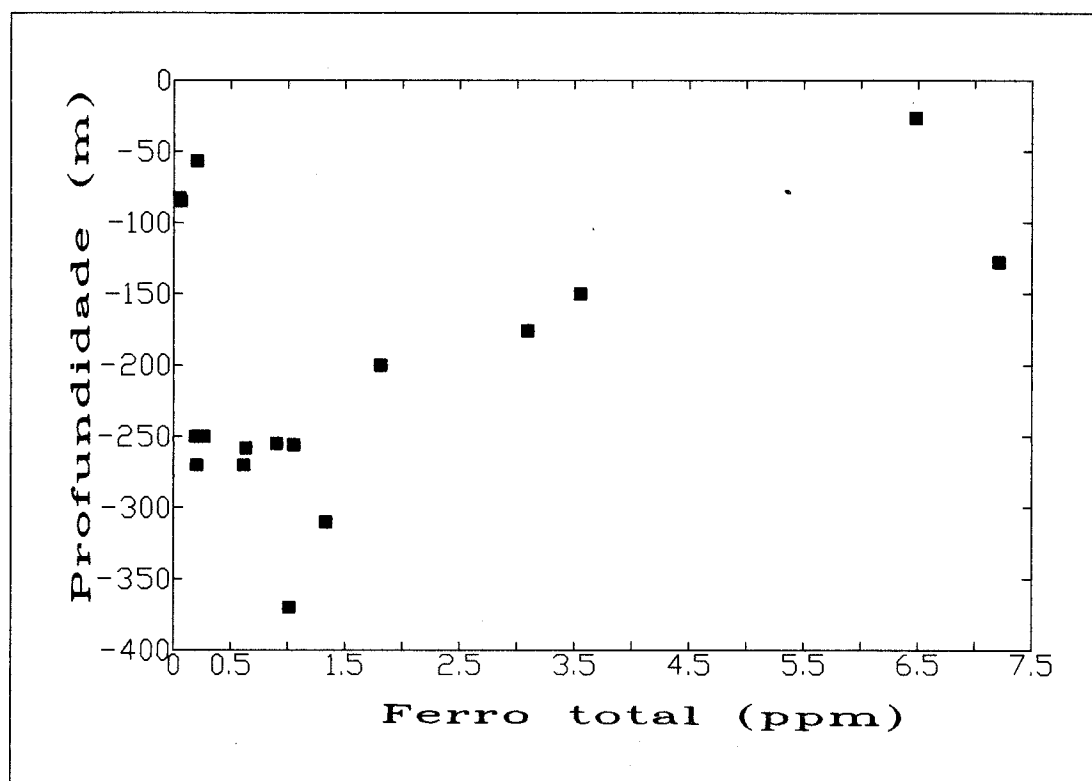


Figura 16 - Correlação entre Ferro total e profundidade para as águas subterrâneas da Região Metropolitana de Belém.

7 - CONCLUSÕES

Na região Metropolitana de Belém (RMB) os aquíferos são constituídos de horizontes arenosos, que se intercalam com camadas argilosas, e podem ocorrer em profundidades abaixo de 500 metros até o embasamento.

Os poços perfurados na RMB, em profundidades variadas, alcançam as três unidades geológicas que compõem seu substrato até o embasamento cristalino.

Os mais rasos, até os 20 metros localizam-se na unidade mais recente, o Quaternário, que contém níveis arenosos de granulometria fina a média, quartzosas, com pequena distribuição espacial, e vazões de baixo calibre.

Abaixo do Quaternário e até cerca de 110 metros, em média, ocorre o Grupo Barreiras, que se compõe de níveis argilosos intercalados com horizontes arenosos, de granulometria fina, média à grossa, que fornecem água com vazões maiores, de até 80 m³/hora.

Abaixo do Grupo Barreiras, ocorre a Formação Pirabas, constituída essencialmente de calcários e

margas, aos quais intercalam-se areias de granulação fina, média e grossa, além de níveis com seixos quartzosos. Tais aquíferos produzem vazões acima de 300 m³/hora.

Os resultados analíticos aqui interpretados permitem destacar algumas conclusões mais imediatas, no que se refere aos parâmetros físico-químicos e químicos. Assim, estreita relação existe entre o pH dessas águas e a condutividade elétrica na identificação dos aquíferos Pirabas. Valores de pH às proximidades de 7 (um pouco abaixo, um pouco acima) e condutividades elétricas elevadas são característicos de tais aquíferos. Coerentes com esses resultados se encontram o conteúdo total de eletrólitos fortes, tais como Ca^+ , Mg^+ , Na^+ , K^+ , HCO_3^- , principalmente, apresentando os teores mais elevados em relação aos demais aquíferos.

Os diagramas triangulares ratificam as considerações acima, e esboçam predominância de Ca^{2+} e HCO_3^- , revelando a dissolução de carbonato de cálcio oriunda do ataque ácido ao calcário da Formação

Pirabas.

Índices de pH mais ácidos e condutividades elétricas bem menos pronunciadas (quase sempre, abaixo de $50\mu\text{S}/\text{cm}$) são indicativos do Quaternário preservado da ação antropogênica e do Grupo Barreiras. Deve-se esperar certa influência da matéria orgânica na dissolução de minerais de silicato, a julgar pelos teores algo pronunciados de SiO_2 , aliás perfeitamente comprovados no diagrama triangular respectivo.

Situação bem característica apresenta o ferro. Com o aumento da profundidade, a tendência geral é de diminuição do seu teor, embora apareçam descontinuidades. Situações mais extremas atingem praticamente 7 ppm de Fe total. O diagrama Eh-pH confirma a caracterização geoquímica do ambiente intemperizado, enquanto a correlação entre o conteúdo de ferro com os índices de Eh se mostra perfeitamente compatível com a laterização crescente com o ambiente aerado.

Pode-se afirmar que se espera que toda a Região Metropolitana de Belém poderia ser melhor atendida pelo

abastecimento por águas subterrâneas, que além de exibirem excelente qualidade (salvo algumas restrições com o ferro), quando a maiores profundidades, oferecem elevadas vazões.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABREU, F.A.M. de. 1990. **Evolução geotectônica do Pré-Cambriano na Região Meio Norte do Brasil e sua correlação com a África Ocidental.** Belém, Universidade Federal do Pará. Centro de Geociências. 440p. Tese (Doutorado em Geologia). Curso de Pós-Graduação em Geociências, Centro de Geociências, UFPA, 1990.
- ABREU, F.A.M. & HASUI, Y. 1980. Estruturas da Formação Gurupi e Santa Luzia. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 31., Camboriu-SC, 1980. **Anais.** Camboriu, SBG. v.2, p.2533-2541.
- ABREU, F.A.M. et al. 1980. Esboço do Pré-Cambriano da Região de Gurupi, Estado do Pará-Maranhão. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 31., Camboriu, 1980. **Anais.** Camboriu, SBG. v.2, p.647-698.
- ACKERMANN, F.L. 1969. **Esboço para a geologia entre as cidades de Belém-Rio Guamá e Atlântico - Rio Gurupi.** Belém, Imprensa Universitária do Pará. 79p.
- ACKERMANN, F.L. 1976. **A Formação Pirabas sua evolução e interpretação.** Belém. DNPM. 83p.
- ALHEIROS, M.M.; LIMA FILHO, M.F.; MONTEIRO, F.A.J.; OLIVEIRA FILHO, J.S. 1988. Sistemas deposicionais na Formação Barreiras no nordeste oriental. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 35., Belém, 1988. **Anais.** Belém, SBG. v.2, p.753-760.
- ALMARAZ, J.S. 1979. **Aspectos geoquímicos e ambientais dos calcários da Formação Pirabas. Estado do Pará.** Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Centro de Geociências. Tese (Doutorado em Geoquímica) - Curso de Pós-Graduação em Geociências, Centro de Geociências, UFRS, 1979.
- ALMARAZ, J.S. & FORMOSO, M.L.L. 1971. Contribuição ao ambiente da Formação Pirabas - mineralogia de argilas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 25., São Paulo, 1971. **Anais.** São Paulo, SBG. v.2, p.247-265.
- ALMEIDA, F.M.A. & HASUI, Y. 1984. **Pré-Cambriano do Brasil.** São Paulo. E. Blücher, 378p.

- ALVES, J.G. 1989. **Levantamento geofísico de Santa Izabel do Pará.** Belém, UFPA/CG. Depto. de Geofísica. 10p. (Relatório Técnico).
- ALVES, J.G. 1990. **Levantamento geofísico do Distrito de Icoaraci e Ilha de Outeiro.** Belém, UFPA/CG. Depto. de Geofísica. 11p. (Relatório Técnico).
- ALVES, J.G. das Y. & LUIZ, J.G. 1989. **Estudo sobre a potencialidade de aquíferos subterrâneos em áreas urbanas no Estado do Pará.** Belém, Fundação do Amparo e Desenvolvimento da Pesquisa. 10p.
- APHA. AWWA.WPCF. 1975. **Standard methods for the examination of water and wastewater.** Washington, D.C. American Public Health Association. 1193p.
- ARAI, M.; UESUGUI, N.; ROSSETTI, D.F.; GÓES, A.M. 1988. Considerações sobre a idade do Grupo Barreiras no nordeste do Estado do Pará. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 35., Belém, 1988. **Anais.** Belém, SBG. v.2., p.738-752.
- ARANTES, J.L.G.; DAMASCENO, B.C.; KREBS, A.S.J. 1972. **Projeto Argila - Belém.** Belém, DNPM/CPRM. 56p. il.
- BAHIA, M.P. 1986. **Condições de exploração das águas subterrâneas da região metropolitana de Belém e adjacências.** Belém, UFPA. Centro de Geociências. 30p. Trabalho de Conclusão de Curso.
- BARBOSA, E.V.; RENNO, C.V.; FRANCO, E.M.S. 1974. Geomorfologia da Folha SA.22. In: BRASIL. Departamento Nacional da Produção Mineral. Projeto RADAM. **Folha SA.22 Belém;** geologia, geomorfologia, solos, vegetação e uso potencial da terra. Rio de Janeiro. cap.2, p.II/3-II/135. (Levantamentos de Recursos Naturais, 5).
- BIGARELLA, J.J. 1975. The Barreiras Group in northeastern Brazil. **Anais da Academia Brasileira de Ciências,** (47):303-365.
- BIGARELLA, J.J. & ANDRADE, G.O. 1964. Considerações sobre a estratigrafia dos sedimentos cenozóicos em Pernambuco (Grupo Barreiras). **Arq. Inst. Cien. Terra.** 2:2-14.

- BORGES, M. da S. & ANGÉLICA, R.S. 1986. **Levantamento geológico da Ilha de Mosqueiro - Estado do Pará.** Belém, Universidade Federal do Pará. Centro de Geociências, 34p. Trabalho de Conclusão de Curso.
- BRANDÃO FILHO, E.O. & MALTEZ, H. 1983. **Contribuição ao estudo hidrogeológico da região de Belém-PA.** Belém, UFPA. Centro de Geociências. 25p. Trabalho de Conclusão de Curso.
- BRASIL. Conselho Interministerial do Programa Grande Carajás. 1981. **Programa Grande Carajás, aspectos físicos, demográficos e fundiários.** Rio de Janeiro.
- BRASIL. Departamento Nacional de Meteorologia. 1991. **Normais Climatológicas (1961-1990).** Brasília. 85p.
- BRASIL. Departamento Nacional de Obras e Saneamento. 1968. **Programação para saneamento da Grande Belém.** Belém. 48p.
- BRASIL. Ministério do Exército. Diretoria de Serviços Geográficos do Exército. 1982. **Folha Belém.** Esc. 1:50.000.
- BRASIL. Superintendência de Desenvolvimento da Amazônia. 1984. **Atlas climatológico da Amazônia.** PHCA. 125p., n.39.
- BRAZ, V.M.N. 1985. **Estudo da qualidade da água de abastecimento da zona urbana de Belém (PA), aplicação à problemática existente no Bairro do Jurunas.** Belém, Universidade Federal do Pará. Centro de Geociências, 167p. Tese (Mestrado em Geoquímica) - Curso de Pós-Graduação em Ciências Geofísicas e Geológicas, Centro de Geociências, UFPA, 1985.
- BRITO, M.C. & MAUÉS, S.M.C. 1992. **ET-PARÁ.** Ed. Arco-íris, Curitiba. 128p.
- CARRASQUILLA, A.A.G. 1984. **Estudo geofísico regional sobre as águas subterrâneas na Ilha de Marajó - Pará - Brasil.** Belém, Universidade Federal do Pará. Centro de Geociências. 143p. Tese (Mestrado em Geofísica) - Curso de Pós-Graduação em Ciências Geofísicas e Geológicas, Centro de Geociências, UFPA, 1984.

- CAVALCANTI, G.M.L. 1979. **Geofísica aplicada à prospecção de água subterrânea na área do Rio Paracauari - Ilha de Marajó-Pará.** Belém, Universidade Federal do Pará. Centro de Geociências. 88p. Tese (Mestrado em Geofísica) - Curso de pós-graduação em Geofísica, Centro de Geociências, UFPA. 1979.
- CETESB. 1978. **Normalização Técnica NT-07. Análise Físico-Química de Água.** São Paulo, Cia. de Tecnologia e Saneamento Ambiental de São Paulo.
- CODM - COMPANHIA DE DESENVOLVIMENTO DA ÁREA METROPOLITANA DE BELÉM. 1975. **Plano de desenvolvimento da Grande Belém: metodologia, estudos básicos, prognósticos, desenvolvimento e sistema.** Belém, v.1, tomos 1 e 2.
- COSTA, I.L.da et al. 1975. **Projeto Gurupi; Relatório Preliminar.** Belém, DNPM-CPRM. v.1.
- COSTA, M.L. da. 1991. Aspectos geológicos dos lateritos da Amazônia. **Rev. Bras. Geoc.** São Paulo, 21(2):146-160.
- COSTA, M.F. da; GOBITSCH NETO, G.; PENALBER, A.M.C. 1992. Zoneamento ecológico-econômico do Estado do Pará: perfil técnico e definição de zonas e subzonas. **Pará Desenvolvimento.** p.62-84. Edição Especial.
- DIAS, S.F. (coord.). 1991. **Zoneamento ecológico-econômico do Estado do Pará.** Belém. Instituto de Desenvolvimento Econômico-Social do Pará. 113p. (Estudos Paraenses, 58).
- DIAS, S. da F. et al. 1991. **Estudo ambiental do Utinga: vida útil do sistema de abastecimento de água de Belém.** Belém, IDESP. 118p. (Relatórios de Pesquisa, 19).
- DREVER, J.I. 1988. **The geochemistry of natural waters.** 2. ed. New Jersey, Prentice Hall. 437p.
- EBPT. 1979. **sistema viário do Una, estudo preliminar.** Belém. v.1.

- FAIRBRIDGE, R.W. 1972. **The encyclopedia of geochemistry and enviromental sciences**. New York, Dowden, Hutchinson & Ross. 1321p.
- FARIAS, E.S. et al. 1992. **Relatório de estágio de campo III, área Belém**, UFPA. Departamento de Geologia. Belém. 318p.
- FENZL, N. 1977. Estudio hidroquímico de las águas subterrâneas de pequenas profundidades en el area piloto Ponta de Pedras - Isla de Marajó, Estado do Pará - Brazil. In: CONGRESSO GEOLÓGICO VENEZOELANO, 5., Caracas, 1977. **Memoria...** Caracas, t.4, p.1841-60.
- FENZL, N. 1980. Estudo da qualidade das águas subterrâneas rasas da parte Este da. Ilha de Marajó - metodologia e resultados. **Revista Águas Subterrâneas**. São Paulo, 2(1):33-6.
- FERNANDES, J.M.G. 1984. Paleoecologia da Formação Pirabas. Estado do Pará. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 33., Rio de Janeiro, 1984. **Anais**. Rio de Janeiro, SBG. v.1, p.330-340.
- FERNANDES, J.M.G. 1988. Bioestratigrafia da Formação Pirabas, Estado do Pará. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA., 35., Belém, 1988. **Anais**. Belém; SBG, v.6, p.2376-2382.
- FERREIRA, C.S. 1964. Contribuição à geologia de paleontologia do Baixo Parnaíba no Estado do Piauí (Formação Pirabas, Mioceno Inferior). **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi**, Belém, (9):1-151.
- FERREIRA, C.S. 1966. Características lito-paleontológicas da Formação Pirabas, Estado do Pará. **Divisão Nacional de Geologia e Mineralogia**, 41:101-111.
- FERREIRA, C.S. 1977. Fácies da Formação Pirabas (Mioceno Inferior). Novos conceitos de ampliações. **Academia Brasileira de Ciências**. Rio de Janeiro. 49(2):253. Resumo.
- FERREIRA, C.S. 1982. Notas estratigráficas sobre o Cenozóico Marinho do Estado do Pará. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DA AMAZÔNIA, 1., Belém. **Anais**. 1982. Belém; SBG. v.1, p.84-88.

- FERREIRA, C.S.; MACEDO, A.C.M.; ASSIS, J.F.P. 1978. A Formação Pirabas no Estado do Pará - novo registro de subsuperfície: Belém (furo 4-BE-01-PA), CPRM. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, 50(3):427.
- FOSTER, S.S.D.; HIRATA, R.C.; ROCHA, G.A. 1988. Riscos de poluição de águas subterrâneas: uma proposta metodológica de avaliação regional. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 5., São Paulo, 1988. **Anais**. São Paulo, ABAS. p.175-185.
- FRANCISCO, B.H.R. & FERREIRA, C.S. 1988. As relações da Formação Pirabas (Oligoceno-Mioceno) com as Formações continentais terciárias no NE do Pará. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 35., Belém, 1988. **Anais**. Belém; SBG. v.2, p.761-777.
- FREEZE & CHERRY. 1979. **Groundwater**. Prentice-hall, Englewood Cliffs. 604p.
- FURTADO, A.M.M. 1980. **A importância da geomorfologia no planejamento urbano**. Belém, IDESP. 42p.
- FURTADO, A.M.M. et al. 1979. **Projeto reconhecimento dos recursos naturais da região metropolitana de Belém**. Belém, IDESP, 82p.
- FYFE, W.S. 1974. The atmosphere and hydrosphere. In: **Geochemistry**. London, Oxford University. p.84-97.
- GÓES, A.M. 1981. **Estudo sedimentológico dos sedimentos Barreiras, Ipixuna e Itapecuru, no Nordeste do Pará e Noroeste do Maranhão**. Belém, Universidade Federal do Pará. Centro de Geociências. 55p. Tese (Mestrado em Geologia) - Curso de Pós-Graduação em Ciências Geofísicas e Geológicas, Centro de Geociências, UFPA, 1981.
- GÓES, A.M. & TRUCKENBRODT, W. 1980. Caracterização faciológica e interpretação ambiental dos sedimentos Barreiras na Região Bragantina, nordeste do Pará. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 31., Camború, 1980. **Anais**. Camboriú, SBG. v.2, p.766-771.
- GOLDSCHMIDT, V.M. 1958. **Geochemistry**. London, Oxford University. 730p.

- HEM, J.D. 1970. **Study and interpretation of the chemical characteristics of natural waters.** 2 ed. Washington, U.S. Government Printing Office. 365p. Geol. Survey Water-Supply paper, 1473.
- IGREJA, H.L.S. da 1992. **Aspectos tectono-sedimentares do Fanerozóico do nordeste do Estado do Pará e noroeste do Maranhão, Brasil.** Belém, Universidade Federal do Pará. Centro de Geociências, 192p.il. Tese (Doutorado em Geologia) - Curso de Pós Graduação em Geociências, Centro de Geociências. UFPA, 1992.
- IGREJA, H.L.S. et al. 1990. Estudos neotectônicos nas ilhas do Outeiro e Mosqueiro-NE do Estado do Pará. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 36., Natal, 1990. **Anais.** Natal, SBG. v.5, p.2110-2123.
- INSTITUTO DO DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO-SOCIAL DO PARÁ. 1974a. **The limestone resources of the state of Pará, Brazil. Projeto 5/68, Projeto Calcário (first phase report).** Belém. 132 p.
- INSTITUTO DO DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO-SOCIAL DO PARÁ. 1974b. **Novas indústrias e descobertas de calcário no Estado do Pará, depois de 1972; primeira fase, relatório suplementar n.4,** Belém. 2 p.
- INSTITUTO DO DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO-SOCIAL DO PARÁ. 1988. **Estatísticas Demográficas do Município de Belém.** Belém. 125p.
- INSTITUTO DO DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO-SOCIAL DO PARÁ. Coordenadoria de Pesquisa de Recursos Naturais. 1980. **Projeto reconhecimento dos recursos naturais da região metropolitana de Belém. Reconhecimento hidrogeológico.** Belém, 11p.
- KITANO, J. 1975. Chemical composition of rain and river waters. In: **Geochemistry of water.** Pensylvania, Dowden, Hutchinson & Ross. cap.3, p.224-269. (Benchmark Papers in Geology, 16).
- KRAUSKOPF, K.B. 1972. **Introdução à Geoquímica.** São Paulo, Polígono, Ed. da USP, 2 v. il.
- LEVINSON, A.A. 1974. **Introduction to Exploration Geochemistry.** Maywood, Illinois, Applied Publishing. 614p.

- LIMA, W.N. & KOBAYASHI, C.N. 1988. Sobre o quimismo predominante nas águas do sistema fluvial-estuarino de Barcarena, PA. **Geochimica Brasiliensis**, 2(1):53-71.
- LUIZ, J.G. & VERMA, O.P. 1990. **Levantamento geofísico da ilha de Mosqueiro - Pará**. Belém, UFPA/CG. Depto. de Geofísica. 9p. (Relatório Técnico).
- MALTEZ, H. & MALTEZ, M. 1982b. As águas de Belém, parte I-Águas Subterrâneas. "**O LIBERAL**". Belém, 24 out. caderno 1.
- MASON, B.H. 1971. **Princípios de Geoquímica**. São Paulo. Polígono, Ed. da USP. 381p. il.
- MATOSO, S.Q. & ROBERTSON, F.S. 1959. Uso geológico do termo Barreiras. **Boletim Técnico da Petrobrás**, 2(3):37-43.
- MCNEELY, R.N.; NEIMANIS, V.P.; DWYER, L. 1979. **Water quality sourcebook: a guide to water quality parameters**. Ottawa, Minister of Supply and Services Canada. 32p.
- MENESES, L.B.C. 1985. **Estudo de águas destinados ao consumo da população das baixadas da cidade de Belém-PA (bairro da Sacramento). Avaliação da qualidade sob os aspectos físico-químico, bioquímico e bacteriológico**. Belém, Universidade Federal do Pará. Centro de Geociências. 145p. Tese (Mestrado) - Curso de Pós-Graduação em Geociências, UFPA, CG, 1985.
- MOREIRA, E. 1966. **Belém e sua expressão geográfica**. Belém. Imprensa Universitária. 212p.
- NUNES, A.B. et al. 1973. Folhas SA.23 São Luis e parte da Folha SA.24 Fortaleza. In: BRASIL/MME. Projeto RADAM. **Levantamento de Recursos Naturais**. Rio de Janeiro, DNPM, v.3, parte I.
- OLIVEIRA, A.I. & LEONARDOS, O.H. 1943. **Geologia do Brasil**. Rio de Janeiro, Serviço de Informação Agrícola. 554p. (Série Didática).

- OLIVEIRA, M. do C.F.; COSTA, J. de P.R.; COSTA, A.C.L. 1992. Distribuição média de alguns elementos meteorológicos no Estado do Pará. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 7., São Paulo, 1992. **Anais**. São Paulo, SBM. v.1, p.265-269.
- O.P.S & O.M.S. 1980. **Critérios de Salud ambiental 5**. Organizacion Panamericana de la Salud. Organizacion Mundial de la Salud, Washington, E.U.A. Publicación Científica nº 394.
- PENTEADO, A.R. 1967. **Geografia urbana de Belém**. Belém. Universidade Federal do Pará. 2v.
- PETRI, S. 1957. Foraminíferos miocênicos da Formação Pirabas. **Bol. Fac. Fil., Cien. Letr.**, 216(16):1-79.
- PINHEIRO, R.V.L. 1983. **Considerações paleoambientais dos níveis superiores da Formação Pirabas (jazida B-9), com base em foraminíferos**. Belém, UFPA. Centro de Geociências. 20p. Trabalho de Conclusão de Curso.
- PINHEIRO, R.V.L. 1987. **Estudo hidrodinâmico e sedimentológico do estuário Guajará-Belém (PA)**. Belém. Universidade Federal do Pará. Centro de Geociências. 164p. Tese (Mestrado em Geologia) - Curso de Pós-Graduação em Geociências, Centro de Geociências, UFPA, 1987.
- PIUCI, J. 1979. **Hidrogeologia da área piloto Ponta de Pedras - Ilha de Marajó**. Belém, Universidade Federal do Pará. Centro de Geociências. 143p. Tese (Mestrado em Geofísica) - Curso de Pós-Graduação em Geofísica, Centro de Geociências, UFPA, 1979.
- PIUCI, J. & FENZL, N. 1981. Ocorrência, consequência e remoção do ferro nas águas subterrâneas. **Revista Águas Subterrâneas**, (4):29-40.
- RAND, M.C.; GREEBERG, A.E.; TARAS, M.J.; FRANSON, M.A. 1976. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 14ed. Washington, DC, WPCF, APHA, AWWA, 1193p.
- RANKAMA, K. & SAHAMA, T.G. 1950. **Geochemistry**. Chicago, University of Chicago. 911p.

- REBOUÇAS, A.C. 1980. Estágio atual dos conhecimentos sobre as águas subterrâneas do Brasil. **Revista Águas Subterrâneas**, 2:1-10.
- REZENDE, W.M. de & FERRADAES, J.O. 1971. Integração geológica regional da bacia sedimentar da foz do Amazonas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 25., São Paulo, 1971. **Anais**. São Paulo, SBG. v.3, p.203-214.
- RIBEIRO, H.M.C. & LIMA, W.N. 1991. Considerações biogeoquímicas sobre ecossistema aquático amazônico sob impacto (área fisiográfica do Utinga, Belém, PA). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOQUÍMICA, 3., São Paulo, 1991. **Anais**. São Paulo, SBGq. v.1, p.435-437.
- RODIER, J. 1981. **Analisis de las aguas**. Barcelona, Omega, 1059p.
- ROSSETTI, D. de F.; GOES, A.M.; TRUCKENBRODT, W. 1990. A influência marinha nos sedimentos Barreiras. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi. Série Ciências da Terra**, 2:18-29.
- ROSSETTI, D. de F.; TRUCKENBRODT, W.; GÓES, A.M. 1989. Estudo paleoambiental e estratigráfico dos sedimentos Barreiras e pós-Barreiras na região Bragantina, nordeste do Pará. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi. Série Ciências da Terra**, 1(1):25-71.
- SÁ, J.H.S. 1969. Contribuição aos sedimentos terciários e quaternários da Região Bragantina. **Boletim do Instituto Geológico**. Rio de Janeiro, 3:21-36.
- SANTOS, A.; TANCREDI, A.C.N.S.; SILVA, M.S. 1986. Limnologia da Amazônia Oriental - caracterização biogeoquímica da parte sul do estuário do rio Amazonas. **Acta Limnol. Brasileira**, 1:113-126.
- SANTOS, U. de M. & RIBEIRO, M. de N.G. 1988. A hidroquímica do Rio Solimões - Amazonas. **Acta Amazônica**, 18 (3-4):145-172.

- SAUMA FILHO, M.; LIMA, W.N.; MALTEZ, H. 1991. A condutividade elétrica como critério preliminar na avaliação dos parâmetros hidrogeoquímicos úteis à caracterização de águas subterrâneas (Região Metropolitana de Belém e adjacências). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOQUÍMICA, 3., São Paulo, 1991. **Anais**. São Paulo, SBGq. v.1, p.307-311.
- SAWYER, C.M. & MCCARTY, P.L. 1978. **Chemistry for environmental engineering**, 3 ed. New York, McGraw-Hill. 532p.
- SCHALLER, H.; VASCONCELOS, D.N.; CASTRO, J.C. 1971. Estratigrafia preliminar da Bacia Sedimentar da Foz do Rio Amazonas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 25., São Paulo, 1971. **Anais**. São Paulo, SBG. v.3, p.189-202.
- SERRA, V.H. & TANCREDI, A.C.F.N.S. 1982a. Estudos hidrológicos da Ilha de Marajó. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DA AMAZÔNIA, 1., Belém, 1982. **Anais**. Belém; SBG. v.2, p.339-350.
- SERRA, V.H. & TANCREDI, A.C.F.N.S. 1982b. Hidrogeologia de Bragança. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DA AMAZÔNIA, 1., Belém, 1982. **Anais**. Belém; SBG. v.2, p.333-338.
- SILVA, A.B. da. 1984. **Análise morfoestrutural, hidrogeológica e hidroquímica no estudo do aquífero cárstico do Jaíba, norte de Minas Gerais**. São Paulo, Universidade de São Paulo. 190 p. Tese (Doutorado em Geologia Geral e de Aplicação) - Instituto de Geociências, USP, 1984.
- SILVA, F.A. et al. 1985. **Estudos geológico/geoquímico das formações superficiais da grande Belém**. Belém, IDESP, 23 p.
- SILVA, H.F. da. et al. 1975. **Hidrologia da Ilha de Marajó**. Belém, IDESP, 20p.
- SILVA, J.F.B.R. da & TRUCKENBRODT, W. 1985. **Estratigrafia dos sedimentos cenozóicos do Poço do Museu Emílio Goeldi**. Belém, UFPA, Departamento de Geologia. 38p. Trabalho de Conclusão de Curso.

- SILVA, S.O. & LOEWENSTEIN, P. 1968. Contribuição à Geologia da Folha de São Luis (SA-23) no Estado do Pará II - Novas localidades e razão magnésio - cálcio do Calcáreo Pirabas. **Bol. Mus. Par. Emílio Goeldi**, Belém, n.12, série Geologia. 17p.
- SOARES, A.D.V. 1984. **Novo registro em subsuperfície de sedimentos terciários (Formação Pirabas) dentro da área da Grande Belém (Poço n.3, Campus Universitário)**. Belém, UFPa. Centro de Geociências. 21p. Trabalho de Conclusão de Curso.
- SOUZA, C.W.M.F. 1993. **Correlação de perfis geofísicos de poços da área de Belém**. Belém, UFPa. Centro de Geociências. 35p. Trabalho de Conclusão de Curso.
- SOUZA, H.B. de & DERISIO, J.C. 1977. **Guia técnico de coleta de amostras de águas**. São Paulo, Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. 257p.
- TANCREDI, A.C.F.N.S. 1976. **Importância da água subterrânea para o desenvolvimento do Estado do Pará**. Belém, IDESP. 13p. (Monografia, 21).
- TANCREDI, A.C.F.N.S. 1990. **Geoquímica da Bacia Amazônica**. Belém. Mimeografado. 42p.
- TANCREDI, A.C.F.N.S. et al. 1980. **Projeto reconhecimento dos recursos naturais da Região Metropolitana de Belém**. Belém, IDESP. 9p.
- TANCREDI, A.C.N.S. et al. 1981. **Estudos hidrológicos da Ilha de Marajó; dados até 1980**. Belém, IDESP. 4v. em 6.
- TANCREDI, A.C.F.N.S. et al. 1982. **Estudos hidrogeológicos de Salinópolis - Pará**. Belém, IDESP. 10 p.
- TANCREDI, A.C.F.N.S. et al. 1986. **Hidrogeologia da região oriental da Ilha de Marajó**. Belém, IDESP. 97p. (Relatórios de Pesquisa, 11).
- TOGNA, R.J.B.D. 1980. Uma política para o controle de qualidade das águas subterrâneas. **Rev. Águas Subterrâneas**, 2(1):45-55.

- TRUCKENBRODT, W. 1981. Contribuição à mineralogia e à Geoquímica da Formação Pirabas (Mioceno Inferior) Estado do Pará. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi**, Belém, (25):1- 26p.
- TRUCKENBRODT, W. 1985. Micro-marcas onduladas em sedimentos paleozóicos da Bacia do Parnaíba e da região do Gurupi (NE do Estado do Pará). **Rev. Bras. Geoc.** 15.
- TUPIASSÚ, A.A. et al. 1972. **A Área Metropolitana de Belém**; contribuição ao II encontro Regional de Áreas Metropolitanas (Norte-Nordeste). Belém, IDESP. 21p. (Documentos Breves, 63).
- VIEIRA, L.S. & SANTOS, P.C.T. 1987. **Amazônia: seus solos e recursos naturais**. São Paulo, 416p.
- WEDEPOHL, K.H. 1971. **Geochemistry**. New York, Holt, Rinehart and Wiston. 231p.

ANEXOS

ANEXO A**DESIGNAÇÃO E LOCALIZAÇÃO DOS POÇOS COLETADOS NA ÁREA.****- EM BELÉM**

- 1)BEL.01 - Sede da Estacon Engenharia à Rodovia Augusto Montenegro Km 4.
- 2)BEL.02 - Ao lado da caixa d'água da COSANPA no Conjunto PAAR.
- 3)BEL.03 - Rodovia Perimetral ao lado da caixa d'água da COSANPA, bairro da Terra Firme.
- 4)BEL.04 - Condomínio Vila Del Fiori à rua dos Mundurucus nº 1932.
- 5)BEL.05 - Ao lado da caixa d'água da COSANPA na Cidade Nova 2.
- 6)BEL.06 - Museu Emílio Goeldi. Poço nº 2.
- 7)BEL.07 - UFPA. Poço nº 3.
- 8)BEL.08 - Ao lado da caixa d'água da COSANPA no Conjunto Cordeiro de Farias.
- 9)BEL.09 - Edf. Central Park. Trav. Benjamin Constant nº 724.

- EM ICOARACI

- 1)ICO.01 - Na rua Souza Franco. Poço da Fundação SESP.
- 2)ICO.02 - Na creche da IBIFAM à Rodovia Augusto Montenegro, Km 8.
- 3)ICO.03 - Na sede da PETROBRÁS à Rodovia Arthur Bernardes nº 5511.

4)ICO.04 - Na indústria AMASA à Rodovia Arthur Bernardes, Km 14.

5)ICO.05 - Conjunto da COHAB. Poço da Fundação SESP.

- EM MOSQUEIRO

1)MSQ.01 - Na 5ª Rua da Vila

2)MSQ.02 - Ao lado da caixa d'água da Vila, na Praia do Bispo

- EM ANANINDEUA

1)ANA.01 - Ao lado da caixa d'água do Conjunto Geraldo Palmeira, de propriedade do Condomínio.

FICHA DE SONDAGEM

Poço: BEL.01.....	Ano de perfuração: 1979.....
Proprietário: Estacon Engenharia.....	Profundidade: 200 m.....
Município: Belém.....	Local: Rodovia Augusto Montenegro Km 4.....
Estado Pará	
.....	

ESTRATI- GRAFIA	LITOLOGIA	PROFUN- DIDADE (m)	PERFIL ESCALA:	REVEST. E DIÂMETROS	OBSERVAÇÕES
	Areia	2,50			Diâmetro do poço 6" Filtros de 82 a 86 m e de 135 m
	Laterita	4,00			
	Argila cinza clara	12,00			
	Areia média	16,00			
	Argila cinza escura com matéria orgânica	23,00			
	Areia fina	25,00			
	Argila variegada com laterita	32,50			
	Areia fina	35,10			
	Argila arenosa cinzenta	44,00			
	Areia fine branca	55,00			

FICHA DE SONDAGEM

Poço: BEL.01.....	Ano de perfuração: 1979.....
Proprietário: Estacon Engenharia.....	Profundidade: 200 m.....
Município: Belém.....	Local: Rodovia Augusto Montenegro km 4.....
Estado: Pará.....	Executado por: FENAC.....

ESTRATIGRAFIA	LITOLOGIA	PROFUNDIDADE (m)	PERFIL ESCALA:	REVEST. E DIÂMETROS	OBSERVAÇÕES
	Argila cinza	55,00			Continuação Folha 2
		64,00			
	Arenito	68,00			
	Argila cinzenta intercalada p/ camadas de arenito de 10 a 30 cm				
		82,00			
	Areia fina e média				
		91,00			
	Argila cinzenta intercalada p/ camadas de arenito de 10 a 30 cm				
		128,00			
	Areia média				
		135,00			

FICHA DE SONDAGEM

Poço: BEL.GI.....	Ano de perfuração: 1979.....
Proprietário: Estação Engenharia.....	Profundidade: 200 m.....
Município: Belem.....	Local: Rodovia Augusto Montenegro Km 4.....
Estado: Pará.....	Executado por : Femaac.....

ESTRATIGRAFIA	LITOLOGIA	PROFUNDIDADE (m)	PERFIL ESCALA:	REVEST. E DIÂMETROS	OBSERVAÇÕES
		135,00			Continuação Folha 3
	Argila cinzenta intercaladas p/ camadas de arenito	200,00			

FICHA DE SONDAGEM

Poço: BEL.02..... Ano de perfuração:.....
 Proprietário: Cia. de Saneamento do Pará - COSANPA..... Profundidade: 255 m.....
 Município: Belém..... Local: COSANPA - Conjunto PAAR.....
 Estado: Pará..... Executado por: Femac.....

ESTRATI- GRAFIA	LITOLOGIA	PROFUN- DIDADE (m)	PERFIL ESCALA:	REVEST. E DIÂMETROS	OBSERVAÇÕES
	Areia silto-argilosa escura	3,2			
	Argila vermelha	8,5			
	Argila arenosa, vermelha	16			
	Areia vermelha	24			
	Areia argilosa, variegada	37			
	Areia média, creme	43,5			
	Argila variegada com intercalações arenosas e areno-argilosas	96,95			
	Argila arenosa, cinza esverdeada	111,2			

FICHA DE SONDAGEM

Poço: BEL.02.....	Ano de perfuração:.....
Proprietário: Cia. de Saneamento do Pará - COSANPA.....	Profundidade: 255 m.....
Município: Belém.....	Local: COSANPA - Conjunto PAAR.....
Estado: Pará.....	Executado por: Femac.....

ESTRATIGRAFIA	LITOLOGIA	PROFUNDIDADE (m)	PERFIL ESCALA:	REVEST. E DIÂMETROS	OBSERVAÇÕES
	Areia média cinzenta, com diversas camadas intercaladas de argila cinzenta	137,5			Continuação Folha 02
	Argila arenosa, cinza esverdeada, com camada de arenito	150			
	Areia grossa, branca	160,5			
	Pequenas camadas alternadas de argila esverdeada e areia cinzenta	176,5			
	Areia média cinzenta	199,5			
	Areia argilosa, cinzenta	207,3			
	Argila cinza esverdeada	212,7			
	Areia média e grossa argilosa cinzenta				

FICHA DE SONDAGEM

Poço: BEL-02..... Ano de perfuração:.....
 Proprietário: Cia. de Saneamento do Pará - COSANPA..... Profundidade: 255 m.....
 Município: Belém..... Local: COSANPA - Conjunto PAAR.....
 Estado: Pará..... Executado por:.....

ESTRATIGRAFIA	LITOLOGIA	PROFUNDIDADE (m)	PERFIL ESCALA:	REVEST. E DIÂMETROS	OBSERVAÇÕES
	Areia média e grossa argilosa, cinzenta	229,3			Continuação Fôlha 03
	Argila cinza esverdeada	235,5			
	Pequenas camadas alternadas de areia argila, variegadas	247			
	Argila arenosa cinza esverdeada	255			

FICHA DE SONDAGEM

Poço: BEL.03..... Ano de perfuração: 1985.....
 Proprietário: Cia. de Saneamento do Para..... Profundidade: 240 m.....
 Município: Belém..... Local: Av. Perimetral.....
 Estado: Para..... Executado por: FENAC.....

ESTRATIGRAFIA	LITOLOGIA	PROFUN- DIDADE (m)	PERFIL ESCALA:	REVEST. E DIÂMETROS	OBSERVAÇÕES
	Argila arenosa variegada	9			
	Argila variegada	25			
	Areia argilosa	29			
	Argila variegada	35			
	Argila cinza	50			
	Areia média	90			
	Argila cinza	108			
	Areia média	160			
	Argila cinza	165			
	Areia média e grossa	202			
	Argila arenosa cinza	210			
	Areia grossa com seixo	240			

FICHA DE SONDAGEM

Poço: BEL.04..... Ano de perfuração:.....
 Proprietário: Condomínio do Edifício Vila Del Fiori..... Profundidade: 57 m.....
 Município: Belém..... Local: Rua dos Mundurucus nº 1932.....
 Estado: Pará..... Executado por: Geoser.....

ESTRATIGRAFIA	LITOLOGIA	PROFUNDIDADE (m)	PERFIL ESCALA:	REVEST. DIÂMETROS	OBSERVAÇÕES
	Argila arenosa amarela	2			Diâmetro do poço 6" Filtros de 30,5 a 32,8 m
	Areia fina a média branca				
		10			
	Argila vermelha				
		24			
	Areia média a conglomerática branca				
		33			
	Argila cinza a amarela				
		57			

FICHA DE SONDAGEM

Poco: BEL.06..... Ano de perfuração: 1989.....
 Proprietário: Museu Paraense Emílio Goeldi..... Profundidade: 124 m.....
 Município: Belém..... Local: Museu Paraense Emílio Goeldi - poço nº 2.....
 Estado: Pará..... Executado por: Geoser.....

ESTRATI- GRAFIA	LITOLOGIA	PROFUN- DIDADE (m)	PERFIL ESCALA:	REVEST. E DIÂMETROS	OBSERVAÇÕES
	Areia argilosa, creme amarelado	4			Diâmetro do poço 8" de 0 a 53 m e 6" de 53 a 124 m Filtros de 69 a 73 m: de 81 a 89 m e de 105 a 121 m
	Areia amarela, levemente avermelhada	8			
	Areia média amarela com pequenas conc. ferruginosas	10			
	Arg. vermelha com níveis de areia vermelha, e granulometria média	12			
	Areia média avermelhada	14			
	Argila cinza com muita matéria orgânica(carvão), com níveis arenosos de granulção média cinza	22			
	Argila vermelho-tijolo, compacta, passando a argi- la creme na parte basal do pacote	34			
	Espesso pacote de argila creme, por vezes cinza, muito compacta, concreções latênticas em níveis mais avermelhados	60			
	Areia média, creme, com pontuações latênticas	62			
	Argila arenosa cinza clara com baixo grau de con- solidação	66			

FICHA DE SONDAGEM

Poço: BEL 06..... Ano de perfuração: 1989.....
 Proprietário: Museu Paraense Emílio Goeldi..... Profundidade: 124 m.....
 Município: Belém..... Local: Museu Paraense Emílio Goeldi - poço nº 2.....
 Estado: Pará..... Executado por: Geoser.....

ESTRATIGRAFIA	LITOLOGIA	PROFUNDIDADE (m)	PERFIL ESCALA:	REVEST. E DIÂMETROS	OBSERVAÇÕES
	Pacote arenoso, fino no topo médio para a base, cinza a levemente amarelo	74			Continuação Folha 02
	Argila cinza arenosa	76			
	Areia cinza clara a branca, de granulação média no topo concreções ferruginosas milimétricas com restos de conchas	90			
	Argila cinza a cinza escuro, com baixo grau de consolidação	103			
	Areia cinza clara, fina a média no topo e média a grossa na seção basal, muito restos fósseis (conchas principalmente)	122			
	Argila cinza escura	124			
	Areia média a grossa com concreções, muito fossilífera	128			

FICHA DE SONDAGEM

Poco: BEL-09..... Ano de perfuração: 1994.....
 Proprietário: Condomínio do Edifício Central Park..... Profundidade: 27 m.....
 Município: Belém..... Local: Trav. Benjamin Constant nº 724.....
 Estado: Pará..... Executado por:.....

ESTRATIGRAFIA	LITOLOGIA	PROFUNDIDADE (m)	PERFIL ESCALA:	REVEST. E DIÂMETROS	OBSERVAÇÕES
	Silte	3			Diâmetro do poço 6" Filtro de 12 a 21m
	Argila Amarela	4			
	Argila arenosa branca				
		9			
	Areia				
	Nível de laterita	12			
	Areia média				
		18			
	Areia média a fina				
		21			
	Argila arenosa	23			
	Concreções lateríticas				
		27			

FICHA DE SONDAGEM

Poco: ICO 01.....	Ano da perfuração: 1991.....
Proprietário: Fundação Nacional de Saúde	Profundidade: 256 m.....
Município: Belém.....	Local: Icoaraci - Rua Souza Franco.....
Estado: Pará.....	Executado por: F.N.S.....

ESTRATIGRAFIA	LITOLOGIA	PROFUNDIDADE (m)	PERFIL ESCALA:	REVEST. E DIÂMETROS	OBSERVAÇÕES
	Argilas e areias variegadas	60			
	Argilito intercalado com calcáreo e arenito	165			
	Arenito fina a médio esbranquiçado	232,5			
	Argilito e calcáreo intercalados	256			

FICHA DE SONDAGEM

Poço: IC0.03..... Ano de perfuração: 1969.....
 Proprietário: Petróleo Brasileiro S. A. - PETROBRAS..... Profundidade: 370 m.....
 Município: Belém..... Local: Rodovia Arthur Bernardes nº 5511.....
 Estado: Pará..... Executado por: PETROBRAS.....

ESTRATI- GRAFIA	LITOLOGIA	PROFUN- DIDADE (m)	PERFIL ESCALA:	REVEST. E DIÂMETROS	OBSERVAÇÕES
	Areia grossa mal selecionada	18			
	Argilas rosa, cinza, plástica, óxido de ferro, traços de material carbonoso	52			
	Areia fina a grossa, mal selec., óxido de ferro	55			
	Argila cinza plástica material carbonoso nível de areia fina a grossa	67			
	Areia média nível argiloso, traços de folhelho verde	78			

FICHA DE SONDAGEM

Poço: ICO.03.....	Ano de perfuração: 1969.....
Proprietário: Petróleo Brasileiro S. A. - PETROBRAS.....	Profundidade: 370 m.....
Município: Belém.....	Local: Rodovia Arthur Bernardes nº 5511.....
Estado: Pará.....	Executado por: PETROBRAS.....

ESTRATI- GRAFIA	LITOLOGIA	PROFUN- DIDADE (m)	PERFIL ESCALA:	REVEST. E DIÂMETROS	OBSERVAÇÕES
	Argila cinza, fragmentos de fósseis, níveis de areia, média a grossa	78			Continuação Folha 2
		82			
	Argila, areia, traços de folheio verde, concreções esféricas de óxido de ferro				
		97			
	Areia média a grossa				
		112			
	Argila cinza esverdeada, fósseis				
		120			
	Areia fina a grossa níveis argilosos				
		150			
	Sequência de argilas e areias cinza verde, material carbonoso, fragmentos fósseis e fragmentos de calcário				

FICHA DE SONDAGEM

Poço: 100.03.....	Ano de perfuração: 1969.....
Proprietário: Petróleo Brasileiro S. A. - PETROBRAS.....	Profundidade: 370 m.....
Município: Belém.....	Local: Rodovia Arthur Bernardes nº 5511.....
Estado: Para.....	Executado por: PETROBRAS.....

ESTRATIGRAFIA	LITOLOGIA	PROFUNDIDADE (m)	PERFIL ESCALA:	REVEST. E DIÂMETROS	OBSERVAÇÕES
					Continuação Folha 3
	Sequência de argilas e areias cinza verde, material carbonoso, fragmentos fósseis e fragmentos de calcário	205			
	Areias argilosas e siltes material carbonoso	290			
	Argila cinza material carbonoso				

FICHA DE SONDAGEM

Poço: 100. 03..... Ano de perfuração: 1969.....
 Proprietário: Petróleo Brasileiro S. A. - PETROBRÁS..... Profundidade: 370 m.....
 Município: Belém..... Local: Rodovia Arthur Bernardes nº 5511.....
 Estado: Pará..... Executado por: PETROBRÁS.....

ESTRATI- GRAFIA	LITOLOGIA	PROFUN- DIDADE (m)	PERFIL ESCALA:	REVEST. E DIÂMETROS	OBSERVAÇÕES
	Argila cinza, material carbonoso	310			Continuação Folha 4
	Areia média a grossa	314			
	Argila	330			
	Areia fina a grossa, nível silteco	370			

FICHA DE SONDADE

Poco: 100 05 Ano de perfuração: 1988
 Proprietário: Fundação Nacional de Saúde Profundidade: 270 m
 Município: Belém Local: Conjunto da CONAS
 Estado: Para Executado por: F.N.S.

ESTRATI- GRAFIA	LITOLOGIA	PROFUN- DIDADE (m)	PERFIL ESCALA:	REVEST. E DIAMETROS	OBSERVAÇÕES
	Argilas variegadas e areias	49			
	Argila cinza com níveis de calcário e lentes de areia	146			
	Argila esverdeada com areia fina	150			
	Areia média	158			
	Areia argilosaesverdeada	226			
	Areia média	237			
	Areia média com lentes compostas	250			
	Argila com areia	256			
	Arenito argiloso	270			

FICHA DE SONDAGEM

Poço: ANA.01..... Ano de perfuração:.....
 Proprietário: Cia. de Saneamento do Para - COSANPA..... Profundidade: 93 m.....
 Município: Ananindeua..... Local: COSANPA - Conjunto Geraldo Palmeira.....
 Estado: Para..... Executado por: COSANPA.....

ESTRATIGRAFIA	LITOLOGIA	PROFUNDIDADE (m)	PERFIL ESCALA:	REVEST. E DIÂMETROS	OBSERVAÇÕES
	Argila amarela	4			Filtros de 57 a 57,9 m
	Argila branca com areia fina	6			
	Areia fina	6,80			
	Argila escura com argila branca	9			
	Argila vermelha e branca	10			
	Areia fina	11,10			
	Argila vermelha com laterita	14			
	Argila cinza clara	16,23			
	Argila vermelha e branca com laterita	17,20			
	Argila vermelha e branca	20,30			
	argila vermelha	25,30			
	Argila cinza com material carbonoso	30			
	Argila cinza com areia e material carbonoso	31,30			
	Argila cinza com material carbonoso	34,40			
	Argila cinza				

FICHA DE SONDADEIR

Poco: AMN.01..... Ano de Perfuração:.....
 Proprietário: Cia. de Saneamento do Para - COSANPA..... Profundidade: 83 m.....
 Município: Ananindeua..... Local: COSANPA - Conjunto Geraldo Palaeira.....
 Estado: Para..... Executado por: COSANPA.....

ESTRATI- GRAFIA	LITOLOGIA	PROFUN- DIDADE (m)	PERFIL ESCALA:	REVEST. E DIÂMETROS	OBSERVAÇÕES
	Argila cinza				Continuação Folha 2
		41,61			
	Argila amarela e vermelha	42			
	Argila cinza com areia fina				
		47,11			
	Areia fina	47,50			
	Argila branca				
		50,40			
	Argila cinza				
		53,70			
	Argila cinza				
		56			
	Argila arenosa				
		60,80			
	Argila cinza arenosa				
		65,90			
	Argila cinza clara com areia				
		67,90			
	Argila cinza clara	68,70			
	Argila cinza escura	68,90			
	Argila cinza escura com fragmentos de arenito	69,50			
	Argila cinza escura				
		71,45			
	Arenito	71,82			
	Argila cinza com arenito				
		75,36			

FICHA DE SONDAGEM

Poço: ANA.01.....	Ano de perfuração:.....
Proprietário: Cia. de Saneamento do Pará - COSANPA.....	Profundidade: 83 m.....
Município: Ananindeua.....	Local: COSANPA - Conjunto Gerador Palmeira.....
Estado: Pará.....	Executado por: COSANPA.....

ESTRATIGRAFIA	LITOLOGIA	PROFUNDIDADE (m)	PERFIL ESCALA:	REVEST. E DIÂMETROS	OBSERVAÇÕES
	Areia fina	76,36			Continuação Folha 3
		80,40			
	Arenito	81,60			
	Argila cinza com areia	83,21			
	Arenito	83,81			

ANEXO B

RESUMO DOS VALORES LÍMITES, FIXADOS PELA ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE - OMS, PARA A QUALIDADE DE ÁGUA POTÁVEL (O.P.S & O.M.S., 1980)

- 1) Aspecto: deve ser límpida e transparente
- 2) Odor: inodora
- 3) Sabor: agradável ao paladar
- 4) Turbidez: $> 0,2 < 10$ ppm (escala sílica)
- 5) Cor: $> 5 < 30$ ppm (escala platina-cobalto)
- 6) Aeração: deve ser aerada
- 7) pH: 6,5 - 8
- 8) Alcalinidade de Hidróxidos: T.A. = 0
- 9) Alcalinidade de Carbonatos: até 120 ppm CaCO_3
- 10) Alcalinidade de Bicarbonatos: até 250 ppm CaCO_3
- 11) Alcalinidade total (TAC): 30 - 250 ppm = normal
400 ppm = máximo
- 12) Resíduo seco: 250 - 500 ppm (180°C)
1.000 ppm = máximo
- 13) Dureza total: 40 - 80 ppm CaCO_3
200 ppm - máximo
5 - 15°F = normal
35° F = máximo
- 14) Sulfatos (SO_4): até 200 ppm
- 15) Cloretos (Cl): até 250 ppm
- 16) Ferro (Fe): até 0,3 ppm
- 17) Manganês (Mn): até 0,1 ppm
- 18) Cálcio (Ca): 150 - 200 ppm
- 19) Magnésio (Mg): 125 ppm = máximo