



UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA

VÂNIA EUNICE BAHIA

**AVALIAÇÃO HIDROGEOLÓGICA E AMBIENTAL DO
SISTEMA HÍDRICO NA ÁREA DO PARQUE ESTADUAL
DO UTINGA, BELÉM, PARÁ.**

SALVADOR - BAHIA
2011

VÂNIA EUNICE BAHIA

**AVALIAÇÃO HIDROGEOLÓGICA E AMBIENTAL DO
SISTEMA HÍDRICO NA ÁREA DO PARQUE ESTADUAL
DO UTINGA, BELÉM, PARÁ.**

Tese apresenta ao Curso de Pós-Graduação em Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia, como requisito parcial para obtenção do grau de Doutora em Geologia.

Orientador: Prof. Dr. Luíz Rogério Bastos Leal

Área de concentração: Geologia Ambiental, Hidrogeologia e Recursos Hídricos.

SALVADOR - BAHIA
2011

M433 Bahia, Vânia Eunice

Avaliação hidrogeológica e ambiental do sistema hídrico na área do Parque Estadual do Utinga, Belém, Pará/ Vânia Eunice Bahia. - Salvador, 2011.
221f. : il.

Orientador: Prof. Dr. Luíz Rogério Bastos Leal.

Tese (doutorado) – Curso de Pós-Graduação em Geologia, Universidade Federal da Bahia, Instituto de Geociências, 2011.

1. Águas subterrâneas – Belém (PA). 2. Água – Poluição. 3. Água - Análise. 4. Recursos hídricos. 5. Parque Estadual do Utinga (Belém, PA.). 6. Parques urbanos – qualidade ambiental. 7. Hidrogeologia. I. Leal, Luíz Rogério Bastos. II. Universidade Federal da Bahia. Instituto de Geociências. III. Título.

CDU: 556.314(811.5)

Elaborada pela Biblioteca do Instituto de Geociências da UFBA.

Vânia Eunice Bahia

Geógrafa (Universidade Federal do Pará - 1996)

**"Avaliação Hidrogeológica e Ambiental no Sistema Hídrico da
Área de Abrangência do Parque Estadual do Utinga em Belém -
PA"**

Tese aprovada como
requisito parcial para
obtenção do grau de
Doutor na Pós-Graduação
em Geologia da
Universidade Federal da
Bahia, na área de
concentração: Geologia
Ambiental, Hidrogeologia
e Recursos Hídricos.

APROVADA EM: 06/09/2011

BANCA EXAMINADORA:



Dr. Luiz Rogério Bastos Leal - Orientador



Dr. José Gouvêa Luiz - UFPA



Dr. Norbert Fenzl - UFPA



Dr. Olivar Antônio Lima de Lima - UFBA



Dr. Sérgio Augusto de Moraes Nascimento - IGEO/UFBA

AGRADECIMENTOS

A conclusão do presente trabalho de pesquisa, somente foi possível, devido à colaboração das instituições e pessoas, que contribuíram de uma maneira muito especial, as quais agradeço abaixo:

Quero em primeiro lugar, agradecer a Deus por mais esta realização.

Em seguida, agradeço à minha família e às pessoas mais próximas, cujo apoio imprescindível em todos os momentos ajudou a superar obstáculos e a manter a disposição e o otimismo, mesmo quando ele parecia não se justificar.

À minha amiga Irenice Silva pelo apoio e incentivo doados através de sua amizade incondicional.

Ao CNPq, pelo financiamento dos projetos de pesquisas através dos Processos Nº 50.5247/04-6/Edital CT-HIDRO/CT-ENERG/MCT, Nº 476413/2004-4/Edital Universal, Nº 471041/2006-8/Edital Universal e pela concessão de bolsa de doutorado do curso de Pós-Graduação em Geologia da UFBA, os quais permitiram a viabilização financeira dessa tese.

Ao Núcleo de Altos Estudos Amazônicos e ao Centro de Geociências da UFPA, que por acreditarem em nossa capacidade e compreender todas as variáveis e detalhes que condicionam grande parte de um projeto de pesquisa, nos concederam a infraestrutura necessária para o desenvolvimento desta pesquisa.

Ao Centro de Geociências da UFBA, pela concessão de estrutura física e apoio de todos os seus funcionários, que me acolheram tão bem e não mediram esforços para que o referido trabalho fosse desenvolvido.

À Secretaria Executiva de Meio Ambiente – SEMA que concedeu autorização para o desenvolvimento dos estudos nas áreas pertencentes à sua jurisdição.

Ao Batalhão de Policiamento Ambiental - BPA, que na medida do possível atendeu às nossas solicitações, disponibilizando pessoal da corporação para apoio nos trabalhos de campo.

À equipe de Geofísica da UFPA, nas pessoas de Afonso Quaresma e aos alunos Ângela Veloso, Alex e Danusa que não mediram esforços para conclusão dos trabalhos de campo dos estudos geofísicos. Em especial, ao Prof. José Gouvêa Luiz por toda sua atenção, compreensão, sugestões e apoio irrestrito às atividades relacionadas à essa pesquisa.

Ao Prof. Norbert Fenzl pelo apoio, preocupação e principalmente pela motivação para continuar trilhando o caminho do conhecimento.

Ao Prof. Gundisalvo Piratoba Morales, pelo auxílio nos trabalhos de campo e laboratoriais e principalmente pelos debates e discussões que foram fundamentais para a construção dessa tese.

A Luzia Jucá pela sua colaboração inquestionável nos processos administrativos originados no decorrer das atividades dessa pesquisa, assim como pelo apoio na finalização dos abstracts.

Ao Osmar Guedes, pelo seu apoio na elaboração de algumas figuras e que acabou se tornando um amigo querido.

Ao meu orientador Prof. Luíz Rogério Bastos Leal, pelo tempo dedicado e pela forma sábia e amigável que me repassou seus valiosos conhecimentos científicos.

Enfim, agradeço a todos que direta e indiretamente ofereceram qualquer tipo de contribuição para chegarmos a conclusão do presente trabalho. Infelizmente não vai ser possível cumprimentar um a um, mas espero que todos se sintam abraçados por mim.

Tentar e falhar é, pelo menos, aprender. Não chegar a tentar é sofrer a inestimável perda do que poderia ter sido.

(Geraldo Eustáquio)

RESUMO

Este estudo foi realizado no Parque Estadual do Utinga, localizado na Região Metropolitana de Belém (PA), que contém os reservatórios de águas superficiais (lagos Bolonha e Água Preta), responsáveis pelo abastecimento de sua população. Em seu entorno, verifica-se uma urbanização crescente e desordenada, possibilitando que essa área torne-se uma fonte potencial de contaminação. Face a isso, a presente pesquisa teve como objetivo principal a avaliação hidrogeológica e ambiental do sistema hídrico na área do Parque Estadual do Utinga, localizado em Belém-PA, correlacionando dados de estudos geofísicos, hidrogeológicos e geoquímicos, no sentido de se determinar a influência de contaminantes sobre os recursos hídricos subterrâneos da área de estudo, avaliando a possibilidade de os mesmos virem a influenciar nos mananciais de abastecimento. Foi aplicada em campo metodologia geofísica ao longo de alguns perfis e instalação de piezômetros para verificação da resposta geofísica, bem como para realizar testes hidrogeológicos e coletas de águas e sedimentos. A metodologia geofísica aplicada utilizou o método Eletromagnético (sistema Slingram), Georadar e Sondagens Elétricas Verticais (SEV), que evidenciaram a presença de camadas geológicas com características elétricas diferentes, permitindo a identificação de zonas mais condutoras associadas a camadas argilosas e zonas menos condutoras associadas a camadas arenosas, além da presença do nível freático próximo à superfície. As amostras para análises hidroquímicas foram coletadas em 7 piezômetros, 13 pontos de amostragem nos lagos Bolonha e Água Preta e em uma nascente, utilizada como *background* para a área de estudo. Os resultados analíticos das águas, tanto para a época de chuvas quanto para o de estiagem, mostraram-se influenciadas pelas características geológicas e climáticas da área. As amostras apresentaram baixas concentrações dos principais constituintes dissolvidos, inserindo-se no contexto dos padrões de potabilidade estabelecidos pela legislação vigente. Valores anômalos apresentados pelos metais Cd^{+2} , Cu^{+2} e Pb^{+2} foram detectados no período chuvoso, se apresentando próximos ou acima do limite estabelecido pela legislação. Pelo diagrama de Piper, as águas analisadas são predominantemente bicarbonatadas sódicas, sendo apenas uma das amostras de águas subterrâneas classificada como cloretada sódica, não apresentando características geoquímicas diferentes em relação aos períodos sazonais. Os aquíferos predominantes na área são dos tipos porosos, confinados, protegidos por camadas de material argiloso que variam de 4 a 15 metros de espessura e estão associados aos sedimentos que correspondem a unidade estratigráfica do Pós-Barreiras, do período Quaternário. As investigações hidrogeológicas dos aquíferos da área revelou um gradiente

hidráulico de aproximadamente 0,013, com valores de porosidade efetiva de 28% e condutividade hidráulica entre $1,24 \times 10^{-3}$ e $6,71 \times 10^{-3}$ cm/s (média de $3,6275 \times 10^{-5}$ m/s), mostrando que o fluxo subterrâneo se desloca a uma velocidade de aproximadamente 53,10 m/ano, no sentido norte-sul, em direção ao Parque Estadual do Utinga, mais precisamente aos Lagos Bolonha e Água Preta. Isso se constitui num fator de preocupação ambiental, uma vez que os lagos são efluentes em relação aos aquíferos locais e qualquer contaminação das águas subterrâneas poderá acarretar em contaminação dessas águas superficiais.

ABSTRACT

This study was conducted in the Utinga State Park, located in the Metropolitan Region of Belém (State of Pará), which contains the surface water reservoirs (Bolonha and Agua Preta lakes) supplying the city population. A growing and disordered urbanization surrounds this area, allowing it to become a potential source of contamination. The main goal of this work is to present a hydrogeological and environmental assessment of the water in the area of Utinga State Park, located in Belém-PA, correlating geophysical, hydrogeological and geochemical data, in order to determine possible impacts of the deriving contaminants on the underground water resources of the studied area, assessing their possible influence on the water sources. A field geophysical methodology was applied along some profiles and piezometers were installed to check the geophysical response as well as to accomplish hydrogeological tests and collection of water and sediments. The applied geophysical methodology, involving electromagnetic measures (Slingram), Ground Penetrating Radar and vertical electrical sounding (VES), revealed the presence of geological layers with different electrical characteristics, allowing the identification of areas with more conductive layers associated to clay and sand layers associated with less conductivity, as well the presence of groundwater near the surface. The samples for hydrochemical analysis were collected from 7 piezometers, 13 sampling points in the Bolonha and Agua Preta lakes and a water spring used as background for the study area. The analytical results of the waters during the rainy and drought seasons proved that both were influenced by climatic and geological characteristics of the area. The samples showed low concentrations of the main dissolved constituents, inserting them within the parameters of potability standards established by the legislation. Anomalous values presented by the metals Cd^{+2} , Cu^{+2} and Pb^{+2} were detected during the rainy season, reaching figures that were near or above the limit established by the legislation. Indications from the Piper diagram show that the water samples are predominantly sodium bicarbonate and only one sample of groundwater was classified as sodium chloride, not showing different geochemical characteristics in relation to different seasons. The predominant aquifers in the area are of a confined type, protected by layers of clayed material with a thickness ranging from 4 to 15 meters, and are associated with sediments that correspond to the stratigraphic unit of the Pós-Barreiras from the Quaternary period. The hydrogeological investigations of aquifers in the area revealed a hydraulic gradient of approximately 0.013, effective porosity values of 28% and hydraulic conductivity between 1.24×10^{-3} and 6.71×10^{-3} cm/s (average of 3.6275×10^{-5} m/s) showing that the groundwater flow moves at a speed of approximately

53.10 m / year, in the north-south direction, towards the Utinga State Park, particularly to the Bolonha and Agua Preta lakes. This constitutes a factor of environmental concern, since the lakes are effluents in relation to site aquifers and any contamination of groundwater may result in contamination of surface water.

AGRADECIMENTOS

EPÍGRAFE

RESUMO

ABSTRACT

SUMÁRIO

ÍNDICE DAS FIGURAS

ÍNDICE DAS TABELAS

ÍNDICE DAS FOTOGRAFIAS

LISTA DE ABREVIações E SÍMBOLOS

CAPITULO 01

1 - INTRODUÇÃO	23
1.1 - JUSTIFICATIVAS.....	26
1.2 - OBJETIVOS.....	28
1.2.1 - Geral	28
1.2.2 - Específicos	28
1.3 - DESCRIÇÃO METODOLÓGICA.....	28
1.3.1 - Métodos geofísicos aplicados	29
<i>1.3.1.1 - Método Eletromagnético Indutivo (EM)</i>	30
<i>1.3.1.2 - Método da Resistividade</i>	32
<i>1.3.1.3 - Método do Radar de Penetração no Solo ou Georadar (Ground Penetrating Radar ou GPR)</i>	35
1.3.2 - Métodos hidrogeológicos aplicados	38
<i>1.3.2.1- Determinação de gradiente hidráulico ($\Delta h / L$)</i>	38
<i>1.3.2.2 - Condutividade hidráulica (K)</i>	38
1.3.2.2.1 - Estimativa da condutividade hidráulica (K) através da análise de granulometria.....	39
1.3.2.2.2 - Ensaio de bombeamento para se determinar a condutividade hidráulica (K).....	39
<i>1.3.2.3 - Velocidade real e aparente dos fluxos subterrâneos</i>	40
1.3.3 - Descrição dos trabalhos de campo e de laboratório	41
<i>1.3.3.1 - Trabalhos de campo</i>	41

1.3.3.1.1 - Método Eletromagnético.....	41
1.3.3.1.2 - Método da Eletroresistividade.....	41
1.3.3.1.3 - Método do Georadar.....	42
1.3.3.1.4 - Instalação de piezômetros e ensaio de bombeamento.....	44
1.3.3.1.5 - Medição de níveis estáticos nos piezômetros.....	47
1.3.3.1.6 - Coleta e análises de amostras de águas subterrâneas e superficiais.....	47
1.3.3.1.7 - Coleta de amostras de sedimentos.....	47
1.3.3.2 - <i>Trabalhos de laboratório</i>	47
1.3.3.2.1 - Caracterização granulométrica.....	48
1.3.3.2.2 - Determinação da condutividade hidráulica (K) por ensaio de bombeamento.....	49
1.3.3.2.3 - Determinação da porosidade (η).....	49
1.3.3.2.4 - Análises de amostras de águas subterrâneas e superficiais.....	50
1.4 - CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DA ÁREA DE ESTUDO.....	50
1.4.1 - Localização, dimensões e acesso à área de estudo	50
1.4.2 - Clima e Balanço hídrico	54
1.4.3 - Vegetação	57
1.4.4 - Solo	59
1.4.5 - Geologia e Hidrogeologia	60
1.4.6 - Geomorfologia e Topografia	62
1.5 - CARACTERÍSTICAS HIDROGEOLÓGICAS DA ÁREA DE ESTUDO.....	64
1.5.1 - Perfis litológicos	64
1.5.2 - Comportamento do nível freático	69
1.5.3 - Estimativa da condutividade hidráulica	74
1.5.3.1 - <i>Utilizando a curva granulométrica</i>	74
1.5.3.2 - <i>Determinação da condutividade hidráulica (K) por ensaio de bombeamento</i>	76
1.5.4 - Determinação da porosidade	76
1.5.5 - Gradiente hidráulico e velocidade do fluxo subterrâneo	77
1.5.6 - Distribuição geométrica dos aquíferos	79
1.6 - IMPACTOS DA URBANIZAÇÃO NOS RECURSOS HÍDRICOS DA ÁREA DO PARQUE ESTADUAL DO UTINGA.....	81

CAPITULO 02

2 - O QUE SÃO PARQUES AMBIENTAIS	91
2.1 - OS PARQUES AMBIENTAIS NO MUNDO.....	94
2.2 - OS PARQUES AMBIENTAIS NO BRASIL.....	102
2.2.1 - O Parque Estadual do Utinga - PEUt	110
2.3 - IMPACTOS DA URBANIZAÇÃO EM ÁREAS DE PRESERVAÇÃO.....	116
2.4 - O FUTURO: NECESSIDADE DE PROTEÇÃO E GESTÃO DOS PARQUES AMBIENTAIS.....	124

CAPITULO 03

3 - RESULTADOS E DISCUSSÃO	131
3.1 – DIAGNÓSTICO SOBRE CONTAMINAÇÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS NA ÁREA DO PARQUE ESTADUAL DO UTINGA, BELÉM-PA, PELOS MÉTODOS ELÉTRICO E ELETROMAGNÉTICO.....	131
ABSTRACT	131
RESUMO	132
INTRODUÇÃO	132
LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	133
CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS E HIDROGEOLÓGICAS	134
METODOLOGIA	135
Método Eletromagnético	135
Método da Eletrresistividade	136
Piezômetros	136
RESULTADOS E DISCUSSÃO	138
Medidas Eletromagnéticas	138
Medidas de Resistividade	143
CONCLUSÕES	151
Agradecimentos	152
3.2 - INVESTIGAÇÃO DA POTENCIALIDADE DE CONTAMINAÇÃO NO PARQUE ESTADUAL DO UTINGA EM BELÉM (PA) UTILIZANDO O MÉTODO GEOFÍSICO GEORADAR.....	153
RESUMO	153
ABSTRACT	154

INTRODUÇÃO	154
CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	155
GEOLOGIA LOCAL E HIDROGEOLOGIA.....	156
METODOLOGIA	158
MÉTODO DO RADAR DE PENETRAÇÃO NO SOLO OU GEORADAR (<i>GROUND PENETRATING RADAR</i> OU GPR).....	158
RESULTADOS E DISCUSSÃO	162
PERFIL 1 – AV. JOÃO PAULO II.....	163
PERFIL 2 – VIA DE ACESSO.....	166
CONCLUSÕES	170
AGRADECIMENTOS	170
3.3 - CARACTERIZAÇÃO HIDROQUÍMICA E QUALIDADE DAS ÁGUAS NA ÁREA DO PARQUE ESTADUAL DO UTINGA, BELÉM, PARÁ, BRASIL	171
Abstract	171
Resumo	172
Introdução	172
Características climáticas e geomorfológicas regionais	173
Aspectos geológicos e hidrogeológicos	174
Amostragem e métodos analíticos	176
Enquadramento legal dos corpos de água da área de estudo	177
Caracterização hidroquímica	177
Classificação iônica dos recursos hídricos da área de estudo	196
Conclusões	197
Agradecimentos	199
<u>CAPITULO 04</u>	
4 – CONSIDERAÇÕES E CONCLUSÕES FINAIS	200
<u>CAPITULO 05</u>	
5 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	206

ÍNDICE DAS FIGURAS

Pág.

Figura 1.1: Perfil HLEM sobre um corpo condutor (H_s = campo secundário; H_p = campo primário).....	31
Figura 1.2: Disposição dos eletrodos para medidas de resistividade.....	33
Figura 1.3: Quadripolo AMNB (dispositivo Schlumberger).....	34
Figura 1.4: Exemplo de aplicação do método Georadar.....	36
Figura 1.5: Os três modos de operação do GPR: (A) afastamento constante, (B) WARR e (C) CMP.....	37
Figura 1.6: Localização dos perfis de Georadar na área de estudo.....	42
Figura 1.7: Figura A: Posicionamento dos perfis Eletromagnéticos (EM), Sondagens Elétricas Verticais (SEV) e piezômetros de monitoramento (PM). Figura B: Visão geral da área de estudo.....	46
Figura 1.8: Diagrama de fluxo para a determinação de silte, areia e argila em sedimentos e amostras de solo, conforme procedimentos seguidos no Laboratório de Sedimentologia da Universidade Federal do Pará.....	48
Figura 1.9: Região Metropolitana de Belém (RMB).....	51
Figura 1.10: Localização da área do Parque Estadual do Utinga (PEUt).....	53
Figura 1.11: Médias mensais da temperatura do ar, evaporação, umidade relativa do ar na RMB no período de 1961 à 1990.....	54
Figura 1.12: Distribuição média mensal da precipitação pluviométrica anual na RMB entre 1961 e 1990.....	55
Figura 1.13: Representação gráfica do balanço hídrico anual na RMB entre 1961 e 1990.....	57
Figura 1.14: Estado da cobertura vegetal na área de estudo.....	58
Figura 1.15: Tipos de solo na área de estudo.....	59
Figura 1.16: Unidades litológicas da área de estudo.....	61
Figura 1.17: Geomorfologia da área de estudo.....	62
Figura 1.18: Topografia da área de estudo.....	63
Figura 1.19: Perfil litológico dos piezômetros PM-1 e PM-2.....	65
Figura 1.20: Perfil litológico dos piezômetros PM-3 e PM-4.....	66

Figura 1.21: Perfil litológico do piezômetro PM-5.....	67
Figura 1.22: Perfil litológico dos piezômetros PM-6 e PM-7.....	68
Figura 1.23: Perfil litológico dos piezômetros PM-8 e PM-9.....	69
Figura 1.24: Variação de nível estático dos piezômetros PM-1, PM-2 e PM-3.....	71
Figura 1.25: Variação de nível estático dos piezômetros PM-4, PM-5 e PM-6.....	72
Figura 1.26: Variação de nível estático dos piezômetros PM-7, PM-8 e PM-9.....	73
Figura 1.27: Relação entre o NE e a topografia para o período chuvoso e estiagem.....	74
Figura 1.28: Comportamento da superfície potenciométrica na área de estudo.....	79
Figura 1.29: Visão geométrica lateral dos aquíferos na área de estudo.....	80
Figura 1.30: Localização das bacias hidrográficas da Região Metropolitana de Belém.....	87
Figura 1.31: Evolução urbana na Região Metropolitana de Belém.....	85
Figura 1.32: Imagem aérea com a localização de focos potenciais de poluição próximos à área de estudo.....	86
Figura 2.1: Áreas protegidas no mundo.....	96
Figura 2.2: Parques ambientais na América do Norte.....	97
Figura 2.3: Parques ambientais no Canadá.....	98
Figura 2.4: Grande Limpopo, o maior parque ambiental criado na África.....	100
Figura 2.5: Parques ambientais na Suécia.....	101
Figura 2.6: Parques ambientais na França.....	102
Figura 2.7: Parques ambientais no Brasil.....	109
Figura 2.8: Representação esquemática dos principais aquíferos brasileiros.....	122
Figura 3.1: Mapa de localização da área de estudo.....	134
Figura 3.2: Figura A: Posicionamento dos perfis Eletromagnéticos (EM), Sondagens Elétricas Verticais (SEV) e piezômetros de monitoramento (PM). Figura B: Visão geral da área de estudo.....	137
Figura 3.3: Contornos de isovalores do módulo do campo magnético (Z) contra a frequência (pseudo-seção) para o Perfil EM-1, EM-2 e EM-3.....	141

Figura 3.4: Contorno de isovalores do módulo do campo magnético (Z) contra a frequência (pseudo-seção) para o Perfil EM-4, EM-5 e EM-6.....	142
Figura 3.5: Contorno de isovalores do módulo do campo magnético (Z) contra a frequência (pseudo-seção) para o Perfil EM-7 e EM-8.....	143
Figura 3.6: Modelo interpretativo da SEV-01, SEV-02 e SEV-03.....	145
Figura 3.7: Modelo interpretativo das SEV-04, SEV-05 e SEV-06.....	146
Figura 3.8: Modelo interpretativo das SEV-07, SEV-08 e SEV-09.....	147
Figura 3.9: Modelo interpretativo da SEV-10.....	148
Figura 3.10: Correlação dos modelos interpretativos das SEV 2 e 4 com a litologia dos piezômetros PM-2 e PM-5. A SEV 2 e o piezômetro PM-2 estão separados por menos de 20 m, assim como a SEV 4 e o piezômetro PM-5.....	148
Figura 3.11: Correlação dos modelos interpretativos das SEV 1 e 7 com a litologia do piezômetro PM-4. O piezômetro PM-4 encontra-se entre as SEV 1 e 7 distante cerca de 150 m delas.....	149
Figura 3.12: Correlação do modelo interpretativo da SEV 10 com a litologia do piezômetro de monitoramento PM-1, com uma distância entre ambos em torno de 75 m.....	150
Figura 3.13: Correlação lateral dos modelos geoeletricos das SEV realizadas sobre o perfil EM-1.....	150
Figura 3.14: Região Metropolitana de Belém com a localização da área de estudo.....	156
Figura 3.15: Geologia da área de estudo.....	157
Figura 3.16 – Os três modos de operação do GPR: (A) afastamento constante, (B) WARR e (C) CMP.....	160
Figura 3.17: Localização dos perfis de Georadar na área de estudo.....	161
Figura 3.18: Figura A: Posicionamento dos perfis Eletromagnéticos (EM), Sondagens Elétricas Verticais (SEV) e piezômetros de monitoramento (PM). Figura B: Visão geral da área de estudo.....	162
Figura 3.19: Correlação das camadas aquíferas em piezômetros instalados na área de estudo.....	163
Figura 3.20: Modelo interpretativo para o intervalo 0 a 100 m do Perfil 1.....	165
Figura 3.21: Modelo interpretativo para o intervalo 100 a 200 m do Perfil 1.....	165
Figura 3.22: Modelo interpretativo para o intervalo 200 a 300 m do Perfil 1.....	165

Figura 3.23: Modelo interpretativo para o intervalo 300 a 400 m do Perfil 1.....	166
Figura 3.24: Modelo interpretativo para o intervalo 400 a 500 m do Perfil 1.....	166
Figura 3.25: Modelo interpretativo para o intervalo 450 a 550 m do Perfil.....	166
Figura 3.26: Modelo interpretativo para o intervalo 0 a 100 m do Perfil 2.....	168
Figura 3.27: Modelo interpretativo para o intervalo 100 a 200 m do Perfil 2.....	168
Figura 3.28: Modelo interpretativo para o intervalo 200 a 300 m do Perfil 2.....	168
Figura 3.29: Modelo interpretativo para o intervalo 300 a 400 m do Perfil 2.....	169
Figura 3.30: Modelo interpretativo para o intervalo 400 a 500 m do Perfil 2.....	169
Figura 3.31: Modelo interpretativo para o intervalo 500 a 600 m do Perfil 2.....	169
Figura 3.32: Modelo interpretativo para o intervalo 600 a 700 m do Perfil 2.....	169
Figura 3.33: Modelo interpretativo para o intervalo 700 a 800 m do Perfil 2.....	170
Figura 3.34: Localização da área de estudo, com a geologia e localização dos pontos de amostragem de águas subterrâneas (piezômetros) e águas superficiais (lagos).....	175
Figura 3.35 – Resultados de pH, CE e STD para as águas subterrâneas e superficiais da área de estudo.....	187
Figura 3.36 – Resultados de Cl^- , SO_4^{2-} e NO_3-N para as águas subterrâneas e superficiais da área de estudo.....	188
Figura 3.37 – Resultados de HCO_3^- , DBO e DQO para as águas subterrâneas e superficiais da área de estudo.....	190
Figura 3.38 – Resultados de Fe_t , Na^+ e K^+ para as águas subterrâneas e superficiais da área de estudo.....	192
Figura 3.39 – Resultados de Ca^{2+} , Mg^{2+} e Zn^{2+} para as águas subterrâneas e superficiais da área de estudo.....	193
Figura 3.40 – Resultados de Cd^{+2} , Cu^{+2} e Pb^{+2} para as águas subterrâneas e superficiais da área de estudo.....	195
Figura 3.41 – Representação gráfica da classificação das águas subterrâneas e superficiais através dos diagramas de Piper (1944) para o período de estiagem (A) e de chuvas (B).....	196

ÍNDICE DAS TABELAS

Pág.

Tabela 1.1: Valores do coeficiente C.....	39
Tabela 1.2: Classificação granulométrica dos sedimentos e tamanho das peneiras.....	48
Tabela 1.3: Parâmetros climáticos médios mensais e anual da estação meteorológica de Belém, no período de 1961 a 1990.....	56
Tabela 1.4: Balanço hídrico segundo Thornthwaite (reserva hídrica de 150 mm).....	56
Tabela 1.5: Coluna estratigráfica regional do nordeste do Pará.....	60
Tabela 1.6: Valores medidos dos níveis estáticos - NE (m) obtidos nos piezômetros de monitoramento do aquífero.....	70
Tabela 1.7: Tamanho efetivo dos grãos, coeficiente de uniformidade e condutividade hidráulica das amostras de perfil coletadas na perfuração dos piezômetros.....	75
Tabela 1.8: Faixa de valores de permeabilidade intrínseca e condutividade hidráulica para vários materiais não consolidados.....	75
Tabela 1.9: Valores de condutividade hidráulica obtidos por ensaio de bombeamento nos piezômetros de monitoramento instalados na área de estudo.....	76
Tabela 1.10: Valores representativos de porosidade efetiva para alguns materiais geológicos.....	76
Tabela 2.1: Percentual de responsabilidade dos mananciais para o abastecimento da população regional.....	120
Tabela 2.2: Disponibilidade e consumo hídrico no Brasil em 1990.....	120
Tabela 2.3: Problemas relacionados à qualidade das reservas hídricas subterrâneas.....	122
Tabela 3.1 – Média dos resultados analíticos obtidos em amostras de águas subterrâneas e superficiais na época de chuvas – Período: Março/2006 e Março/2007).....	178
Tabela 3.2 - Média dos resultados analíticos obtidos em amostras de águas subterrâneas e superficiais na época de estiagem – Período: Outubro/2006 e Outubro/2007.....	180

ÍNDICE DAS FOTOGRAFIAS

Pág.

Fotografia 1.1: Registros de aplicação da metodologia geofísica na área de estudo.....	43
Fotografia 1.2: Registros de aplicação da metodologia geofísica na área de estudo.....	44
Fotografia 1.3: Conjunto residencial localizado a leste do Lago Água Preta.....	82
Fotografia 1.4: Área de “invasão” localizada próximo da nascente do Lago Água Preta.....	82
Fotografia 1.5: Área de “invasão” denominada “Águas Lindas” localizada a leste do Lago Água Preta.....	83
Fotografia 1.6: Parte do Lago Bolonha sofrendo eutrofização.....	87
Fotografia 1.7: Precariedade do sistema de saneamento básico em um bairro localizado na cabeceira do Lago Bolonha.....	88
Fotografia 1.8: Despejo de esgoto doméstico e industrial no Lago Bolonha.....	89
Fotografia 1.9: Fonte de poluição hídrica em um dos bairros localizados no entorno do Parque Estadual do Utinga.....	90

LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
APA	Área de Proteção Ambiental
PEUt	Parque Estadual do Utinga
C	Centígrado
CCNT	Centro de Ciências Naturais e Tecnologia
cm	Centímetro
CMP	Common Mid Point
CODEM	Companhia de Desenvolvimento e Administração da Área Metropolitana de Belém.
CDS	Comissão para o Desenvolvimento Sustentável das Nações Unidas
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
COSANPA	Companhia de Saneamento do Pará
CNUMAD	Conferência das Nações Unidas para o Meio Ambiente e Desenvolvimento
DNAEE	Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica
E	Leste
EM	Eletromagnético
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
EUA	Estados Unidos da América
FCAP	Faculdade de Ciências Agrárias do Pará
Ha	Hectare
HAB.	Habitante
Hz	Hertz
IBDF	Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal
IDESP	Instituto de Desenvolvimento Econômico, Social e Ambiental do Pará.
Km	Quilômetro
km ³	Quilômetro cúbico
km ²	Quilômetro quadrado
L	Litro
m	Metro
m ²	Metro quadrado
Mg	Miligramadas
MHz	Megahertz
MPEG	Museu Paraense Emílio Goeldi
mm	Milímetro
N	Norte
NBR	Normas Brasileiras
NE	Nordeste
NO	Noroeste
ns	Nanosegundos
NW	Noroeste
O	Oeste
ONU	Organização das Nações Unidas
PA	Pará
PARATUR	Companhia Paraense de Turismo
PDPU	Plano Diretor dos Parques do Utinga
PM	Poço de monitoramento

PVC	Policloreto de vinila
RMB	Região Metropolitana de Belém
RX	Recepção
S	Sul
SE	Sudeste
SECTAM	Secretaria de Estado de Ciência, Tecnologia e Meio Ambiente
TX	Transmissão
UC	Unidades de Conservação
UEPA	Universidade do Estado do Pará
UTM	Universal Transversa de Mercator
VMP	Valor Máximo Permitido
W	Oeste
WARR	Wide angle reflection and refraction
ZPRN	Zona de Preservação dos Recursos Naturais

1 – INTRODUÇÃO

O planeta Terra enfrenta hoje os desafios relacionados ao aumento da população mundial e a crescente industrialização. O padrão histórico de consumo e a industrialização causaram alterações significativas sobre o meio ambiente. Por outro lado, há algumas décadas, o mundo assiste a uma propagação da consciência ecológica e crescente preocupação com alternativas de desenvolvimento sustentável, que vêm permitindo que a busca de mecanismos de ação para utilização responsável dos recursos naturais, seja inserida na agenda das políticas públicas.

Desde 1977, a partir da Reunião de Estocolmo na qual a humanidade foi despertada para o controle da poluição industrial, ações, reuniões, políticas e legislações estão sendo desenvolvidas com a finalidade de promover a contenção da degradação ambiental acelerada.

A realidade de cada dia, contudo, tem demonstrado que poucas destas atividades têm redundado em resultados positivos. Os países desenvolvidos com suas altas taxas de poluição, os países em desenvolvimento e os não desenvolvidos com altos índices de pobreza e analfabetismo, não têm tomado medidas eficazes para conservação ambiental, independente da abordagem adotada.

O processo de urbanização das últimas décadas tem gerado problemas de considerável gravidade, relativos ao uso e ocupação do espaço físico-ambiental das cidades. A concentração da população, das atividades econômicas e os padrões tecnológicos vigentes têm levado a um ambiente urbano altamente degradado, consequência do estilo de desenvolvimento que leva ao uso predatório dos recursos naturais. Nesse contexto, as médias e grandes cidades, enquanto centros de produção e consumo apresentam os problemas mais sérios de degradação ambiental (MUÑOZ, 2000).

Os parques ambientais, na forma como são criados, são considerados como instrumentos utilizados pelo poder público para proteger uma parte do território, segundo objetivos específicos de preservação ambiental. Porém, desde as primeiras legislações protetoras, as estruturas espaciais das paisagens vêm sendo alteradas em função da dinâmica de ocupação e uso do solo. Apesar da alteração da paisagem, e consequentemente do objeto de preservação, é necessário ressaltar a importância de se ter os parques ambientais, seja pela sua função ambiental, que engloba a preservação dos recursos hídricos, da paisagem, da estabilidade geológica, da biodiversidade, do fluxo gênico de fauna e flora, para a proteção do

solo, quer seja pelos benefícios promotores do bem estar das populações humanas (BRANDON, 1998). Pois, no contexto urbano, o uso adequado dos parques ambientais pode promover, para além da preservação dos recursos naturais, a melhoria da qualidade de vida dos habitantes, em função de outros benefícios gerados pelo equilíbrio de sua função ambiental.

No meio urbano, estes espaços têm o potencial de funcionar como amenizadores de temperatura (controle climático), diminuir os ruídos e os níveis de gás carbônico (melhoria da qualidade do ar), promover equilíbrio de distúrbios do meio (proteção contra enchentes e secas), proteger as bacias hidrográficas e os aquíferos para o abastecimento de águas limpas (controle e suprimento de águas), proporcionar abrigo para a fauna silvestre (controle biológico e refúgio da fauna), promover a melhoria da saúde mental e física da população que as frequenta (função recreacional e cultural) e contribuir para o melhoramento estético da paisagem.

Apesar de reconhecido por suas qualidades e funções ambientais, e mesmo protegidos pela legislação, os parques ambientais costumam ser degradados, de um modo geral, por ações antrópicas distintas, tais como: “(...) a conversão de espaços naturais para usos urbanos, a extração e deterioração dos recursos naturais e o despejo dos resíduos urbanos, industriais e domésticos” (RYLANDS; BRANDON, 2005).

Tal realidade evidencia as dificuldades de entendimento sobre a necessidade de proteção e utilização adequada desses espaços, como também os entraves ao seu uso adequado.

No Brasil, apesar dos esforços colocados nas políticas públicas ambientais e as associadas aos recursos hídricos, do estágio avançado na implementação dos parques ambientais, a resposta do sistema público não vem ocorrendo na velocidade necessária, pois a sociedade atual está inserida num modelo econômico que impulsiona a exploração imediata, contínua e progressiva dos recursos naturais, cujos lucros da destruição acabam por beneficiar apenas uma pequena parcela da sociedade, enquanto a restante sofre as consequências mais visíveis do uso predatório.

Infelizmente, muito embora se ouça falar sempre da criação de áreas a serem preservadas, a verdade parece ser que várias das que já existem sofrem constantes ataques e reduções, em nome de outros interesses gerados pelas pressões humanas circundantes. Essa degradação, principalmente, pelo uso da terra, desencadeia alterações nos ecossistemas que deveriam ser preservados, por representarem a proteção natural (MAACK, 1981).

Na Região Metropolitana de Belém (RMB), grande parte do seu sítio urbano encontra-se em áreas de várzeas, que são terras com uma baixa cota altimétrica, periodicamente inundadas pelas águas das chuvas, enchentes da maré sob influência diária do Oceano Atlântico e pelos inúmeros igarapés que a cortam, formando uma vasta rede de microbacias, que estão hoje bastante degradadas em virtude da sua intensa ocupação pela população mais carente. Nessas áreas verifica-se um elevado processo de poluição ambiental, afetando a qualidade dos recursos hídricos e agredindo cada vez mais a qualidade de vida da população residente (BORDALO, 2006). Além disso, a RMB está situada numa malha hidrográfica densa e de elevado índice pluviométrico (aproximadamente 3000 mm/ano). Essa abundância de águas superficiais leva a sociedade local ao descuido, desperdício e a degradação dos corpos d'água, seja por parte da população, seja por parte da deficiência do sistema de distribuição. Assim, as perdas de água potável alcançam valor de até 50% do total da água potável produzida, criando uma situação paradoxal e insustentável: falta crônica de água potável em um ambiente de abundância hídrica (BAHIA et al., 2009).

Em Belém, a maior cidade da Amazônia, com uma população estimada de 1.393.399 habitantes (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA-IBGE, 2010), são visíveis as formas de degradação ao meio ambiente. A cidade cresce de forma confusa e caótica e assim problemas ambientais decorrentes da expansão da metrópole se configuram sobre o meio ambiente, havendo por isso um quadro socioambiental permissivo e favorecedor de agravos à saúde da população, que ocorrem em grande número, gravidade e proporção.

No Parque Estadual do Utinga (PEUt) em Belém, encontram-se as principais nascentes de bacias e microbacias hidrográficas da RMB, algumas já seriamente comprometidas devido à degradação em suas proximidades (CARNEIRO; GERALDO, 2000; MARTINS, 2009; MATTA, 2002). Estão localizados ainda nessa área, os lagos Bolonha e Água Preta, que são os dois grandes reservatórios de água superficial que a RMB dispõe desde a década de 30 e responsáveis pelo abastecimento de sua população. De acordo com o Núcleo de Altos Estudos Amazônicos (2004), esses mananciais encontram-se sob forte ameaça de contaminação, sobretudo por estarem localizados à aproximadamente 1400 metros do aterro sanitário do Aurá, e por estar cercado de invasões urbanas, tendo em vista que em vários pontos, as casas localizam-se a poucos metros de distância das suas margens.

O acompanhamento ambiental dessa importante área de preservação, assim como da qualidade de seus recursos hídricos é, portanto, necessária e de extrema importância, constituindo uma significativa fonte de informação para a população e para os órgãos

responsáveis pelo saneamento local, servindo, inclusive, de base para futuras intervenções nessa área.

A estrutura deste trabalho, de forma geral, foi delineada com base no modelo estabelecido pelo Instituto de Geociências da Universidade Federal da Bahia (UFBA), que propõe que o conteúdo do manuscrito (tese) na forma de artigos publicados deve se apresentar da seguinte forma: Resumo e Abstracts; Indices (Sumário, Figuras, Tabelas); Capítulo 1 - Introdução (estabelecendo o tópico principal a ser abordado, os objetivos gerais e específicos, motivações e justificativas, localização/delimitação e caracterização (dimensões, clima, vegetação) da área de estudo e metodologias aplicadas; Capítulo 2 - Estado da arte/fundamentação teórica/abordagem histórica; Capítulo 3 - Artigo em si, mas formatado como o restante da tese e sem as referências bibliográficas; Capítulo 4 – Considerações e conclusões finais e Capítulo 5 - Referências Bibliográficas.

1.1 – JUSTIFICATIVAS

Um grande eixo problemático justifica a execução desta pesquisa: os problemas ligados à fonte de água bruta com a respectiva proteção ambiental da área de captação de água, necessária para o abastecimento da população local.

Em relação a este eixo problemático, é importante considerar que o abastecimento da capital paraense é feito basicamente através da captação de águas superficiais e em alguns casos específicos, como os das suas áreas distritais (Mosqueiro, Outeiro, Icoaraci e Cotijuba) por aproveitamento de águas subterrâneas.

A urbanização crescente e desordenada que se verifica, principalmente nos dois principais municípios da RMB - Belém e Ananindeua, tem levado ao surgimento de novos bairros, conjuntos residenciais e a multiplicação de favelas em torno do PEUt. Carneiro e Geraldo (2000) e Ribeiro (1992) já haviam ressaltado em seus estudos que a problemática do Utinga existe principalmente em decorrência da urbanização crescente e desordenada que se verifica nesses dois municípios, mais precisamente no estreito corredor ao longo da BR-316, levando ao surgimento de bairros, conjuntos residenciais e a multiplicação de favelas. E que como consequência disso, recursos financeiros necessários para a expansão e manutenção do sistema de distribuição e para a preservação da área são direcionados para tratamentos cada vez mais onerosos das águas provenientes dos mananciais.

Impactos ambientais, seja pela poluição hídrica, através de esgoto a céu aberto, seja pelo desmatamento e acelerada ocupação desse espaço, ameaçando-os progressivamente, com

inevitáveis prejuízos ecológicos, se refletem não apenas na erosão e diminuição da capacidade de reserva dos mananciais, como também, na poluição das águas e na alteração biológica do ecossistema como um todo, acrescente-se ainda, o impacto natural provocado pela sazonalidade no período de estiagem.

O desenvolvimento urbano tem causado significativas mudanças sobre os recursos ambientais, particularmente no que concerne aos recursos hídricos, tais como a qualidade das águas e ao regime hidrológico das bacias urbanas. Diversos estudos relacionados aos impactos das atividades antrópicas e ao comportamento dos contaminantes sobre a qualidade das águas superficiais e subterrâneas, bem como sobre o regime hidrológico de bacias, têm sido desenvolvido em todo o mundo. Entre esses trabalhos podem ser citados Beek e Puffelen (1987), Castro et al. (2000), Danelon e Nordemann (1991), Ford e Tellam (1994), Hantzsche e Finnemore (1992), Melo (1995), Smith, Howes e Duff (1991), Tucci e Clarke (1997), entre outros.

No âmbito local, existem inúmeros estudos com diversos enfoques como: salinização, hidrodinâmica, hidroquímica, batimetria e outros de caráter ambiental, enfocando a influência antrópica nessa sistema. Todavia, a despeito da importância e da magnitude do problema até o momento, nenhum estudo havia sido direcionado ao PEUt no intuito de obter informações concretas a respeito do quanto os impactos ambientais tem afetado e comprometido esse importante resquício de área preservada em relação a qualidade dos seus recursos hídricos subterrâneos.

Além disso, invasões suburbanas, precária fiscalização e gerenciamento dos órgãos responsáveis, falta de programas de educação ambiental para a população e deficiência de informações científicas consolidadas, são alguns dos fatores que dificultam a sua gestão eficiente.

Diante deste quadro apresentado ao longo das últimas décadas, ratificam-se preocupações no intuito de garantir a qualidade ambiental dessa área de estudo, assim como a manutenção e preservação das atuais fontes de abastecimento de água que a população da RMB dispõe.

1.2 – OBJETIVOS

1.2.1 – Geral

- Avaliação hidrogeológica e ambiental do sistema hídrico na área do Parque Estadual do Utinga, localizado em Belém-PA, baseado em dados hidrogeológicos, geofísicos e geoquímicos.

1.2.2 – Específicos

- Estimar a velocidade dos fluxos subterrâneos na área e um provável deslocamento de poluentes, através de determinação das variáveis hidrodinâmicas (condutividade hidráulica (K), porosidade (n), carga hidráulica (h), etc.) e definição da geometria dos aquíferos;

- Determinar as áreas da zona saturada atingidas por infiltração de contaminantes, mediante metodologias indiretas (métodos geofísicos) e diretas (piezômetros de observação e análises geoquímicas);

- Determinar a influência de contaminantes nos recursos hídricos mediante a realização de análises geoquímicas, tais como, de íons maiores (Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^-), menores (NH_4^+ , NO_2^- e NO_3^-) e parâmetros físico-químicos (pH, condutividade elétrica, alcalinidade, STD), bioquímicos (DQO, DBO) e metais (Cd^{+2} , Cu^{+2} , Fe_t , Pb^{+2} , Zn^{+2} , etc.) em amostras de águas subterrâneas e superficiais;

- Gerar subsídios que permitam uma melhor conservação e gestão ambiental do Parque Estadual do Utinga, além de contribuir para o desenvolvimento de trabalhos de pesquisa mais apurados em diferentes temas abordados.

1.3 – DESCRIÇÃO METODOLÓGICA

O estudo requer informações detalhadas da subsuperfície, que poderiam ser conseguidas através da perfuração de poços com instalação de piezômetros. Como a área a ser investigada tem uma extensão aproximada de 1.340 ha, torna-se oneroso o custo da construção de piezômetros em número suficiente para que se obtenha o detalhe requerido no

estudo. Para resolver este problema técnico e econômico, optou-se por aplicar em campo metodologia geofísica ao longo de alguns perfis e perfurar alguns poços para verificação da resposta geofísica, bem como para realizar testes hidrogeológicos e coletas de águas e sedimentos.

Apresentam-se a seguir a descrição dos conceitos básicos sobre a metodologia aplicada.

1.3.1 – Métodos geofísicos aplicados

Na avaliação geoambiental de áreas contaminadas, a execução de levantamentos geofísicos tem como objetivos básicos: (i) a identificação direta da presença de contaminação subterrânea; e (ii) a definição das feições hidrogeológicas dos locais investigados, tais como as geometrias dos aquíferos e os padrões de distribuição de contaminantes no fluxo subterrâneo. Estudos geofísicos têm sido também aplicáveis nas etapas de atenuação da poluição e da recomposição de áreas subterrâneas poluídas (ACWORTH; JORSTAD, 2006; ELIS; ZUQUETTE, 2002).

A maior parte de solos e rochas quando secos, se comportam como isolantes elétricos. Não obstante, um fluxo de corrente pode ser conduzido graças à umidade presente nos poros dos solos e das rochas, indicando que a resistividade é controlada pela sua porosidade e permeabilidade (BENSON; GLACUNCUM; NOEL, 1984). Um poluente ao atingir o solo e as camadas da subsuperfície, altera as propriedades elétricas, aumentando a concentração de sais e, portanto, a sua condutividade. Essa mudança, nas propriedades elétricas, permite a aplicação do método geofísico na detecção e na delimitação da área atingida por plumas de contaminação ou substâncias condutoras.

Atualmente, uma das metodologias mais utilizadas para detectar e monitorar fluxos de contaminantes são os métodos geofísicos elétricos e eletromagnéticos, através das técnicas de Sondagem Elétrica Vertical, Caminhamento Elétrico, Caminhamento de Potencial Espontâneo e Caminhamento Eletromagnético. Benson, Glacuncum e Noel (1984); Kelly (1976); Markel e Kamininski (1972); Piratoba Morales (2002); Seitz, Wallace e Willans (1972) e Urisch (1983) ressaltam a utilidade dos principais métodos geofísicos para o mapeamento de plumas de contaminação.

A metodologia geofísica empregada no presente estudo consistiu de: (a) medidas das componentes em fase e quadratura em 8 frequências (110 Hz a 14.080 Hz) com o sistema eletromagnético indutivo Slingram na configuração coplanar horizontal; (b) medidas de

resistividade aparente obtidas com sondagens elétricas verticais (SEV); e (c) medidas com o Radar de Penetração no Solo (GPR) ou Georadar.

As medidas das componentes em fase e quadratura foram combinadas para obtenção da amplitude relativa do campo magnético secundário e representadas contra a frequência de forma a produzir pseudosseções (imagens) da subsuperfície. A distribuição dos valores da amplitude relativa do campo nas pseudosseções, juntamente com os modelos geoeletricos obtidos das SEV, permitiram que se separassem as zonas mais condutivas da subsuperfície daquelas mais resistivas.

Em virtude da presença de trechos cobertos por material de concreto na área de estudo e, portanto, impossibilitadas de serem analisadas pelas SEV que exigiria a quebra de pavimentação para a introdução de eletrodos, foi utilizado ainda o Georadar, que é bastante indicado para esse caso. O Georadar permite que se localizem estruturas e feições geológicas rasas da subsuperfície ou se encontrem objetos enterrados pelo homem. Nas aplicações do método a problemas geológicos, a profundidade de penetração pode variar de menos de 1 metro, em áreas onde a cobertura geológica é eletricamente muito condutora (rica em argilas), até profundidades superiores a 25 metros, em áreas de cobertura pouco condutora (areias sem argila e cascalho) (BERES, JR; HAENI, 1991). Testes realizados em Belém e em Manaus, por exemplo, mostraram profundidades de penetração variando entre 4 e 15 metros, para a frequência de 100 MHz (SAUCK, 1995; SAUCK; ALVES; LUIZ, 1995).

1.3.1.1 – Método Eletromagnético Indutivo (EM)

Os métodos EM indutivos possuem técnicas variadas. No entanto, cada uma funciona unicamente envolvendo a medida em um receptor, de uma ou mais componentes do campo elétrico ou do campo magnético, a qual é gerada a partir de alguma fonte natural ou artificial de energia eletromagnética, chamada de transmissor (SWIFT, 1987).

Na tomada de medidas com o método EM, geralmente uma bobina transmissora emite ao subsolo um campo eletromagnético produzido por uma corrente alternada de frequência definida. Uma outra bobina receptora, numa certa distância afastada do transmissor, recebe um campo eletromagnético induzido, que é uma superposição do campo primário (H_p) do transmissor com o campo magnético secundário (H_s), induzido em um condutor no subsolo segundo a lei de Faraday.

As configurações de arranjos entre o transmissor e o receptor são selecionadas dependendo do tipo de aplicação, seja para perfilagem horizontal ou caminhamento (medidas

da variação lateral de resistividade através da superfície) e/ou para sondagem (medidas da variação de resistividade com a profundidade).

As perfilagens horizontais são realizadas deslocando-se lateralmente o transmissor e o receptor, mantidos a uma separação constante. As sondagens EM consistem em medidas com certo número de frequências ou durante um intervalo de tempo usando fonte e receptor fixos. Medidas de resposta EM em várias frequências ou para vários valores de tempo, contêm informações da variação da condutividade com a profundidade. As sondagens também podem ser realizadas, medindo-se a resposta em várias separações de fonte-receptor em uma única frequência ou tempo. Portanto, um conjunto de tais medidas feitas utilizando muitos espaçamentos, contêm informações da variação da condutividade com a profundidade.

O sistema Slingram é um dos mais empregados na aplicação dos métodos EM indutivos, consistindo de um dipolo transmissor e um dipolo receptor, em que as componentes em-fase e quadratura do campo magnético vertical secundário são medidos para uma dada frequência. Apresenta diferentes arranjos de bobinas, no entanto o mais utilizado é o arranjo denominado de HLEM (Horizontal Loop Eletromagnetic), que recebe este nome devido utilizar tanto a bobina transmissora como a receptora no plano horizontal. A Figura 1.1 ilustra uma resposta HLEM considerada típica, em que um corpo condutivo vertical se encontra em contato lateral com uma rocha encaixante menos condutiva sotoposto a uma camada de cobertura condutora.

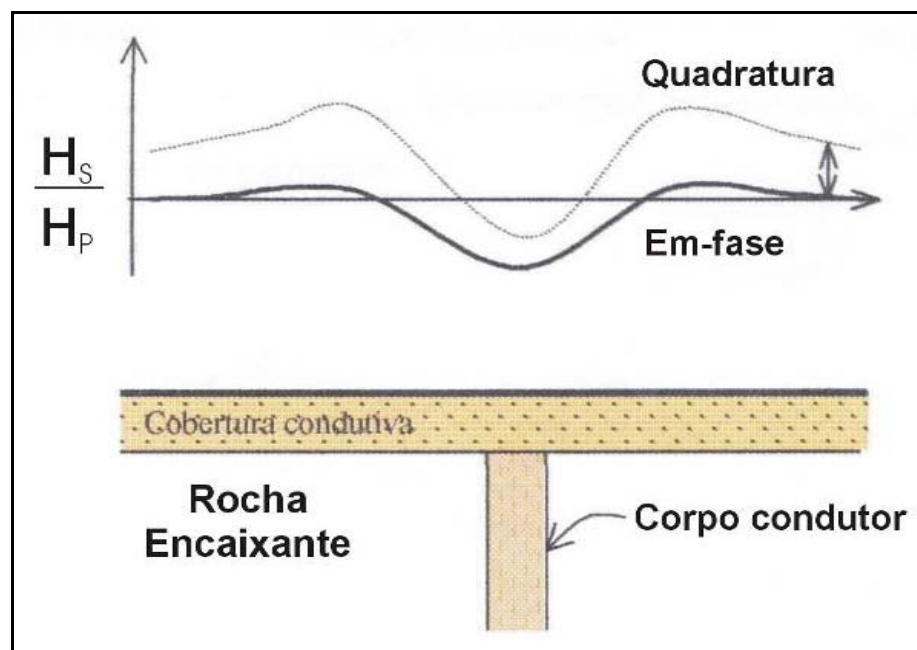


Figura 1.1 – Perfil HLEM sobre um corpo condutor (H_s = campo secundário; H_p = campo primário) (SILVA, 2002).

Durante a operação uma corrente oscilante de frequência pré-determinada circula na bobina transmissora. A corrente produz o campo magnético primário, que induzirá força eletromotriz e, conseqüentemente, corrente em corpos condutores existentes na subsuperfície. O campo secundário gerado pela corrente induzida, por sua vez, induzirá uma voltagem oscilante na bobina receptora que alcança o seu máximo num tempo diferente daquele em que o máximo do campo primário é alcançado. Por isso, os campos primário e secundário são ditos estar fora de fase (SILVA, 2002).

A voltagem induzida pelo campo secundário é separada em duas componentes durante a sua medida na bobina receptora: uma que se encontra em fase com o campo primário (componente em fase ou componente real) e uma segunda que se encontra um quarto de período fora de fase (componente fora de fase, componente em quadratura ou componente imaginária). As medidas do campo secundário são tomadas como percentagem do campo primário gerado no transmissor, o qual é transmitido ao receptor via cabo ou por telemetria. A modificação do campo eletromagnético, medido no receptor em relação ao campo primário, depende da distribuição das condutividades elétricas dos diferentes meios na subsuperfície do terreno.

1.3.1.2 – Método da Resistividade

O Método Elétrico de Resistividade consiste na injeção de uma corrente elétrica contínua ou alternada de baixa frequência no subsolo em dois pontos do terreno através de dois eletrodos de corrente denominados de A e B, para medir a resposta na forma de diferença de potencial (voltagem) através de outros dois eletrodos de potencial designados de M e N. Os quatro eletrodos são normalmente colocados em linha reta (Figura 1.2). O uso de baixa frequência no aparelho visa minimizar o efeito da polarização espontânea nos eletrodos de potencial e também o efeito de acoplamento eletromagnético entre os circuitos de corrente e de potencial.

O conhecimento da corrente injetada (I), da diferença de potencial (ΔV) e das posições relativas dos eletrodos A, B, M e N, permitem estimar o valor da resistividade (ρ) dos materiais que se encontram abaixo da superfície.

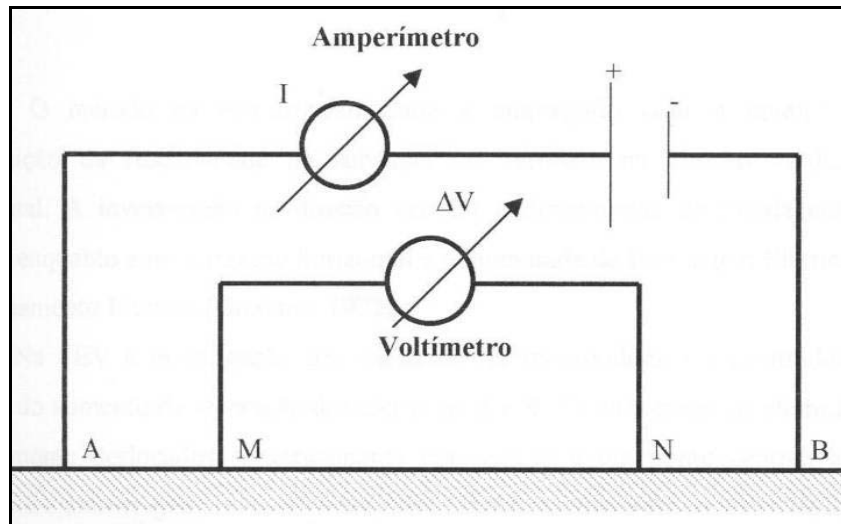


Figura 1.2 – Disposição dos eletrodos para medidas de resistividade (modificado de VITORINO FILHO, 1991).

Esse valor, para um meio isotrópico e homogêneo, é dado pelas equações 1.1 e 1.2, onde o valor de K (denominado de fator geométrico) irá variar de acordo com o arranjo dos eletrodos e com as separações entre eles dadas pelos valores de AM, BM, AN e BN.

$$\rho = \frac{\nabla V}{I}(K) \quad (1.1)$$

$$K = \frac{6.28}{\left(\frac{1}{AM} - \frac{1}{BM} - \frac{1}{AN} + \frac{1}{BN}\right)} \quad (1.2)$$

Se os pontos A e B estão muito próximos, a corrente atinge uma profundidade pequena produzindo um resultado que representa quase exclusivamente o material superficial. Se o objetivo é obter dados sobre materiais mais profundos, deve-se aumentar a distância AB. A profundidade a ser atingida pode ser estimada empiricamente como sendo 1/10 a 1/3 do valor da distância AB. Existem posições relativas dos pontos A, B, M e N que são universalmente consagradas. As mais utilizadas são as posições em que AM=MN=NB (arranjo Wenner) e MN≪AB (arranjo Schlumberger). Neste trabalho foi utilizado o arranjo Schlumberger, devido à facilidade de operação e resposta na prospecção de água subterrânea em terrenos sedimentares (Figura 1.3).

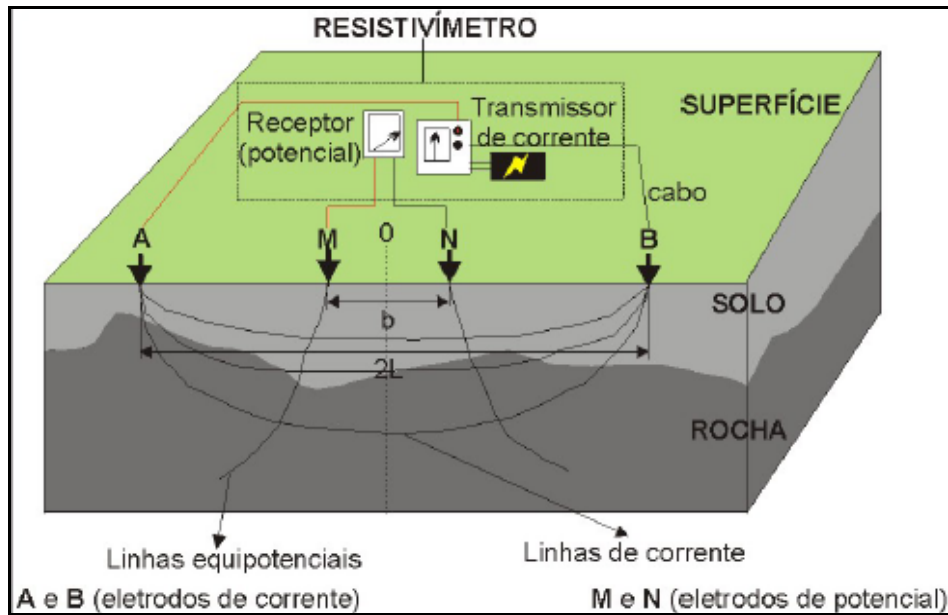


Figura 1.3 – Quadripolo AMNB, dispositivo Schlumberger (modificado de NUNES, 2005).

O fator geométrico para o arranjo Schlumberger é:

$$K_s = \frac{2\pi}{\frac{1}{L - \frac{b}{2}} - \frac{1}{L + \frac{b}{2}} - \frac{1}{L + \frac{b}{2}} + \frac{1}{L - \frac{b}{2}}} = \pi \left(\frac{L^2}{b} - \frac{b}{4} \right) \quad (1.3)$$

Em que:

$L = AB/2$ e $b = MN$ (Figura 1.3).

Para um meio homogêneo, a resistividade é a mesma em qualquer que seja a posição dos quatro eletrodos A, B, M e N. Entretanto, o ambiente geológico apresenta uma distribuição de resistividade, que pode variar, tanto na vertical, como lateralmente. Devido a isto, os valores de resistividades obtidos não representam os valores verdadeiros das resistividades dos materiais na subsuperfície, embora estejam relacionados a eles. O que se obtêm são valores denominados de resistividade aparente (ρ_a), definida como a resistividade que um meio teria se ele fosse homogêneo (ORELLANA, 1972).

Como mencionado anteriormente, um dos fatores que controla a profundidade atingida pela corrente é a separação entre seus pontos de injeção. Quanto maior for a separação dos eletrodos de corrente, maior será a profundidade alcançada. Durante a execução

de sondagens elétricas verticais Schlumberger, as medidas são tomadas com a distância entre os eletrodos de corrente sendo aumentadas gradativamente para se obter a resposta de profundidades cada vez maiores do meio estratificado. Os eletrodos de corrente são neste caso, deslocados simetricamente em relação a um ponto central fixo e os valores de resistividade aparente medidos, são considerados representativos da variação da resistividade abaixo deste ponto.

Na prática, a partir de determinado deslocamento dos eletrodos de corrente a sondagem torna-se ineficiente, pois os valores de potencial são muito baixos, diminuindo bastante a precisão. Usa-se então um artifício denominado de “embreagem”, onde os dois últimos pontos de medidas dos eletrodos A e B são repetidos para nova posição de M e N. Em geral, após a embreagem, há uma descontinuidade da curva, o que deve ser corrigido quando da interpretação da mesma.

Para um levantamento correto em campo, os cabos usados devem ser marcados de acordo com as posições onde devem ser colocados os eletrodos de corrente (cabos A e B) e de potencial (cabos M e N). A escolha dos espaçamentos deve permitir que os pontos fiquem regularmente espaçados em uma escala logarítmica (escala em que os dados são representados). Também devem possuir de seis a dez pontos por década logarítmica para uma boa definição da curva de resistividade (LUIZ; SILVA, 1983). A curva da SEV deve ser graficamente representada ponto a ponto da medida no decorrer das atividades de campo, com vistas a evitar qualquer imperfeição do levantamento, pois como a curva deve se mostrar suave, qualquer discrepância na suavidade pode ter sido causada por erros na coleta dos dados, que podem ser imediatamente corrigidos.

1.3.1.3 – Método do Radar de Penetração no Solo ou Georadar (Ground Penetrating Radar ou GPR)

O Método do Radar de Penetração no Solo ou Georadar consiste na radiação de ondas eletromagnéticas a partir de uma antena transmissora colocada às proximidades da superfície do terreno, as quais propagam-se nos materiais da subsuperfície, sofrendo reflexão, refração e difração (Figura 1.4).

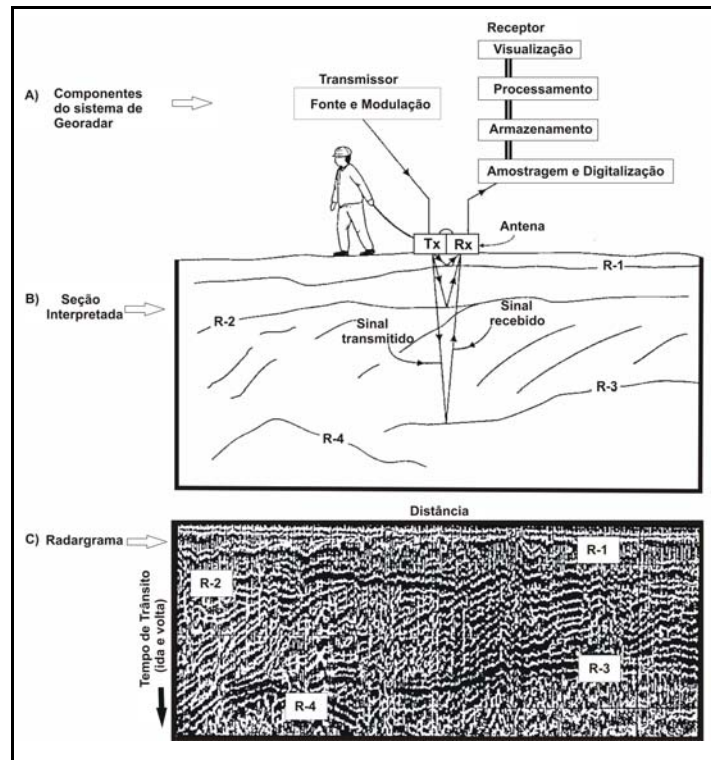


Figura 1.4 – Exemplo de aplicação do método Georadar (adaptado de REYNOLDS, 1997).

As ondas refletidas que retornam à superfície são detectadas na mesma antena transmissora ou em uma outra antena colocada próximo. O tempo decorrido entre o início da radiação e a detecção da onda refletida é registrado e permite que se estimem as profundidades das interfaces de reflexão, desde que seja conhecida a velocidade de propagação das ondas

As interfaces de reflexão são definidas sempre que há variações nas propriedades eletromagnéticas do meio (resistividade, permissividade elétrica e permeabilidade magnética)

A velocidade de propagação das ondas é basicamente controlada pela constante dielétrica dos materiais e pode ser estimada, em um meio não magnético, através da expressão:

$$V = \frac{c}{\sqrt{K}} \quad (1.4)$$

Em que c é a velocidade da luz no vácuo (0,3 metro por nanosegundo) e K é a constante dielétrica (razão entre as permissividades elétricas do material e do vácuo).

A profundidade de penetração da onda é controlada, em parte, tanto pela sua frequência, como pela resistividade elétrica do meio onde ela se propaga. Resistividades

baixas e frequências elevadas contribuem para uma maior absorção da energia da onda e, conseqüentemente, para uma menor penetração. As elevadas frequências, entretanto, contribuem para que haja maior resolução do material investigado, isto é, permitem que alvos reduzidos possam ser identificados, uma vez que, para uma determinada velocidade, à medida que a frequência aumenta, o comprimento de onda diminui, conforme explicitado na relação:

$$V = \lambda f \quad (1.5)$$

Sendo λ o comprimento de onda e f a frequência da onda. As frequências usadas no método do Radar normalmente variam de 15 a 2500 MHz.

A operação de medidas na superfície do terreno com os sistemas de radar pode ser dividida em três modos básicos de aquisição (REYNOLDS, 1997): 1) perfis de reflexão com afastamento constante (Figura 1.5 A), quando se utiliza uma antena mono-estática ou um par de antenas biestáticas separadas por uma distância fixa (*offset comum*); 2) sondagens de velocidade que incluem a técnica WARR (*wide angle reflection and refraction*) onde uma antena é mantida fixa enquanto a outra é deslocada (Figura 1.5 B); e 3) a técnica CMP (*Common Mid Point*), onde as duas antenas são deslocadas para ambos os lados de um ponto central (Figura 1.5 C). Os modos 2 e 3 são normalmente usados para estimar a velocidade de propagação das ondas.

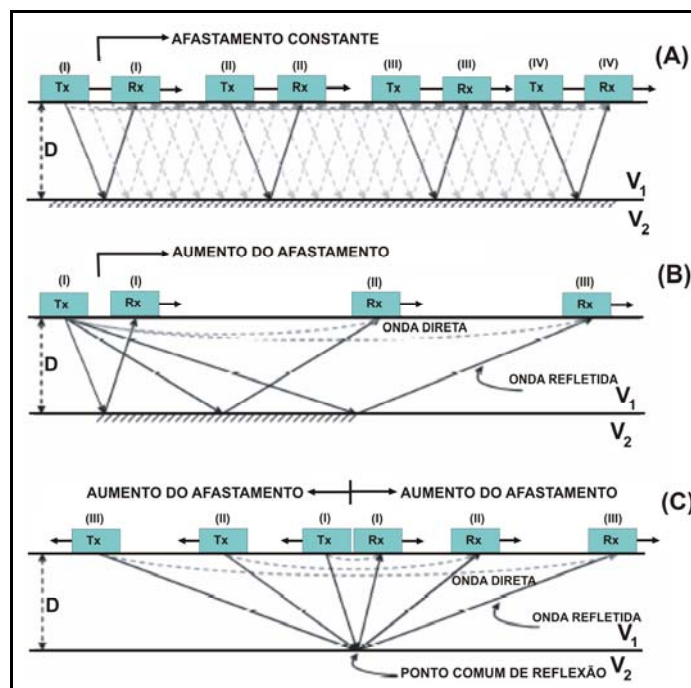


Figura 1.5 – Os três modos de operação do GPR: (A) afastamento constante, (B) WARR e (C) CMP (modificada de REYNOLDS, 1997).

1.3.2 – Métodos hidrogeológicos aplicados

Ao se pensar em tratar ou analisar os problemas relativos às águas subterrâneas, se fazem necessários conhecimentos prévios das principais características do meio onde ela se encontra armazenada. Para isso é necessário a aplicação de métodos hidrogeológicos, cuja descrição dos utilizados na área de estudo são apresentados a seguir.

1.3.2.1 – Determinação de gradiente hidráulico ($\Delta h / L$)

O gradiente hidráulico corresponde à razão entre as variações de carga hidráulica e comprimento percorrido na direção do fluxo; fisicamente mede a inclinação da superfície da água subterrânea.

O gradiente hidráulico é calculado a partir da topografia do terreno e da medida da profundidade do nível estático em dois piezômetros de referência e da distância existente entre eles. Efetua-se o cálculo do gradiente hidráulico através da expressão matemática:

$$i = \frac{\Delta h}{L} = \frac{h_1 - h_2}{L} \quad (1.6)$$

Sendo:

i = gradiente hidráulico,

$\Delta h/L$ = gradiente hidráulico,

h_1 = carga hidráulica no poço de referência 1 (cota do nível estático),

h_2 = carga hidráulica no poço de referência 2 (cota do nível estático),

L = distância entre o poço de referência 1 e o poço de referência 2.

1.3.2.2 – Condutividade hidráulica (K)

A habilidade da água mover-se através de um material em particular é chamada de condutividade hidráulica. A condutividade hidráulica é uma função das propriedades do fluido (tal como viscosidade e densidade) e das propriedades do material (tal como diâmetro das partículas, tamanho dos poros e como eles estão interconectados).

No presente estudo, a condutividade hidráulica foi determinada através de análise granulométrica e por ensaio de bombeamento.

1.3.2.2.1 – Estimativa da condutividade hidráulica (K) através da análise de granulometria

Segundo Fetter (1994), a condutividade hidráulica de sedimentos arenosos pode ser obtida através do método de Hazen (HAZEN, 1911), que utiliza uma curva de distribuição granulométrica.

No entanto, este método somente pode ser utilizado, no caso do tamanho dos grãos se encontrarem dentro do intervalo compreendido entre 0,1 e 3,0 mm.

Assim:

$$K = C(d_{10})^2 \quad (1.7)$$

Sendo:

K = condutividade hidráulica

d_{10} = tamanho efetivo dos grãos (cm)

C = coeficiente baseado em valores de acordo com as condições de Fetter (1994), conforme Tabela 1.1.

Tabela 1.1 – Valores do coeficiente C.

Valor de C	Tipo de areia
40 – 80	Areia muito fina e mal selecionada
60 – 80	Areia fina com apreciável quantidade de argila
80 – 120	Areia fina bem selecionada
120 – 150	Areia grossa bem selecionada e limpa

Fonte: Fetter (1994).

1.3.2.2.2 – Ensaio de bombeamento para se determinar a condutividade hidráulica (K)

No presente trabalho foram analisados os resultados dos testes de bombeamento realizados pelo método de Cooper e Jacob (1946), por ser um dos mais aplicados à aquíferos confinados. O método desenvolvido por esses autores, estabelece que ao se bombear um poço instalado em um aquífero de espessura saturada conhecida (b), com uma vazão constante (Q), pode se obter o valor da transmissividade (T) e através deste valor obter-se o da condutividade hidráulica (K).

Os ensaios de bombeamento foram realizados em piezômetros instalados na área de estudo e os resultados foram comparados aos valores obtidos a partir da análise granulométrica.

1.3.2.3 – Velocidade real e aparente dos fluxos subterrâneos

Do ponto de vista teórico, a energia de movimento dos fluxos ou potencial hidráulico é a soma da elevação da água e a razão entre a pressão do fluido pelo peso da coluna de água.

A descarga (Q) da água subterrânea pode ser definida como o produto da área da seção transversal ao fluxo (A), o gradiente hidráulico (I) e a condutividade hidráulica (K) ou $Q = K.I.A$ em que Q representa uma taxa de fluxo volumétrico (por exemplo m^3/dia). Esta experiência explicou o comportamento do fluxo laminar na zona saturada e passou a ser conhecida como Lei de Darcy.

Através do conceito de que a vazão é igual à área vezes a velocidade ($Q = A.V$) podemos determinar a velocidade de Darcy através da Equação 1.8.

$$V = K \frac{\Delta H}{L} \quad (1.8)$$

Sendo:

V = velocidade aparente de escoamento,

K = condutividade hidráulica,

$\frac{\Delta H}{L}$ = gradiente hidráulico.

Essa velocidade (V), no entanto, não representa a velocidade real através dos poros. A velocidade real de escoamento do fluxo de água subterrânea somente poderá ser determinada com a modificação da Lei de Darcy em função da porosidade do meio, o que também permite que se calcule o deslocamento de poluentes com maior mobilidade geoquímica através das águas subterrâneas (FETTER, 1994) (Equação 1.9).

$$Vr = \frac{V}{\eta} \quad (1.9)$$

Sendo:

Vr = velocidade real,

η = porosidade efetiva,

V = velocidade aparente.

1.3.3 – Descrição dos trabalhos de campo e de laboratório

No desenvolvimento do presente estudo, foram realizados trabalhos de campo e de laboratório. Apresentam-se a seguir os conceitos básicos sobre as técnicas usadas nos mesmos.

1.3.3.1 – Trabalhos de campo

Os trabalhos de campo se destinaram a aplicação dos métodos geofísicos EM, SEV e GPR (Fotografia 1.1), instalação e monitoramento de piezômetros, ensaios de bombeamento, coleta de amostras de águas subterrâneas, superficiais e sedimentos.

1.3.3.1.1 – Método Eletromagnético

Foram realizados na área de estudo, oito perfis de medidas eletromagnéticas (fase e quadratura) com o Sistema Slingram MAX MIN I na configuração coplanar horizontal (Figura 1.7). A amostragem foi feita em oito frequências (110, 220, 440, 880, 1760, 3520, 7040 e 14080 Hz). A distância entre as bobinas transmissora e receptora foi igual a 50 m e o espaçamento entre as medidas foi de 25 m.

1.3.3.1.2 – Método da Eletrorresistividade

Com o método da eletrorresistividade foram realizadas medidas de resistividade aparente usando a técnica de Sondagem Elétrica Vertical (SEV), que permite que se investigue a distribuição da resistividade com a profundidade. As SEV foram realizadas com arranjo Schlumberger, com as aberturas de $AB/2$ variando de 1,0 a 180 m. Foram executadas 10 SEV em pontos estrategicamente selecionados no início dos trabalhos, de modo a abranger a área identificada como a mais atingida pela expansão urbana (Figura 1.7). O equipamento usado foi o resistímetro de modelo R100-A construído pela Geotest Indústria e Comércio de Equipamentos Eletrônicos, cuja potência nominal de saída é de 100 W. O intervalo de leitura de potencial varia de 0,1 a 199,9 mV e o valor máximo de corrente é de 200 mA, tendo como fonte uma bateria automotiva de 12 V.

1.3.3.1.3 – Método do Georadar

Neste estudo foi utilizada a técnica de reflexão com afastamento constante e a velocidade de propagação das ondas foi estimada durante o processamento dos dados.

Foram realizados dois perfis, tendo em vista a quantidade de vias pavimentadas que se limitavam a esse número: o primeiro deles (perfil 1) foi executado no sentido SW-NE, cobrindo uma extensão de 550 m ao longo da Av. João Paulo II, que se encontra na borda dos limites do parque. O segundo perfil foi realizado dentro do parque, na via que permite o acesso ao seu interior e foi executado no sentido SE-NW, com 800 m de extensão (Figura 1.6).

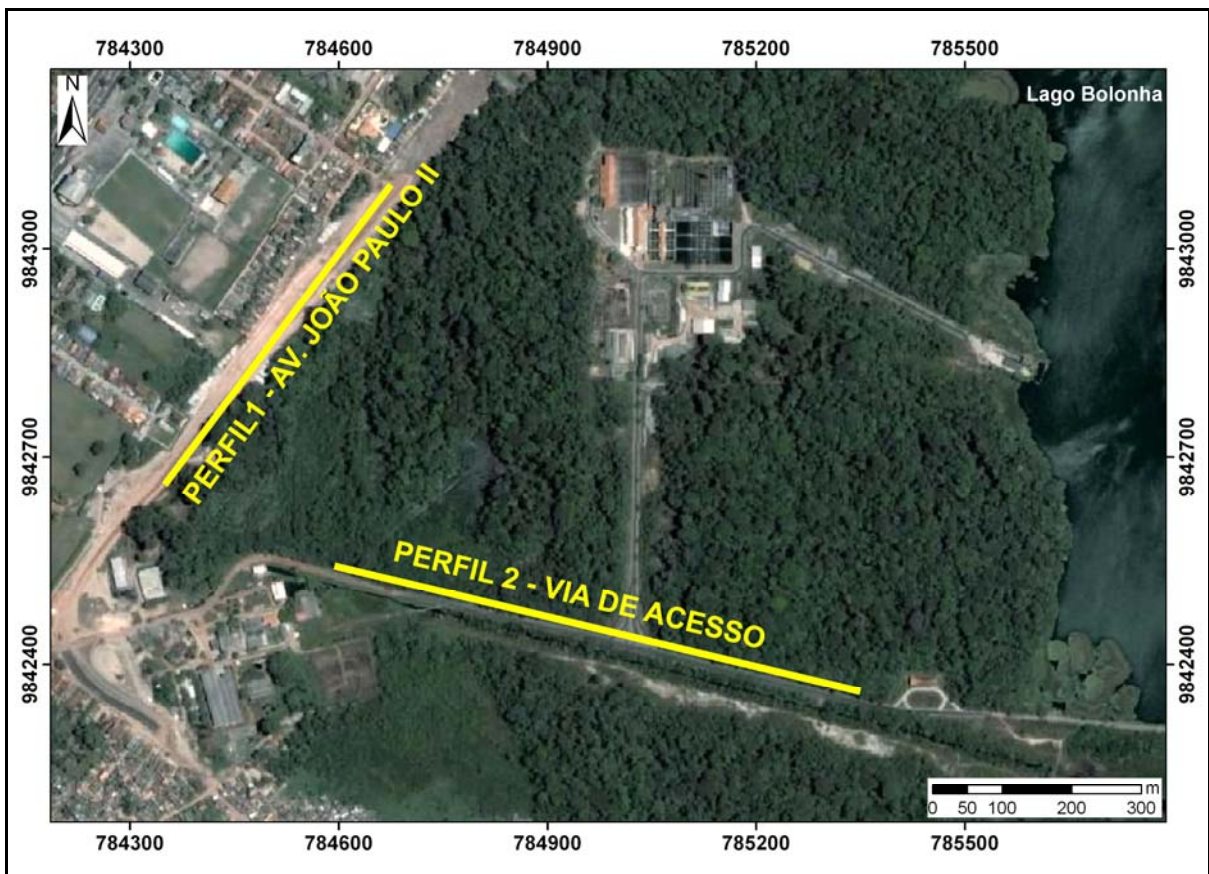


Figura 1.6 – Localização dos perfis de Georadar na área de estudo.

O equipamento GPR utilizado foi o modelo SIR-3000 da GSSI, com antena blindada de frequência 200 MHz. O instrumento foi operado no modo tempo, sendo o controle da posição das medidas obtido através de marcas inseridas no registro a intervalos de 50 m. O posicionamento das marcas foi controlado por trena.

As medidas obtidas com o GPR foram processadas com o programa Reflew-Win 4.2 da Sandmeier Software. O processamento envolveu basicamente os seguintes procedimentos: (a) interpolação das marcas de posicionamento horizontal para obtenção de escala horizontal uniforme; (b) estabelecimento do tempo zero de registro; (c) aplicação de filtro passa alta denominado *Subtract-mean (Dewow)*, para eliminar a saturação do registro devido às grandes amplitudes das ondas aéreas e diretas; (d) aplicação de ganho (AGC); (e) aplicação de filtro de remoção de *background*; (f) aplicação de filtro passa banda (*bandpass butterworth*) com frequências de corte de 100 e 200 MHz; (g) estimativa da velocidade de propagação das ondas; (h) conversão de tempo em profundidade. Para a conversão de tempo em profundidade foram usadas as velocidades constantes de 0,1 m/ns (Perfil 1) e 0,12 m/ns (Perfil 2), obtidas através do procedimento de superposição de hipérbolas, durante o processamento dos dados (SANDMEIR, 2006). Não foi feita a correção topográfica devido à área estudada ser totalmente plana.



Fotografia 1.1 – Registros de aplicação da metodologia geofísica na área de estudo.



Fotografia 1.2 – Registros de aplicação da metodologia geofísica na área de estudo.

1.3.3.1.4 – Instalação de piezômetros e ensaio de bombeamento

Foram instalados 9 piezômetros na área de estudo, que teve como objetivo a construção dos perfis litológicos, coleta de amostragem de águas subterrâneas, superficiais, sedimentos, assim como os ensaios de bombeamento e monitoramento do nível freático. A localização dos mesmos (PM-01 à PM-07) foi baseada em áreas com intensa influência

antropogênica e nos estudos geofísicos desenvolvidos (Figura 1.7), que indicaram zonas com características elétricas diferentes (condutividade). Os demais piezômetros (PM-08 e 09) foram instalados mais à leste da área de estudo, devido a maior proximidade com o Aterro Sanitário do Aurá e conjuntos habitacionais.

Na construção dos piezômetros, foram seguidas as normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT (1997). Para perfuração utilizou-se um trado mecânico com 100 mm de diâmetro acoplado a um sistema de hastes com até 14 metros de comprimento. Os furos foram revestidos com tubos de PVC rígido de 50 mm, cujas bocas ficaram a 70 cm acima da superfície do terreno. A profundidade de cada piezômetro foi determinada pela profundidade do nível freático e os filtros foram instalados na espessura total do aquífero.

Durante a perfuração, foram coletadas amostras de sedimentos a cada metro, objetivando a construção dos perfis litológicos e análises hidrogeológicas. Na seção basal da tubulação foi instalada uma seção filtrante utilizando-se tela de nylon de 1 mm, enquanto o espaço anular entre o tubo de 50 mm e o furo de 100 mm foi preenchido com areia de granulometria selecionada na faixa saturada constituindo o pré-filtro; acima do mesmo foi colocado um selo de bentonita para impedir a infiltração vertical da água. A parte superior do espaço anular entre o tubo e a perfuração foi preenchida com material de escavação com 30% de bentonita até a profundidade de 50 cm. Acima da superfície do terreno foi construída uma base de cimento de cerca de 30 cm de espessura.

Foram executados ensaios de bombeamento em todos os piezômetros instalados na área de estudo visando a determinação da condutividade hidráulica (K).

No decorrer dos ensaios, o rebaixamento dos piezômetros foi monitorado e medido periodicamente através de medidor eletrossonoro, mediante uma vazão constante controlada por períodos de tempo iguais.

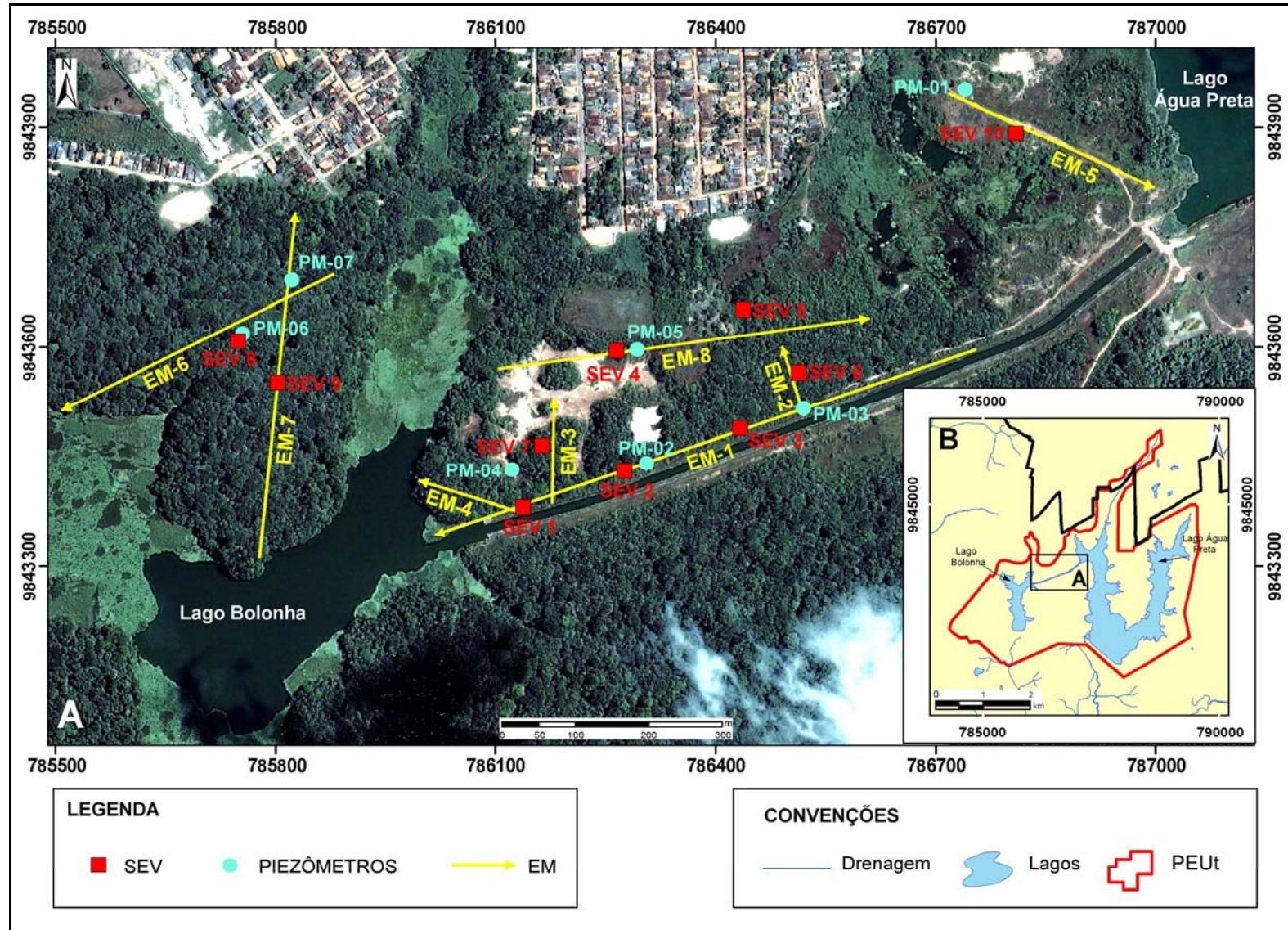


Figura 1.7 – Figura A: Posicionamento dos perfis Eletromagnéticos (EM), Sondagens Elétricas Verticais (SEV) e piezômetros de monitoramento (PM). Figura B: Visão geral da área de estudo.

1.3.3.1.6 – Coleta e análises de amostras de águas subterrâneas e superficiais

As amostras para análises hidroquímicas foram coletadas em 7 piezômetros, 13 pontos de amostragem nos lagos Bolonha e Água Preta e adicionalmente foram coletadas amostras de água em uma nascente, utilizada como *background* para a área de estudo.

Foram realizadas quatro campanhas de amostragem: duas no período de estiagem (outubro de 2006 e outubro de 2007) e duas no período chuvoso (março de 2006 e março de 2007).

A coleta de água subterrânea ocorreu após os piezômetros sofrerem um bombeamento prévio, a fim de se garantir a retirada de no mínimo 3 a 4 vezes o volume da coluna de água. Para a coleta utilizou-se um amostrador em aço inox previamente lavado com água destilada e frascos de armazenamento com volumes apropriados.

No caso das águas superficiais, as amostras foram coletadas a 20 cm da superfície com amostrador tipo "Van Dor" ou diretamente com o frasco de armazenamento num volume apropriado e de acordo aos parâmetros analisados nos pontos de controle dos lagos Água Preta, Bolonha e nascente.

A coleta e preservação das amostras foram realizadas de acordo com as orientações do Guia de Coleta e Preservação de Amostras d'água da Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental - CETESB (1987). Em cada ponto de amostragem coletaram-se 2 litros de água para a realização da maioria das análises.

1.3.3.1.7 – Coleta de amostras de sedimentos

As amostras de sedimentos foram retiradas a cada metro durante a perfuração dos piezômetros na área de estudo, devidamente armazenadas em sacos plásticos, identificadas quanto à sua profundidade e transportadas ao laboratório.

1.3.3.2 – Trabalhos de laboratório

Em laboratório foi realizada a caracterização granulométrica, tratamento dos dados hidrológicos obtidos em campo, assim como as análises físico-químicas relacionadas às águas subterrâneas e superficiais. A seguir são descritos os procedimentos realizados.

1.3.3.2.1 – Caracterização granulométrica

Através da metodologia do Laboratório de Sedimentologia do CPGG/UFPA (Figura 1.8) foi possível determinar o conteúdo de argila, silte e areia presente nas amostras retiradas dos piezômetros. A classificação granulométrica dos sedimentos e o tamanho das peneiras utilizadas são verificadas na Tabela 1.2.

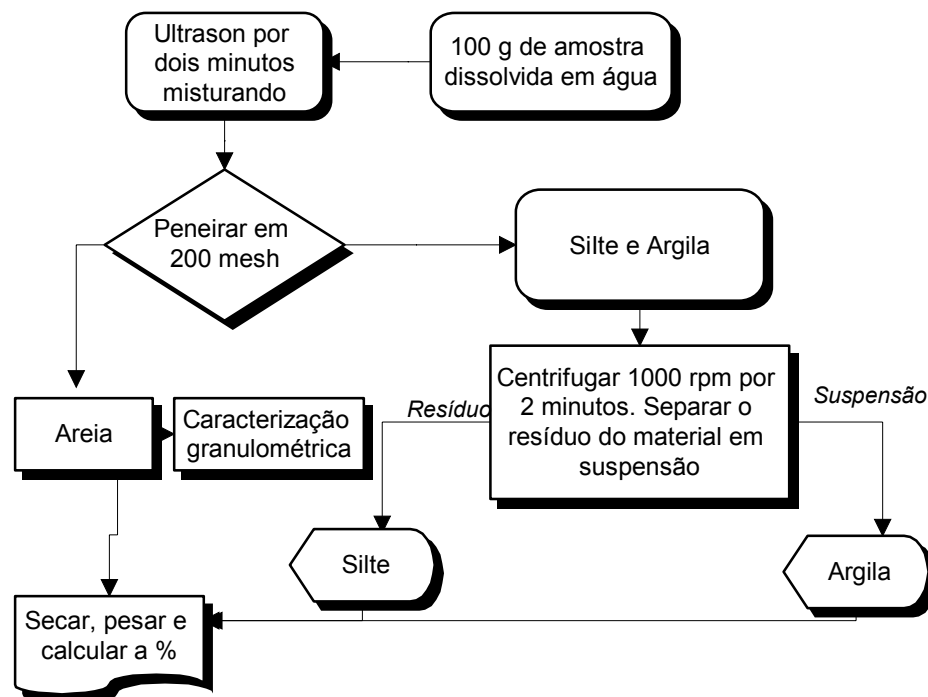


Figura 1.8 – Diagrama de fluxo para a determinação de silte, areia e argila em sedimentos e amostras de solo, conforme procedimentos seguidos no Laboratório de Sedimentologia da Universidade Federal do Pará.

Tabela 1.2 – Classificação granulométrica dos sedimentos e tamanho das peneiras.

Intervalo (mm)	Descrição	Peneiras usadas (mm)
<0,063	Fração argila	>2,000
0,063-0,125	Areia muito fina	0,500 – 0,350
0,125-0,250	Areia fina	2,00 -1,410
0,250-0,500	Areia média	0,350 – 0,250
0,500-1,00	Areia grossa	1,410 – 1,000
		0,250 – 0,177
		0,177 -0,082
		0,082 – 0,062
		< 0,062

Fonte: Krumbein e Pettijohn (1938).

De posse dos dados obtidos com a referida metodologia, foram construídas em meio digital curvas de caracterização granulométrica com a utilização do software de análise sedimentológica Anased (2006), através da plotagem dos tamanhos dos grãos com uma frequência acumulada, o que permitiu posteriormente estimar o valor da condutividade hidráulica pelo método de Hazen.

1.3.3.2.2 – Determinação da condutividade hidráulica (K) por ensaio de bombeamento

Os dados coletados em campo com os ensaios de bombeamento foram tratados no programa computacional Aquifer Test da Waterloo Hydrogeologic Versão 4.0, utilizando o Método de Cooper e Jacob (1946) para estimar os valores referentes à condutividade hidráulica.

1.3.3.2.3 – Determinação da porosidade (η)

A taxa de acúmulo da água subterrânea depende da natureza e extensão da porosidade primária e secundária nos solos ou rochas. A porosidade é justamente a quantidade em volume de poros vazios ou cheios (líquidos) nos solos e nas rochas. A porosidade de uma rocha se define como a relação existente entre o volume dos poros e o volume total, relação esta expressa em percentagem ou fração decimal.

$$\eta = \frac{V_v}{V_t} * 100 \quad (1.10)$$

Sendo:

V_v = volume de vazios,

V_t = volume total.

Podemos apresentar outras definições relativas a esta propriedade do solo e rocha, que têm um significado prático no caso de recarga e bombeamento de aquíferos. A porosidade útil ou efetiva é uma destas definições, ela diz respeito à quantidade de poros que contribuem realmente para o escoamento subterrâneo, uma vez que por meio de forças de coesão e adesão uma quantidade da água contida nos poros não se movimenta. Assim, a porosidade útil é a relação entre o volume de vazios drenáveis por gravidade e o volume total.

Para este estudo o valor da porosidade (η) foi considerado como sendo similar ao da porosidade efetiva (η_e). Por sua vez, o valor de η_e foi estimado a partir de valores disponíveis na literatura, para diferentes materiais geológicos (BARCELONA, 1985). A determinação da porosidade na zona saturada tem por objetivo a utilização desses valores na estimativa da velocidade de fluxo da água nesse meio.

1.3.3.2.4 – Análises de amostras de águas subterrâneas e superficiais

Alguns dos procedimentos relacionados aos parâmetros físico-químicos nas amostras de águas foram realizados em campo (Temperatura, pH, Condutividade Elétrica), as demais foram realizadas no laboratório de Hidrocarbonetos do Centro de Ciências Naturais e Tecnologia (CCNT) da Universidade do Estado do Pará (UEPA), seguindo as metodologias convencionalmente reconhecidas (AMINOT; CHAUSSEPIED, 1983; BAUMGARTEN et al., 1996; APHA-AWWA-WPCF, 1995).

Para efeitos da avaliação da qualidade ambiental dos recursos hídricos superficiais em estudo, foram considerados os critérios definidos na Resolução CONAMA N^o 357/2005, Artigo 15 (para águas Classe II). Já os recursos hídricos subterrâneos foram comparados aos padrões de qualidade legislados no Anexo I da Resolução CONAMA N^o 396/2008. Os resultados de ambas categorias, foram comparados ainda, aos da Portaria N^o 518/2004 do Ministério da Saúde.

Os dados foram interpretados através do programa Qualigraf (FUNDAÇÃO CEARENSE DE METEOROLOGIA E RECURSOS HÍDRICOS-FUNCEME, 2008), voltado a caracterização hidroquímica das águas, que permitiu a construção do diagrama triangular de Piper para os meses representativos das estações de chuva e seca, com o intuito de se classificar as águas da área de estudo e identificar a variação sazonal de concentração dos íons. A análise da água poderá, portanto, ser comparada e interpretada usando-se técnicas gráficas para descrever a concentração ou abundância relativa dos constituintes maiores e menores.

1.4 – CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DA ÁREA DE ESTUDO

As características físicas da área de estudo se constituem em condicionantes geoambientais de relevância para o embasamento de todo o estudo que se realizou. São apresentados nesse item a localização, dimensões e acesso à área de estudo, assim como os principais elementos do meio físico natural da região.

1.4.1 – Localização, dimensões e acesso à área de estudo

A RMB abrange os municípios de Belém, Ananindeua, Marituba, Benevides e Santa Bárbara, além dos distritos de Icoaraci e Mosqueiro (Figura 1.9).

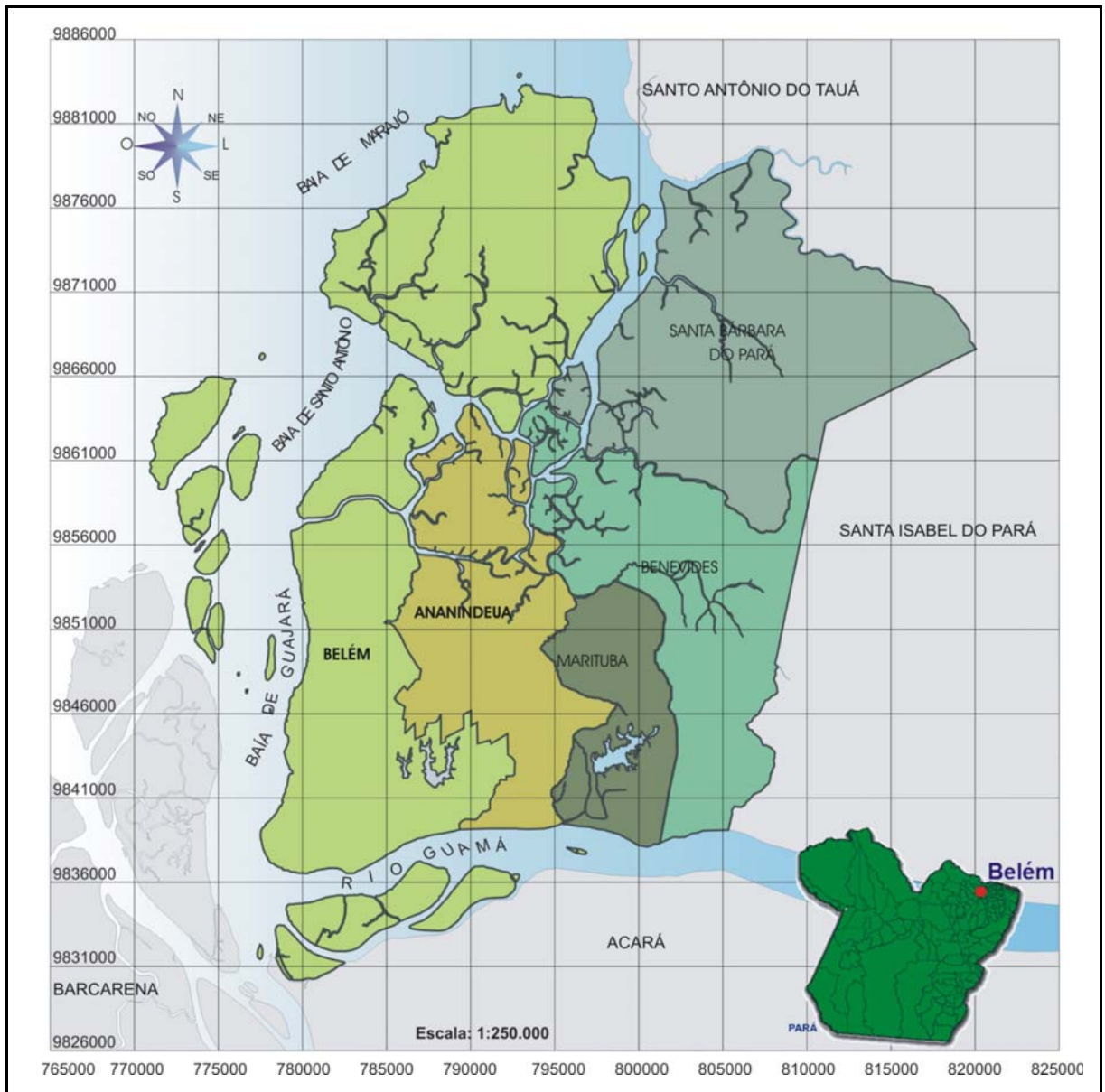


Figura 1.9 – Região Metropolitana de Belém (RMB).

A cidade de Belém está inserida na microrregião Guajarina no Estado do Pará, com uma área territorial de 1.059 km². Limita-se ao norte com o rio Pará; ao sul com o rio Guamá; a oeste com as baías do Guajará, Santo Antônio e Marajó e a leste com o município de Ananindeua. O município de Ananindeua é contíguo ao de Belém e possui uma área aproximada de 191 km², com uma população em torno de 471.744 habitantes (IBGE, 2010).

Criado em outubro de 1993, o PEUt é um dos maiores parques em regiões metropolitanas do Brasil, com 1.340 hectares. Lugar de grande beleza natural, o PEUt está ligado diretamente à preservação dos lagos Bolonha e Água Preta, responsáveis pelo abastecimento de água potável à população.

De acordo com o Instituto de Desenvolvimento Econômico Social do Pará – IDESP (1991), o espaço é voltado ainda, à proteção de ecossistemas vegetais - espécies de terra firme e várzea - e da fauna da região. Apresenta um reservatório com 62 espécies de mamíferos, 26 famílias com 112 espécies de aves, 65 espécies de répteis e aproximadamente 49 espécies de anfíbios.

Conforme a Lei de Desenvolvimento Urbano de Belém, o parque situa-se na Zona de Proteção de Recursos Naturais (ZPRN), ratificada como área pertencente ao município de Belém pelo protocolo celebrado entre a Prefeitura Municipal de Belém e a Prefeitura Municipal de Ananindeua, em outubro de 1991 (IDESP, 1991).

O parque está localizado na área conhecida como Utinga (termo indígena que significa “quantidade de água, nascentes e rios”) delimitado por um polígono identificado através do sistema de projeção UTM, sistema WGS-84, 9844000N, 788000E, Zona 22, meridiano central 51⁰ W. Limita-se ao norte e a leste com o município de Ananindeua, a oeste com a baía de Guajará e ao sul com o rio Guamá. O principal acesso ao parque pode ser realizado pela Avenida João Paulo II, através de seu portão principal. Outros acessos podem ser realizados através da Rua Utinga e seus prolongamentos, através das estradas Moça Bonita e Águas Lindas (Figura 1.10).

Os “açudes” representados pelos lagos Água Preta e Bolonha, situados a NE de Belém são os dois grandes reservatórios de água superficial que a cidade de Belém utiliza; são eles formados pela barragem de algumas nascentes e “igarapés” dessa região, reforçados por uma adutora que lhes fornece água do rio Guamá, captada à montante da aglomeração belenense.

O lago Bolonha com uma área total de 1.790.000 m², encontra-se em grande parte (1.664.130 m²) nas terras do Utinga, as quais pertencem à Companhia de Saneamento do Pará (COSANPA) e o restante (133.870 m²) pertencem a terceiros. Apresentando uma forma alongada, o lago Bolonha possui 2.100.000 m³ de água acumulada, 512.540 m² de lâmina d’água e profundidade máxima em torno de 7,64 metros (CONSULTORA DE ENGENHARIA S.A-CENSA, 1983).

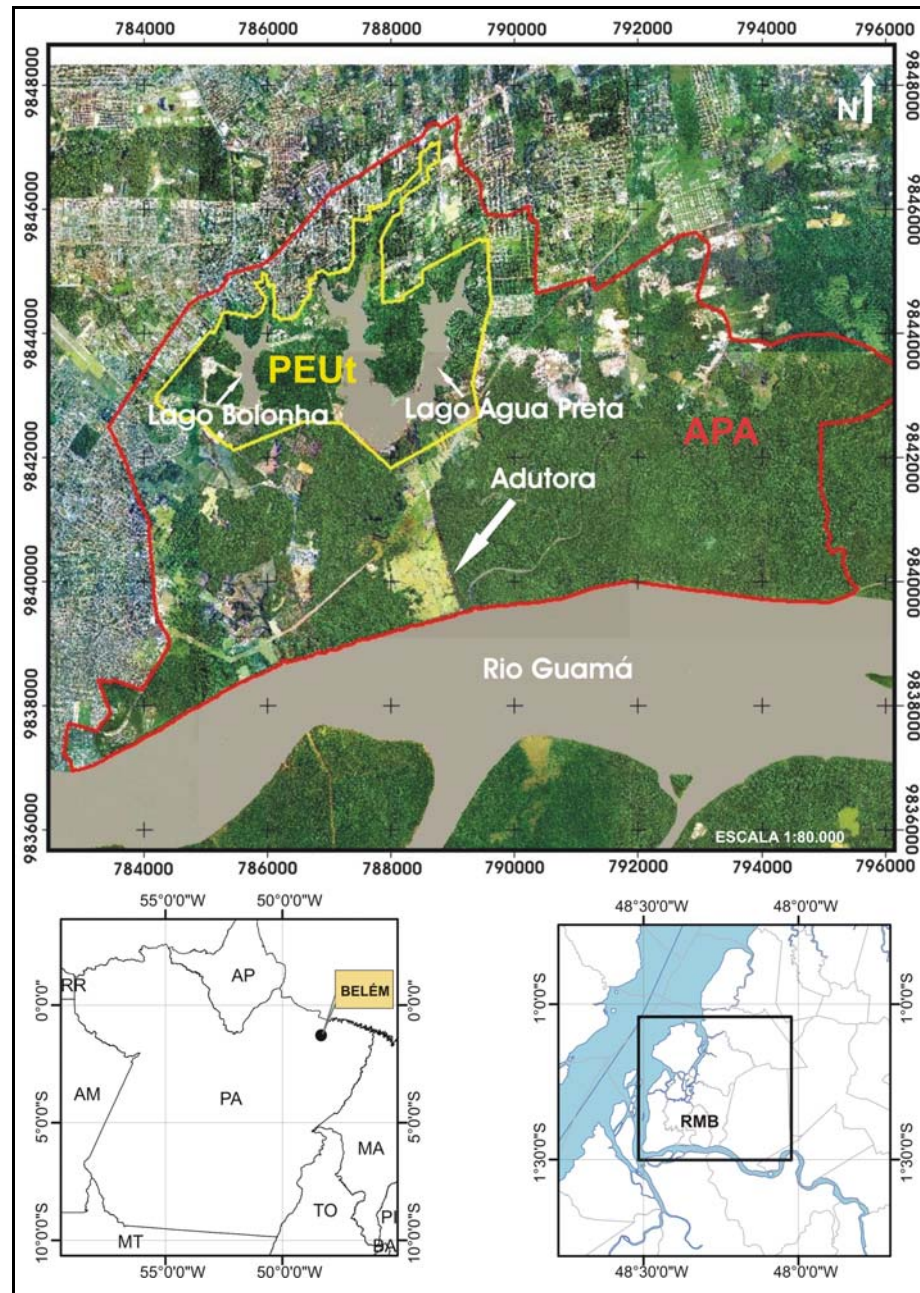


Figura 1.10 – Localização da área do Parque Estadual do Utinga (PEUt).

O lago Água Preta é formado pelas bacias hidrográficas dos igarapés Catu e Água Preta, do qual recebe o nome. Possui uma área total de $7.199.500 \text{ m}^2$, encontrando-se grande parte ($6.331.850 \text{ m}^2$) nas terras do Utinga, as quais pertencem a COSANPA e em terras da EMBRAPA, o restante (867.650 m^2) em áreas pertencentes a terceiros. Considerado como principal lago que serve como fonte de abastecimento da cidade de Belém, teve sua ampliação em 1973 para reservar uma quantidade de $10.550.000 \text{ m}^3$, apresentando uma lâmina de água de $3.116.868 \text{ m}^2$ e 8,5 metros aproximadamente de profundidade máxima. Existe no lago um sistema de comportas com função de controlar a saída de suas águas por gravidade até o lago Bolonha (CENSA, 1983).

Os lagos mantêm seus níveis de água devido a adução por meio de 04 bombas instaladas às margens do rio Guamá. O sistema de abastecimento tem início com captação de água desse rio, onde existe uma estação elevatória de eixo vertical, cuja finalidade é captar água por meio de três adutoras. Essa água é transportada ao lago Água Preta e este por sua vez é ligado com o lago Bolonha por meio de um canal de 1 km de comprimento.

1.4.2 – Clima e Balanço hídrico

A RMB possui um clima quente e úmido, apresentando uma pluviosidade elevada, com frequentes chuvas no período tarde/noite. A umidade relativa do ar, com média anual de 85%, favorece a formação de chuvas de convecção, cuja precipitação se evidencia após a insolação máxima diurna, ou seja, durante a tarde ou princípio da noite (Figura 1.11).

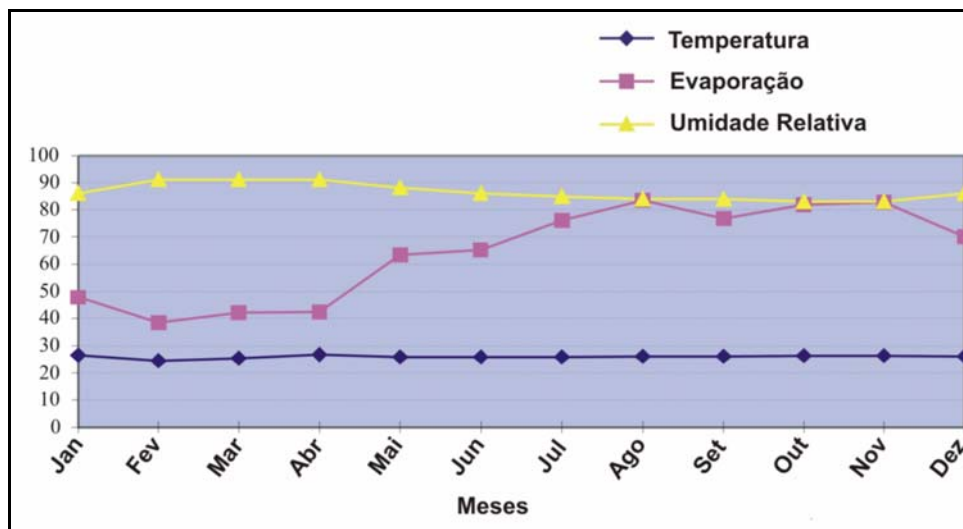


Figura 1.11 – Médias mensais da temperatura do ar, evaporação, umidade relativa do ar na RMB no período de 1961 à 1990 (modificado de PIRATOBA MORALES, 2002).

Segundo Penteadó (1967), as amplitudes térmicas são inferiores a 2° C (variação entre os períodos mais quentes e os mais frios), observando-se que os valores são calculados pelas médias dos meses mais quentes e mais frios. Portanto, 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.

Por sua posição geográfica, a RMB, pela classificação de Koppen, pertence a categoria climática “equatorial úmido” do tipo Af (DINIZ, 1986; OLIVEIRA e SOUZA, 1997; SANTOS, 1991; VIEIRA e SANTOS, 1987), sendo:

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

f = chuvas abundantes durante todo o ano, com totais pluviométricos mensais iguais ou superiores a 60 mm, condicionado ao tipo de vegetação conhecida como Floresta Tropical. O clima não conhece variação estacional sensível, dada a baixa oscilação anual de temperatura, inferior a 5° C.

Devido ao alto índice pluviométrico, com uma média anual entre 2500 e 3000 mm, com cerca de 180 dias de chuva, a região possui estações reguladas pela pluviosidade e não pela temperatura; apresentando, neste sentido, duas estações definidas – estação chuvosa e seca – segundo a maior ou menor frequência de chuvas (DINIZ, 1986).

De maneira geral, a época mais chuvosa (localmente denominada inverno) ocorre normalmente a partir de dezembro e tem duração de cinco ou seis meses, sendo março, o mês mais chuvoso. Na época menos chuvosa (localmente denominada verão), de julho a novembro é a época em que predominam as chuvas de caráter convectivo, geralmente de grande intensidade e curta duração (Figura 1.12).

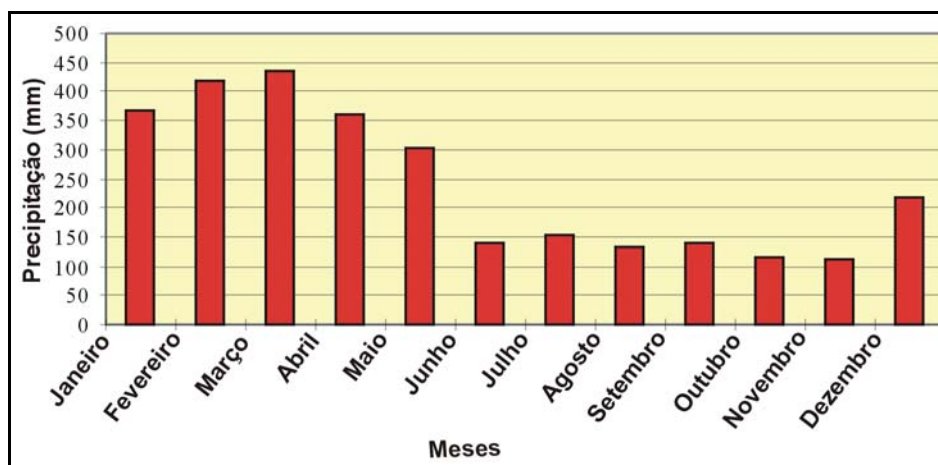


Figura 1.12 – Distribuição média mensal da precipitação pluviométrica anual na RMB entre 1961 e 1990 (PARÁ, 1995).

A umidade relativa da RMB apresenta uma variação média interanual oscilando entre 81,8% a 91%, com uma média anual de 86%. Por essa razão a região se apresenta bastante úmida, o que causa grande desconforto ambiental (OLIVEIRA et al., 1995).

Estudos realizados sobre o clima da RMB e seus arredores demonstram que os elementos do clima urbano (temperatura do ar, umidade relativa do ar, vento, precipitação pluviométrica e brilho solar) sofrem modificações que estão relacionadas com o crescimento

desordenado da cidade e a própria influência da forma urbana sobre eles (MORAES, 1999; NASCIMENTO, 1995; OLIVEIRA et al., 1995).

O cálculo do balanço hídrico para a região foi realizado, fundamentado na aplicação do princípio de conservação da massa de água, para um dado local ou área. Utilizou-se o balanço hídrico proposto por Thornthwaite e Mather (1955) onde, além da obtenção da classificação climática, pode-se ter o comportamento da entrada e saída da água no solo.

Thornthwaite e Mather (1955) utilizaram a precipitação, a temperatura e a evaporação potencial como elementos básicos da classificação do clima e também a capacidade de campo (capacidade máxima de armazenamento de água no solo) para o cálculo do balanço (Tabelas 1.3 e 1.4).

Tabela 1.3 - Parâmetros climáticos médios mensais e anual da estação meteorológica de Belém, no período de 1961 a 1990.

Período (meses)	Temperatura média (C°)	Precipitação pluviométrica total (mm)	Evaporação total (mm)	Umidade Relativa (%)	Insolação Total (H)
Janeiro	26,6	366,5	47,8	86,0	135,5
Fevereiro	24,5	417,5	38,5	91,0	99,0
Março	25,5	436,2	42,0	91,0	103,7
Abril	26,7	360,0	42,4	91,0	121,8
Mai	25,9	304,4	63,5	88,0	186,9
Junho	25,9	140,2	65,2	86,0	225,4
Julho	25,8	152,1	76,1	85,0	252,8
Agosto	26,0	131,1	83,6	84,0	255,8
Setembro	26,1	140,8	77,0	84,0	218,3
Outubro	26,4	116,1	82,0	83,0	228,3
Novembro	26,4	111,8	82,9	83,0	203,3
Dezembro	26,1	216,4	70,1	86,0	179,0
Média Anual	25,9			84,0	
Total Anual		2.893,1	771,6		2.219,8

Fonte: INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA-INMET, 1998.

Tabela 1.4 - Balanço hídrico segundo Thornthwaite (reserva hídrica de 150 mm).

Mês	Temp. (°C)	Tab.	Corr.	EP (mm)	P (mm)	P – EP (mm)	Neg.	Arm. (mm)	Alt	ER (mm)	Def. (mm)	Exc. (mm)
Janeiro	26,6	0,3	31,3	10	366	356	0	150	0	10	0	356
Fevereiro	24,5	0,4	28,3	11	418	407	0	150	0	11	0	407
Março	25,5	0,4	31,2	11	436	425	0	150	0	11	0	425
Abril	26,7	0,3	30,3	10	360	350	0	150	0	10	0	350
Mai	25,9	0,3	31,1	11	304	293	0	150	0	11	0	293
Junho	25,9	0,3	30,2	10	140	130	0	150	0	10	0	130
Julho	25,8	0,4	31,2	11	152	141	0	150	0	11	0	141
Agosto	26,0	0,3	31,2	11	131	120	0	150	0	11	0	120
Setembro	26,1	0,3	30,3	10	141	131	0	150	0	10	0	131
Outubro	26,4	0,3	31,2	10	116	106	0	150	0	10	0	106
Novembro	26,4	0,3	30,4	10	112	102	0	150	0	10	0	102
Dezembro	26,1	0,3	31,3	11	216	205	0	150	0	11	0	205
Ano	26,0	-	-	126	2892	2766	-	-	0	126	0	2766

Aferição: $ALT = 0$

$EP = ER + DEF = 126 + 0 = 126$

$P = ER + EXC = 126 \text{ mm} + 2766 \text{ mm} = 2892 \text{ mm}$

$P = EP + (P - EP) = 126 \text{ mm} + (2892 - 126) \text{ mm} = 2892 \text{ mm}$

$(P - EP) = EXC - DEF = 2766 \text{ mm} - 0 = 2766 \text{ mm}$

Esse balanço indica que não há déficit de água e o maior excesso de água verifica-se no período de janeiro a maio (Figura 1.13).

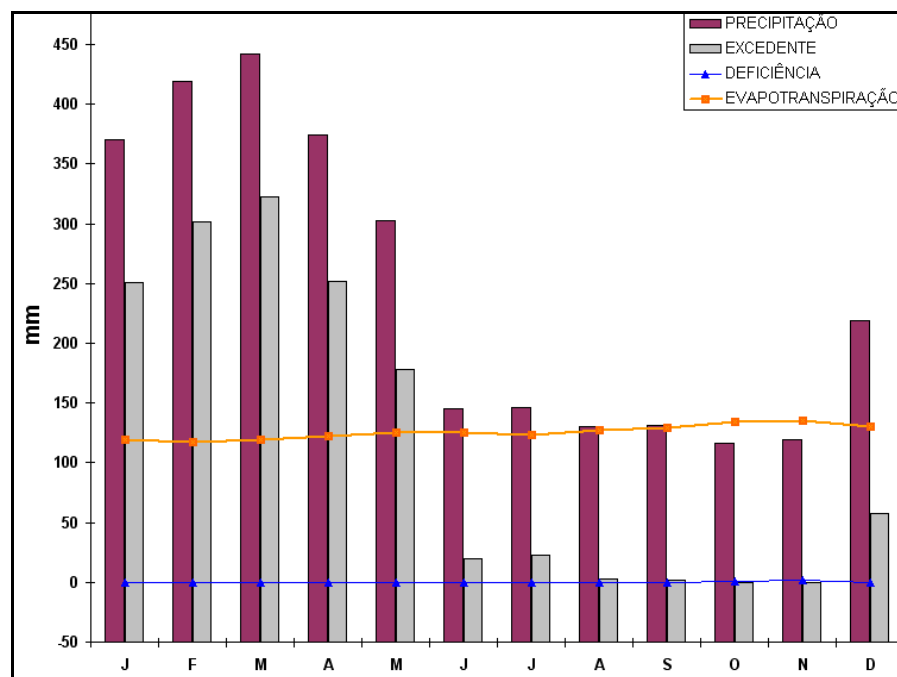


Figura 1.13 – Representação gráfica do balanço hídrico anual na RMB entre 1961 e 1990.

1.4.3 – Vegetação

A cobertura vegetal predominante na Região Amazônica é do tipo floresta densa, ocorrendo manchas de cerrado na faixa sedimentar de idade paleozóica no norte e na porção oriental da ilha de Marajó.

O mapeamento da vegetação da área metropolitana de Belém e Ananindeua revela áreas ainda cobertas por vegetação primitiva e que sofreram influência antrópica (Figura 1.14). Esta cobertura vegetal pode ser representada por dois tipos bem diferenciados de florestas: as de Terra Firme, subdivididas em Floresta Densa de Terra Firme, Floresta Aberta de Terra Firme e Capoeira de Terra Firme e as de Várzea classificadas como Florestas de Várzea, Floresta de Igapó Original e Capoeira de Várzea (DIAS, 1991).

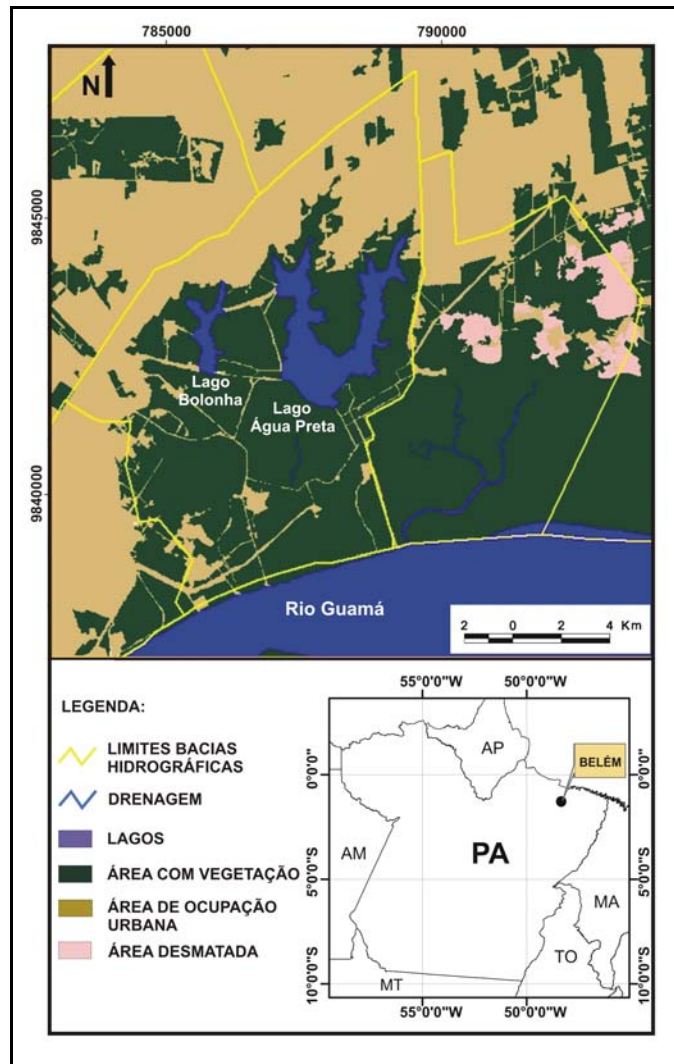


Figura 1.14 – Estado da cobertura vegetal na área de estudo (modificado de IMBIRIBA JÚNIOR; COSTA, 2003).

A diferenciação fitofisionômica está em função do solo, da topografia e das águas (MOREIRA, 1966). Atualmente, em virtude da influência antrópica, a sua fitofisionomia natural encontra-se bastante alterada, com áreas de florestas remanescentes, intercaladas com capoeira e áreas de pequeno cultivo ao longo das rodovias e hidrovias e próximas a povoados. Ocorrem ainda, Florestas Secundárias, áreas de Campos e de Capoeiras.

A tipologia dominante na área de estudo é a floresta tropical úmida perenifólia. Apresenta-se com boa heterogeneidade, composta de espécies cotiledôneas, de porte médio a alto e grandes variações em sua densidade. A variação, no que se refere ao tamanho e a frequência de determinadas espécies em ocorrências localizadas, surge em função da inundação de áreas florestais, provocadas pela construção da barragem no curso das águas dos lagos Bolonha e Água Preta e pelo desmatamento para ocupação de diversas origens: agrícolas, habitacionais, empreiteiras, além de outras (IMBIRIBA JÚNIOR; COSTA, 2003).

1.4.4 – Solo

De acordo com Vieira e Santos (1987), predominam na área de estudo solos do tipo Latossolo Amarelo Álico, seguido do Podzólico Hidromórficos Álico (Figura 1.15).

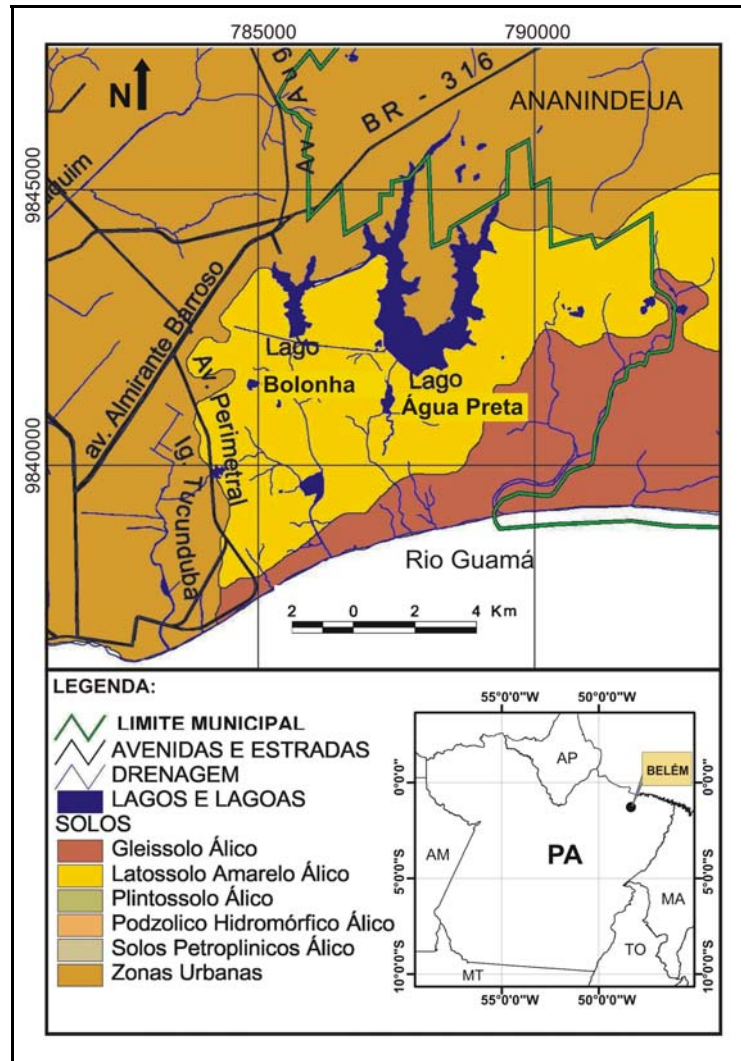


Figura 1.15 – Tipos de solo na área de estudo (modificado de MATTA, 2002).

O latossolo amarelo é um solo profundo e envelhecido, ácido a fortemente ácido ($\text{pH} \cong 4,1-5,3$) e de boa drenagem, originado dos sedimentos argilo-arenosos do Grupo Barreiras. Os solos podzólicos hidromórficos se caracterizam por possuir uma textura arenosa, geralmente profundos, acidez elevada ($\text{pH} 4,1-5,0$), horizontes bem diferenciados e baixa fertilidade natural e desenvolvem-se sobre sedimentos fluviais e marinhos do Quaternário (FARIAS; NASCIMENTO; FERREIRA, 1992).

1.4.5 – Geologia e Hidrogeologia

Segundo Sauma Filho (1996), as unidades litoestratigráficas da RMB têm sua geologia representada por rochas formadas no Pré-Cambriano, Paleozóico e Cenozóico (Tabela 1.5).

Tabela 1.5 – Coluna estratigráfica regional do nordeste do Pará (SAUMA FILHO, 1996).

ERA	PERÍODO	ÉPOCA	UNIDADE	DESCRIÇÃO SUMÁRIA
Cenozóico	Quaternário	Holoceno	Sedimentos Recentes	Areias de granulometria fina a média, creme, intercaladas a argilas escuras, com restos vegetais, distribuídas nas orlas dos rios e igarapés.
		Pleistoceno	Pós-Barreiras	Sedimentos inconsolidados, areno-argilosos, finos a médios, com concreções ferruginosas.
	Terciário	Mioceno-Plioceno	Grupo Barreiras	Arenitos ferruginosos, areias finas a médias, siltosas e argilas.
		Oligo-Mioceno	Formação Pirabas	Calcáreos fossilíferos e margas, intercalados com folhelhos rítmicos e arenitos calcíferos.
Paleozóico			Formação Piriá	Arcóseos a sub-arcóseos, finos a grossos, de cor cinza.
	Pré-Cambriano			Granitos, gnaisses, quartzitos, xistos e filitos.

O Pré-Cambriano se caracteriza por um conjunto de rochas agrupadas no Complexo Maracaçumé, Formação Santa Luzia, Formação Tromai, Formação Gurupi, Formação Igarapé de Areia, Formação Vizeu e Granito Cantão. Enquanto o Paleozóico é representado pelos sedimentos da Formação Piriá. Já no Cenozóico encontramos a Formação Pirabas, a partir de 80 m de profundidade, mas que ao considerarmos sua continuidade vertical esta espessura pode atingir 400 m ou mais, não aflorando na área da pesquisa. As unidades litológicas do Grupo Barreiras atingem até 100 m de espessura e cobre cerca de 65% da área total da RMB e são recobertas pelos sedimentos do Pós-Barreiras (Pleistoceno) e sedimentos recentes (Holoceno), ambos com uma espessura máxima em torno de 30 m (SAUMA FILHO, 1996; TATUMI et al., 2008).

Segundo Farias, Nascimento e Ferreira (1992), as observações geológicas de superfície identificaram que os terrenos de Belém e seus arredores são formados em quase sua totalidade por sedimentos arenosos da unidade Pós-Barreiras. Na área de estudo, são

reconhecidas unidades litológicas da cobertura sedimentar Cenozóica, representado pela unidade do Pós-Barreiras a partir de observações da superfície do terreno e com base nos perfis litoestratigráficos de piezômetros perfurados na área (Figura 1.16).

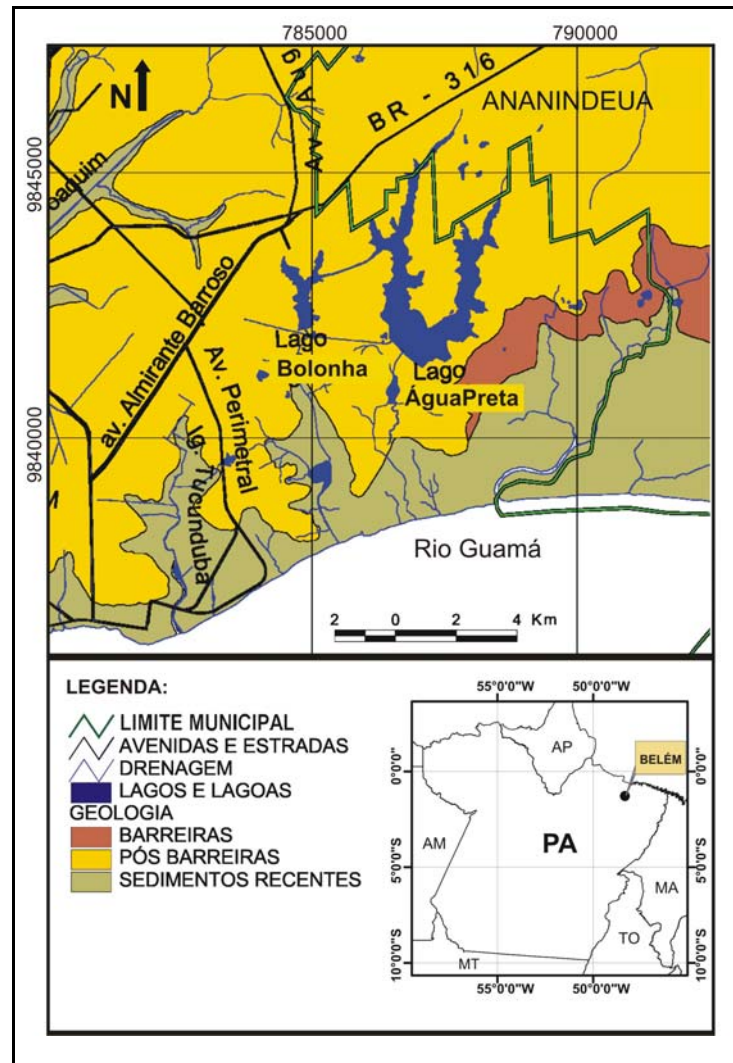


Figura 1.16 – Unidades litológicas da área de estudo (modificado de MATTA, 2002).

Os pacotes sedimentares que acumulam água subterrânea na região de Belém e Ananindeua são formadores de cinco conjuntos aquíferos principais, denominados de Aluviões, Pós-Barreiras (ambos do Quaternário), Barreiras, Pirabas Superior e Pirabas Inferior do Terciário (MATTA, 2002).

No que se refere à vulnerabilidade, de acordo com Almeida (2003), as unidades aquíferas do sistema aquífero Pós-Barreiras e Aluviões são caracterizadas como muito alta a extrema, devido esse sistema se constituir em grande parte por aquíferos com níveis freáticos próximos à superfície ou aflorantes.

1.4.6 – Geomorfologia e Topografia

A Amazônia com sua extensa área, unidades cronoestratigráficas, episódios tectônicos e orogenéticos e intensa ação climática apresenta muitas unidades geomorfológicas.

Na RMB, as principais unidades morfo-estruturais encontradas, resultantes dos processos geomorfológicos das paisagens, são constituídas pelo Planalto Rebaixado da Amazônia e pela Planície Amazônica e os relevos são marcadamente adaptados às estruturas geológicas (SANTOS et al., 2002).

De acordo com a Figura 1.17, na área de estudo encontramos os terrenos da Superfície Pediplana 1, que cobre quase toda a área do PEUt; Superfície Pediplanada 2, à leste do parque, que fazem parte do Planalto Rebaixado da Amazônia; a faixa leste-oeste ao sul, sobre a planície aluvial do rio Guamá destacada como Área de Acumulação; e as áreas denominadas de Áreas Urbana P.A (Planície Amazônica) e Áreas Urbanas P.R.A (Planalto Rebaixado da Amazônia), que ocupam o setor norte e parte oeste da área de estudo (MATTA, 2002; PARÁ, 1995).

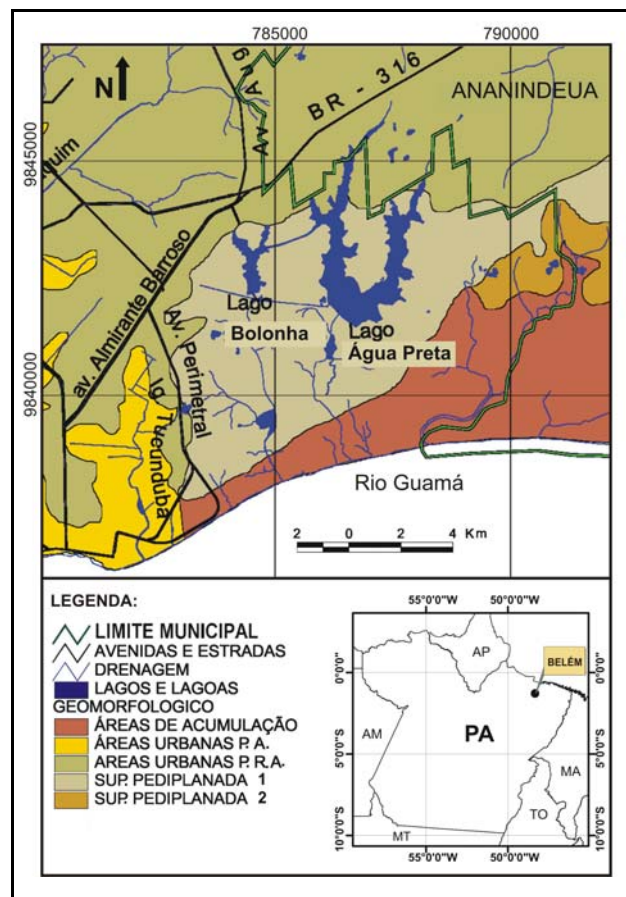


Figura 1.17 – Geomorfologia da área de estudo (modificado de MATTA, 2002).

O Planalto Rebaixado da Amazônia apresenta um relevo com uma extensa superfície plana, suavemente ondulada e dissecada, tendo-se desenvolvido em rochas do Grupo Barreiras e do Pós-Barreiras. A Planície Amazônica situa-se acompanhando as margens do rio Guamá, do furo das Marinhas e do baixo curso de seus afluentes, é caracterizada por uma área plana com leve declividade, formada por depósitos aluviais quaternários, além de apresentar áreas alagadas ou inundáveis periodicamente pelas chuvas ou pela cheia dos rios. (PIRATOBA MORALES, 2002).

Em relação a topografia, as cotas mais altas foram identificadas na porção centro-norte e leste da área, na ordem de 14-18 m, enquanto na porção oeste e centro-sul se encontram as cotas mais baixas, na ordem de 5-9 m (Figura 1.18).

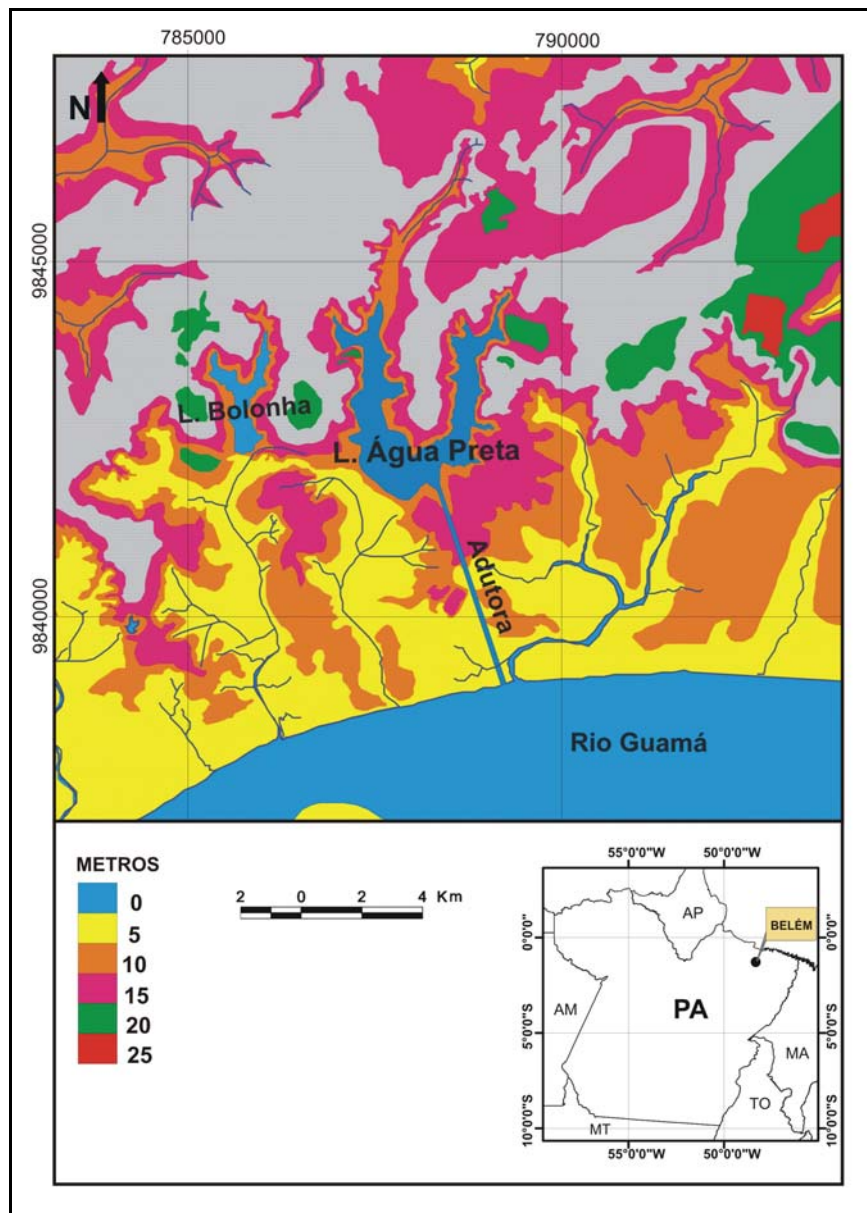


Figura 1.18 – Topografia da área de estudo.

No lado centro-norte, adjacente aos lagos, há uma grande área devastada pela extração de material de construção, de pouca declividade, que apresenta confinamentos de águas superficiais pontuais em toda sua extensão.

A declividade natural do terreno indica um caimento no sentido norte-sul e leste-sul, o que proporciona o escoamento das águas superficiais em direção aos lagos Bolonha e Água Preta, Igarapés Murucutu, Água Preta, Santo Antônio, Santana do Aurá e ao rio Guamá, o que está de acordo com Imbiriba Júnior e Costa (2002) que em seus estudos esclarecem que as características topográficas da área fisiográfica do Utinga, evidenciadas pela existência de baixas cotas altimétricas, com terrenos facilmente alagáveis, torna os dois mananciais (lagos Água Preta e Bolonha) ainda mais vulneráveis à ação poluidora oriunda da lixiviação de terrenos mais altos, devido o fácil transporte dos efluentes industriais e domésticos e da forte contribuição poluidora provinda do lixão do Aurá.

1.5 – CARACTERÍSTICAS HIDROGEOLÓGICAS DA ÁREA

1.5.1 – Perfis litológicos

Aqui são apresentados os perfis litológicos relacionados aos piezômetros instalados na área de estudo.

O piezômetro PM-1 (Figura 1.19), possui uma profundidade de 18 m, com uma profundidade do nível freático em torno de 2,7 m. Seu perfil litológico apresenta em sua parte superior uma camada de 5 m de argila siltosa branco avermelhada. Em seguida há uma camada de 4 m de argila variegada, uma camada de 1 m de argila siltosa variegada e de areia argilosa avermelhada. Devido estas camadas se encontrarem acima de uma camada de 7 m de areia fina a média avermelhada, essas passam a atuar como uma camada selante e protetora do aquífero local, pertencente ao Pós-Barreiras.

O perfil litológico do piezômetro PM-2 (Figura 1.19) possui uma profundidade de 18 m e a profundidade do nível freático em torno de 8,4 m. Este perfil se inicia com uma camada aproximada de 2 m de argila arenosa avermelhada, seguida de uma camada de mesmo tamanho de argila variegada. Logo depois, tem-se um pacote de 4 m de areia média avermelhada com concreções ferruginosas e abaixo desse pacote, uma camada de 4 m de argila cinza e 3 m de argila variegada. Em seguida há uma camada de 1 m de areia fina avermelhada, variando de fina à média e uma outra camada de areia fina, creme, bem selecionada. Em semelhança ao PM-1, a existência dos pacotes de argila, atuam como uma

camada selante para as camadas de areia associadas a zona de influência do aquífero.

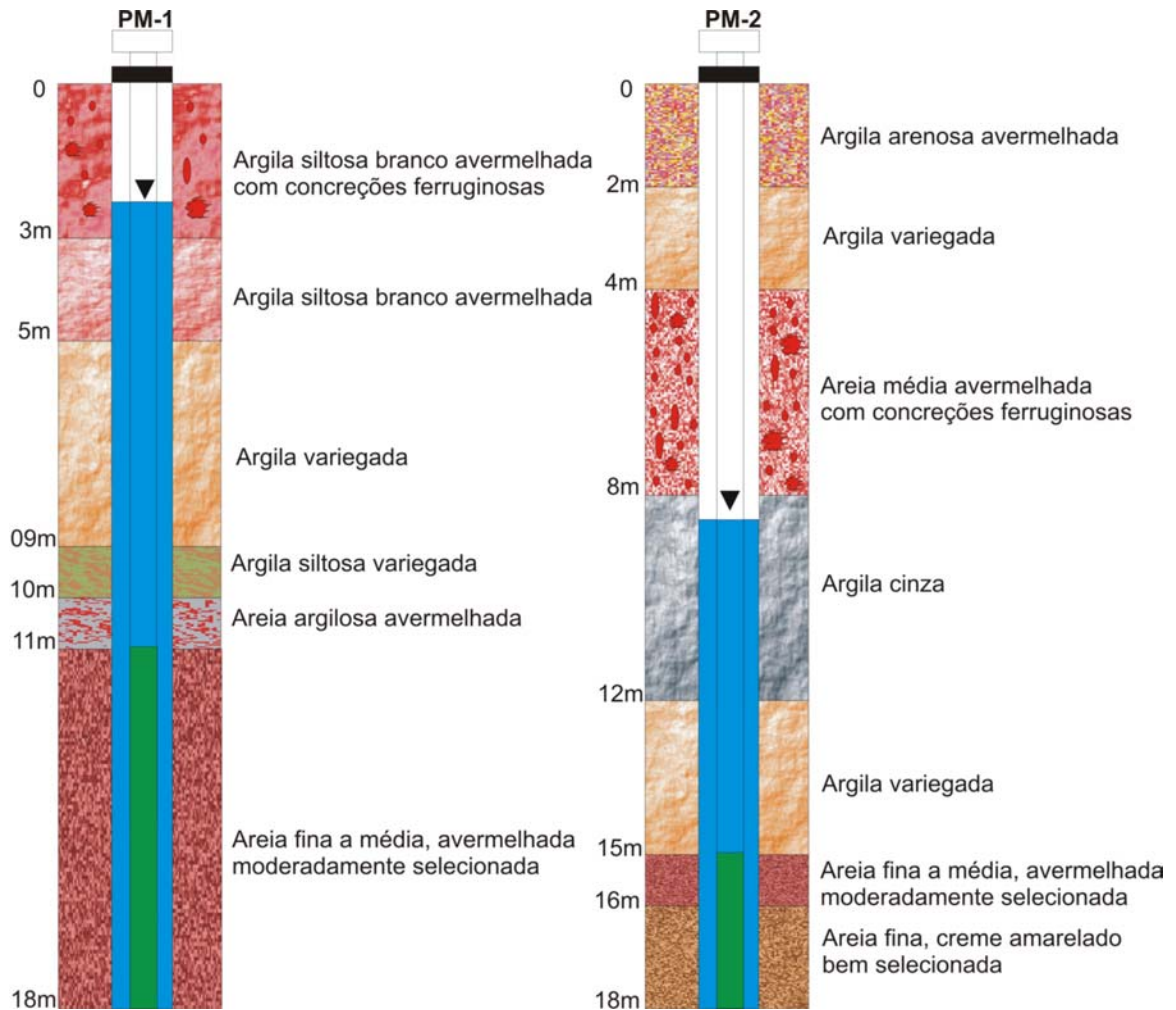


Figura 1.19 – Perfil litológico dos piezômetros PM-1 e PM-2.

O piezômetro PM-3 apresenta uma profundidade de 18 m e com uma variação média de profundidade do nível freático em torno de 8,6 m. Quase todo esse perfil é constituído por areia fina à média, mudando de coloração creme amarelado para avermelhado. As exceções correram em sua parte superior, com aproximadamente 3 m de argila arenosa creme amarelado e uma camada de argila variegada localizada entre 8 e 10 m (Figura 1.20).

O perfil litológico do piezômetro PM-4 é formado inicialmente por 2 m de argila siltosa branco-avermelhada, seguida de uma camada de 2 m de areia fina a média avermelhada com concreções ferruginosas e uma camada de 2 m de areia argilosa avermelhada, também com concreções. Abaixo dessa camada há um pacote de 10 m de argila, mudando de variegada para cinza com porções ferruginosas. Também possui 18 m de profundidade, mas a profundidade do nível freático se encontra em torno de 4,7 m (Figura 1.20).

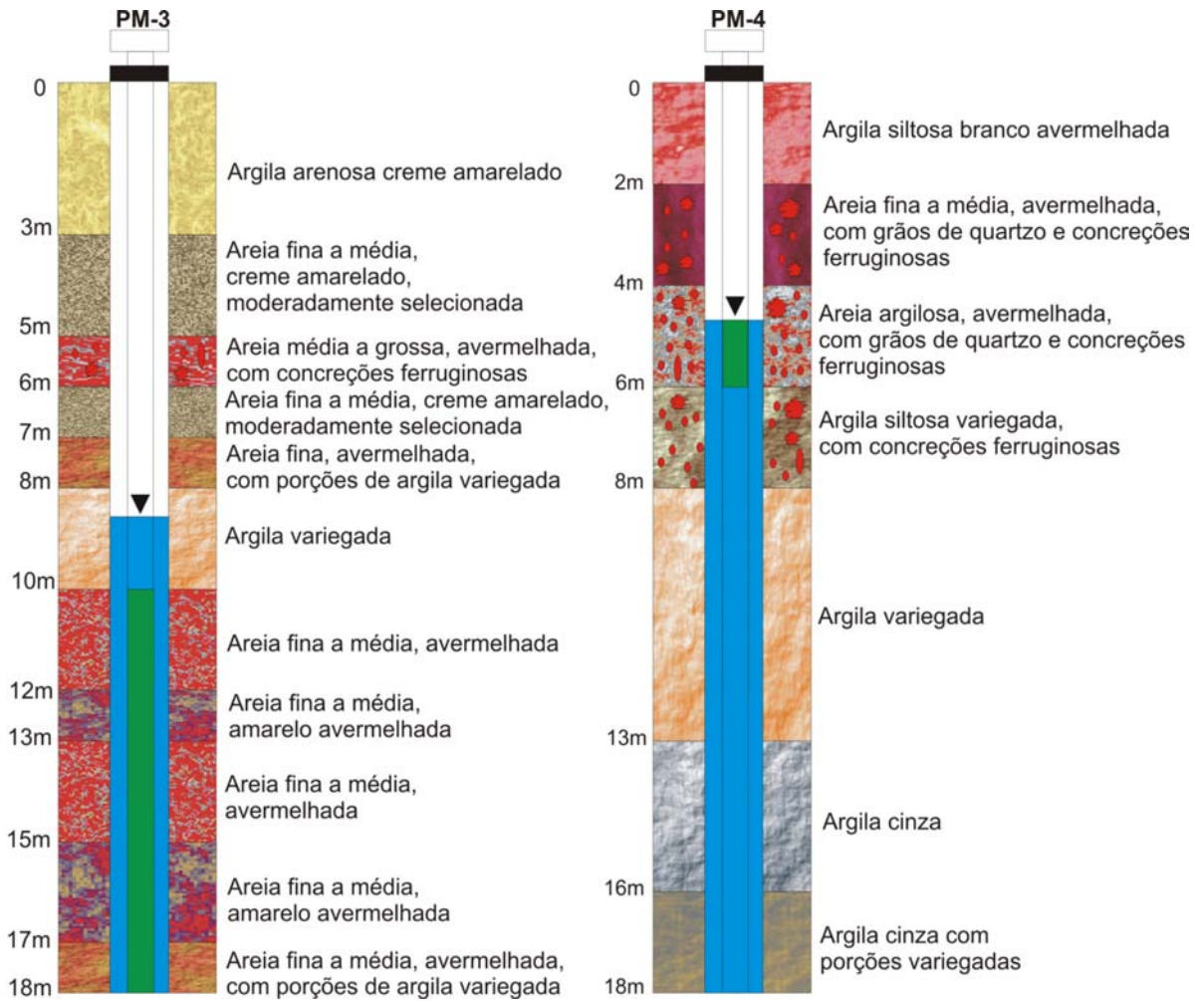


Figura 1.20 – Perfil litológico dos piezômetros PM-3 e PM-4.

Todo o perfil do piezômetro PM-5 é formado por argilas arenosas, siltosas e variegada, que apresentam uma coloração avermelhada, creme, amarelada e cinza. Nos primeiros metros há presença de concreções ferruginosas. Sua profundidade é de 18 m e o nível freático encontra-se aproximadamente a 3,9 m de profundidade (Figura 1.21).

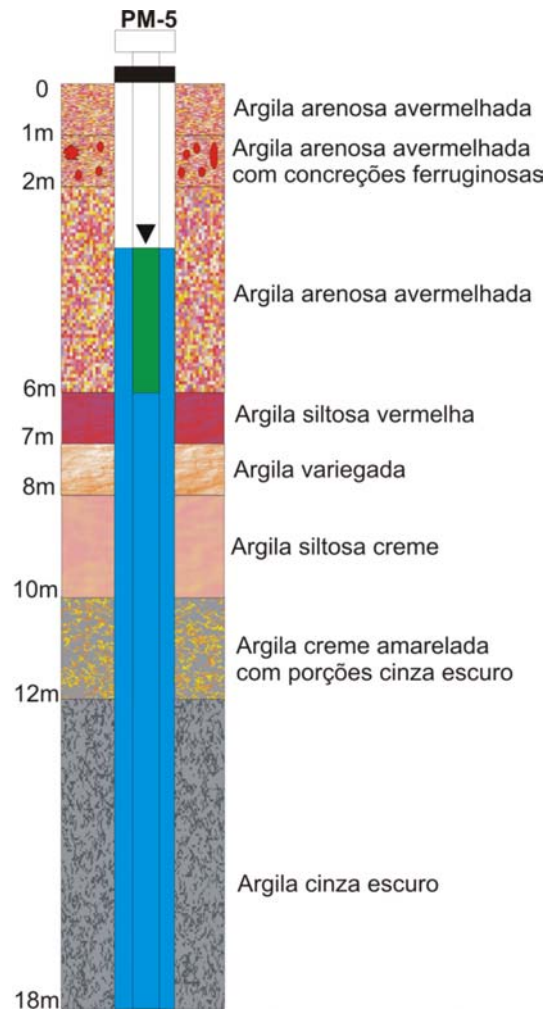


Figura 1.21 – Perfil litológico do piezômetro PM-5.

As características litológicas encontradas na construção do PM-6 encontram-se representadas na Figura 1.22. Esse piezômetro apresentou uma profundidade de 19 m, com o nível freático em torno de 6,8 m de profundidade. É formado inicialmente por um pacote de 4 m de argila arenosa mudando de coloração creme para avermelhada com concreções. Em seguida, têm-se um pacote de 6 m de areia fina a média, avermelhada. Após esse pacote, há uma camada fina de 1 m de argila arenosa avermelhada, seguida de 1 m de areia fina avermelhada. Finalizando esse perfil, são encontradas posteriormente camadas de argila cinza, variando de esbranquiçada para escuro.

O piezômetro PM-7 possui uma profundidade de 18 m, seu perfil litológico apresenta semelhanças com o PM-6, em especial pela presença de uma camada de argila arenosa com concreções ferruginosas no início de sua parte superior. Esse perfil é quase todo formado por argilas que variam de coloração avermelhada à cinza. Somente uma camada de areia fina a média avermelhada foi encontrada em profundidades de 8 a 10 m. O nível freático encontra-se aproximadamente a 5,9 m de profundidade (Figura 1.22).

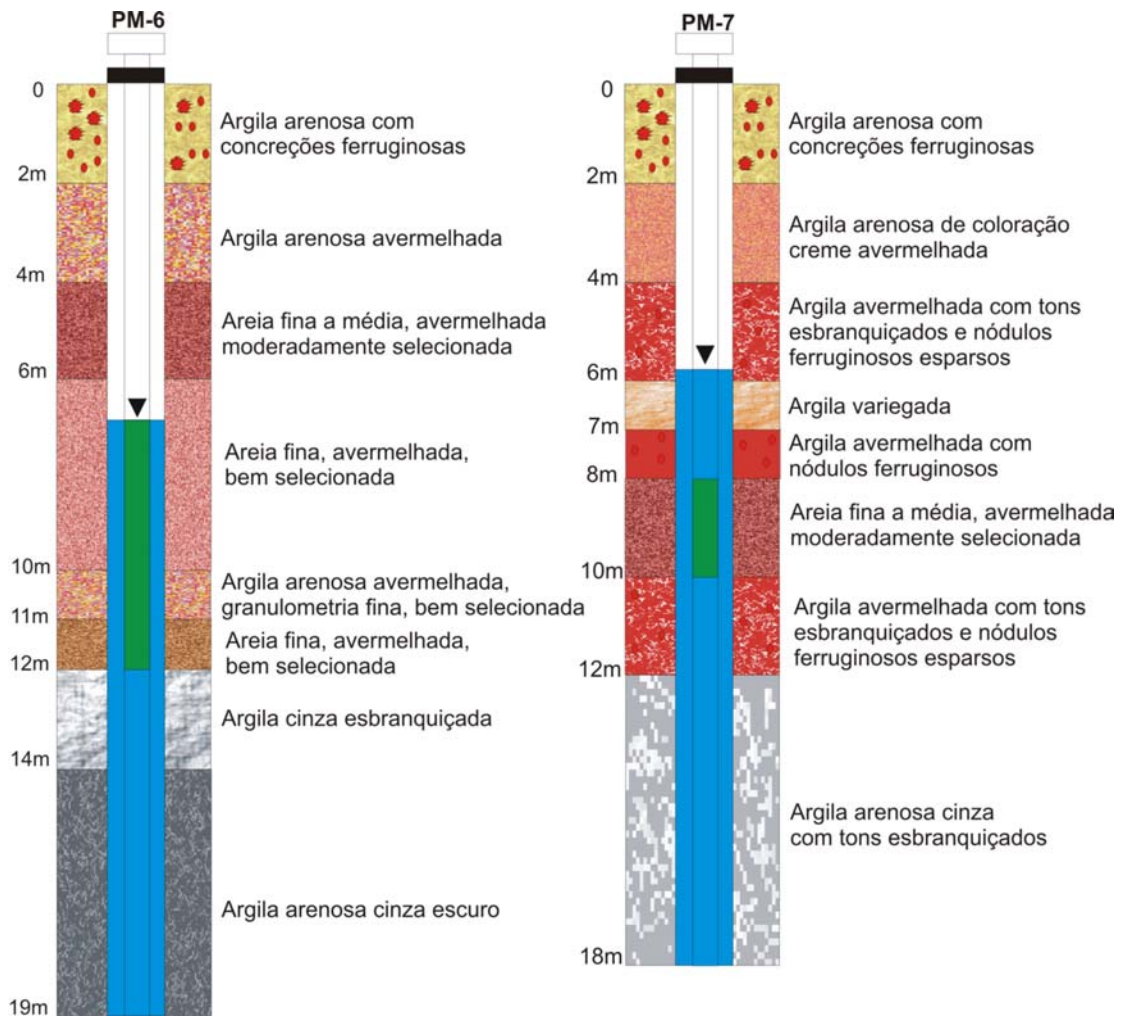


Figura 1.22 – Perfil litológico dos piezômetros PM-6 e PM-7.

O piezômetro PM-8 possui uma profundidade de 20 m, com uma variação média de profundidade do nível freático em torno de 5,4 m. Seu perfil litológico apresenta em sua parte superior uma camada de 2 m de argila arenosa marrom esverdeada. Em seguida há uma camada de aproximadamente 9 m de argila variegada com concreções ferruginosas. Devido esta camada se encontrar acima de uma camada de 2 m de areia média avermelhada, a mesma passa a atuar como uma camada selante e protetora. Logo em seguida há uma outra camada de 6 m composta de argila cinza esbranquiçada com tons avermelhados. Na parte inferior ocorre uma camada de 1 m de areia fina acinzentada (Figura 1.23).

Já o perfil litológico do piezômetro PM-9 possui 18 m de profundidade e apresenta uma camada inicial de 3 m de argila arenosa marrom esverdeada, seguida de uma camada espessa de 12 m de argila variegada com concreções ferruginosas, terminando com uma faixa de 3 m de areia média avermelhada. A profundidade do nível freático deste piezômetro se apresentou em torno de 10 m (Figura 1.23).

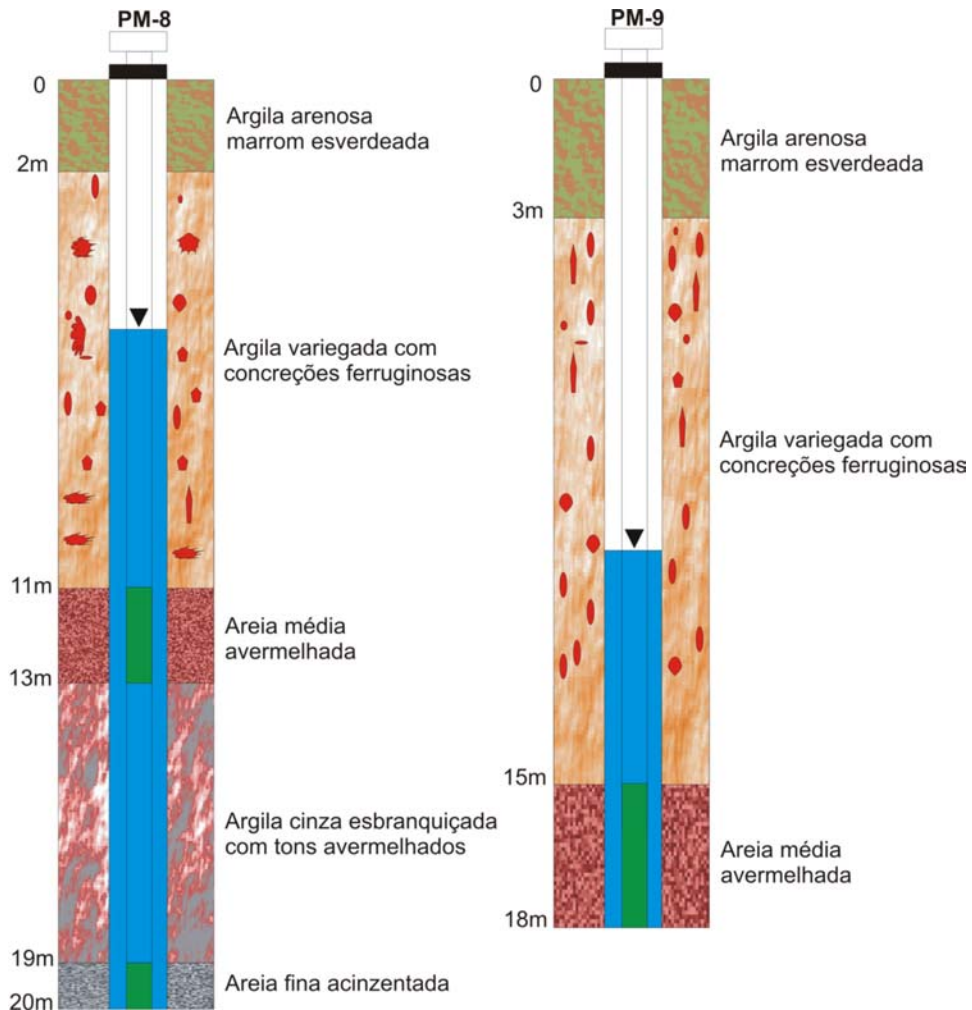


Figura 1.23 – Perfil litológico dos piezômetros PM-8 e PM-9.

1.5.2 – Comportamento do nível freático

Através dos dados obtidos com o levantamento topográfico com GPS geodésico e localização dos piezômetros, foi possível determinar que a diferença existente entre o piezômetro localizado na cota mais alta (PM-9) e os piezômetros localizados nas cotas mais baixas (PM-4 e PM-8), se encontra em torno de 7 m (Tabela 1.6).

Tabela 1.6 – Valores medidos dos níveis estáticos - NE (m) obtidos nos piezômetros de monitoramento do aquífero.

Período	PM-1	PM-2	PM-3	PM-4	PM-5	PM-6	PM-7	PM-8	PM-9
Nov/08	2,93	8,87	9,15	5,23	4,12	7,77	6,80	5,96	11,76
Dez/08	3,25	9,00	9,34	5,37	4,10	7,79	6,30	6,49	12,06
Jan/09	3,43	9,18	9,66	5,62	4,10	8,03	5,70	6,83	12,40
Fev/09	2,80	8,91	9,26	5,29	3,95	8,46	5,39	6,10	12,07
Mar/09	2,30	7,75	8,02	4,26	3,06	4,80	4,71	3,75	8,14
Abr/09	2,34	6,10	7,32	3,14	3,10	5,49	5,20	3,30	6,28
Mai/09	2,24	6,44	7,73	2,72	3,10	5,90	5,24	2,95	5,63
Jun/09	2,27	6,94	7,82	3,27	3,25	5,96	5,90	3,56	7,22
Jul/09	2,45	7,82	8,36	4,14	3,70	6,76	6,04	4,44	9,38
Ago/09	2,73	8,46	8,81	4,81	3,90	7,42	6,30	5,30	10,82
Set/09	2,61	8,56	8,93	4,90	4,06	6,65	6,35	5,50	11,24
Out/09	3,05	8,70	8,96	5,13	4,1	7,65	6,45	5,87	11,53
Nov/09	3,02	8,85	8,97	6,40	4,12	7,73	6,8	5,54	11,47
Média	2,72	8,49	8,65	4,73	3,92	6,86	5,93	5,47	10,04
Cota topográfica (m)	14	14	13	11	12	13	16	11	18

A observação das curvas de comportamento dos níveis estáticos mostrados nas Figuras 1.24, 1.25 e 1.26 revelam de maneira geral, que a variação de profundidade do nível freático é fortemente influenciado pela precipitação pluviométrica.

O ciclo hidrológico dos lagos, apesar de ter forte contribuição mecânica (bombas adutoras de água para os lagos) sofre influência da precipitação pluviométrica em quantidade e qualidade das suas águas (SODRÉ, 2007).

Embora alguns piezômetros estejam relativamente distantes uns dos outros, as variações de nível freático exibem uma relação de linearidade durante o período de observação, especialmente, no final do tempo de estiagem e início do período de chuvas. Essa concordância sazonal nas variações dos níveis pode ocorrer em função da influência da maré ou porque esses piezômetros estão interligados com o mesmo aquífero Pós-Barreiras. Mudanças relevantes nos valores do NE foram encontradas no piezômetro localizado na cota topográfica mais elevada (PM-09).

A Figura 1.27 mostra a relação da topografia com o nível freático, evidenciando a distância deste último em relação à superfície.

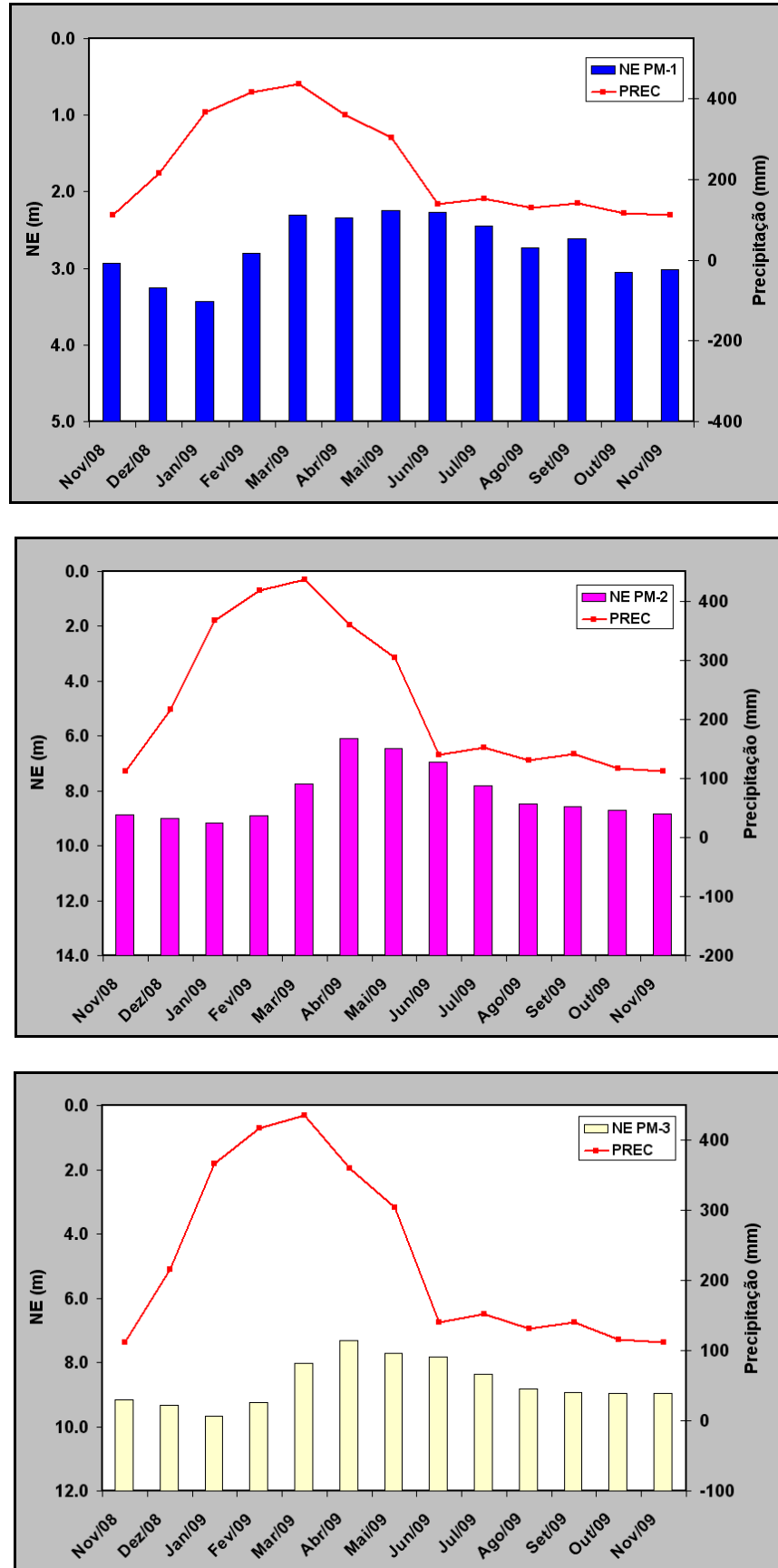


Figura 1.24 – Variação de nível estático dos piezômetros PM-1, PM-2 e PM-3.

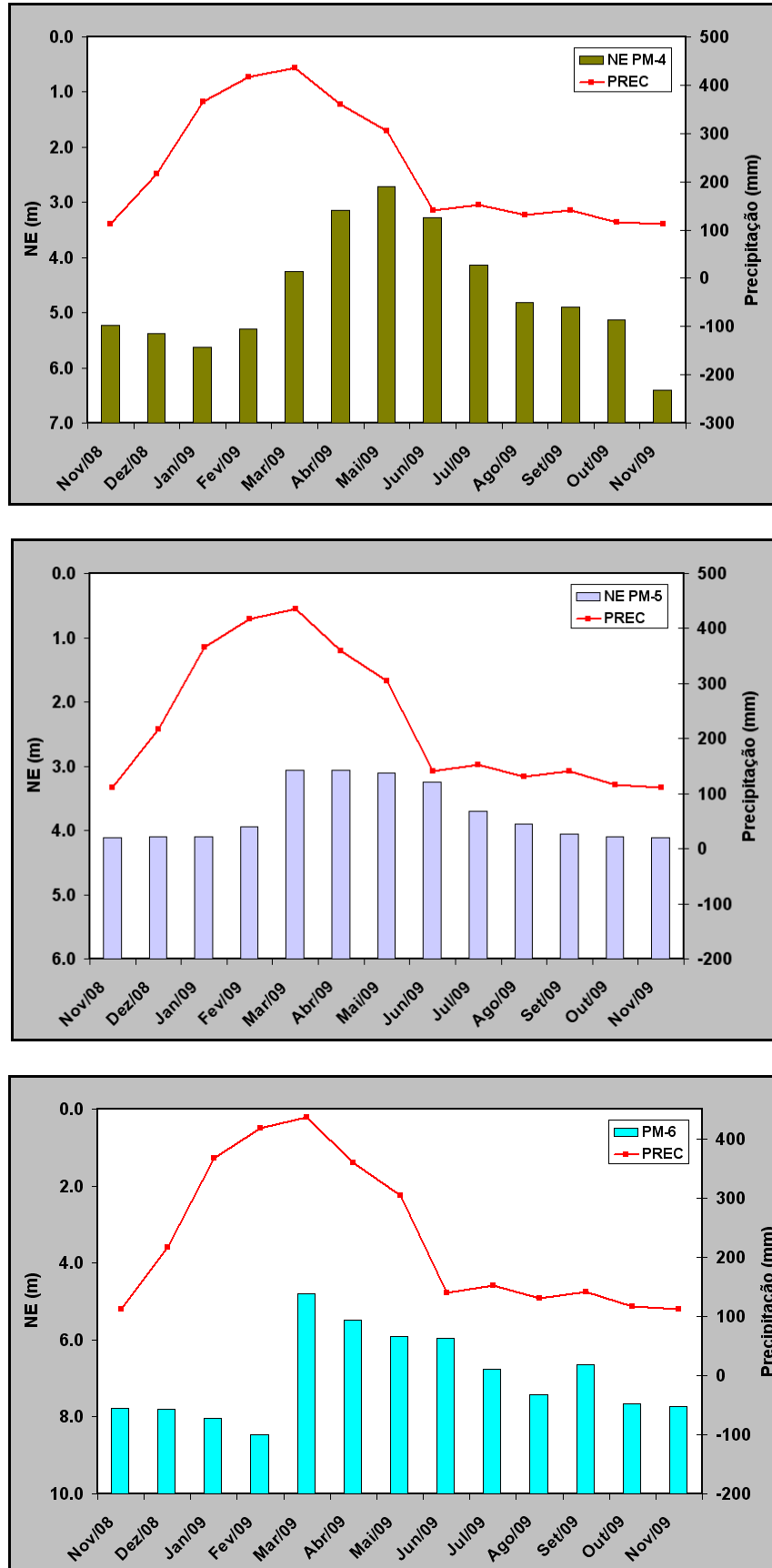


Figura 1.25 – Variação de nível estático dos piezômetros PM-4, PM-5 e PM-6.

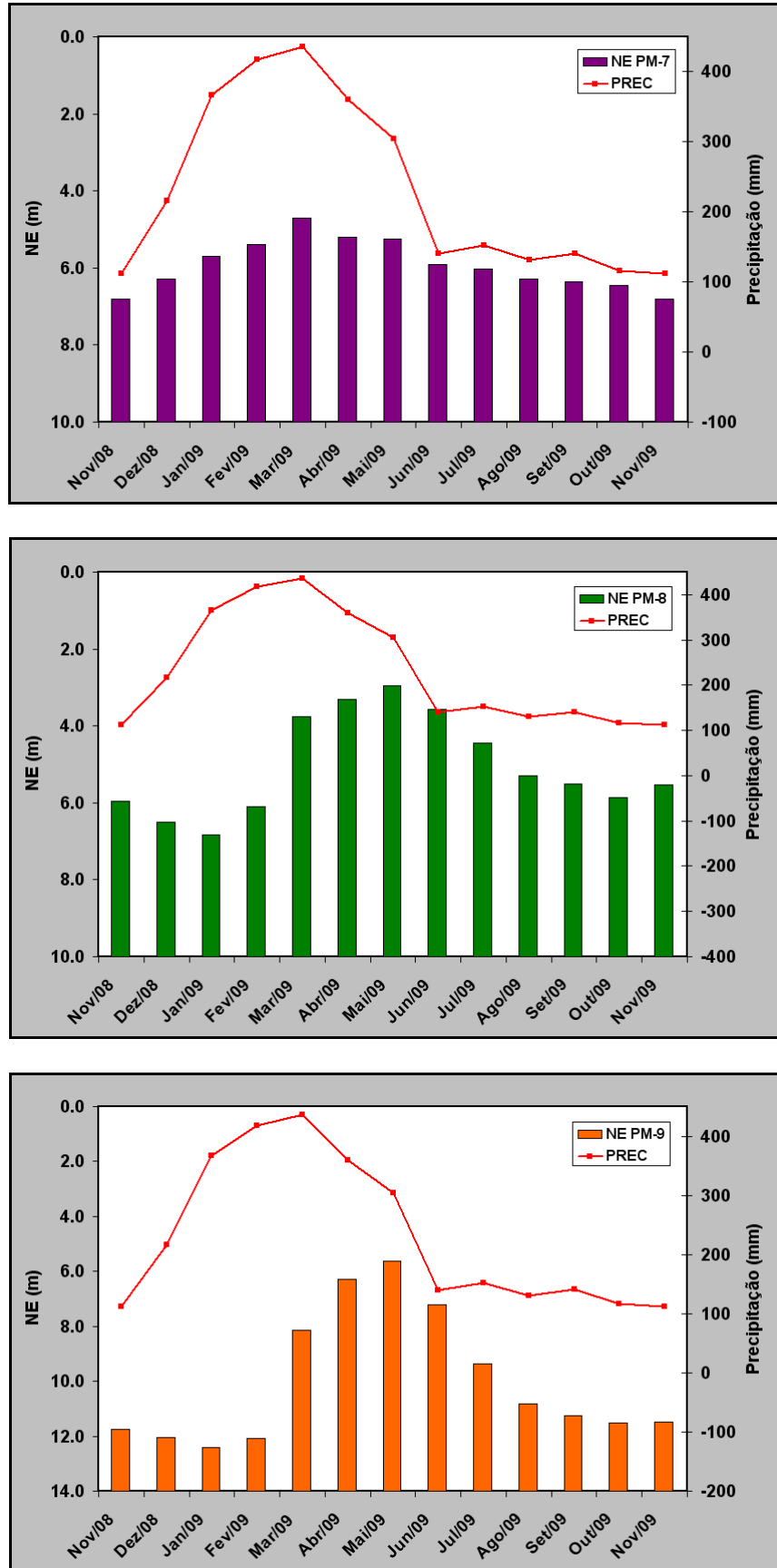


Figura 1.26 – Variação de nível estático dos piezômetros PM-7, PM-8 e PM-9.

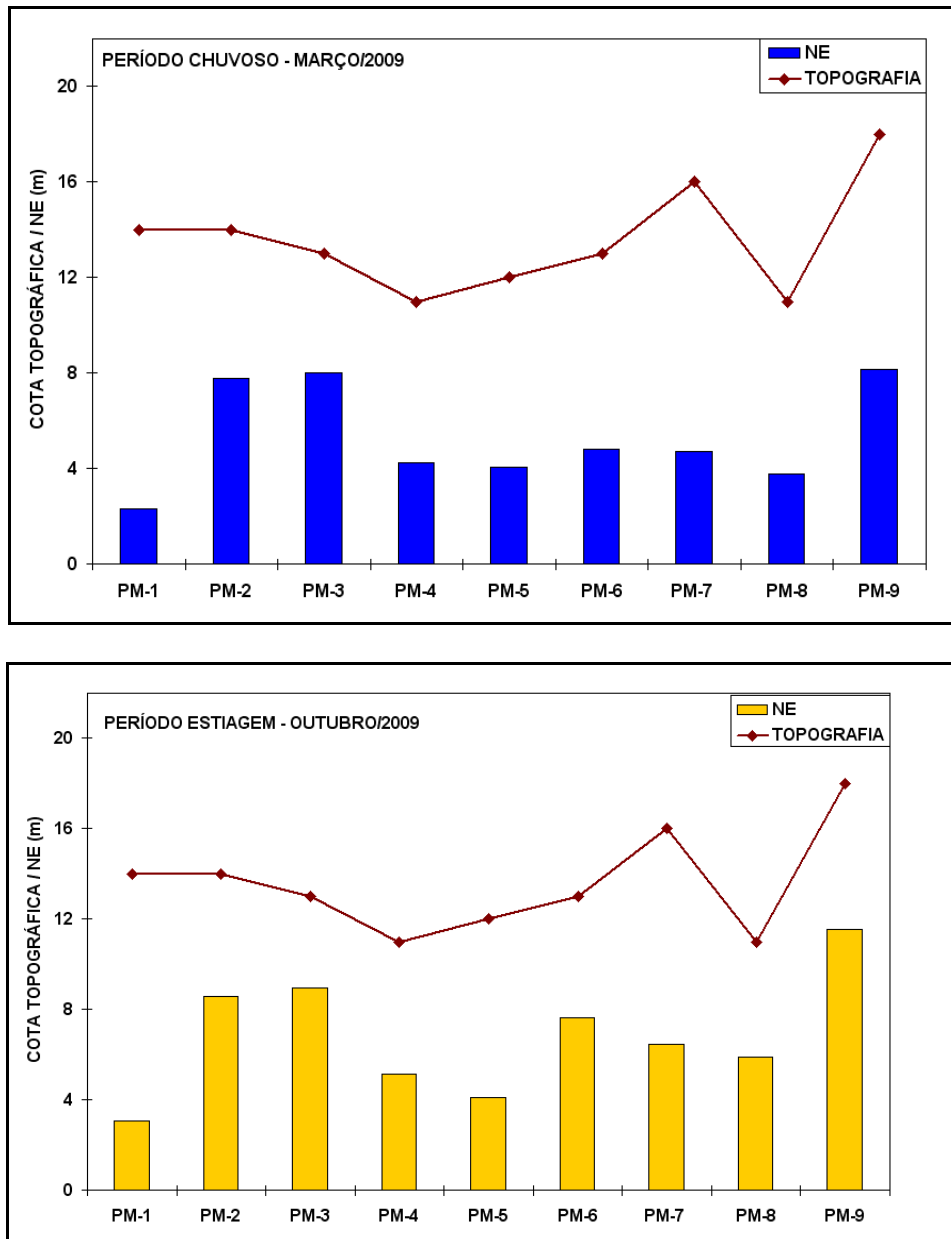


Figura 1.27 – Relação entre o NE e a topografia para o período chuvoso e estiagem.

1.5.3 – Estimativa da condutividade hidráulica (K)

1.5.3.1 – Utilizando a curva granulométrica

Para estimativa da condutividade (K) em laboratório, foi utilizado o método de Hazen (HAZEN, 1911), método empírico baseado nas curvas granulométricas.

Com base na metodologia utilizada pelo Laboratório de Sedimentologia do Centro de Geociências da UFPA (Figura 1.8), as amostras coletadas a diferentes profundidades por ocasião da construção dos piezômetros, foram lavadas e peneiradas com a finalidade de

separar as frações grossas das frações finas. Após este processo, os dados obtidos com a referida metodologia foram processados e plotados em curvas granulométricas, cujos resultados forneceram as informações necessárias para o cálculo da condutividade hidráulica mediante o Método de Hazen.

O método de Hazen é aplicado a areias que contenham o d_{10} variando de 0,1 a 3,0 mm. As amostras coletadas no presente estudo apresentaram valores de coeficiente de uniformidade inferiores a 3 (Tabela 1.7), o que possibilitou a aplicação do referido método no cálculo da condutividade hidráulica (K) mediante o resultado da relação de d_{40}/d_{60} do material retido (FETTER, 1994).

Tabela 1.7 – Tamanho efetivo dos grãos, coeficiente de uniformidade e condutividade hidráulica das amostras de perfil coletadas na perfuração dos piezômetros.

Localização/Profundidade	D ₄₀ , % retido	D ₆₀ , % retido	C. U. D ₄₀ /D ₆₀	D ₁₀	K (cm/s)
PM-1 (11 m – 18 m)	0,24	0,19	1,26	0,38	1,4x10 ⁻³
PM-2 (15 m – 18 m)	0,35	0,25	1,40	0,36	1,2x10 ⁻³
PM-3 (10 m – 18 m)	0,32	0,26	1,23	0,63	3,9x10 ⁻³
PM-4 (02 m – 08 m)	0,20	0,14	1,43	0,19	3,6x10 ⁻⁴
PM-5 (02 m – 08 m)	0,23	0,18	1,28	0,12	1,4x10 ⁻⁴
PM-6 (04 m – 10 m)	0,39	0,30	1,30	0,60	3,6x10 ⁻³
PM-7 (08 m – 10 m)	0,34	0,27	1,26	0,90	8,1x10 ⁻³
PM-8 (11 m – 13 m)	0,32	0,29	1,10	0,85	7,2x10 ⁻³
PM-8 (19 m – 20 m)	0,17	0,15	1,13	0,65	4,2x10 ⁻³
PM-9 (15 m – 18 m)	0,38	0,30	1,26	0,52	2,7x10 ⁻³

Os valores obtidos de condutividade hidráulica são compatíveis com as unidades geológicas presentes na área de estudo, conforme faixa de valores para vários sedimentos não consolidados (Tabela 1.8).

Tabela 1.8 – Faixa de valores de permeabilidade intrínseca e condutividade hidráulica para vários materiais não consolidados (FETTER, 1994).

Material	Permeabilidade Intrínseca (cm ²)	Condutividade Hidráulica (cm/s)
Argila	10 ⁻¹⁴ – 10 ⁻¹¹	10 ⁻⁹ – 10 ⁻⁶
Silte; Silte arenoso	10 ⁻¹¹ – 10 ⁻⁹	10 ⁻⁶ – 10 ⁻⁴
Areia argilosa	10 ⁻¹¹ – 10 ⁻⁹	10 ⁻⁶ – 10 ⁻⁴
Areia siltosa; Areia fina	10 ⁻¹⁰ – 10 ⁻⁸	10 ⁻⁵ – 10 ⁻³
Areia bem distribuída	10 ⁻⁸ – 10 ⁻⁶	10 ⁻³ – 10 ⁻¹
Cascalho bem distribuído	10 ⁻⁷ – 10 ⁻⁵	10 ⁻² – 10 ⁰

1.5.3.2 – Determinação da condutividade hidráulica (K) por ensaio de bombeamento

Os valores de condutividade hidráulica encontrados através dos ensaios de bombeamento realizados nos nove piezômetros instalados na área de estudo refletem um ambiente representado pela predominância de material argilo-arenoso e argilo-siltoso com areia fina a média, compatíveis com o tipo de material geológico encontrado na área (Tabela 1.9).

Tabela 1.9 – Valores de condutividade hidráulica obtidos por ensaio de bombeamento nos piezômetros de monitoramento instalados na área de estudo.

PIEZÔMETRO	K (cm/s)
PM-1	$6,71 \times 10^{-3}$
PM-2	$1,24 \times 10^{-3}$
PM-3	$8,25 \times 10^{-3}$
PM-4	$4,26 \times 10^{-5}$
PM-5	$6,54 \times 10^{-5}$
PM-6	$2,22 \times 10^{-3}$
PM-7	$6,66 \times 10^{-3}$
PM-8	$5,50 \times 10^{-3}$
PM-9	$1,96 \times 10^{-3}$

1.5.4 – Determinação da porosidade

Para essa estimativa foram considerados os valores de porosidade disponíveis na literatura especializada, para diferentes materiais geológicos, conforme apresentado na Tabela 1.10.

Tabela 1.10 - Valores representativos de porosidade efetiva para alguns materiais geológicos (DRISCOLL, 1987).

Litologia	Porosidade Efetiva (%)
Argila	1 – 10
Areia	10 – 30
Cascalho	15 – 30
Areia e cascalho	15 – 25
Arenito	5 – 15
Folhelho / Calcário	0,5 – 5

Os valores de porosidade para este estudo foram estimados em 28%, em virtude das características litológicas dos sedimentos presentes nos aquíferos do PEUt serem

predominantemente de areia fina a média (HEATH, 1989). Além disso, este valor de porosidade é o mesmo obtido em estudos anteriores realizados na área por Piratoba Morales, (2002) e Bahia (2003), cuja determinação ocorreu com amostras de solo deformadas e não deformadas.

1.5.5 – Gradiente hidráulico e velocidade do fluxo subterrâneo

O gradiente hidráulico foi calculado entre os piezômetros PM-1 e PM-3, o de maior e menor carga hidráulica respectivamente, tanto para o período chuvoso (março/2009) quanto para o período seco (outubro/2009).

- Cálculo do i para a época de chuvas:

$$\Delta h = 6,72 \text{ (diferença de carga)}$$

$$\Delta l = 500 \text{ m (distância)}$$

$$i = \frac{\Delta h}{\Delta l} = \frac{6,72}{500} = 0,013$$

- Cálculo do i para a época de seca:

$$\Delta h = 6,91 \text{ (diferença de carga)}$$

$$\Delta l = 500 \text{ m (distância)}$$

$$i = \frac{\Delta h}{\Delta l} = \frac{6,91}{500} = 0,014$$

O gradiente hidráulico calculado na área praticamente não mudou sazonalmente, apresentando valores de 0,013 na época de chuvas e de 0,014 para a época de seca.

Na época de chuvas, nas cotas topográficas mais elevadas, o nível freático apresenta maiores elevações ao se comparar com o nível freático das cotas topográficas mais baixas, que por atuar como zona de descarga, mostra menores mudanças.

Com os valores de porosidade, condutividade hidráulica e gradiente hidráulico, pode se realizar a estimativa da velocidade do fluxo (V) água subterrânea na área.

Para efeito de cálculo, utilizou-se a média dos valores obtidos de condutividade hidráulica através dos ensaios de bombeamento realizado nos nove piezômetros (Tabela 1.9), cujo valor médio foi de $0,06846 \times 10^{-3}$ m/s. Este valor, em conjunto com o valor de 28% de porosidade e o valor médio de 0,0027 referente ao gradiente hidráulico da área, permitiu

estimar a verdadeira velocidade do fluxo através das Equações 1.9 e 1.10.

Para uma melhor análise, os cálculos efetuados sobre a estimativa de velocidade dos fluxos laminares se encontram representados abaixo:

$$V = K \cdot \frac{\Delta h}{\Delta l * \eta}$$

Para efeito de cálculo, o gradiente hidráulico será o valor médio obtido nos dois períodos (chuva e seca).

Então:

$$K = 3,6275 \times 10^{-5} \text{ m/s}$$

$$\frac{\Delta h}{\Delta l} = 0,013 \text{ (média)}$$

$$\eta = 0,28 \text{ (28\%)}$$

$$V = (3,6275 \times 10^{-5} \text{ m/s}) \times (0,013) / 0,28$$

$$V = 1,684 \times 10^{-6} \text{ m/s} = 0,1455 \text{ m/dia} = 53,10 \text{ m/ano}$$

Portanto, a estimativa da velocidade do fluxo laminar da água e dos poluentes de maior mobilidade geoquímica correspondem a 53,10 m/ano.

Com as informações obtidas através de dados topográficos, em conjunto com as medidas de profundidade do nível freático correspondentes ao tempo de chuva (Março/2009), foi elaborado um modelo simulando o comportamento do fluxo subterrâneo na área de estudo (Figura 1.28). Não foram verificadas alterações no sentido do fluxo subterrâneo no período de estiagem (Outubro/2009), apresentando comportamento similar ao período chuvoso.

Os resultados hidrodinâmicos obtidos com os métodos diretos indicam que o fluxo subterrâneo em ambos os períodos sazonais, predominam no sentido de norte para sul, em direção aos lagos Bolonha e Água Preta, caracterizando-os como efluente em relação ao aquífero superior, o que está de acordo com os estudos de Oliveira et al. (2002), Matta (2002) e Matta et al. (2010). Isso se constitui num fator de preocupação ambiental, uma vez que qualquer contaminação das águas subterrâneas poderá acarretar em contaminação dessas águas superficiais.

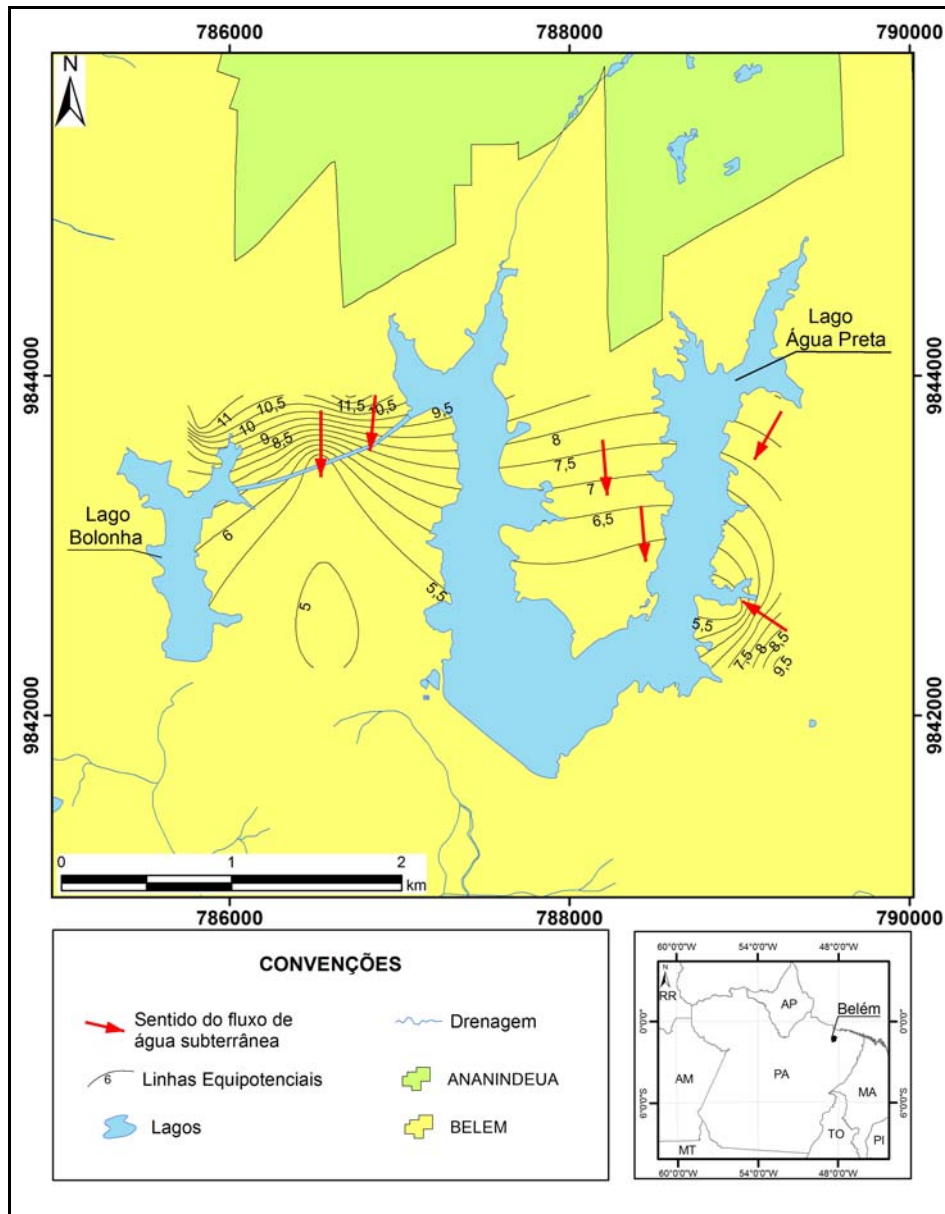


Figura 1.28 – Comportamento da superfície potenciométrica na área de estudo.

1.5.6 – Distribuição geométrica dos aquíferos

Os resultados obtidos com as informações dos perfis litológicos-constructivos dos piezômetros, são de grande importância para a caracterização da geologia local e demonstra alguns aspectos relevantes quanto à geometria dos aquíferos locais. Os resultados obtidos foram satisfatórios e apresentam-se coerentes com estudos anteriores (ALMEIDA, 2003; MATTA, 2002; MATTA et al., 2010; PIRATOBA MORALES, 2002).

No PEUt, de acordo com as informações obtidas com os perfis litoestratigráficos dos piezômetros perfurados na área em conjunto com a geologia, foi possível a classificação dos

aquíferos como porosos, confinados e protegidos por uma camada de material argiloso. Em termos de litotipos aparecem argilas vermelhas, areias finas a médias e níveis ferruginosos que correspondem a unidade litoestratigráfica do Pós-Barreiras do período Quaternário, o que está de acordo com o estabelecido por Pereira, Ou e Kimble (1994), Piratoba Morales (2002), Rosseti et al. (1989) e Sauma Filho (1996) que estabelecem que os aquíferos do Pós-Barreiras do período Quaternário são formados por areias finas a médias, quartzosas, com níveis ferruginosos, cuja espessura média de sedimentos é de cerca de 20 metros, localizados geralmente na parte superior do terreno e com pequena distribuição espacial (Figura 1.29).

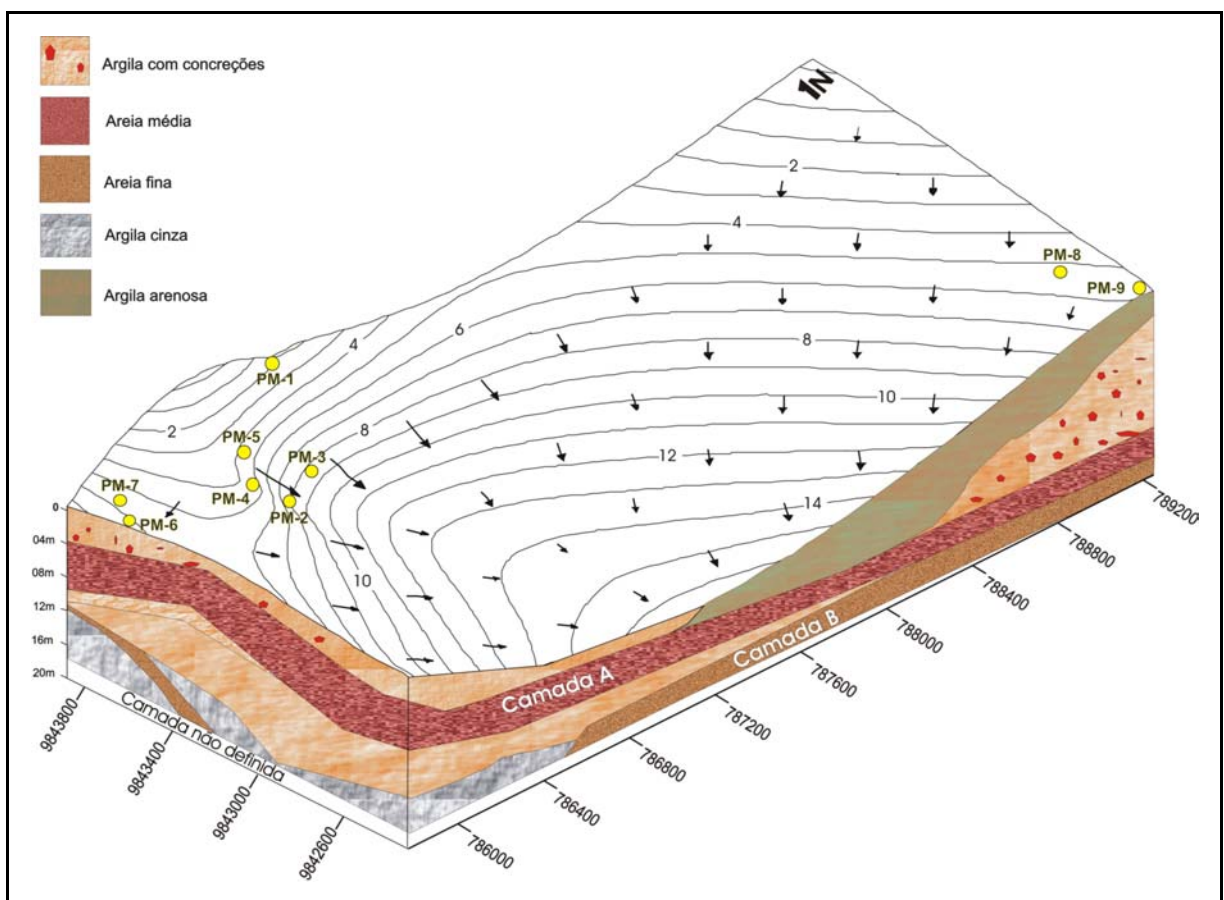


Figura 1.29 – Visão geométrica lateral dos aquíferos na área de estudo.

Um dos aquíferos identificados na área de estudo é representado pela camada A, que é formado por uma camada arenosa que se encontra protegido na sua parte superior por uma camada de argila arenosa de 4 metros de espessura e em sua parte inferior por uma lâmina de argila siltosa de aproximadamente 2 metros. Abaixo desta lâmina existe uma outra camada arenosa confinada que apresenta em sua camada inferior um pacote de argila siltosa com aproximadamente 8 metros de espessura.

Outro aquífero detectado está localizado na camada B, a leste da área de estudo. Este aquífero é formado por uma camada arenosa confinada, com sua parte superior apresentando camadas de argila marrom, variegada com concreções, com espessura de até 15 metros.

1.6 – IMPACTOS DA URBANIZAÇÃO NOS RECURSOS HÍDRICOS DA ÁREA DO PARQUE ESTADUAL DO UTINGA

A relação de Belém com o seu ambiente hídrico não é diferente das outras cidades amazônicas e remonta à época de sua fundação, quando as primeiras ruas foram traçadas à beira-rio e a população distribuída na orla da baía do Guajará e rio Guamá, marcando o início do processo de ocupação da cidade.

Verifica-se nos relatos históricos que o processo evolutivo de ocupação do espaço urbano de Belém foi realizado de forma intensa e desordenada, resultando em sucessivas transformações de suas características físico-ambientais (MOREIRA, 1989; PENTEADO, 1967).

A expansão urbana de Belém se intensificou a partir da segunda metade dos anos 70, quando se expandiu até o município de Ananindeua. Inicialmente, essa expansão ocorreu de forma planejada, com a construção de conjuntos habitacionais. Porém, nas décadas seguintes (80 e 90), verificou-se um agravamento da crise econômica, política e habitacional, que favoreceu o grande número de assentamentos, muitos deles em terrenos públicos e privados, conhecidas localmente como “áreas de invasões”, cuja proliferação é considerada como um dos mais sérios problemas infraestruturais das regiões metropolitanas (RIBEIRO, 2004).

Segundo Trindade Jr. (1998), “invasões” são assentamentos espontâneos conhecidos localmente, onde um grande número de famílias ocupa e toma posse de terrenos urbanos vazios públicos ou privados, construindo pequenas habitações de madeira ou lona, a espera de uma futura desapropriação e regulamentação da mesma.

De acordo com a Companhia de Desenvolvimento e Administração da Área Metropolitana de Belém - CODEM (1987) foram relacionados 180 assentamentos considerados subnormais, dos quais 22,20% referem-se a ocupações de baixadas com cerca de 89 mil moradores e 77,80% relacionados a áreas de invasões com cerca de 271 mil pessoas. Parte desses assentamentos (380 famílias) encontravam-se em áreas consideradas de preservação permanente de manancial, pois desde as últimas décadas do século XX, a expansão urbana de Belém ultrapassou o limite institucional que protegia a área de

preservação dos mananciais de abastecimento local, principalmente ao longo dos eixos viários norte e leste, bem como pelas suas arteriais (Fotografias 1.3 a 1.5).



Fotografia 1.3 – Conjunto residencial localizado a leste do Lago Água Preta (BORDALO, 2006).



Fotografia 1.4 – Área de “invasão” localizada próximo da nascente do Lago Água Preta (BORDALO, 2006).



Fotografia 1.5 – Área de “invasão” denominada “Águas Lindas” localizada a leste do Lago Água Preta (BORDALO, 2006).

A cidade possui seis grandes bacias hidrográficas no sítio urbano, além de outras menores. Na orla sul, sob a influência do rio Guamá, destacam-se as bacias do Murucutu, Tucunduba e do Aurá. Estudos realizados na década de 90 revelam que a maior parte dos cursos d’água que fazem parte destas bacias, estão seriamente comprometidas pela quantidade de substâncias químicas, lixo e efluentes domésticos e industriais que são lançados nos rios e igarapés, sem nenhum tratamento ou controle de preservação (PREFEITURA MUNICIPAL DE BELÉM - PMB, 1997).

Trindade Jr. (1998) ressalta em seus estudos que ocorreram 223 ocupações recentes na RMB, sendo nove localizadas dentro da área da bacia do Utinga ou Bacia do Murucutu, pertencente ao PEUt e formada pelos igarapés Murucutu e Água Preta, lagos Bolonha e Água Preta e as suas áreas de entorno (Figura 1.30).

Em 1998, a caracterização do uso do solo, na área do PEUt se classificava em dois tipos: a) um espaço institucional, destinado a pesquisas e proteção dos mananciais, que ainda é predominante, ocupando as terras centrais e meridionais das bacias; e b) um espaço urbano localizado em toda parte setentrional e a leste, com uso predominantemente comercial e residencial, com conjuntos residenciais e invasões.

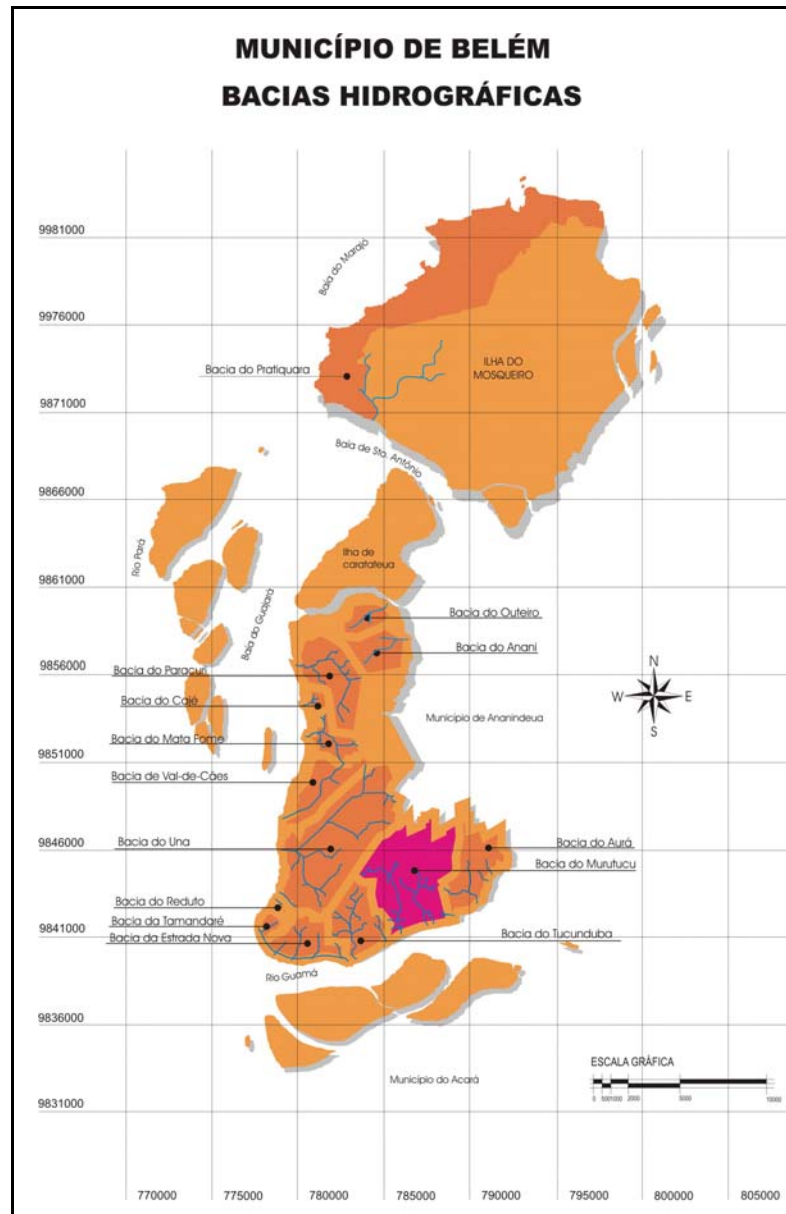


Figura 1.30 – Localização das bacias hidrográficas da Região Metropolitana de Belém.

Essas transformações ocorridas no espaço urbano da RMB contribuíram não somente para a sua ocupação desordenada, através do entendimento das diferentes formas de apropriação, bem como ocasionou um intenso processo de degradação ambiental verificado não só na área de entorno do PEUt, como também nas microbacias hidrográficas localizadas em seu interior e em suas proximidades (Figura 1.31).

Geralmente o crescimento urbano não vem acompanhado de infraestrutura urbana, provocando o aparecimento de focos de poluição ambiental a partir do desmatamento, e hídrica, através dos esgotos.

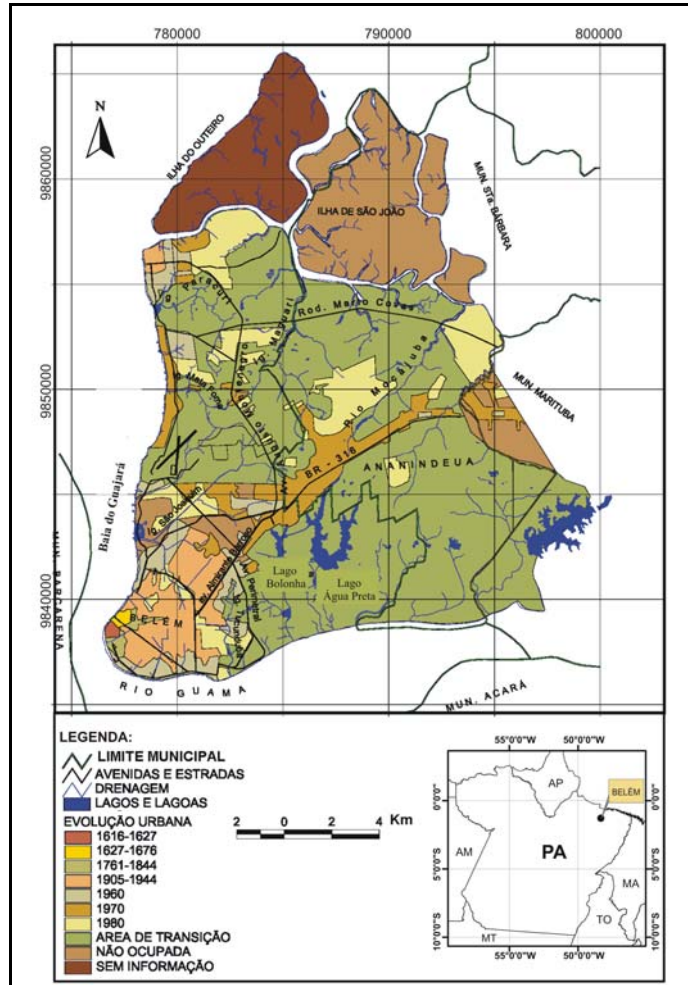


Figura 1.31 - Evolução urbana na Região Metropolitana de Belém (modificado de MATTA, 2002).

A abrangência das diversas tentativas para a cobertura em esgotamento sanitário na RMB pode ser avaliada hoje como insuficiente, visto que grande parte dessa área não tem condições adequadas de habitação e destinação de dejetos. Os danos ambientais decorrentes são visíveis. A necessidade de afastamento dos dejetos força a população a adotar como alternativa as fossas sépticas ou negras ou o lançamento *in natura* nas valas, galerias e canais de drenagem (CABRAL, 2010). A urbanização descontrolada descaracteriza negativamente o ambiente. Todos esses fatos são pontos que contribuem para a diminuição da capacidade de autodepuração dos corpos d'água da região.

De acordo com Braz (2003) apenas 4,80% da população do município de Belém é atendida por coleta e tratamento de esgoto sanitário, levando em consideração as intervenções do poder público executadas e em execução. Aproximadamente 11,30% empregam tratamento com tanque séptico, apenas 12,90% dos esgotos são coletados e 71% utilizam outras formas de destino final dos despejos domésticos.

A ausência ou uso precário de rede coletora de esgoto sanitário em grande parte das residências localizadas nos distritos de áreas de transição e expansão da RMB, mas precisamente nas proximidades do PEUt, faz com que a drenagem urbana passe a funcionar como rede de esgotamento sanitário, representando impactos de veiculação hídrica de grande proporção aos recursos hídricos locais.

Cita-se ainda, outros fatores preocupantes, tais como a identificação de várias situações potencialmente poluidoras muito próximas das margens dos lagos e até mesmo ao redor das nascentes, como assentamentos urbanos, cemitérios, desmatamento, extração mineral, lixão abandonado e o atual aterro sanitário destinado a lixo doméstico, industrial e hospitalar dos municípios de Belém e Ananindeua, localizado a apenas 1,4 Km do Lago Água Preta, todos desprovidos de rede de esgotos pluviais e sanitários e sem qualquer medida de controle de poluição hídrica (Figura 1.32).

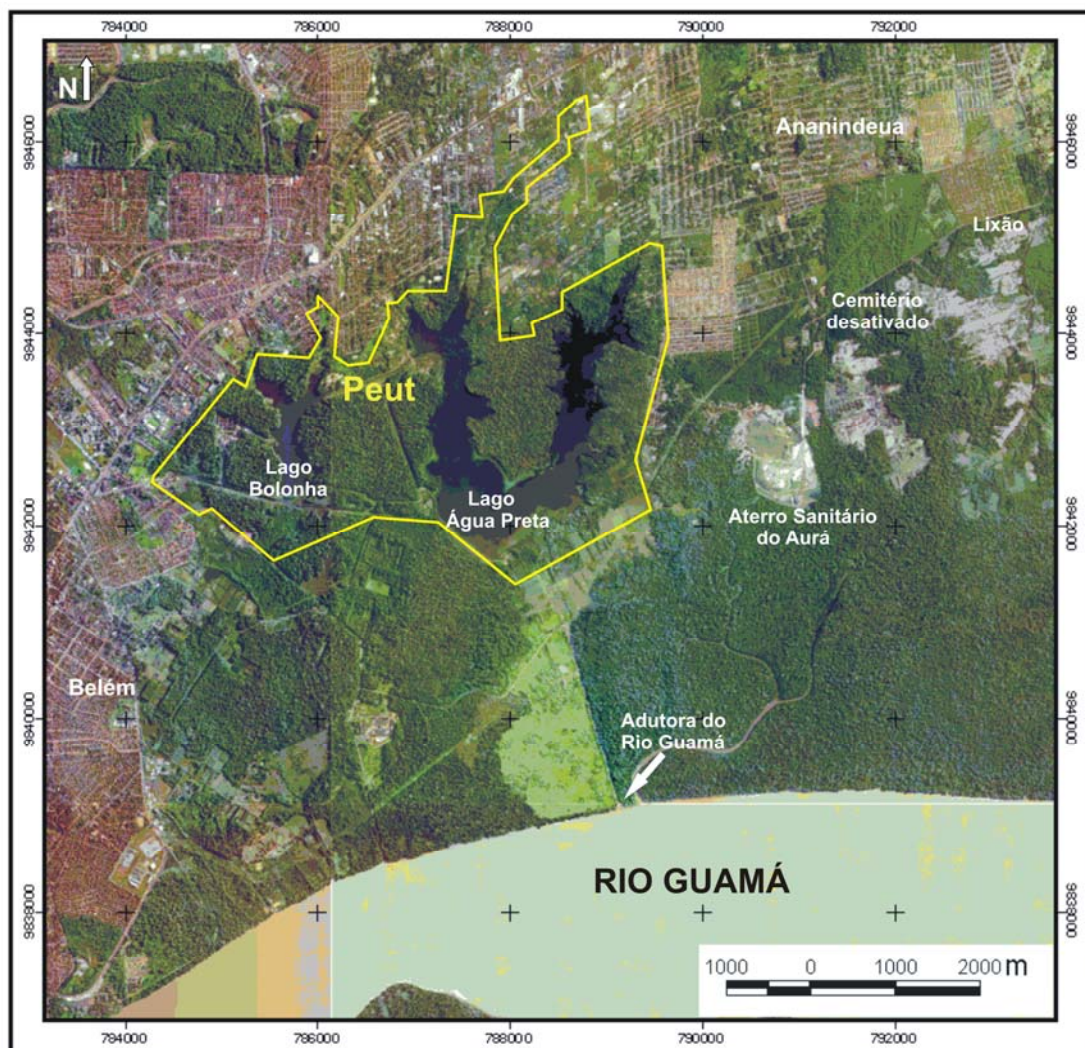


Figura 1.32 – Imagem aérea com a localização de focos potenciais de poluição próximos à área de estudo.

Por conta da implantação dos assentamentos planejados e espontâneos e de outros estabelecimentos comerciais, industriais e recreativos nas áreas de transição e expansão da RMB, a cobertura vegetal da área foi significativamente alterada. Os arredores do PEUt, vêm sofrendo um rápido e intenso processo de ocupação urbana desordenada, o que tem contribuído para acelerar o processo de degradação de seus recursos naturais.

Paranaguá et al. (2003), mostra que vem ocorrendo uma diminuição da cobertura vegetal original na área dos mananciais de abastecimento causada diretamente pelo desmatamento, decorrente da expansão da área urbana, exploração de material para construção civil, implantação de cemitérios e de aterro sanitário. Outra situação identificada foi a grande ocorrência de alguns focos de poluição hídrica nas cabeceiras dos lagos, onde foram constatados a presença de vegetação aquática (macrófitas) em grande concentração, bem como coloração e odor na água, evidenciando a possibilidade de deposição de matéria orgânica e inorgânica.

A poluição hídrica causada pela precariedade local do sistema de saneamento básico, principalmente nas áreas ocupadas pelos assentamentos espontâneos localizados, geralmente, nas proximidades das cabeceiras dos lagos pode comprometer a sua capacidade de autodepuração a médio e longo prazo.

O risco de eutrofização dos lagos é um outro fator preocupante, visto que a presença da vegetação conservada no seu entorno, não só mantém a capacidade de suporte elevada, mas também permite a possibilidade de resistência do ecossistema diante das pressões antrópicas, tornando assim fundamental a conservação dessas matas, para manutenção da capacidade de autodepuração dos lagos (Fotografia 1.6).



Fotografia 1.6 – Parte do Lago Bolonha sofrendo eutrofização (BORDALO, 2006).

Além disso, o avanço do desmatamento na área do PEUt traz consigo uma grande preocupação no sentido da preservação da grande biodiversidade encontrada em suas matas, bem como na diminuição da proteção contra a erosão superficial, que acarreta no aumento do assoreamento das margens e cabeceiras dos lagos.

Apesar da área do Lago Bolonha ser cerca de 4 vezes menor que a do Água Preta, presume-se que a vazão dos despejos lançados nos mesmos não seja acentuadamente diferente, considerando-se as áreas invadidas nas proximidades (Fotografias 1.7 e 1.8).

Segundo Pereira (2003) e Ribeiro (2004), a problemática envolvendo a precariedade do sistema de saneamento ambiental da RMB, é debatida acerca das contradições de estarmos numa região rica em recursos hídricos, mas pobre em saneamento, bem como no grande atraso em relação à adoção de redes coletoras de esgotos e de Estações de Tratamento de Esgotos – ETEs pelo poder público local, e em relação ao grau de contaminação hídrica e no comprometimento da capacidade de suporte das microbacias hidrográficas que drenam grandes bairros da cidade de Belém.



Fotografia 1.7 – Precariedade do sistema de saneamento básico em um bairro localizado na cabeceira do Lago Bolonha (BORDALO, 2006).



Fotografia 1.8 – Despejo de esgoto doméstico e industrial no Lago Bolonha (BORDALO, 2006).

Para esse quadro sanitário e ambiental, Pereira (2003) chama atenção que a ausência de coleta e tratamento dos esgotos sanitários e dos resíduos sólidos (lixo) também explica a poluição/contaminação do meio ambiente, facilitando a disseminação e a proliferação de doenças. Isso é cada vez mais agravado com o crescimento das cidades e, naturalmente, está relacionado com a qualidade de vida da população (Fotografia 1.9).

Conforme Mérces (1997) e Braz (2003), a fonte de poluição hídrica originada externamente é decorrente da contaminação feita pela rede de coleta de esgoto sem tratamento, despejada diretamente em um volume diário de 18.294 m³/dia nos igarapés e canais que drenam grande parte da metrópole, se destinando a baía do Guajará e ao rio Guamá. Esse volume diário de esgoto despejado tem comprometido a qualidade sanitária da água do rio Guamá, onde estão localizadas as bombas de captação de água bruta destinadas a suprir os lagos Água Preta e Bolonha, e seus parâmetros bacteriológicos e indicadores sanitários encontram-se acima do recomendado pela Resolução Nº 20, de 1986, do CONAMA (BRASIL, 1986), mesmo que os lagos ainda não tenham perdido sua capacidade de autodepuração.

Ao serem lançados esgotos sanitários no sistema de drenagem pluvial, junto com os resíduos sólidos (lixo) e esses se comunicarem aos inúmeros igarapés, drenando grandes áreas

da RMB, como as microbacias hidrográficas, têm-se como certa a possibilidade de contaminação hídrica dessas bacias, colocando em risco toda a população local.



Fotografia 1.9 – Fonte de poluição hídrica em um dos bairros localizados no entorno do Parque Estadual do Utinga (BORDALO, 2006).

O nível de comprometimento ambiental das águas dos mananciais localizados no PEUt diante da poluição hídrica ocorre principalmente através do despejo direto dos efluentes domésticos e industriais dos bairros localizados na parte noroeste, norte e nordeste, que deságuam diretamente nas nascentes e margens dos recursos hídricos dessa área de preservação, e os que deságuam nos inúmeros igarapés e canais que compõem a macrodrenagem da RMB em direção as águas da baía do Guajará e do rio Guamá, e que indiretamente, são inseridos nesses recursos através da estação de captação e bombeamento da COSANPA.

2 – O QUE SÃO PARQUES AMBIENTAIS

As áreas naturais sob proteção do governo são chamadas Unidades de Conservação e podem ser classificadas como: parques, reservas biológicas, reservas florestais, estações ecológicas, áreas naturais tombadas e áreas de proteção ambiental.

Segundo a definição da International Union for Conservation of Nature - IUCN (2008), uma área protegida é “uma superfície de terra ou mar especialmente consagrada à proteção e manutenção da diversidade biológica, assim como dos recursos naturais e culturais associados, e manutenção através de medidas jurídicas e outras medidas eficazes”, tais como:

I - Reserva natural restrita / Área natural silvestre (manejo básico com objetivos de investigação científica e o de proteção da vida silvestre);

II - Parque nacional (manejo sobre toda a proteção do ecossistema e com fins recreativos);

III - Monumento natural (manejo básico com o propósito de conservar características naturais específicas);

IV - Área de manejo de hábitat de espécies (com o propósito fundamental de conservação mediante a intervenção ativa com fins de manejo);

V - Paisagem Terrestre ou Marinha Protegida (manejo sobre toda a proteção da paisagem terrestre ou marinha e para a recreação);

VI - Área protegida com recursos manejados (principalmente para o uso sustentável dos ecossistemas naturais).

Desde o estabelecimento da primeira unidade de conservação dos tempos modernos, o Parque Nacional de Yellowstone, nos Estados Unidos da América, em 1872, estas áreas multiplicaram-se por todos os continentes, constituindo uma rede mundial. Em setembro de 1989, havia cerca de 4 mil unidades de conservação maiores que 10 km² em todo o mundo, englobando 4 milhões de km² distribuídos por 140 países (IUCN, 2008).

Como forma de controlar a crescente diminuição da biodiversidade foram criadas no Brasil inúmeras áreas de preservação da natureza, as chamadas Unidades de Conservação (UC), definidas pelo Plano de Sistema de Unidades de Conservação como "áreas criadas pelo Poder Público, por lei, visando a proteção e a preservação de ecossistemas no seu estado natural e primitivo, onde os recursos naturais são passíveis de um uso indireto sem consumo". As denominações e definições das várias categorias de UC existentes são listadas na Lei Nº 9.985, de 18 de julho de 2000, que institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação (SNUC). Segundo essa Lei, as UC brasileiras encontram-se divididas em dois grupos: o das Unidades de Proteção Integral e o das Unidades de Uso Sustentável.

As UC de proteção integral são aquelas cujo objetivo é promover a preservação permanente de amostras significativas dos ecossistemas naturais e da biodiversidade nelas contida. Nelas, só é permitido, a partir da liberação do órgão gestor, o uso indireto dos recursos naturais, através de atividades educacionais, recreativas, turísticas e de pesquisas científicas. Neste grupo, também chamado de UC de uso indireto, estão incluídas as seguintes categorias de UC: Estação Ecológica; Reserva Biológica; Parque Nacional; Monumento Natural; e Refúgio de Vida Silvestre.

No outro grupo, o das UC de uso sustentável ou uso direto, fazem parte todas as categorias de unidades que têm por objetivo associar proteção da natureza e uso sustentável dos recursos naturais, a exemplo das seguintes categorias: Floresta Nacional; Reserva Extrativista; Reserva de Fauna; Reserva de Desenvolvimento Sustentável; e Reserva Particular do Patrimônio Natural. Nestas UC, ao contrário das do primeiro grupo, admite-se a presença de populações humanas em sua área.

Existem também dezenas de áreas correlatas, como Área Natural Tombada, Estância, Reserva Extrativista, Reserva Indígena, Parque Ecológico etc., criadas pelo Poder Público, mas não denominadas em nenhum diploma legal.

Os estados e os municípios podem criar unidades próprias de conservação, entre as quais estão os parques, as reservas biológicas e as florestas, sempre que a urbanização possa colocar em risco mananciais, patrimônio cultural, histórico, paisagístico, arqueológico, bem cultural ou ambiental. Todas estas unidades de preservação visam a proteção dos recursos naturais, sendo a diferença básica entre estas, a proteção mais rigorosa em umas do que em outras, devido à importância do que se está protegendo. No entanto, essas áreas não substituem outras unidades ou espaços já criados, nem neles interferem.

No caso dos Parques Ambientais Nacionais e Estaduais e das Áreas de Proteção Ambiental, é permitido o acesso público. Os Parques Ambientais Estaduais seguem as

mesmas disposições que regem o funcionamento dos Parques Ambientais Nacionais. Seu objetivo básico é a preservação de ecossistemas naturais de grande relevância ecológica e beleza cênica, possibilitando a realização de pesquisas científicas e o desenvolvimento de atividades de educação e interpretação ambiental, de recreação em contato com a natureza e de turismo ecológico. Os parques são de posse e domínio públicos, sendo que as áreas particulares incluídas em seus limites devem ser desapropriadas. As Reservas Biológicas e Florestais não comportam o acesso público, já as Áreas Naturais Tombadas fazem restrições ao seu uso, bem como as Estações Ecológicas, que devem ter no mínimo 90% de sua área destinada à preservação integral da biota. Nas áreas restantes poderá ser autorizada a realização de pesquisas.

Quando houver relevante interesse público, determinadas áreas do território nacional poderão ser declaradas como de interesse para a proteção ambiental, com o fim de assegurar o bem-estar das populações humanas e conservar ou melhorar as condições econômicas locais, são as Áreas de Proteção Ambiental (APA).

As UC garantem a preservação de 67 milhões de hectares do Brasil, o que equivale a 8,13% do território nacional, distribuídas nas diversas categorias de UC apresentadas pela Lei do SNUC, dentre as quais se tem os parques ambientais (BRASIL, 2007).

Os parques ambientais em áreas urbanas são protegidos por lei, com uma estrutura planejada que fica no centro da cidade, com a intenção de mudar a paisagem urbana. É uma reserva de mata nativa, de extrema importância, pois legalmente torna-se intocável, representando um importante instrumento de preservação da biodiversidade, visando a minimização dos impactos causados ao meio ambiente decorrentes dos processos de urbanização, com os objetivos de conservar e proteger ecossistemas naturais e processos ecológicos necessários à manutenção da vida, formas de vida ameaçadas de extinção, proteção dos recursos hídricos locais, tais como mananciais e lençóis subterrâneos, além de permitir a realização de pesquisas científicas, atividades turísticas e recreacionais, prover uma estabilidade e diversidade ecológica de espécies e de processos naturais pela adequação das atividades humanas às características ambientais da área, seus potenciais e limitações e até mesmo, solidificar a identidade cultural de populações humanas. Nestas áreas, as atividades ou obras que importem em risco para o meio ambiente sofrem restrições ou proibições (MOORE; POLLEY, 2007).

O processo de implantação de um parque ambiental envolve diversas etapas e procedimentos legais e técnicos. Sua simples criação, através de instrumento legal (lei, decreto, resolução ou portaria), constitui apenas o primeiro passo, que deve ser seguido pela

sua regulamentação e pela implantação de um complexo sistema de gestão ambiental. Devem ser definidos criteriosamente os instrumentos gerenciais, como o zoneamento ambiental, o plano de gestão e os instrumentos fiscais e financeiros para garantir o cumprimento dos seus objetivos básicos.

2.1 – OS PARQUES AMBIENTAIS NO MUNDO

A necessidade e o desejo de preservar certas reservas naturais manifestaram-se em diversas sociedades humanas, muito mais cedo do que geralmente se acredita. Assim, num texto que hoje se tornou clássico, Platão lembrava, já no século IV a.C., o papel predominante das florestas como reguladores do ciclo da água e defensores dos solos contra a erosão.

Os motivos que levaram certas civilizações a tomarem medidas de proteção foram, no passado, os mais diversos – e muitas vezes estavam bem longe dos modernos conceitos de proteção à natureza. Isso não impede que há muitos séculos, florestas, lagos e diversas espécies animais se tenham beneficiado de uma proteção efetiva. Tais medidas foram muitas vezes originadas por tabus religiosos. As árvores e a água simbolizavam, entre outras coisas, as forças naturais e como tal eram veneradas pelas civilizações primitivas. Portanto, não é de admirar que se encontrem florestas sagradas em quase todos os países do mundo. Foi assim que na Europa, tribos autóctones ou invasores bárbaros doaram à igreja, por ocasião de sua conservação ao cristianismo, áreas florestais de diversos tamanhos: isso permitiu que muitos “retalhos” da floresta wurmiana se conservassem no seu estado primitivo. Na África e na Ásia, a associação da árvore com os diversos ritos religiosos traduziu-se pela declinação de “bosques sagrados”, que constituem, na realidade, outras tantas reservas naturais integrais.

Qualquer que seja a época ou a filosofia considerada, o pensamento ocidental, dominado pelo arquétipo judeu-cristão do homem como senhor da criação, sempre enxergou a essência do progresso na exploração desenfreada dos recursos naturais e na “antropização” tecnológica de superfícies cada vez mais extensas.

Todavia, antes mesmo que a explosão demográfica do Século XX e o esgotamento previsível de certos recursos tivessem induzido não só os ecologistas, mas também alguns economistas a questionar o dogma do homem independente da biosfera, alguns artistas, filósofos e sábios, a partir de considerações estéticas ou puramente científicas, já haviam iniciado o movimento moderno de proteção da natureza. Entre os percursos deste último, figuram os escritores do Século XVIII, êmulos do “rousseauismo”, e principalmente o célebre biólogo e geógrafo alemão Alexandre Von Humboldt (1769-1859), um dos pioneiros da

ecologia moderna. Devido à sua reflexão, impregnada da preocupação de destacar as relações entre os seres vivos e seu meio, esse naturalista foi o primeiro teórico da proteção à natureza. É a ele que se deve a expressão “monumento natural”, aplicada aos territórios de excepcional interesse biológico.

Todavia, a primeira reserva natural foi criada não por geógrafos ou biólogos, mas por um grupo de pintores franceses, que em 1853, conseguiram colocar sob a proteção da lei uma parte da floresta de Fontainebleau, a fim de conservar sua beleza, sendo essa a parte “artística”.

O ano I da história dos parques ambientais é tradicionalmente fixado em 1872. Uma lei federal, promulgada a 1^o de março desse ano, criava o primeiro parque ambiental do mundo: o de Yellowstone, em Wyoming, nos Estados Unidos. Essa lei proibia qualquer tipo de exploração suscetível de alterar o aspecto da região, a fim de conservá-la “como parque público, com fins de lazer, para o benefício e prazer do povo”.

Segundo Röper (2000), esta compreensão tem suas raízes no conceito clássico de conservação de natureza que foi desenvolvida no EUA durante o século 19. Sua idéia básica é o isolamento de grandes áreas para preservar a natureza primitiva da interferência humana. Este conceito estabelece ainda que as áreas protegidas, além da noção de “natureza primitiva”, servem também como ferramenta reguladora para o controle do espaço.

Na realidade, a primeira decisão destinada a proteger as riquezas naturais na América foi tomada pelo presidente Lincoln, quando fez com que o Congresso votasse por unanimidade, já em 1864, uma lei que colocava como reserva o vale de Yosemite (Parque Ambiental de Yosemite) e o Bosque de Mariposa, na Califórnia. O decreto confiava a esse Estado a incumbência de manter em estado natural esses dois territórios vizinhos, a fim de salvaguardar as magníficas sequóias gigantes, que estavam sendo objeto de uma escandalosa exploração.

O grande impulso para a proteção da natureza é posterior à Segunda Guerra Mundial. Em 1948, as instâncias internacionais fundaram, por intermédio das Nações Unidas, a International Union for Conservation of Nature (IUCN), que desempenhou um importante papel na promoção dos parques ambientais, como conselheiro junto aos governos interessados (Figura 2.1).

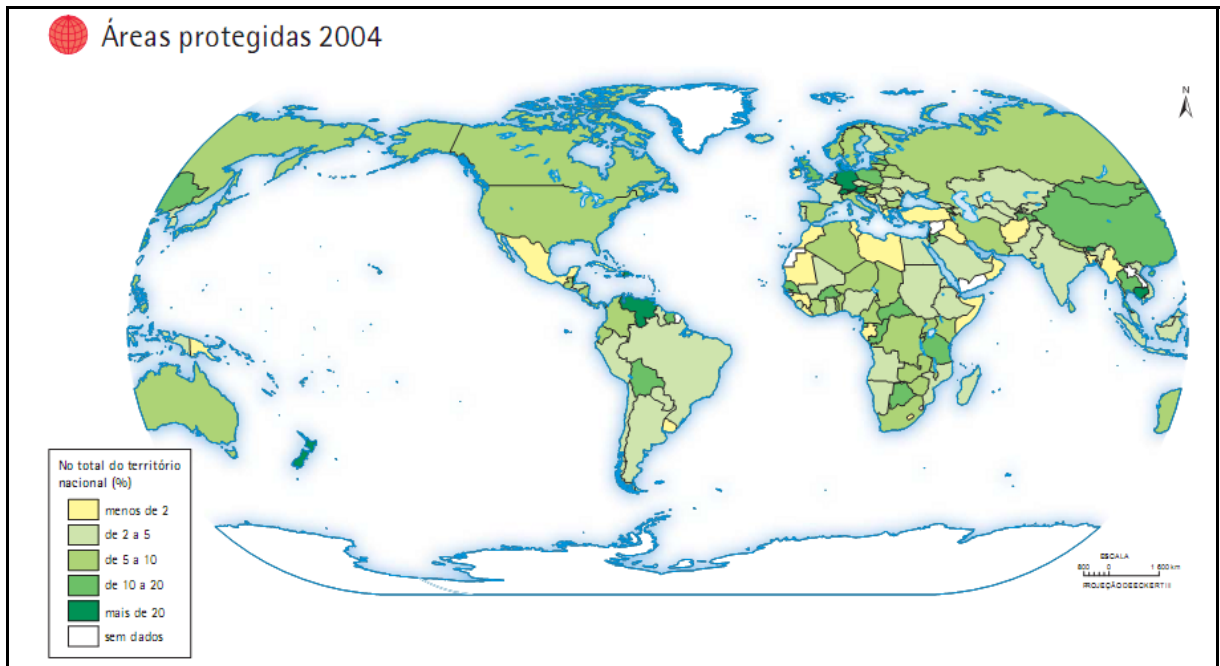


Figura 2.1 – Áreas protegidas no mundo (IBGE, 2008).

Só depois de 1945 é que foram criados, em sua maior parte, os parques ambientais da África e da Ásia – a princípio, pela administração colonial européia; depois, pelas próprias nações recém-independentes, que continuaram e, na maioria dos casos, reforçaram a obra de proteção iniciada pelos ex-colonizadores.

As primeiras reservas naturais integrais na Rússia – os “zapovedniki” – datam dos primeiros anos da revolução, no entanto só depois de 1945 é que se realizaram os maiores esforços nesse país e nas outras nações socialistas neste sentido.

Alguns territórios transformados em reservas foram consideravelmente ampliados recentemente, como o caso da Finlândia, em que o Parque Ambiental de Lammenjoki, criado em 1956, que cobria inicialmente 38.500 hectares, foi aumentado para 175.000 hectares no início desta década.

Apareceram, assim, nos Estados Unidos, em 1968 e 1970, dois enormes parques nacionais: o de Redwood – no norte da Califórnia, destinado a proteger as *Sequoia sempervirens* que crescem no litoral do Pacífico, árvores gigantescas que atingem 120 metros de altura, e o parque de North Cascade Range, no norte de Washington, junto à fronteira canadense, cobrindo cerca de 230.000 hectares.

Os Estados Unidos compreendem 391 áreas que cobrem vários estados (exceto Delaware), sendo 58 parques ambientais nacionais, os demais são: monumentos, parques militares, parques históricos, sítios históricos, parques marinhos, áreas de lazer, rios e trilhas cênicas (FANCY; GROSS; CARTER, 2008) (Figura 2.2).

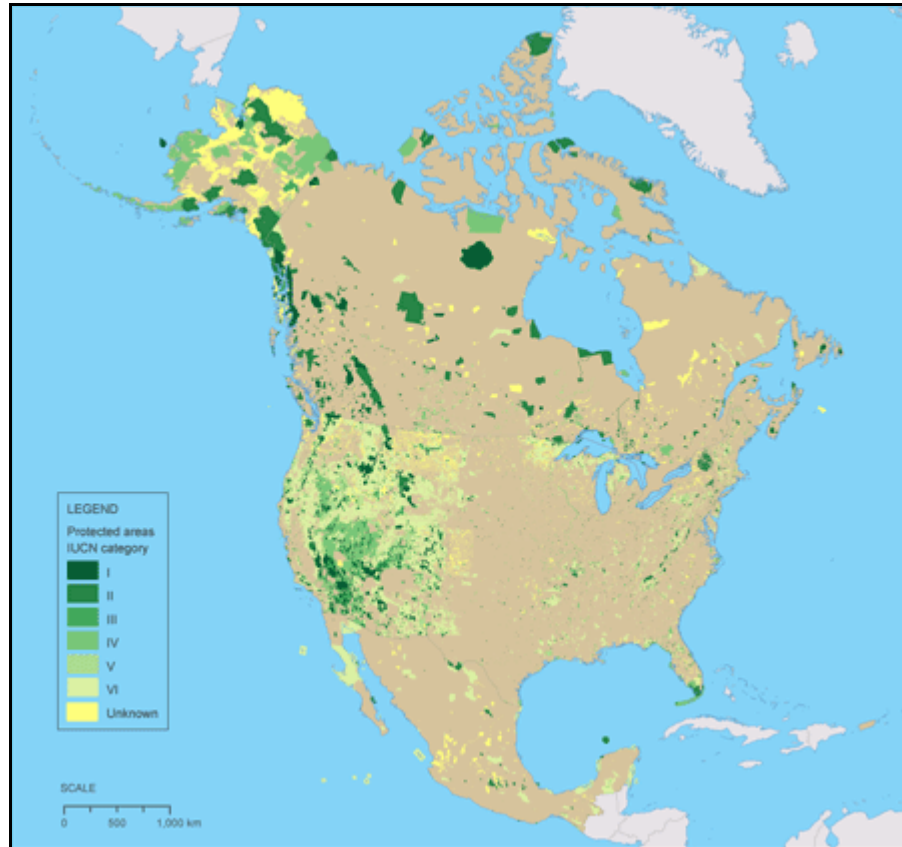


Figura 2.2 – Parques ambientais na América do Norte (COMISIÓN PARA LA COOPERACIÓN AMBIENTAL, 2008).

Em 1886, no Canadá, criou-se o Glacier National Park, que atualmente possui aproximadamente 7,6% das suas florestas em áreas protegidas e metade dessas florestas têm proteção total. As áreas protegidas ou de conservação no Canadá, incluem parques, reservas da vida selvagem, santuários da vida selvagem e outras áreas designadas pela lei federal, provincial ou territorial e geridos para fins de conservação (RESSOURCES NATURELLES CANADÁ, 1998). A Figura 2.3 mostra de forma mais detalhada, os parques ambientais no Canadá.

Logo depois do Canadá, criou-se o Royal National Park, na Austrália. Nesse sentido, vale a pena ressaltar, que a Austrália protege de maneiras eficaz suas áreas de preservação. Seus últimos trechos intactos de floresta pluvial úmida, que hoje equivalem a menos de 3% de sua superfície primitiva são prioridade absoluta. Ou seja, há uma política de tentar proteger cada centímetro ainda existente de mata, não importando a sua dimensão. Em consequência disso, há parques ambientais de todos os tamanhos, alguns com apenas 30 hectares.

Muitos ambientalistas considerariam um parque desse tamanho irrelevante do ponto de vista da preservação. De fato, considerados estritamente sob este aspecto, assim o seria. A própria IUCN recomenda que os parques tenham no mínimo 1.000 hectares; contudo, os

parques diminutos têm se mostrado muito úteis à causa da conservação. Em alguns casos, a preservação na categoria parque, de várias pequenas áreas próximas umas das outras, ou inseridas em grandes centros urbanos, as transformou em ícones da causa ambiental para os moradores desta cidade, que através da visitação a esses parques, considerados irrelevantes, passaram a ter um entendimento maior da necessidade de preservar.

Em outros casos, como o do inicialmente fragmentado Parque Ambiental de Crater Lakes em Queensland, a proteção de vários pequenos bolsões desconectados, acabou criando as condições para que, anos depois, significantes áreas de uso agropastoril fossem desapropriadas de modo a implantar-se um corredor ecológico, por meio de reflorestamento, ligando os diferentes bolsões e dando relevância ao parque como um todo. Mais do que proteger nominalmente, contudo, a Austrália assegura o manejo adequado às áreas protegidas, seja por administração direta dos Serviços de Parques, seja por meio de subdelegação às diversas municipalidades. Cria consciência ambiental na população, liga as Unidades de Conservação com corredores para outras áreas verdes e prevê zonas de amortecimento às UCs da categoria parque. Vários são os exemplos dignos de nota em Sydney, Melbourne, Adelaide e Brisbane.

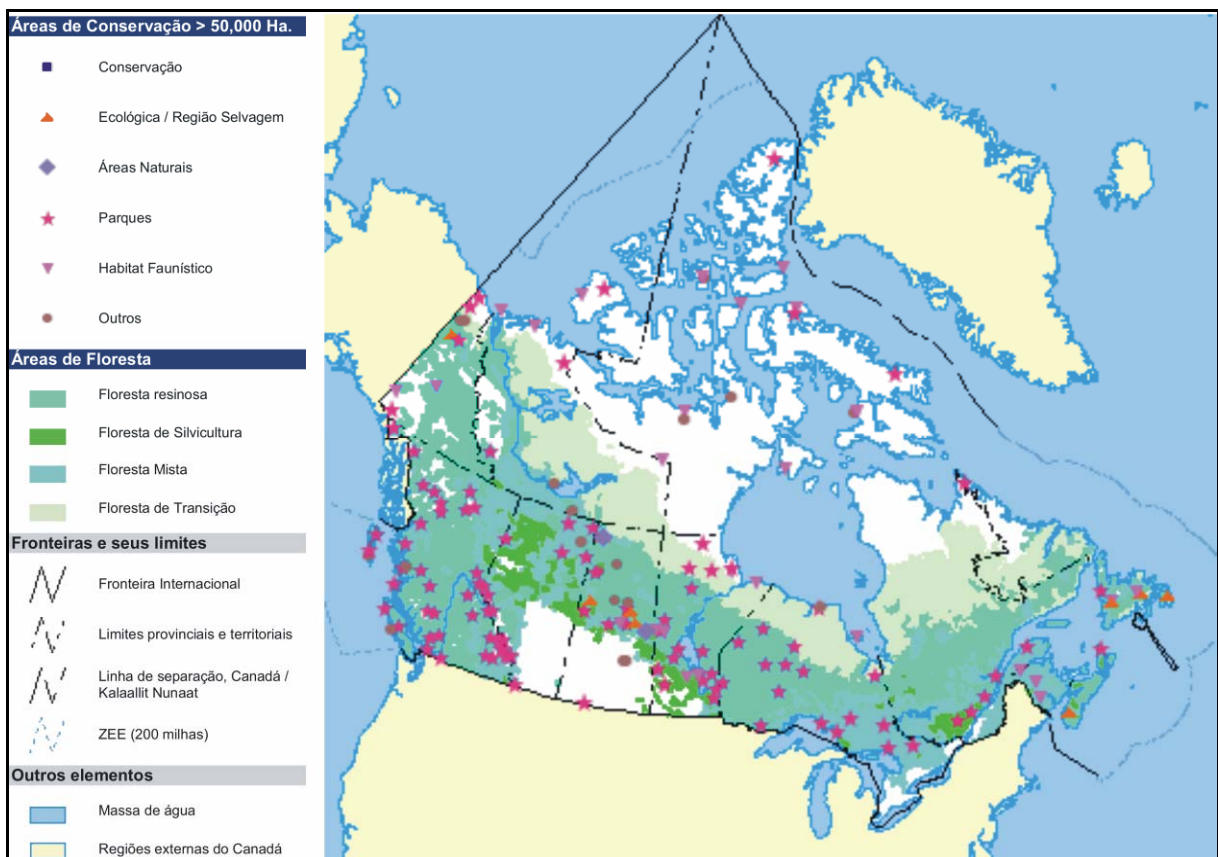


Figura 2.3 – Parques ambientais no Canadá (RESSOURCES NATURELLES CANADÁ, 1998).

Finalmente, em 1898 ocorre a fundação da Reserva Nacional Sabie, na África do Sul, que em 1926, tornou-se o célebre Parque Nacional Kruger. No ano de 1997, foi criado na África, a Peace Parks Foundation, uma entidade sem interesses comerciais para a criação de Reservas Transfronteiriças. Essa organização foi fundada pelo multimilionário sul-africano Anton Edward Rupert, que foi sócio-fundador de uma outra organização ambientalista, a World Wildlife Fund. Um dos primeiros parques fundados chama-se Kgalagadi e se situa entre a África do Sul e Botsuana.

A África possui os denominados Parques da Paz, também conhecidos por TFCAs (Transfrontier Conservation Areas) ou Áreas de Conservação Transfronteiriças e tem potencial para modificar a conservação do local e o ecoturismo. A pioneira a estimular a abertura das fronteiras foi a África do Sul. Este país já criou parques com seus vizinhos como a Namíbia, Botsuana, Zimbábue, Moçambique e Suazilândia.

Um dos maiores parques criados, no ano 2000, é o do Grande Limpopo (Figura 2.4), por onde passa um rio que dá o nome ao parque. Ele une o Parque Ambiental de Kruger, na África do Sul, o Parque Ambiental do Zimbábue, no país de mesmo nome, e parte de Gaza, em Moçambique e por esse motivo foi denominado TFCA Gaza-Kruger-Gonarezhou (PEACE PARKS FOUNDATION, 2008).

Os três países usam o turismo para modificar a região economicamente, já que essa região foi muito afetada com a guerra civil, principalmente em Moçambique. A flora e a fauna local foram devastadas, a ponto de não haver um só animal em um raio de quilômetros. O parque tem um projeto para a reintegração dos ecossistemas e de recuperação da fauna e flora local, além de amenizar os conflitos populacionais tentando trazer uma idéia de um convívio mais harmonioso do homem com o meio onde vive.

Um dos principais mecanismos de proteção da terra africana é o apoio à conservação de áreas protegidas, como parques nacionais e reservas. Apesar de possuir grandes parques ambientais na África Oriental e Austral, essas áreas protegidas enfrentam muitos desafios. Muitas estão subfinanciadas, o que torna difícil para as autoridades implementar medidas eficazes de conservação, pois há a presença de caçadores e animais domesticados que vagam em terras protegidas, concorrendo com a vida selvagem por água e comida.

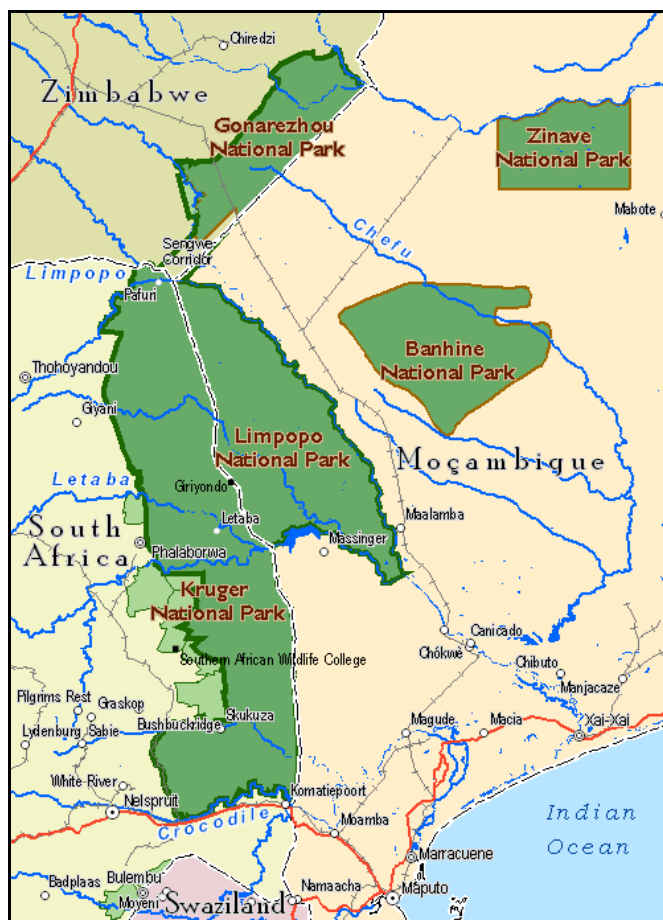


Figura 2.4 – Grande Limpopo, o maior parque ambiental criado na África (PEACE PARKS FOUNDATION, 2008).

Na Europa Ocidental, o movimento de conservação da natureza manifesta um grande atraso em relação às realizações concretas da América do Norte. A Suécia foi a primeira a criar, desde 1909, uma rede de parques ambientais; entre os quais os de Sarek e o de Stora Sjöfallet, na Lapônia. Hoje conta com 28 Parques Ambientais Nacionais e mais de 3000 áreas de reserva (WORLD WILDLIFE FUND, 2008) (Figura 2.5).

Foi seguida de perto pela Suíça, que em 1915, criou o Parque Ambiental de Engadine. Convém sublinhar que foi este o primeiro território a beneficiar-se de medidas de proteção tomadas por causa de seu interesse científico.

A França apresenta um considerável atraso, nesse domínio, em relação a seus vizinhos germânicos, anglo-saxões, e mesmo latinos. Entre as duas grandes guerras mundiais, enquanto parques e reservas se multiplicavam no mundo todo – e não apenas na Europa – a única realização francesa foi a criação, em 1928, da reserva zoológica e botânica de Camargue. Ainda assim, deve-se precisar que ela não se deve aos poderes públicos, mas a uma organização particular, de caráter filantrópico: a Sociedade Nacional de Proteção à Natureza. Dessa maneira, foi preciso esperar até 1963 para que se fundasse o primeiro parque

ambiental francês: o de Vanoise. A partir daí, quatro parques ambientais, além do de Vanoise, surgiram a partir de 1963 (Port-Cros, Cévennes, Pyrénées, Écrins).



Figura 2.5 – Parques ambientais na Suécia (WORLD WILDLIFE FUND, 2008).

Atualmente, a França tem um sistema de nove parques ambientais nacionais em toda a França Metropolitana e dos seus departamentos ultramarinos, mantido pela agência governamental, os Parcs Nationaux de França. Os parques ambientais franceses protegem uma área total de 3.710 km² em zonas centrais e 9.162 km² em zonas secundárias da França Metropolitana. Isto coloca mais de 2% do total da área metropolitana da França sob algum nível de proteção (COMISIÓN PARA LA COOPERACIÓN AMBIENTAL, 2008) (Figura 2.6).

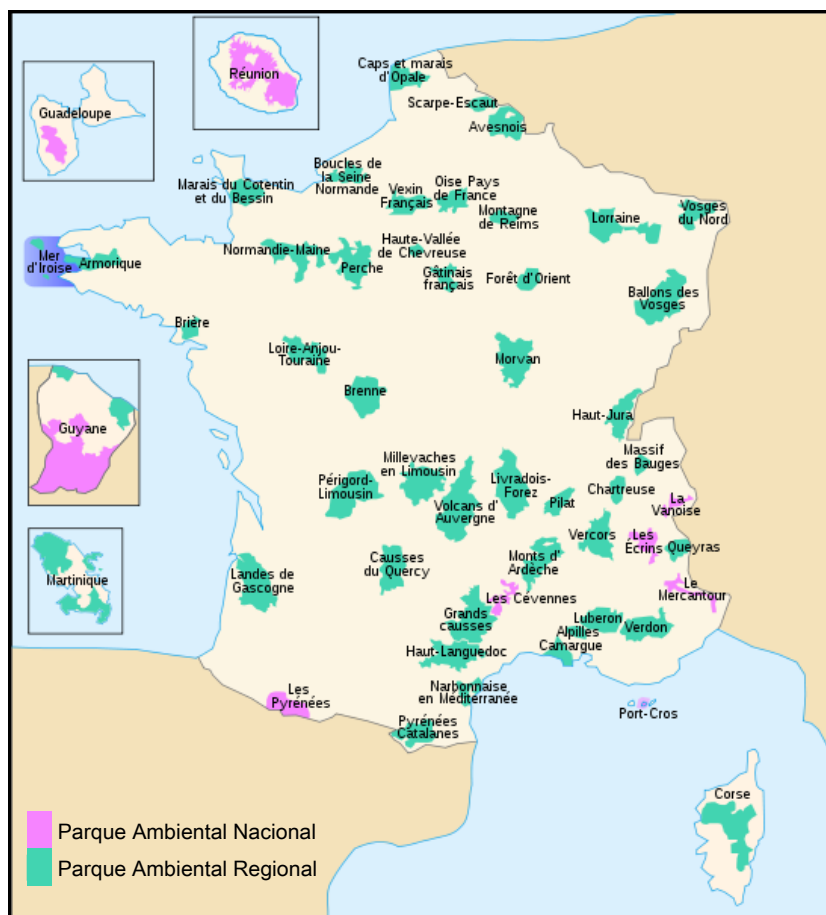


Figura 2.6 – Parques ambientais na França (COMISIÓN PARA LA COOPERACIÓN AMBIENTAL, 2008).

Ao longo do último decênio, manifestou-se uma nítida aceleração no empreendimento de criação de parques ambientais – particularmente devido ao estímulo da Conferência de Paris, na Unesco, em 1968, intitulada a “Ação do Homem sobre a Biosfera”. Numerosos países que já dispunham de uma sólida rede de parques, reforçaram os já existentes e criaram novos (UNITED NATIONS EDUCATIONAL, SCIENTIFIC AND CULTURAL ORGANIZATION-UNESCO, 2008).

2.2 – OS PARQUES AMBIENTAIS NO BRASIL

A política ambiental atual brasileira não tem evitado a perda da diversidade biológica, o descaso quanto aos recursos hídricos, destruição de áreas de preservação e conservação ambiental e outros efeitos, colocando o país como um dos piores, quando se trata da conservação ambiental.

Na verdade as abstrações sobre o papel crucial em relação ao homem com os ecossistemas, não são as únicas generalizações que se podem fazer sobre as mútuas

interações. Devem ser consideradas as alterações produzidas em determinados caracteres metabólicos dos ecossistemas, como seus limites e seus mecanismos auto-reguladores, assim como o resultado das manipulações que o homem exerce sobre a natureza. Além de entender a transformação dos sistemas ecológicos naturais nos processos aplicados aos recursos, cuja consequência para a paisagem geralmente se identifica com a utilização da terra na maioria dos casos.

A Conferência do Rio-92 produziu documentos fundamentais ao conceito de desenvolvimento sustentável (PHILIPPI JR; PELICIONI, 2005), entre os quais:

I - Declaração do Rio de Janeiro sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento ou Carta da Terra (*Earth Charter*). Constituída por 27 princípios básicos, busca uma nova e justa parceria global, mediante a criação de novos níveis de cooperação entre os estados, envolvendo também os setores mais importantes da sociedade e a população, assim como a Declaração de Estocolmo (1972), mas que não possuía força legal;

II - Declaração sobre Florestas;

III - Convenção sobre a Diversidade Biológica, cujos objetivos são a conservação da diversidade biológica, o uso sustentável de seus componentes e a divisão justa e equitativa dos benefícios alcançados pela utilização de recursos genéticos;

IV - Convenção Quadro sobre Mudanças Climáticas, com a proposta de estabilizar os níveis de concentração dos “gases estufa”, de forma a prevenir as perigosas interferências humanas nos sistemas climáticos;

V - Agenda 21, um amplo programa de ação com a finalidade de dar efeito prático aos princípios aprovados na Declaração do Rio.

Em 1997 foi realizada a chamada Conferência Rio+5 que avaliou os resultados da Conferência de 1992 e que reiterou a necessidade dos países perseguirem o desenvolvimento sustentável.

A Constituição de 1988 introduziu pela primeira vez na história do País, um capítulo específico sobre meio ambiente, considerando-o como um bem comum do povo e essencial à

sadia qualidade de vida, impondo ao poder público e à coletividade o dever de preservá-lo para as gerações presentes e futuras.

Em nível nacional, em decorrência da Conferência das Nações Unidas para o Meio Ambiente e Desenvolvimento (Rio 1992) foi criada, no âmbito do Ministério do Planejamento e Orçamento, pelo Decreto Nº 1.160, de 21 de junho de 1994, a Comissão Interministerial sobre Desenvolvimento Sustentável (CIDES), tendo como principais objetivos promover a compatibilização entre os principais capítulos e programas da Agenda 21 e assessorar o Presidente da República na tomada de decisões sobre as estratégias e políticas nacionais necessárias ao desenvolvimento sustentável (BRASIL, 1994).

No âmbito de sua competência está a proposição de estratégias, políticas nacionais necessárias e instrumentos legais necessários à implementação das atividades programadas na Agenda 21 e de obrigações advindas de acordos e convenções internacionais (referentes ao desenvolvimento sustentável), além de critérios e prioridades nacionais para a obtenção de recursos financeiros, técnicos e tecnológicos para a implementação da Agenda 21.

A adequada gestão do imenso patrimônio ambiental brasileiro constitui tarefa complexa, razão pela qual a Política Nacional de Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação foram dispostos em lei específica, a Lei Nº 6.938, de 31 de agosto de 1981 (BRASIL, 1981).

A Política Nacional de Meio Ambiente tem por objetivo a preservação, melhoria e recuperação da qualidade ambiental propícia à vida, visando a assegurar no País, condições ao desenvolvimento socioeconômico, aos interesses da segurança nacional e à proteção da dignidade da vida humana, atendendo aos seguintes princípios:

I - ação governamental na manutenção do equilíbrio ecológico, considerando o meio ambiente como um patrimônio público a ser necessariamente assegurado e protegido, tendo em vista o uso coletivo;

II - racionalização do uso do solo, do subsolo, da água e do ar;

III - planejamento e fiscalização do uso dos recursos ambientais;

IV - proteção dos ecossistemas, com a preservação de áreas representativas;

V - controle e zoneamento das atividades potencialmente ou efetivamente poluidoras;

VI - incentivos ao estudo e à pesquisa de tecnologias orientadas para o uso racional e a proteção dos recursos ambientais;

VII - acompanhamento do estado da qualidade ambiental;

VIII - recuperação de áreas degradadas;

IX - proteção de áreas ameaçadas de degradação;

X - educação ambiental em todos os níveis do ensino, inclusive a educação da comunidade, objetivando capacitá-la para a participação ativa na defesa do meio ambiente.

Como mecanismo de formulação da Política Nacional de Meio Ambiente, a Lei Nº 6.938 constituiu o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), instância decisória colegiada, presidida pelo Ministro de Estado do Meio Ambiente, dos Recursos Hídricos e da Amazônia Legal (MMA) e integrada por representantes dos demais Ministérios setoriais, Governos estaduais, Distrito Federal, Confederações Nacionais de Trabalhadores na Indústria, no Comércio e na Agricultura, dentre outros (BRASIL, 1981).

Para aplicação da Política, instituiu o Sistema Nacional do Meio Ambiente (SISNAMA), composto pelos órgãos e entidades da União, dos Estados, do Distrito Federal, dos Municípios e pelas fundações instituídas pelo Poder Público, responsáveis pela proteção e melhoria da qualidade ambiental, tendo como seu Órgão Superior o Conselho Nacional do Meio Ambiente.

São considerados como instrumentos da Política Nacional de Meio Ambiente, o estabelecimento de padrões de qualidade ambiental; o zoneamento ambiental; a avaliação de impactos ambientais; o licenciamento e a revisão de atividades efetivas ou potencialmente poluidoras; os incentivos à produção e instalação de equipamentos e a criação ou absorção de tecnologia, voltadas para a melhoria da qualidade ambiental; a implantação de reservas, parques ecológicos e áreas de proteção ambiental pelo Poder Público Federal, Estadual e Municipal; o sistema nacional de informações sobre o meio ambiente; o cadastro técnico federal de atividades e instrumentos de defesa ambiental; e as penalidades disciplinares ou compensatórias ao não cumprimento das medidas necessárias à preservação ou correção da degradação ambiental.

Com essas medidas, o Brasil, no que se refere à questão ambiental, vem mudando de patamar, ultrapassando a sua fase heróica e resistente, na qual o ambientalismo e o desenvolvimentismo eram tidos como adversários. Nesse sentido, a internalização dos novos conceitos de desenvolvimento sustentado iniciou um novo ciclo, baseado na formulação e na implantação de políticas ambientais, assim como na busca da negociação e do entendimento entre a preservação ambiental e os processos de produção.

Os parques ambientais brasileiros são criados através de decreto federal específico, promulgado pelo Presidente da República. O embasamento legal para a sua criação é o artigo 5º do Código Florestal – Lei Nº 4.771, de 15 de setembro de 1965, que estabelece que o Poder Público criará Parques Ambientais Nacionais, Estaduais e Municipais e Reservas Biológicas, com a finalidade de resguardar atributos excepcionais da natureza, conciliando a proteção integral da flora, da fauna e das belezas naturais, com a utilização para objetivos educacionais, recreativos e científicos. O parágrafo único desse artigo proíbe qualquer forma de exploração dos seus recursos naturais (FARIAS; LIMA, 1991).

Com base nessa lei, surge o Regulamento dos Parques Nacionais Brasileiros aprovado através do Decreto Nº 84.017, de 21 de setembro de 1979 (BRASIL, 1979), que em seu artigo 1º, definiu mais claramente esse tipo de Unidade de Conservação:

1º - Para os efeitos deste Regulamento, consideram-se Parques Nacionais, as áreas geográficas extensas e delimitadas, dotadas de atributos naturais excepcionais, objeto de preservação permanente, submetidas à condição de inalienabilidade e indisponibilidade no seu todo;

2º - Os Parques Nacionais destinam-se a fins científicos, culturais, educativos e recreativos e criados e administrados pelo Governo Federal, constituem bens da União destinados ao uso comum do povo, cabendo às autoridades, motivadas pelas razões de sua criação, preservá-los e mantê-los intocáveis;

3º - O objetivo principal dos Parques Nacionais reside na preservação dos ecossistemas naturais englobados contra quaisquer alterações que os desvirtuem.

Além de prever a criação de Parques Nacionais, o Código Florestal também protege as florestas reconhecidas de utilidade às terras que revestem e as declara bens de interesse comum a todos os habitantes do país (MORAES; TUROLLA, 2004).

Pelo artigo 2º do Código Florestal, são consideradas áreas de preservação permanente, as florestas e outras formas de vegetação natural situadas ao longo dos rios ou qualquer curso d'água, desde seu nível mais alto em faixa marginal, cuja largura mínima seja: a) de 30 m para cursos d'água de menos de 10 m de largura; b) de 50 m para cursos d'água que tenham de 10 m a 50 m de largura; c) de 100 m para cursos d'água que tenham de 50 m a 200 m de largura; d) de 200 m para cursos d'água que tenham de 200 m a 600 m de largura; ao redor de lagoas, lagos ou reservatórios d'água naturais ou artificiais e num raio de 50 m de largura ao redor das nascentes de rios qualquer que seja sua situação topográfica; nos topos de morros, montes, montanhas e serras; nas encostas ou parte destas com declividade superior a 45º; em altitude maior que 1.800 m para qualquer que seja a vegetação (VENTURA; RAMBELLI, 1996).

Em julho de 2001, foi sancionado o Estatuto da Cidade, lei que define uma nova regulamentação para o uso do solo urbano. Ela prevê mecanismos como cobrança de IPTU progressivo de até 15% para terrenos ociosos, a simplificação da legislação de parcelamento, uso e ocupação do solo, de modo a aumentar a oferta de lotes e a proteção e a recuperação do meio ambiente urbano.

Segundo ambientalistas, o Estatuto da Cidade poderá trazer benefícios ambientais aos grandes centros urbanos, ao estimular a instalação da população de baixa renda em áreas com infraestrutura. Com isso, diminuiria a tendência dos setores sociais excluídos ocuparem áreas frágeis ou precárias do ponto de vista ambiental, como mangues, encostas de morro, zonas inundáveis e entornos de áreas de preservação (FILHO, 2008).

Para Zahler (1988), embora seja ampla e avançada, ficando no mesmo nível dos países desenvolvidos, a legislação ambiental brasileira tem o seu conhecimento e interpretação dificultados por uma diversidade e superposição de leis e decretos que renovam e derogam os anteriores, causando confusão.

Na opinião de Oliveira e Kacowicz (1984), a fiscalização deve ser de competência dos estados (até mesmo dos municípios), pois a eles cabe a tarefa de licenciar a maioria das atividades que diz respeito aos recursos naturais, bem como ao parcelamento do solo, aos assentamentos humanos e à declaração de áreas de interesse especial, como reservas ecológicas e áreas de proteção ambiental. A descentralização facilitaria a adoção de medidas de utilização racional dos recursos naturais.

Todo o aparato de instrumentos legais existente, deveria ser suficiente para garantir a conservação, preservação e utilização racional dos recursos naturais, apesar de existirem controvérsias, como abordado anteriormente. Deve-se ressaltar que, retirando as áreas de

contato com o público, de implementos urbanos e de administração, que deverão ser conservadas e utilizadas racionalmente, faz-se necessário que as unidades de preservação ambiental sejam mantidas, em seu estado natural, permanentemente, tendo proteção integral e assegurando ao máximo possível a intocabilidade das mesmas, com exceção às pesquisas científicas, desde que não coloquem em risco os ecossistemas preservados.

Na regulamentação dos parques ambientais, esta define e considera estes como áreas geográficas extensas e delimitadas, dotadas de atributos naturais excepcionais, objeto de preservação permanente, submetidas à condição de inalienabilidade e indisponibilidade no seu todo. No caso dos parques ambientais localizados em áreas urbanas, a sua pequena extensão, não se compara às extensas áreas que são reservadas para os parques nacionais. No entanto, esta característica não impede que a regulamentação destes, seja utilizada num parque municipal, através de sua adequação. Esta, por sua vez, fez-se através da realidade vivida pelo parque atualmente, ou seja, uma realidade discordante daquela que se espera de uma área de preservação ambiental. E é em virtude desta situação, que a regulamentação do parque é necessária, para que a legislação ambiental seja respeitada ao máximo, já que o homem não consegue viver sem leis que o proteja ou que o condene, pelas suas ações positivas ou negativas.

O Brasil, maior país da América Latina e quinto do mundo em área territorial, compreendendo 8.511.996 km², com zonas climáticas variando do trópico úmido a áreas temperadas e semi-áridas, é certamente o país detentor do maior patrimônio de biodiversidade (e sóciobiodiversidade) do planeta. Mais de 16% do território brasileiro, corresponde a áreas de proteção ambiental (sendo 5,22% em unidades de conservação federais, tais como parques e reservas ecológicas e extrativistas e 11,12% em áreas indígenas) (BRASIL, 2002; VALLEJO, 2005).

A primeira área considerada de preservação ambiental criada no Brasil, foi o Parque Nacional de Itatiaia (RJ), em 1937. Desde então, as unidades de conservação multiplicaram-se, chegando a mais de 33 milhões de hectares há 10 anos (IBGE, 2008) (Figura 2.7).

Por suas características, os Parques Ambientais do Brasil se assemelham aos Parques Naturais de Portugal, aos Parques Nacionais da Inglaterra, França e Espanha e às "Landschaftsschutzgebiet" ou Áreas de Proteção à Paisagem da Alemanha (VALLEJO, 2002).

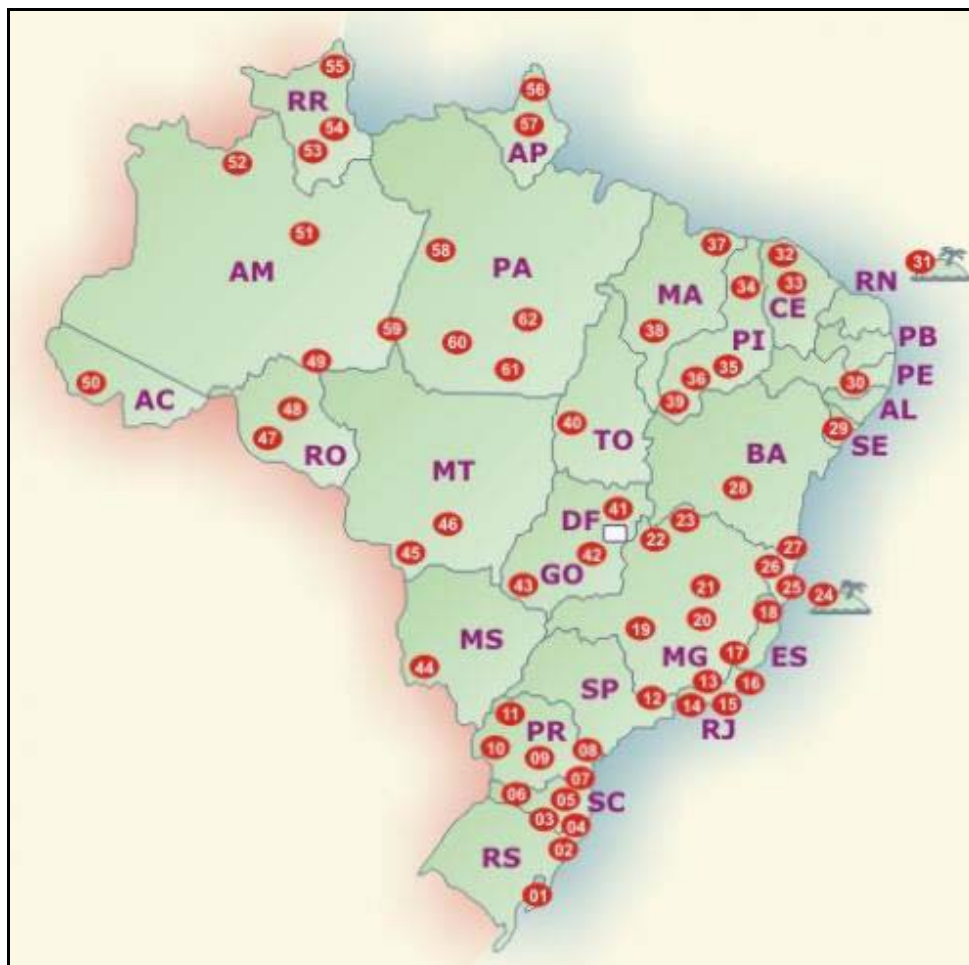


Figura 2.7 – Parques ambientais no Brasil (IBGE, 2008).

No mundo e no Brasil, a preservação e conservação da biodiversidade, neste final de século, são temas constantes de discussões e preocupações. Dentro do contexto da realidade brasileira, alguns Estados têm hoje papel de vanguarda na implementação de propostas e ações, desenvolvendo um trabalho de educação e conscientização ambiental. A base desse trabalho está na crença de que pouco adianta decretos, leis, cercas e delimitações, sem a participação do cidadão consciente, porque é dele que depende a perpetuação de nossos ecossistemas.

Essa filosofia criou um comprometimento não só dos dirigentes estaduais, como também das prefeituras municipais e da própria sociedade, onde cada um assume a responsabilidade de cumprir com o seu papel na proteção da natureza.

Atualmente, o país possui 42 parques nacionais sendo 35 abertos à visitação, ocupando uma área maior que 10 milhões de hectares. Alguns são muito conhecidos como o Parque Nacional do Itatiaia, o primeiro a ser criado, e o Parque Nacional do Iguaçu, considerado Patrimônio da Humanidade pela Unesco. Além de ainda existir raridades ainda não descobertas em sua potencialidade como o Parque de Ubajara, no Ceará, onde fica a bela

gruta de Ubajara e o de Aparados da Serra, na divisa dos estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina que abriga uma importante área de Mata Atlântica e o cânion do Itaimbezinho que se destaca por sua grandiosidade (BRASIL, 2007).

Além desses, outro exemplo, é o Parque Ambiental do Araguaia, com seus 560 mil hectares, criado em 1959 e que significou uma grande aquisição em termos de área protegida, servindo também como modelo para a preservação de outros grandes parques. Tem também o Parque Ambiental da Amazônia, com um milhão de hectares, o do Pico da Neblina, com 2,2 milhões de hectares e o do Jaú, o maior de todos, com quase 2,3 milhões de hectares, todos localizados no Estado do Amazonas (BRASIL, 2007).

De acordo com BRASIL (2007), a maioria dos parques ambientais estão juntos à vegetação da Mata Atlântica, porém, em área territorial, é na Floresta Amazônica que ficam reunidos os mais extensos. Na caatinga não existe nenhum deles, no Pantanal há apenas o do Pantanal Mato-grossense, e no cerrado alguns outros menores como o das Emas. Há também outros dois importantes parques localizados no meio do mar, os Parques Ambientais Marinhos de Abrolhos e o de Fernando de Noronha.

Ainda segundo Brasil (2007), o parque ambiental mais visitado no Brasil é o da Tijuca no Rio de Janeiro (também o maior urbano do mundo), que recebe cerca de 1,5 milhões de turistas por ano, onde o sucesso é garantido pela presença do Cristo Redentor, localizado dentro de seus limites. Em segundo lugar está o Parque Nacional de Foz do Iguaçu, que também possui mais de um milhão de visitas.

Atualmente, o Paraná é o Estado brasileiro que mais investe na implementação e proteção de áreas de preservação, possuindo 52 unidades de conservação estaduais e 9 federais. Os 9.000 Km² do seu território estão protegidos pela aplicação correta de uma série de leis federais e estaduais e pela criação de nove parques ambientais estaduais, duas Áreas de Proteção Ambiental (APAs), uma reserva, duas estações ecológicas e duas áreas especiais, uma de interesse turístico e outra de interesse ecológico (BRASIL, 2007).

2.2.1 – O Parque Estadual do Utinga - PEUt

Ao se fazer um estudo histórico sobre a implantação do PEUt, se requer que anteriormente se tenha o conhecimento de como se processou o abastecimento público de água de Belém, em particular pelos atuais mananciais superficiais de abastecimento da RMB, passando posteriormente pelo entendimento sobre quais as leis, decretos e resoluções foram adotados visando a criação e proteção dessa importante área de preservação.

Inicialmente na cidade de Belém, no período colonial, o consumo de água se dava em “fontes de águas cristalinas” da qual bebiam os capitães gerais e, depois por poços abertos, à medida que os colonos saíram do Forte do Castelo para o desbravamento da cidade (CRUZ, 1944).

Já em 1801, uma bica de pedra foi construída para servir não só aos moradores de seu entorno, como também adjacências. Segundo Cruz (1944), nesta época existiam dez poços públicos e alguns particulares, que eram também cedidos ao público. A água até então era vendida pelos chamados “aguadeiros” (pessoas que vendiam águas em pipas) que eram em sua maioria portugueses. Em 30 de abril de 1869, um contrato para o fornecimento de água canalizada foi assinado. A “Companhia das Águas do Grão-Pará” teve direitos para a realização do encanamento da água potável, pelo decreto Nº 8.243, de 3 de setembro de 1881 (CRUZ, 1944).

O Utinga foi o manancial escolhido e indicado pela comissão de engenheiros nomeada pelo presidente Gama Malcher, em 1880, após estudos que indicaram uma produção de cerca de nove milhões de litros de água no inverno e perto de quatro milhões no verão. Inicialmente foi feita a demarcação da área, que deveria ser desapropriada como item necessário à conservação dos mananciais.

No sentido de se aumentar a produção de água no Utinga, foi construída uma represa de toda a bacia do Utinga e de muros ao longo da vala que conduzia as águas de três nascentes, a fim de melhor aproveitá-las. Em, 1902 foram concluídas as obras do Utinga e a captação de água deste manancial (CRUZ, 1944).

Em 1930, foram efetuados os primeiros estudos topográficos e geológicos de zonas circunvizinhas do Utinga, determinando-se então, o Plano Geral de Captação das Nascentes. Originalmente a rede hidrográfica da área era constituída por três pequenos cursos d’água independentes: o rio Murucutu e seus formadores (igarapés Utinga e Buiussuquara) e os rios Catú e Água Preta (PARÁ, 1995). Na ocasião, apenas um dos terrenos, onde estavam localizadas as nascentes do igarapé Catú, foi desapropriado em 1910.

Em 1931, foi construído nos mananciais do Utinga, o canal entre os dois lagos, para que as águas do lago Água Preta convergissem para o Lago Bolonha e, então juntos aumentassem a vazão destinada ao consumo de Belém, cujo volume de 1.600.000 litros já se mostrava insuficiente para atender a demanda. Após a construção do novo canal, em 1936, foi construída a Estação de Tratamento de Água e posteriormente, devido ao grande crescimento demográfico de Belém, foi instalada uma bomba de recalque para captar água do Rio Guamá e completar o abastecimento, visto que o sistema dos lagos do Utinga já não atendia na época

de estiagem. Em 1968, procedeu-se a ampliação da capacidade de bombeamento, agregando outro sistema de bombas e aumentando o diâmetro da adutora entre o rio Guamá e o Utinga.

Segundo IDESP (1991), não foram realizados estudos ecológicos para avaliar a significância e magnitude dos impactos gerados pelas obras de engenharia executadas, bem como a obtenção de informações concretas a respeito de como os procedimentos de captação adotados iriam afetar o ambiente e comprometer, a longo prazo, a qualidade e a quantidade de água destinada ao consumo da população local.

A presença de uma represa em uma área antes ocupada por vegetação terrestre é gerada a partir de inúmeras transformações ambientais que podem afetar o ambiente terrestre e aquático, influenciando acentuadamente na qualidade das águas represadas, particularmente se esta água é destinada ao abastecimento público.

A preocupação com gestão das águas na década de 60 ficou a cargo do Departamento de Água e Esgoto, criado em 1962. A degradação ambiental da área dos mananciais do Utinga foi agravada em 1966, quando a estrada de ferro “Belém-Bragança” que tinha sido construída em 1883, cortando algumas nascentes, na parte superior do lago Água Preta, fora desativada, dando lugar à construção da Rodovia BR-316, que se tornaria rapidamente no principal eixo de expansão da cidade de Belém, acelerando o processo de ocupação urbana ao norte dessas bacias hidrográficas formadoras dos mananciais. Em 1968, novas obras foram feitas, com a ampliação dos sistemas de bombas e do aumento do diâmetro da adutora do Rio Guamá (IDESP, 1991).

Tradicionalmente, as preocupações das políticas e estratégias governamentais paraenses concentravam-se somente na ampliação do fornecimento, mas diante da contínua preocupação com as possibilidades de um agravamento da degradação ambiental provocada pela expansão do eixo urbano da cidade ao norte das bacias, foi realizado em 1982 pela COSANPA, o “Diagnóstico do Estudo Urbanístico dos Lagos Bolonha e Água Preta” dada à elevada importância dos resultados obtidos com o diagnóstico dessas bacias.

Em 1987, preocupada com a crescente ameaça de poluição dos mananciais, mesmo após a adoção de medidas de proteção em 1984, foi proposto pela Prefeitura Municipal de Belém, o Plano Diretor dos Parques do Utinga (PDPU), desenvolvido sob a coordenação da Companhia de Desenvolvimento Metropolitano - CODEM, em convênio com os órgãos federais: EMBRAPA, FCAP, MPEG e IBDF, tendo como objetivo principal “fornecer subsídios para o estabelecimento de critérios a serem adotados à ocupação e uso do solo da região, visando atender às necessidades de proteção aos mananciais da cidade e ao aproveitamento do seu potencial paisagístico” (BORDALO, 2006).

Em 1994, foi inaugurada uma nova adutora de água bruta do Rio Guamá para os lagos, com capacidade de 1.750 metros, aumentando a vazão destinada aos lagos Água Preta e Bolonha no intuito de garantir, assim, um volume médio suficiente ao abastecimento de parte da população da cidade de Belém.

A implantação das políticas voltadas à proteção dos recursos hídricos, em particular nos mananciais superficiais da RMB, passa pelo entendimento sobre quais as leis, decretos e resoluções foram adotados culminando com a criação do PEUt.

As primeiras iniciativas surgiram em 1984, através do Decreto Estadual Nº 3.251, que ao considerar a importância vital da manutenção da qualidade da água do sistema de abastecimento para a população e conseqüente necessidade de se eliminar os riscos de contaminação advindos da ocupação do solo no entorno dos mananciais desapropriou uma área com dimensão de 1.598,10 hectares, instituindo uma área de proteção especial para os mananciais da RMB que alcançou parte dos municípios de Belém e Ananindeua e que foi denominada Área de Proteção Sanitária – Lago Bolonha e Água Preta (PARÁ, 1984a).

Já o Decreto Nº 3.252 também do mesmo ano, definiu como área de proteção especial para fins de preservação dos mananciais da RMB, os terrenos que integram as bacias hidrográficas e a área de proteção sanitária dos lagos Bolonha e Água Preta, em Utinga, com áreas aproximadas de 1.825,20 hectares e 1.598,10 hectares, respectivamente. Esse decreto, também impôs medidas regulatórias quanto à ocupação e ao uso do solo mais rigorosas, numa tentativa de disciplinar os lotes mínimos de ocupação e a densidade populacional na área (PARÁ, 1984b).

Três anos depois, em 1987, foi publicado o Plano Diretor dos Parques do Utinga (PDPU), coordenado pela CODEM. O objetivo principal do trabalho era o de fornecer subsídios para o estabelecimento de critérios a serem adotados para a ocupação e uso do solo da região, visando atender as necessidades de proteção aos mananciais da cidade e ao aproveitamento de seu potencial paisagístico.

O plano propôs a época, criar o Parque dos Lagos na Área de Proteção Sanitária, afirmando que a delimitação do parque não abrangia toda a bacia de contribuição, situação que seria considerada ideal, pela impossibilidade de remanejar a intensa ocupação já existente. Seria usada então, a nova lei de uso do solo de Belém para, junto aos projetos de saneamento, ajustar o entorno às atividades do parque.

Somente em janeiro de 1988, finalmente uma importante medida legal, objetivando a preservação dos mananciais do Utinga, foi adotada pela Prefeitura de Belém, quando da criação de uma Zona de Preservação dos Recursos Naturais – ZPRN, Art. 31 da Lei Nº 7.401,

alterada pela Lei Nº 7.452 de julho do mesmo ano, que dispôs sobre a Política Municipal de Desenvolvimento Urbano, definindo os tipos de uso e ocupação do solo urbano. Na ZPRN criada na área dos mananciais, face às suas peculiaridades e vocação, a densidade populacional deveria ser igual a zero (BORDALO, 2006).

Ainda segundo Bordalo (2006), em 1992, foi retomada a oportunidade de intervenção na área. O Decreto Estadual Nº 670 determinou a atualização do Plano Diretor do Parque do Utinga, criando para tal uma comissão governamental integrada pela SECTAM (Secretaria de Estado de Ciência, Tecnologia e Meio Ambiente), COSANPA (Companhia de Saneamento do Pará), PARATUR (Companhia Paraense de Turismo) e IDESP (Instituto de Desenvolvimento Econômico, Social e Ambiental do Pará).

Em 1993, o Estudo para Proteção Ambiental dos Mananciais do Utinga e Áreas Adjacentes, desenvolvido pela Secretaria de Estado de Ciência, Tecnologia e Meio Ambiente indicou que os mananciais de abastecimento de água de Belém necessitavam de urgente proteção e estabeleceu que a forma mais adequada de proteger esses mananciais se daria pela implantação de uma Área de Proteção Ambiental (APA).

O que foi definido através do Decreto Nº 1.551, de 03 de maio de 1993, implantando a Área de Proteção Ambiental dos Mananciais de Abastecimento de Água de Belém - APA Belém, visando principalmente assegurar a potabilidade da água dos mananciais, através da restauração e da manutenção da qualidade ambiental dos lagos Água Preta e Bolonha, do rio Aurá e respectivas bacias hidrográficas. Dentre as zonas a serem estabelecidas pela APA, foi recomendada a criação de um parque ambiental no Utinga, compreendendo uma zona de uso especial dentro dos limites da área da COSANPA, sendo recomendável uma gestão junto a EMBRAPA no sentido de dirimir pendências fundiárias (PARÁ, 1993a).

No mesmo ano, o Decreto Estadual Nº 1.552 criou o Parque Ambiental de Belém tendo entre outros objetivos: assegurar a potabilidade da água através do manejo dos mananciais e da recuperação das áreas degradadas e ampliar a vida útil dos lagos (PARÁ, 1993b).

Em 1996, o Decreto Estadual Nº 1.042 alterou o Decreto Nº 1.985, de 1993, criando o Conselho Gestor da APA/Belém e do Parque Ambiental de Belém, assegurando a participação no Conselho Gestor de órgãos ou entidades federais e municipais, que direta ou indiretamente atuam na administração e controle da APA/Belém, assim como a participação de organizações não governamentais (PARÁ, 1993c).

Através da Lei Nº 6.116, em 1998, houve a proibição de construção de unidades habitacionais às proximidades de fontes de abastecimento de água potável em todo o Estado

do Pará. Essa lei teve como objetivo resguardar a qualidade de água fornecida à população, evitando contaminação do manancial aquático e consumo humano, além de disciplinar o uso de solo e águas destinadas ao abastecimento de aglomerações humanas e coibir invasões e/ou ocupações dessas áreas de interesse social coletivo (PARÁ, 1998).

Antes de ser chamado Parque Estadual do Utinga, essa área de preservação se denominava Parque Ambiental de Belém, a mudança ocorreu a partir da publicação do Decreto Nº 1.330 de 2 de outubro de 2008 (PARÁ, 2008b), cujo motivo da alteração é se adequar à legislação do Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza (SNUC), criado na Lei Nº 9.985 de 18 de julho de 2000, na qual diz que unidades de conservação desta categoria, quando criada pelo Estado deverá ser denominada como "Parque Estadual" (BRASIL, 2000).

Também foi alterado a denominação de Área de Proteção Ambiental dos Mananciais de Abastecimento de Água de Belém, APA Belém, implantada por meio do Decreto Estadual Nº 1.551 de 3 de maio de 1993 para “Área de Proteção Ambiental da Região Metropolitana de Belém – APA Metropolitana de Belém” através do Decreto Estadual Nº 1.329 de 2 de outubro de 2008 (PARÁ, 2008a).

Foi criado também o Conselho Consultivo do Parque Estadual do Utinga, constituído por representantes de órgãos públicos, de organizações da sociedade civil que atuam na região e população residente ao redor do parque através do Decreto Estadual Nº 1.330 em 02 de outubro de 2008 (PARÁ, 2008b). Uma das competências do Conselho é acompanhar a elaboração, implementação e revisão de manejo do parque, além buscar a integração com as demais unidades e espaços territoriais protegidos. Também cabe ao Conselho compatibilizar os interesses dos diversos segmentos sociais relacionados ao parque e a manifestação nos processos de licenciamento ambiental de projetos, empreendimentos ou atividades potencialmente causadores de impacto no parque.

É importante salientar, que a implantação do PEUt representou uma antiga aspiração da comunidade, sendo que desde 1984 ações governamentais vinham sendo empreendidas no sentido de promover a proteção da região dos lagos Bolonha e Água Preta.

A implantação desta unidade de conservação foi de grande importância para a proteção dos mananciais do Utinga, enquadrando-se perfeitamente dentro do espírito que norteou a Conferência das Nações Unidas para o Meio Ambiente e Desenvolvimento (Rio 92), realizada no Rio de Janeiro, aqui no Brasil. Dentre as estratégias do desenvolvimento sustentável, inclui-se a implantação de unidades de conservação, sendo que, com a

concretização deste parque, deu-se um passo relevante em direção ao atendimento desta estratégia.

Dentro da atual configuração da RMB, a área do PEUt se insere como uma das poucas áreas remanescentes, onde as condições ambientais e paisagísticas encontram-se relativamente preservadas. Acrescenta-se a este, o fato de que o uso da área em questão encontra-se diretamente relacionada à qualidade da água de abastecimento da cidade. Já que a melhoria da qualidade da água dos mananciais de abastecimento da RMB se constitui como um dos aspectos mais relevantes advindos da implantação do PEUt. Sua importância é devida ao fato de tratar-se de aspecto vital para a comunidade, com efeitos diretos sobre a saúde, e também pela magnitude numérica da população a ser beneficiada.

2.3 - IMPACTOS DA URBANIZAÇÃO EM ÁREAS DE PRESERVAÇÃO

O conceito de impactos e riscos ambientais surgiu no Congresso dos EUA no final da década de 60, principalmente a partir dos processos de poluição das águas, causados por petróleo e sobretudo pelos efeitos da guerra do Vietnã.

Segundo Munn (1979), a avaliação de impacto ambiental é uma atividade projetada para identificar e prever o impacto de dispositivos legais, políticas, programas, projetos e procedimentos operacionais no meio biogeográfico, na saúde humana e no bem estar do cidadão.

De acordo com Tommasi (1994), impacto ambiental é uma alteração física ou funcional em qualquer um dos componentes ambientais. Essa alteração pode ser qualificada e muitas vezes quantificada, pode ser favorável ou desfavorável ao ecossistema ou à sociedade humana.

Neste último século, os impactos ambientais, associados ao crescimento urbano trouxeram um grande desafio ao poder público e à sociedade em geral. A expansão da área urbanizada de uma cidade sempre provoca impacto no ambiente natural e construído, alterando as suas condições locais (BRANCO, 1988).

Segundo Bordalo (2006), o processo de expansão urbana das grandes metrópoles tem sido, no mundo inteiro, uma das principais causas de ocupação e degradação das áreas de proteção e de mananciais e vem ocorrendo com maior intensidade nas metrópoles localizadas nos países em desenvolvimento.

A problemática dos impactos provocados pelo avanço da urbanização sobre os recursos naturais constitui-se atualmente num dos maiores desafios, sobretudo para as grandes

idades. As consequências da degradação ambiental pelo processo de desenvolvimento urbano, sobretudo sem planejamento, ocorrem na poluição do ar, que causa sérios problemas respiratórios na população atingida, na contaminação de rios, ocasionando a restrição ou até a inutilização de suas águas, com comprometimento da paisagem, recreação e muitas vezes até o abastecimento urbano. A contaminação dos recursos hídricos é bastante comum nas cidades desprovidas de sistemas de tratamento de esgotos sanitários, principalmente naquelas que possuem bacias hidrográficas em áreas com maior densidade urbana e industrial.

Essa rápida expansão urbana está relacionada ao diferenciado nível de desenvolvimento econômico e demográfico e pela crescente industrialização e urbanização dos países em desenvolvimento. Ela é responsável pelo aumento cada vez maior da demanda urbana, seja industrial ou domiciliar, por água tratada oriunda dos mananciais e aquíferos, que antes ficavam em áreas rurais e agora passam a ser inseridos dentro da nova malha urbana.

Contudo, vem ocorrendo um grande aumento da demanda urbana por espaço e água tratada, principalmente nas áreas periféricas das grandes metrópoles. São essas mesmas metrópoles, as responsáveis pelo aumento da poluição e a degradação dos seus mananciais, agora urbanos, visto que, o rápido crescimento urbano não é acompanhado pela implementação de obras urbanísticas e sanitárias voltadas à proteção e conservação dos espaços preservados e dos seus recursos hídricos.

A falta de saneamento básico, de abastecimento de água e de coleta do lixo, além de altos riscos para a saúde, são fatores de degradação do meio ambiente. O que ocorre especialmente nos cinturões de miséria das grandes cidades, onde se aglomeram multidões em espaços mínimos, de precária higiene. Essa situação de elevado crescimento urbano, sem um crescimento correspondente das ações de caráter urbanísticas e sanitárias em algumas metrópoles, só têm agravado os impactos produzidos no ciclo hidrológico.

A sociedade humana modifica as paisagens, intervindo de diversas formas no ciclo hidrológico, substituindo a vegetação natural, ocupando com a prática da agricultura, desviando grandes quantidades de água para a irrigação, construindo barragens nos rios, drenando áreas úmidas ou usando os rios e lagos para diluir esgotos urbanos ou efluentes industriais, entre outras atividades.

Com efeito, a humanidade utiliza hoje 26% da evapotranspiração terrestre total e 54% do escoamento superficial acessível no espaço e no tempo. A construção de novas barragens poderia aumentar em 10% o acesso ao escoamento superficial nos próximos 30 anos, enquanto a população está projetada para aumentar mais de 45% no mesmo período (POSTEL et al., 1996).

Segundo Silva (2001), o crescimento de grande parte das cidades brasileiras tem sido marcado pela desordenação implicando em grandes disparidades ambientais entre as partes das cidades. Em todas as aglomerações de porte médio ou alto, surgem diferenças muito visíveis na paisagem urbana e que se refletem nas condições de vida do cidadão. Assim, em um ambiente urbano, as áreas verdes devem ser consideradas de extrema importância para se ter uma qualidade ambiental e de vida da população.

Na tentativa de preservar o equilíbrio ecológico dos mais diversos ambientes, são implantados os parques ambientais, onde possivelmente a natureza poderia manter-se resguardada das agressões antrópicas. No entanto, apenas cercar e “proteger” áreas do acesso humano não é suficiente para garantir a sobrevivência do ambiente natural, é preciso a participação completa da sociedade.

Os parques ambientais localizados em grandes centros urbanos é um exemplo disto, pois apesar da importância da flora, fauna e dos mananciais, diversas atividades ilícitas (pesca, caça a animais silvestres, desmatamento, etc) são realizadas no parque, sem que a fiscalização dos órgãos responsáveis possa impedir, além das muitas ocupações irregulares que instaladas nesta área, acabam por desencadear diversos problemas ambientais.

No Brasil, pode-se considerar a questão ambiental urbana como sendo um assunto de extrema emergência para estudo. Este fato pode ser apreendido, tanto através da análise do ponto de vista dos problemas decorrentes da fase desenvolvimentista, como do ponto de vista das condições de vida nas cidades, produzida pela crise atual sociopolítica e econômica.

Foi preciso esperar que o crescimento das grandes aglomerações despertasse a consciência tanto dos poderes públicos como dos responsáveis locais, no que se refere aos perigos que a espécie humana fica exposta por causa de uma urbanização mal controlada, com todo o seu cortejo de prejuízos e poluições.

Com relação aos problemas ambientais urbanos, a ênfase é centrada em questões de aumento de áreas verdes ou denúncias de desmatamento; relegando a segundo plano quase sempre questões referentes ao ritmo acelerado e desordenado do crescimento urbano, a proliferação de moradias precárias e assentamentos em áreas de risco, poluição industrial, etc.

No século passado, os três principais fatores que causaram aumento na demanda de água foi o crescimento demográfico, o desenvolvimento industrial e a expansão da agricultura irrigada (WORLD COMMISSION ON DAMS, 2008).

A humanidade sempre procurou viver próxima aos corpos d'água e a maioria das grandes cidades foram desenvolvidas próximas aos rios, pois além de serem fonte de água potável, colaboram com o desenvolvimento por meio da navegação, são também fontes de

recursos para outros usos necessários ao desenvolvimento da atividade humana, como o consumo de água para agricultura, indústria e geração de energia. Todos estes usos geram poluição e são responsáveis por receber e decompor grande parte deste passivo.

Com a diversificação das atividades poluidoras, novos problemas de qualidade da água foram surgindo, antes mesmo de se encontrar soluções para os problemas anteriores.

Problemas cada vez mais complexos, como a poluição difusa, a acidificação dos corpos d'água e as mudanças climáticas, apresentam-se como um desafio à manutenção da qualidade das águas e das condições de vida.

A reposição de água doce depende da evaporação da superfície dos oceanos. Aproximadamente 505 mil km³ ou uma camada de 1,4 metro de espessura, evaporam dos oceanos a cada ano, outros 72 mil km³ evaporam da terra. Cerca de 80% do total de precipitações, o equivalente a 458 mil km³/ano, cai sobre os oceanos e os 119 mil km³/ano restantes, sobre a terra. A diferença entre a precipitação sobre as superfícies de terra e a evaporação dessas superfícies (119 mil km³ menos 72 mil km³ por ano) corresponde a escoamentos e reposição de águas subterrâneas – aproximadamente 47 mil km³ por ano (GLEICK, 1993).

O último levantamento abrangente da situação dos recursos hídricos no Brasil foi feito em 1984/85 pela ANEEL (então DNAEE) em 2.500.000 km² do território brasileiro (SETTI, 1994). Porque embora a água seja considerada um recurso natural renovável, ainda assim é um recurso finito, dado que os processos naturais de renovação (evaporação e evapotranspiração, condensação, precipitação e filtragem no solo), em muitos lugares, estão sendo mais lentos do que os processos humanos de sua deterioração e porque os processos artificiais de purificação da água servida são muito dispendiosos.

O Brasil perde cerca de 40% de sua água tratada em redes de distribuição deficientes, o que acarreta enormes prejuízos de recursos, elevando custos que, invariavelmente, são repassados ao consumidor, sendo por isso um país irregularmente servido de água (Tabelas 2.1 e 2.2) (WWF-BRASIL, 2006).

A conservação dos recursos hídricos presentes nos parques ambientais é visto como uma luta contra a sua poluição, cabendo destacar a presença de recursos tanto superficiais, como subterrâneos e que em alguns casos são responsáveis pelo abastecimento da população local ou influenciam no mesmo. Vale ressaltar que toda e qualquer poluição nos recursos hídricos superficiais localizados em áreas de preservação, vem a interferir nos recursos hídricos subterrâneos, pois um influencia no outro.

Tabela 2.1 - Percentual de responsabilidade dos mananciais para o abastecimento da população regional (WWF-BRASIL, 2006).

Região	Cidades	Principal manancial de abastecimento	Responsabilidade do manancial no abastecimento da população
SUDESTE	São Paulo	Sistema Cantareira	53%
	Belo Horizonte	Rio das Velhas	42%
	Vitória	Sistema Jucu/Santa Maria	Cerca de 25%
	Rio de Janeiro	Sistema Paraíba do Sul/Guandu	80%
SUL	Curitiba	Sistema Irai Tarumã Iguazú	45 a 50%
	Florianópolis	Sistema Cubatão - Pilões	66%
	Porto Alegre	Guaíba	99,5%
	Brasília	Rio Descoberto	62%
CENTRO-OESTE	Goiânia	Rio Meia Ponte	50%
	Cuiabá	Rio Cuiabá	Cerca de 65%
	Campo Grande	Córrego Guarairoba	55%
NORDESTE	Fortaleza	Rio Jaguaribe	97%
	Recife	Rio Tapacurá	40%
NORTE	Belém	Rio Guamá	75%
	Manaus	Rio Negro	90%
	Rio Branco	Rio Acre e Igarapés	85%
	Palmas	Ribeirão Taquaruçu	70%

Tabela 2.2 – Disponibilidade e consumo hídrico no Brasil em 1990.

	Brasil	Norte	Nordeste	Sudeste	Sul	Centro-Oeste
Disponibilidade mil/m ³ s	177,8	121,8	5,9	10,5	11,6	27,8
Consumo/Disponibilidade (%)	0,65	0,01	4,20	4,67	3,04	0,17
Composição do Consumo (%)						
Urbano	22	58	17	29	12	35
Industrial	19	25	13	30	7	12
Irrigação	59	17	70	41	81	53

Fonte: Relatório sobre o Desenvolvimento Humano no Brasil (PROGRAMA DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O DESENVOLVIMENTO, 1996).

A conservação do clima local é uma das funções das áreas verdes que não deve ser negligenciada, pois a diversidade da paisagem faz com que se assista a uma certa atenuação dos fenômenos que normalmente se verificam no meio urbano. Esta mistura faz com que se reduzam ou desapareçam totalmente as perturbações climáticas, principalmente na questão referente à absorção do solo de quantidades consideráveis de água, cuja maior parte é devolvida para a atmosfera em forma de vapor, fomentando o ciclo hidrológico. A umidade

do ar sempre é mais elevada em zonas arborizadas, devendo-se acrescentar ainda, a função da retenção das águas pela vegetação.

O papel dos parques ambientais vai muito além, pois deve-se citar também o seu papel de purificador de águas poluídas exercido muitas vezes através da vegetação presente na beira de rios, zonas úmidas e planos de águas reguladores que pode se encontrar no meio urbano. Trata-se, portanto, de uma verdadeira estação de depuração biológica natural.

Um dos mais importantes benefícios ao transformar uma determinada área em parque ambiental, é garantir a preservação dos remanescentes de florestas e principalmente dos mananciais, rios e aquíferos existentes no local.

Segundo Tranel (2000), praticamente todos os países do mundo, desenvolvidos ou não, utilizam água subterrânea para suprir suas necessidades. A Unesco estimava, em 1992, que mais de 50% da população mundial poderia estar sendo abastecida por mananciais subterrâneos (REBOUÇAS et al., 2002).

Até pouco tempo, as questões referentes ao uso e à qualidade das águas subterrâneas ganhavam menos atenção do que aquelas relativas às águas superficiais. Em algumas regiões em desenvolvimento, os dados sobre as reservas e a circulação de águas subterrâneas são ainda menos confiáveis. Em geral, os recursos de águas subterrâneas são vulneráveis a diversas ameaças, entre elas o uso exagerado e a contaminação (Tabela 2.3). Calcula-se que a extração anual dos aquíferos é de 160 bilhões de metros cúbicos (160 trilhões de litros) no mundo (BROWN, 2003).

No Brasil, as reservas de água subterrânea são estimadas em 112.000 km³ e a contribuição multianual média à descarga dos rios é da ordem de 2.400 km³/ano (REBOUÇAS et al., 2002).

Nem todas as formações geológicas possuem características hidrodinâmicas que possibilitem a extração econômica de água subterrânea para atendimento de médias e grandes vazões pontuais. As vazões já obtidas por poços variam, no Brasil, desde menos de 1m³/h até mais de 1.000 m³/h (VISCONTI et al., 2001). Esses grandes aquíferos, em sua grande maioria estão localizados, integralmente ou parcialmente, em áreas de proteção de ambiental (Figura 2.8).

Tabela 2.3 – Problemas relacionados à qualidade das reservas hídricas subterrâneas (FOSTER; LAWRENCE; MORRIS, 1998).

Problema	Causa	Consequência
Poluição antropogênica	Proteção inadequada de aquíferos vulneráveis contra dejetos produzidos pelo homem e a lixiviação originada: pelas atividades urbanas e industriais; pela intensificação do cultivo agrícola.	Patogênicos, nitratos, sais de amônia, clorina, sulfatos, boro, metais pesados, aromáticos e hidrocarbonetos halogenados.
Contaminação que ocorre naturalmente	Relacionada a evolução do pH-Eh referente aos lençóis freáticos e à dissolução de minerais (agravado pela poluição antropogênica e/ou exploração sem controle).	Principalmente ferro, fluorina e às vezes arsênico, iodina, manganês, alumínio, magnésio, sulfatos, selênio e nitratos (provenientes da paleo-recarga).
Contaminação dos mananciais	Concepção e construção inadequada de poços, o que permite o acesso direto de água poluída oriunda da superfície e de lençóis freáticos não profundos.	Principalmente patogênicos.

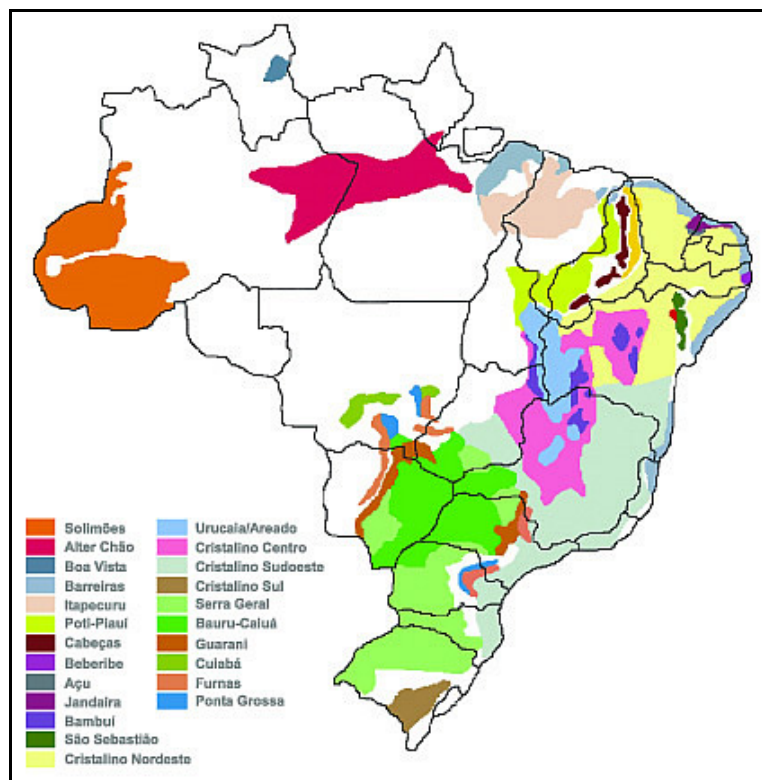


Figura 2.8 – Representação esquemática dos principais aquíferos brasileiros (BRASIL, 2007).

Como não há legislação específica e efetiva que discipline o uso das águas subterrâneas, essa franquia de ordem legal tem contribuído para os diversos problemas aqui expostos, inclusive o de superexploração (BROWN, 2003). No entanto, o fator que vem provocando o sério comprometimento da qualidade e disponibilidade hídrica dos aquíferos reside principalmente na ocupação inadequada de suas áreas de recarga (COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS-CPRM, 2002).

A utilização dos recursos hídricos subterrâneos localizados nos parques ambientais como poços, fontes e vertentes devem ser usados de modo que o seu uso não comprometa o uso futuro desses recursos (seja por uma possível contaminação ou a exploração de uma vazão superior à admissível) e nem exponha a saúde da população abastecida por possíveis doenças de origem ou veiculação hídrica, devido à utilização de mananciais inadequados ou contaminados.

Em suma, a compatibilização do uso dessa importante alternativa estratégica de abastecimento com as leis naturais que governam a sua ocorrência e reposição, além de proteger as áreas de recarga de possíveis contaminações poderá garantir a sua preservação e uso potencial pelas gerações futuras (SILVA, 2001).

O parque ambiental tem que deixar de ser visto apenas como embelezamento nas cidades, pois apesar da questão da paisagem tornar-se fundamental, faz-se necessário estabelecer o seu valor perante a preservação da qualidade do ar, da água e a biodiversidade de um modo geral.

A forma peculiar dos parques de estar encravado no meio de grandes megalópoles e até de pequenas cidades, demonstra-nos o quanto o mesmo é importante para a preservação ambiental mundial.

As unidades de conservação mais visitadas no mundo são os parques ambientais localizados nas grandes cidades, o que é diferente de um parque de difícil acesso na Amazônia. A missão dos parques é preservar, mas as condições de um parque pequeno (em termos de área), mas estrategicamente situado nas grandes cidades é bem maior, pois devem aliar sua grande visitação à proximidade com a identidade com a população. Ele existe, tanto para o visitante, quanto para o morador. Não se faz proteção de recursos hídricos em uma cidade, sem o enfoque em seus parques, visto que com essa característica de parque ambiental urbano, é o que mais sofre pressão urbana sem uma integração com a comunidade.

O ser humano, através de suas atividades, sempre exerceu suas influências sobre o ambiente em que vive. Onde se buscou respeitar seus valores naturais, as consequências foram pouco marcantes. No entanto, onde o uso de suas potencialidades (água, solo, ar, flora, fauna, etc.) foi desrespeitado, os resultados foram desastrosos e continuam sendo, devido ao intenso desenvolvimento industrial e urbano que vem ocorrendo em todas as nações, sejam estas mais ou menos desenvolvidas.

Essa intensa utilização dos recursos naturais do meio em que o homem vive encontra-se, paralelamente, à questão da necessidade que o homem, enquanto ser, tem de

relacionar-se com seu meio. Esse relacionamento pode se dar através do contato com áreas de lazer, de conservação e até mesmo de preservação.

O que se pode afirmar é que este desejo do verde é uma realidade para a grande parte da população. A noção de espaços abertos participa também da realização de certo equilíbrio entre a cidade e o campo e da conservação da paisagem, em contato com o meio urbano. Finalmente, os espaços abertos participam da reconstituição das paisagens arruinadas ou destruídas pelas atividades humanas (LAPOIX, 1979).

2.4 - O FUTURO: NECESSIDADE DE PROTEÇÃO E GESTÃO DOS PARQUES AMBIENTAIS

Nestas últimas décadas, verificam-se nos âmbitos internacional e nacional avanços recentes na formulação e implementação de políticas mais focadas no contexto da proteção ambiental, alinhados à promoção da saúde pública, da justiça social e viabilidade econômica.

No entanto, estudos apontam lacunas no que se refere às ações de avaliação destes esforços, dificultando que se estabeleçam mecanismos de melhoria e avanços no processo de tomada de decisões voltadas ao desenvolvimento sustentável (MANNING et al., 1999).

Segundo Chaves e Rodrigues (2006), nas últimas décadas a discussão em torno da preservação ambiental tem sido intensificada, tanto em níveis internacionais quanto nacionais, podendo ser identificados neste processo diferentes tendências de análise e interpretação, entre elas encontra-se a proposta de proteção e gestão de áreas de preservação e de seus recursos hídricos.

Foi após a década de 70 que começou a se estabelecer a consciência de que as raízes dos problemas ambientais estariam nas formas de desenvolvimento tecnológico e econômico, sendo impossível o tratamento das questões, sem uma reflexão e consequente ação sobre este modelo de desenvolvimento proposto. Assim, as chamadas políticas de meio ambiente não podem ser tratadas “à margem dos processos de ação coletiva e de organização econômica” (STRANG, 1972).

Diante da complexidade e heterogeneidade dos interesses envolvidos, a resolução dos conflitos ambientais requer uma condução compartilhada no processo de gestão. Essa preocupação está explicitada na Constituição de 1988 (art. 225) quando esta determina que cabe ao poder público e à coletividade o dever de proteger e preservar o ambiente para as presentes e futuras gerações (BRASIL, 1988).

O meio ambiente é o endereço do futuro para o qual haverá a maior convergência de problemas entre todos. Não é necessário realizar estudos muito profundos para se concluir que os nossos parques ambientais juntamente com a qualidade da água se encontram fortemente ameaçados; que o clima tende a se transformar no próximo século por conta do efeito estufa e da redução da camada de ozônio e que a biodiversidade tende a se reduzir, empobrecendo o patrimônio genético, justamente quando a ciência demonstra a cada dia o monumental manancial de recursos para o desenvolvimento científico que a natureza alberga.

O fato da maioria dos parques ambientais estarem inseridos em regiões metropolitanas e seu território em Áreas de Proteção Ambiental ou de Recuperação dos Mananciais têm significância na discussão da sustentabilidade urbana e de gestão dos recursos hídricos, uma vez que representa espaço potencial de conflitos sociais, econômicos e ambientais (HARMAN et al., 2001).

A questão da água é de fundamental importância para os parques ambientais, no sentido de poder propiciar a manutenção dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos dentro dos parâmetros da gestão ambiental. A água é um elemento central e com isso torna-se imprescindível um processo de gestão ambiental democrática e participativa entre todos os envolvidos para a sua preservação.

Fala-se muito ultimamente da ameaça de falta de água para as demandas do próximo século e dramatiza-se a questão insinuando que a água, ou a sua falta, poderá ser a causa de guerras no século XXI. A população mundial já concorda que, se o uso da água não for controlado, dentro de pouco tempo a escassez tornar-se-à dramática e muitos já discordam da afirmação de que o Brasil tem uma natureza tão rica que não precisa controlar a exploração de seus recursos naturais.

A preocupação faz sentido, quando se observa o descaso dos governos e da sociedade em geral com as nossas áreas de preservação e com o manejo da água. Basta visualizar o entorno de parques ambientais urbanos para sentir o drama dos seus recursos, nesse caso a água, contaminada por esgotos domésticos, resíduos industriais e lixo de toda natureza.

Mesmo com os parques localizados fora do perímetro urbano, não é muito diferente. Os agrotóxicos são lançados sobre o solo sem o entendimento de que o passo seguinte é a lixiviação desses venenos para os rios ou lençóis freáticos, influenciando nas áreas de preservação. Os desmatamentos generalizados concorrem para o assoreamento dos rios, não havendo nem mesmo a obediência a um dos poucos dispositivos legais de proteção dos recursos hídricos, que são as matas ciliares.

No caso do Pará, a gestão das águas é quase inexistente, o que não é acompanhado pelo processo de ocupação populacional, que ocorre aceleradamente e que tem feito uso múltiplo das águas sem instrumentos regulatórios devidos, o que seria indispensável tendo em vista o montante dos recursos hídricos no Estado e sua integração com seus ecossistemas (PARÁ, 2000).

A água, além de representar um recurso essencial para a vida e a sociedade humana, também representa um denominador comum em qualquer análise e avaliação do meio ambiente e dos recursos naturais terrestres e aquáticos de áreas de preservação (POSTEL; CARPENTER, 1997). Isto significa dizer que a gestão dos recursos hídricos, com vistas a garantir o suprimento de água em quantidade e qualidade suficientes para atender às necessidades da sociedade, deve ser conduzida em conjunto com os parques ambientais, de forma sistêmica, considerando as interações entre as intervenções humanas e o meio natural no âmbito dos recursos hídricos.

Os parques ambientais são instrumentos de controle ambiental sobre o território urbano que pode dar suporte a uma gestão eficiente dos seus recursos hídricos. O ponto principal é que os parques ambientais não só representam um instrumento potencialmente interessante para a gestão dos recursos hídricos, mas também que esta pode vir a dinamizar o sentido do problema fornecido pelo foco temático água.

Os contornos definidos pelos itens mencionados reúnem conteúdos que esboçam o tamanho dos desafios a serem enfrentados para assegurar a proteção de nossas áreas de proteção e dos recursos hídricos em quantidade e qualidade para o futuro. As tecnologias para o tratamento da água ou, melhor, para evitar que ela seja contaminada, existem e desenvolvem-se mais pelas leis de mercado do que pelas leis governamentais.

O fantasma do fim de nossos parques em nossas cidades, assim como a falta de água para o futuro é real e deve perturbar o consciente e o inconsciente coletivo de forma permanente para alavancar decisões político-administrativas, tanto da iniciativa privada como e, principalmente, dos governos; estes por suas obras ou políticas públicas são, de longe, os maiores responsáveis pela degradação ambiental dos parques em geral e das águas em particular.

Olhando para os próximos séculos do milênio que vem chegando, deve-se enxergar muito mais. Não basta só criar parques ambientais ou quaisquer outras áreas de preservação. Deve-se atentar para sua preservação e gestão. A água de seus mananciais – rios, lagos e estoque subterrâneo - deve ser a mais limpa das águas, para que possa exercer seu papel ecológico fundamental, que é a manutenção do estoque genético da vida aquática, não apenas

em quantidade, mas também qualitativamente, pois não existem dois ecossistemas iguais. Cada um tem suas características em função da altitude, temperatura da água, vazão, turbulência do fluxo, aporte natural de nutrientes, interação com as frações territorial e atmosférica do ecossistema em que está inserido, etc.

Finalmente, o manejo de parques se faz presente e necessário, para que as propriedades naturais sejam recuperadas e não percam suas qualidades ambientais com o uso desordenado. O manejo serve também, para organizar o acesso público a essas áreas, para que a população possa manter uma relação de contato direto com a natureza, com intuito de entendê-la melhor, conhecer suas leis, conservá-las e preservá-las conscientemente, pois, um dos objetivos fundamentais de se permitir a presença humana em determinadas áreas específicas dentro das unidades de proteção ambiental, é promover a educação ambiental, como ponte de ligação entre homem e natureza.

A promoção da educação ambiental se faz necessária e urgente. Sua principal meta é atingir, principalmente, aqueles que sabem quais serão os resultados de suas atitudes para com o meio ambiente, bem como aqueles que de uma forma ou de outra, não sabem ainda o quão é importante entender o espaço terrestre que habitamos. A produção de trabalhos científicos nas universidades e em outras entidades que desenvolvem a pesquisa e, portanto, a formação de recursos humanos qualificados, representa um dos palcos de lutas e batalhas constantes entre homens; tendo-se de um lado, os que produzem o conhecimento e do outro, os que retêm o poder e tentam manipular esse conhecimento produzido.

Os problemas ocasionados pelo uso e ocupação do solo urbano têm aguçado o interesse da sociedade em diminuir a degradação do meio ambiente, assim como metodologias que sejam capazes de valorar o ambiente urbano para que se encontre um limite de degradação dentro do qual haja o desenvolvimento econômico e a sustentabilidade do ecossistema urbano.

A regulamentação dos parques ambientais e o seu manejo permitem que esta área seja recuperada, conservada e preservada para que estes parques se concretizem como uma unidade de proteção ambiental de ecossistemas representantes da cobertura vegetal, e principalmente dos recursos hídricos localizados em seu interior. Assim, se poderá satisfazer os interesses do homem em desvendar seu meio, para uma melhor convivência com este, bem como “deixar” que a natureza ande sobre seu próprio caminho, trilhado por suas próprias leis.

A organização de proteção à natureza no Brasil, a maneira pela qual se aplicam as medidas legais de proteção, condicionam o êxito ou o fracasso em qualquer empreendimento de preservação. No Brasil, os parques ambientais, onde o turismo não é só permitido como até

encorajado, apresenta grandes remanescentes de cobertura florestal, animais e vegetais de diversas espécies, exuberantes paisagens, como pode-se observar pelas características básicas de alguns deles.

Segundo Philippi Jr. e Pelicioni (2005), os municípios devem desenvolver suas próprias estratégias de proteção de seus parques ambientais e indicadores para sua avaliação, de acordo com as suas características e escalas locais. A construção e utilização desses indicadores visam um diagnóstico da realidade local, visando orientação das políticas públicas e da sua gestão eficiente, num processo permanente e em contínuo desenvolvimento.

A Legislação Ambiental, os regulamentos e as atividades complementares, derivados das normas produzidas pelos poderes representativos (executivo, legislativo e judiciário), constituem a base para a determinação do contexto legal que permite o adequado manejo do meio ambiente e a utilização criteriosa de seus recursos. Através destas normas é possível estabelecer os limites e a legitimidade das ações de proteção e de conservação ambiental e da avaliação dos impactos provocados pelas atividades humanas, aplicando-se os instrumentos destinados ao seu controle.

Se a vontade social é formadora da quase inexistente vontade política ambiental, há que se investir com criatividade no processo de tomada de consciência. Quanto mais for possível acelerar o processo de transformação comportamental com relação ao meio ambiente, menor será o lamento, quando vierem a ocorrer as catástrofes engatilhadas, por não terem sido evitadas a tempo.

É necessário perceber que não será o bastante, inserir na consciência do ser humano uma postura de respeito à natureza e à sociedade, como se isso fosse resolver todos os problemas apresentados pela relação homem-natureza. Há de se visar uma melhoria da qualidade de vida, através da constituição de aspectos relevantes advindos da implantação das áreas de preservação, tendo em vista que alguns parâmetros possuem aspecto vital para que isso ocorra, mediante a implantação de políticas públicas eficazes, tais como:

1. Estabelecer políticas estaduais correlatas com as federais e municipais;
2. Estabelecer programas de combate à pobreza, promovendo programas de moradias vinculadas ao saneamento e qualidade de vida adequados;

3. Manejo ambientalmente saudável para o desenvolvimento de uma biotecnologia nacional evitando-se a aplicação daquelas que não se tem o conhecimento dos efeitos de suas aplicações na qualidade de vida e ambiental;
4. Promover parcerias com as Universidades para estabelecer retornos dos investimentos financeiros na mesma e desencadear melhorias científicas e tecnológicas;
5. Incentivar desenvolvimento de projetos científicos para estabelecimento de um desenvolvimento sustentável regional;
6. Promover programas integrados Ambiental x Saúde x Educação.

A ênfase dada ao abastecimento de água, associada à aplicação ineficiente da legislação, limitou a eficácia da gestão dos recursos hídricos, principalmente nas regiões em desenvolvimento. Os responsáveis pela elaboração de políticas, em lugar das soluções totalmente centradas no abastecimento, passaram a adotar a gestão da demanda, salientando a importância de utilizar uma combinação de medidas para garantir fornecimentos suficientes de água para diferentes setores. Entre as medidas, vale citar o melhoramento da eficiência no uso da água, políticas de preços e privatização. Também existe uma nova ênfase sobre a gestão integrada dos recursos hídricos, que considera todas as diferentes partes interessadas no planejamento, no desenvolvimento e na gestão de recursos hídricos (COMMISSION FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT, 1997), são elas:

1. Revisão dos Planos Diretores das cidades, com acompanhamento de equipes externas a estes, multidisciplinares, técnico-científicas e com pessoas conhecedoras das legislações federais, estaduais e municipais;
2. Buscar recursos para implementação de sistemas de tratamentos de esgotos urbanos setorizados, com planos integrados entre os municípios, buscando coibir a expansão urbana sobre as áreas de preservação;
3. Buscar recursos para implementação de aterros sanitários (não aqueles que estão sendo estabelecidos, que não passam de depósitos de lixo a céu aberto um pouco melhorado), a fim de proteger efetivamente os recursos hídricos subterrâneos;

4. Medidas urgentes de reposição de matas de galerias e ciliares, com parcerias de componentes co-responsáveis e com cientistas de experiências incontestáveis;

5. Programa de Educação Ambiental na Educação Formal e Informal;

Todas estas ações não deverão ser estabelecidas ou definidas pela Secretaria do Meio Ambiente, mas devem ser produtos conjuntos das Secretarias da Saúde, da Educação, de Recursos Hídricos e outras quando for necessário.

Para se produzir mudanças na base, é necessário questionar a relação existente entre estado e empresas nacionais e estrangeiras; compreender o capitalismo na sua gênese; conceber o processo acelerado e incessante da industrialização, como resultado da divisão internacional do trabalho; identificar os interesses do capital e do trabalho, e conseqüentemente, as contradições entre classes antagônicas e tantos outros fatores que direta ou indiretamente, envolvem a preservação dos parques ambientais.

Espera-se que, mediante essa realidade, rodeada por tantas crises (econômica, social, política e etc.), o cidadão, mas especificamente o brasileiro, abra seus olhos para a situação em que ele se encontra com seu meio e venha a tomar futuras atitudes, que possam surtir efeitos positivos ao seu meio-ambiente e conseqüentemente, possa melhorar sua própria qualidade de vida, através da compreensão e do discernimento.

3 – RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 – DIAGNÓSTICO SOBRE CONTAMINAÇÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS NA ÁREA DO PARQUE ESTADUAL DO UTINGA, BELÉM-PA, PELOS MÉTODOS ELÉTRICO E ELETROMAGNÉTICO

Este capítulo apresenta os resultados dos levantamentos geofísicos elétricos e eletromagnéticos aplicados na área de abrangência do PEUt. As informações são apresentadas na forma de artigo completo, o qual foi submetido à *Revista Brasileira de Geofísica* (RBGf).

DIAGNÓSTICO SOBRE CONTAMINAÇÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS NA ÁREA DO PARQUE ESTADUAL DO UTINGA, BELÉM-PA PELOS MÉTODOS ELÉTRICO E ELETROMAGNÉTICO

ABSTRACT

In the present work, geophysical measurements and drilling of monitoring wells were performed to evaluate the possibility of contamination in the Utinga State Park, where are found two large surface water reservoirs responsible for the supply of the metropolitan area of Belem-PA. The applied geophysical methodology, involving electromagnetic measures (Slingram) and vertical electrical sounding (VES), revealed the presence of geological layers with different electrical characteristics, allowing the identification of areas with more conductive layers associated to clay and sand layers associated with less conductivity, as well the presence of groundwater near the surface. The results allowed to establish a pattern of subsurface characterization that could be compared and correlated with information from the geological and hydrogeological descriptions obtained in monitoring wells, showing a strong correlation between data.

Keywords: Environmental Geophysics; Groundwater; Utinga State Park.

RESUMO

No presente trabalho, foi realizado um levantamento geofísico e a perfuração de piezômetros para avaliar as características geológicas e a possibilidade de contaminação no Parque Estadual do Utinga, que contém dois grandes reservatórios de águas superficiais, responsáveis pelo abastecimento da Região Metropolitana de Belém-PA. A metodologia geofísica aplicada utilizou o método Eletromagnético (sistema Slingram) e Sondagens Elétricas Verticais (SEV), que evidenciaram a presença de camadas geológicas com características elétricas diferentes, permitindo a identificação de zonas mais condutoras associadas a camadas argilosas e zonas menos condutoras associadas a camadas arenosas, além da presença do nível freático próximo à superfície. Os resultados permitiram estabelecer um padrão de caracterização da subsuperfície que puderam ser comparados e correlacionados com as informações provenientes das descrições geológicas e hidrogeológicas obtidas em piezômetros, demonstrando uma forte correspondência entre os dados.

Palavras-chaves: Geofísica Ambiental; Água Subterrânea; Parque Estadual do Utinga.

INTRODUÇÃO

Em Belém, a maior cidade da Amazônia, com uma população estimada de 1.393.399 habitantes (IBGE, 2010), são visíveis as formas de degradação ao meio ambiente. A cidade cresce de forma confusa e caótica e, assim, problemas ambientais decorrentes da expansão da metrópole se configuram sobre o meio ambiente oriundos principalmente do crescimento urbano, havendo por isso um quadro socioambiental permissivo e favorecedor de agravos à saúde da população, que ocorrem em grande número, gravidade e proporção.

O Parque Estadual do Utinga (PEUt) é uma área de preservação onde se encontram os lagos Bolonha e Água Preta, principais mananciais de abastecimento da Região Metropolitana de Belém (RMB). Em decorrência da urbanização crescente e desordenada que se verifica nos municípios da RMB, surgem bairros, conjuntos residenciais e multiplicação de favelas em suas áreas adjacentes, em sua maioria desprovidos de saneamento básico, constituindo-se em fonte potencial de contaminação via subsuperfície dos recursos hídricos do PEUt.

Há, portanto, a necessidade de conhecer a distribuição litológica da subsuperfície desta área de preservação, visando estimar a possibilidade de contaminação proveniente da degradação ambiental em suas proximidades.

Como a condutividade elétrica de uma rocha é basicamente determinada pelo conteúdo e salinidade de seu eletrólito, pelo volume e conectividade de seus espaços vazios e pela proporção de minerais portadores de uma condutividade superficial dispersos na sua matriz de sólidos, os métodos elétricos se apresentam eficientes na hidrogeologia e em estudos de poluição subterrânea (BENSON et al., 1997; LIMA et al., 1995; WARD, 1990).

Um estudo por meio de piezômetros no PEUt, torna-se economicamente proibitivo devido a extensa área (cerca de 1.340 ha) a ser investigada. Por isso, optou-se por aplicar metodologia geofísica e perfurar um número reduzido de piezômetros, que serviram tanto para verificar as respostas geofísicas, como para a realização de ensaios hidrogeológicos e monitoramento da qualidade das águas dos aquíferos.

LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A RMB abrange os municípios de Belém, que tem como principais distritos Icoaraci e Mosqueiro; os municípios de Marituba, Benevides, Santa Bárbara, além de Ananindeua, que é contíguo ao de Belém.

A cidade de Belém está inserida na microrregião Guajarina no Estado do Pará, com uma área territorial de 736 km². Limita-se pela baía de Marajó até o extremo oriental da ilha de Mosqueiro; ao sul, pelo rio Guamá, até a confluência com o rio Mojú; a oeste, pelas baías do Guajará, Santo Antônio e Marajó.

O PEUt está localizado em uma área delimitada por um polígono irregular (Figura 3.1). Ao norte está limitado pelo igarapé Água Cristal, afluente esquerdo da microbacia do igarapé São Joaquim pertencente à bacia do igarapé do Uma; ao sul pelo rio Guamá; a leste pela bacia do rio Aurá e a oeste pela microbacia do igarapé Tucunduba, afluente do rio Guamá. No PEUt estão os lagos Bolonha e Água Preta, que são formados pelas águas provenientes de nascentes e “igarapés” próximos e têm seu volume reforçado através de uma adutora que leva água do rio Guamá ao lago Água Preta, que por sua vez é ligado ao lago Bolonha por um canal.

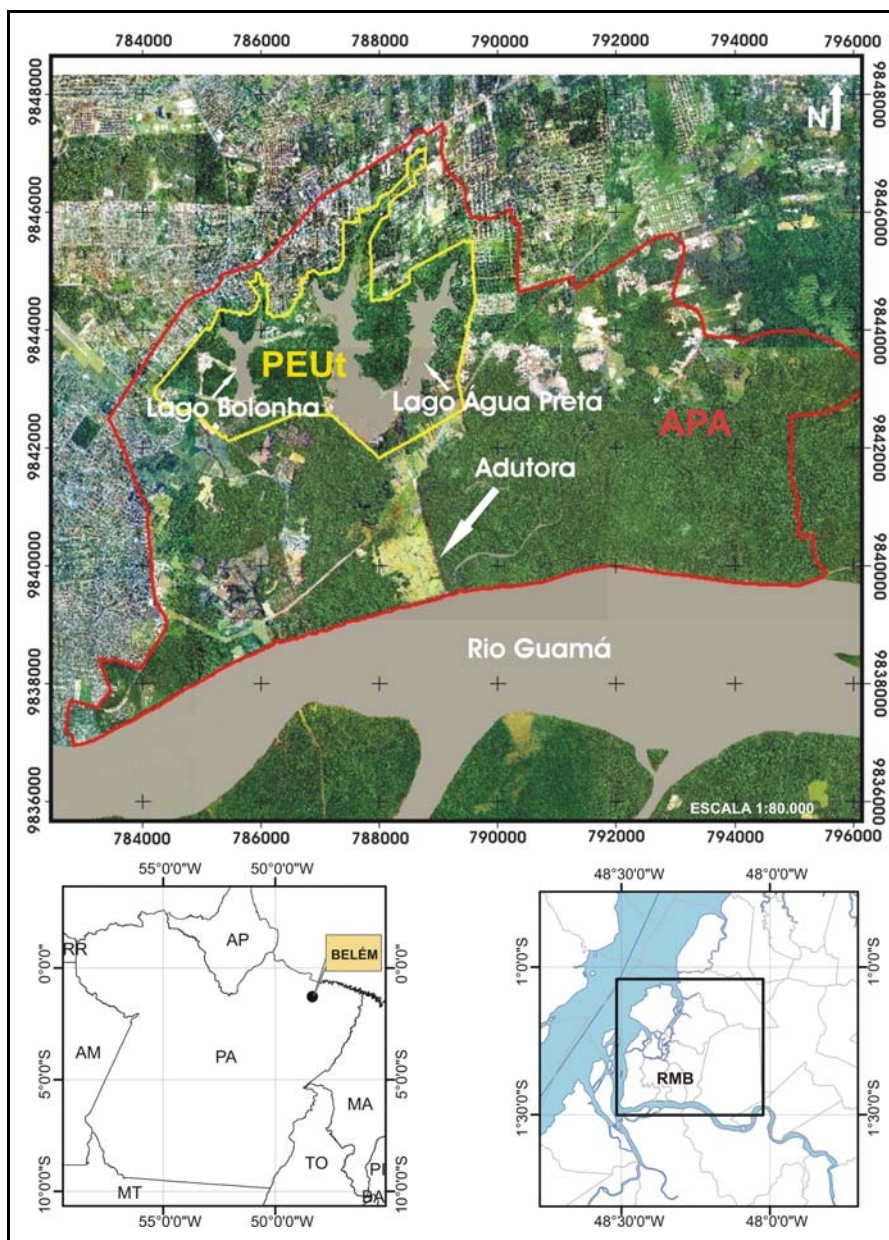


Figura 3.1 – Mapa de localização da área de estudo.

CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS E HIDROGEOLÓGICAS

A subsuperfície da RMB é constituída por sedimentos e rochas sedimentares sobrejacentes a um substrato granito-gnaíssico. A porção sedimentar é formada pelas seguintes unidades geológicas: Formação Pirabas, Grupo Barreiras, Grupo Pós-Barreiras e Aluviões. Esse pacote sedimentar pertence à bacia da foz do Amazonas e pode atingir mais de 4.000 m de espessura (IDESP, 1980).

Segundo Farias, Nascimento e Ferreira (1992), a área do PEUt e seus arredores são formados em quase sua totalidade por sedimentos argilosos e arenosos de origem continental

da unidade Pós-Barreiras (Quaternário), constituindo o aquífero de mesmo nome, considerado o principal da RMB. Essas unidades aquíferas possuem espessura de cerca de 20 m, localizam-se geralmente na parte superior de terreno e com pequena distribuição espacial. Na área estudada do PEUt, a profundidade do nível freático, medida em piezômetros, apresentou uma variação entre 2,7 m e 10 m.

Predominam na área de estudo, solos do tipo Latossolo Amarelo Álico, seguido do Podzólico Hidromórfico Álico (VIEIRA; SANTOS, 1987). Adjacente à área estudada há uma grande área devastada pela extração de material de construção, que apresenta confinamento de águas superficiais pontuais em toda sua extensão.

O solo natural da área, em sua grande parte, é caracterizado por camadas do tipo argilo-arenoso em que a declividade natural do terreno indica um caimento no sentido norte-sul e leste-sul, o que proporciona o escoamento das águas superficiais em direção ao lagos Água Preta e Bolonha, Igarapés e ao Rio Guamá.

METODOLOGIA

A área de estudo no PEUt foi investigada com os métodos geofísicos eletromagnéticos (medidas de fase e quadratura), eletrorresistividade (medidas de resistividade aparente) e piezômetros com profundidades inferiores a 20 m.

Método Eletromagnético

Foram realizados na área de estudo, oito perfis de medidas eletromagnéticas, com o Sistema Slingram MAX MIN I na configuração coplanar horizontal (Figura 3.2). As medidas foram feitas em oito frequências (110, 220, 440, 880, 1760, 3520, 7040 e 14080 Hz). A distância entre as bobinas transmissora e receptora foi igual a 50 m e o espaçamento entre as medidas foi de 25 m.

As componentes em fase e em quadratura foram combinadas através da Eq. (3.1):

$$Z = \sqrt{F^2 + Q^2} , \quad (3.1)$$

sendo Z o módulo da razão entre os campos magnéticos secundário e primário, F o valor da componente em fase e Q o valor da componente em quadratura.

O valor de Z foi então representado de modo a se obter a sua variação com a frequência. Para isso, em cada posição de medida, os valores de Z foram colocados em um eixo vertical e a seguir correlacionados lateralmente, traçando-se contornos de isovalores. Esse tipo de representação constitui uma pseudo-seção da subsuperfície, pois permite que se visualize o comportamento de Z nas direções horizontal e vertical abaixo das posições de medidas, uma vez que a profundidade de investigação depende da frequência (frequências mais altas estão relacionadas com menor profundidade e frequências mais baixas com maior profundidade). Nesta representação, os valores maiores de Z são associados às zonas mais condutoras da subsuperfície (por exemplo, as zonas argilosas) enquanto os menores valores são associados às zonas menos condutoras (zonas arenosas) (SILVA, 2002).

Método da Eletrorresistividade

Com o método da eletrorresistividade foram realizadas medidas de resistividade aparente usando a técnica de Sondagem Elétrica Vertical (SEV), que permite que se investigue a distribuição da resistividade com a profundidade. As SEVIs foram realizadas com arranjo Schlumberger, com abertura máxima de $AB/2$ igual a 180 m. Foram executadas 10 SEVIs em pontos selecionados no início dos trabalhos, de modo a abranger a área identificada como a mais atingida pela expansão urbana (Figura 3.2).

As SEVIs foram interpretadas usando programa desenvolvido por Zohdy e Bisdorf (1989), que processa a curva de medidas digitalizando-a e estabelecendo um modelo de distribuição da resistividade associado a um número de camadas igual ao número de pontos usados na digitalização. Esse tipo de modelo mostra maior detalhe na variação da resistividade com a profundidade do que os modelos interpretativos geralmente obtidos com outros programas.

Piezômetros

Foram perfurados sete piezômetros com o objetivo de estabelecer comparações com os levantamentos geofísicos e os locais para perfuração foram baseados nas possíveis variações litológicas indicadas pelas medidas geofísicas (Figura 3.2). Na construção dos piezômetros, foram seguidas as normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT (1997), sendo coletadas amostras de sedimentos a cada metro de profundidade.

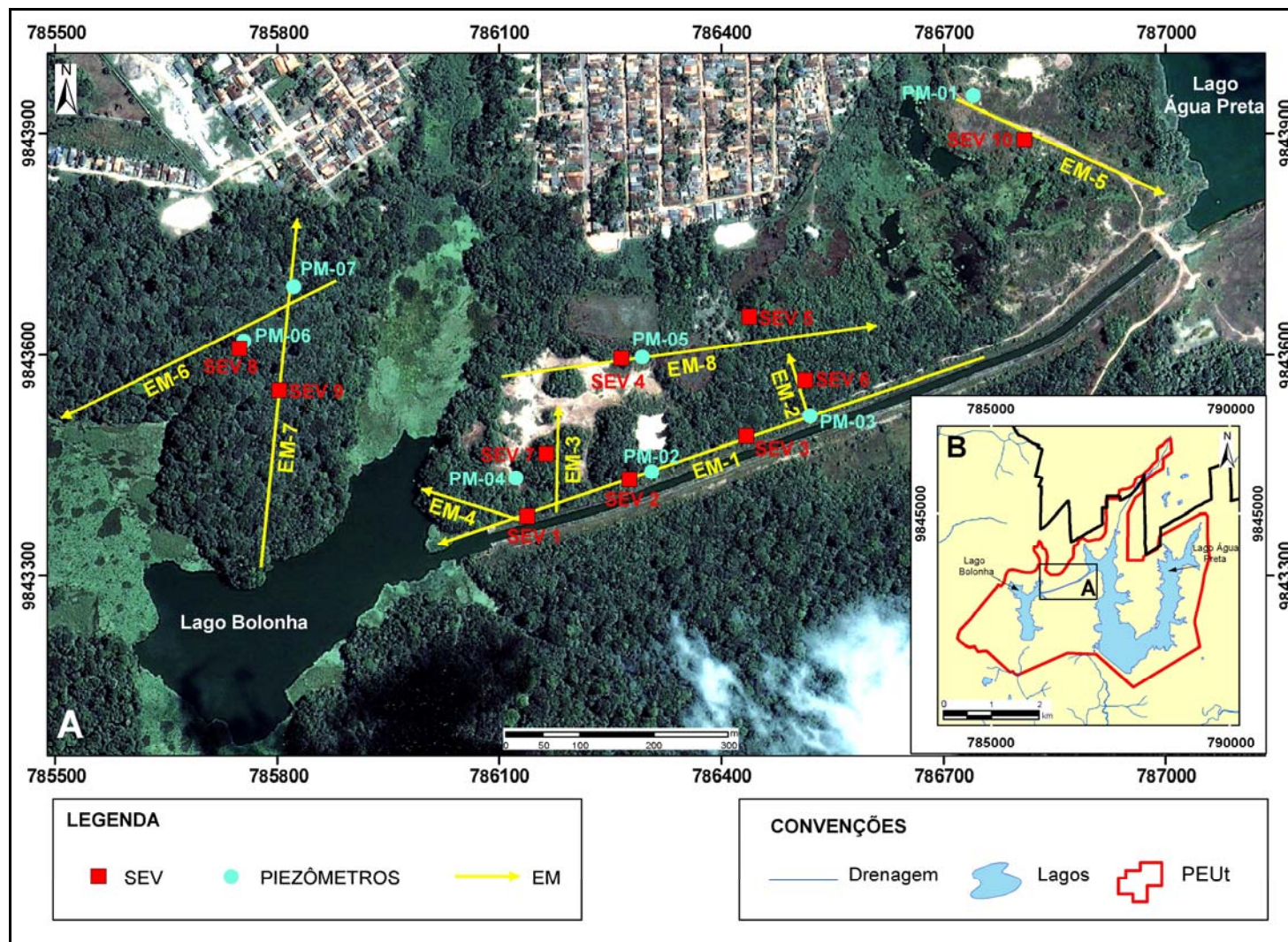


Figura 3.2 – Figura A: Posicionamento dos perfis Eletromagnéticos (EM), Sondagens Elétricas Verticais (SEVis) e piezômetros de monitoramento (PM). Figura B: Visão geral da área de estudo.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A seguir são apresentadas as análises dos resultados dos métodos eletromagnético e da eletrorresistividade. Durante essas análises é feita uma correlação com as informações obtidas a partir dos piezômetros, numa tentativa de minimizar a ambiguidade na interpretação geofísica e proporcionar resultados mais confiáveis.

Medidas Eletromagnéticas

O perfil EM-1 cobriu a extensão de 725 m e foi executado no sentido NE-SW, que percorre a linha do canal que interliga os dois principais mananciais da área de estudo – Lago Água Preta e Lago Bolonha (Figura 3.2). Os contornos de isovalores do módulo do campo EM-1 estão representados na Figura 3.3, onde também foi justaposto, para fins de comparação, o perfil litológico do piezômetro PM-2.

É bem evidenciado na representação da Figura 3.3 zonas condutoras (tons avermelhados) em quase todo o perfil EM-1, sendo possível que tal condutividade esteja relacionada com material argiloso em subsuperfície, uma vez que ocorre material arenoso no intervalo de profundidade 4-8 m do piezômetro PM-2.

Percebe-se ainda, que a zona de maior condutividade concentra-se nas frequências maiores, que correspondem, de acordo com o piezômetro PM-2, às profundidades inferiores a 15 m. É possível que o contorno de isovalor 10, possa ser correlacionado ao topo dos sedimentos lateríticos menos condutivos do Grupo Barreiras. Nesse caso, os valores de contorno maiores que 10 estariam associados a sedimentos argilosos mais condutivos, provavelmente do Pós-Barreiras.

O perfil EM-2 foi realizado no sentido SE-NW, iniciando às proximidades do perfil EM-1 e finalizando próximo ao perfil EM-8, cobrindo uma distância de 75 m (Figura 3.2). Este perfil foi interrompido aos 75 m devido a presença de um canal inundado por água pluvial, que influenciou nas medidas coletadas a partir desta posição. As observações geológicas de superfície ao longo deste perfil, permitiram identificar a presença de um terreno bastante úmido no decorrer de todo o seu percurso. A Figura 3.3 (perfil EM-2) mostra as respostas obtidas para o módulo do campo, juntamente com o perfil litológico do piezômetro PM-3.

Os valores obtidos mostram uma predominância de material mais resistivo (tons azuis) ao longo de todo o perfil EM-2, com as zonas mais condutoras distribuídas em seu

início e em seu final, provavelmente devido a presença de água no solo, bem evidenciada superficialmente. Este perfil indica ainda, um aumento de condutividade (aumento da argilosidade) em direção à zona residencial localizada na extremidade NW do perfil. O piezômetro PM-3 localizado próximo à extremidade SE do perfil EM-2 mostra uma predominância de material arenoso, correlacionando com a resposta geofísica.

O caminhamento EM-3 foi realizado no sentido N-S, paralelo ao perfil EM-2, cobriu a extensão de 175 m e à semelhança do perfil EM-2 foi interrompido em um pequeno canal inundado (Figura 3.2). As medidas obtidas neste perfil também encontram-se representadas na Figura 3.3, junto com o perfil litológico do piezômetro PM-4. A representação do módulo do campo indica zonas condutivas, que se estendem a profundidade maior do que 18 m, conforme indica o perfil do piezômetro PM-4.

O perfil EM-4 se inicia no canal que interliga os dois lagos e tem 125 m de extensão, tendo sido executado no sentido SE-NW (Figura 3.2). Os valores medidos, representados na forma de módulo do campo na Figura 3.4 (perfil EM-4), sugerem: (a) zona arenosa entre as posições 0 e 25 m; (b) uma predominância de zonas fortemente condutoras a partir da posição 25 m, que se estendem em profundidade, já que foram detectadas nas baixas frequências. A localização desse perfil sugere que essas zonas condutoras, são provavelmente causadas, pela invasão de água proveniente do lago Bolonha e do canal que o liga ao lago Água Preta.

O perfil EM-5 é o caminhamento localizado mais a leste da área de estudo, realizado no sentido NW-SE, mais precisamente nas proximidades da estrada de acesso entre os mananciais e uma zona de ocupação urbana (Figura 3.2). O perfil tem 275 m de extensão e os valores do módulo do campo obtidos ao longo deste caminhamento estão representados na Figura 3.4, juntamente com o perfil litológico do piezômetro PM-1.

Os valores sugerem a existência de zonas condutoras na posição 50 m e entre as posições 200 m e 275 m. A zona condutora localizada na posição 50 m é bem evidente nas mais altas frequências e, portanto, associada às menores profundidades. O piezômetro PM-1, localizado nessa zona indica que a maior condutividade nesse local provém de material argiloso observado entre as profundidades 3 e 10 m. Na zona localizada entre as posições 200 m e 250 m do perfil, as curvas apresentam um comportamento similar ao da posição 50 m, porém de menor intensidade.

Os valores do módulo do campo obtidos ao longo do perfil EM-6, estão representados na Figura 3.4 junto com a litologia do piezômetro PM-6. O perfil cobre uma distância de 425 m no sentido NE-SW, terminando às margens do Lago Bolonha (Figura 3.2).

Os valores relacionados ao perfil EM-6 sugerem a existência de zonas condutoras em

vários locais, distribuídas em profundidades variadas. O piezômetro PM-6 localizado sobre a zona identificada na posição 75 m mostra uma boa quantidade de argila, indicando um padrão eletromagnético condutivo.

O perfil EM-7 foi realizado no sentido S-N, cobrindo uma distância de 425 m. O perfil iniciou às margens do lago Bolonha e foi concluído em uma área de ocupação urbana (Figura 3.2). Este perfil cruza a extremidade NE do perfil EM-6, às proximidades do piezômetro PM-7.

As observações geológicas de superfície ao longo do perfil EM-7 permitiram identificar zonas condutoras que concordam com as respostas obtidas para as componentes do módulo do campo (Figura 3.5). Essas zonas, embora sejam bem evidentes em quase todas as frequências, apresentam maiores valores para as frequências mais altas. A presença de argilas com concreção, identificadas no piezômetro PM-7, podem ter contribuído para tornar o padrão mais condutivo.

O perfil EM-8 foi realizado no sentido W-E, iniciando às margens do lago Bolonha (Figura 3.2). O perfil foi interrompido aos 475 m devido a presença de um canal inundado por água pluvial, que influenciou nas medidas coletadas a partir desta posição. Os valores do módulo do campo obtidos estão representados na Figura 3.5, juntamente com o perfil litológico do piezômetro PM-5, perfurado na posição 175 m. Observa-se ao longo deste perfil uma predominância de zonas condutoras que se estendem desde as maiores frequências (menores profundidades) até as menores frequências (maiores profundidades).

A litologia do piezômetro PM-5 é essencialmente argilosa, correlacionando com o padrão eletromagnético condutivo. Observa-se ainda que os valores do módulo do campo associados ao padrão condutivo são bem elevados (os mais elevados encontrados na área), como aqueles dos perfis EM-1 e EM-4. Esses valores provavelmente receberam contribuição não só do material argiloso, como também da condutividade da água do piezômetro PM-5, que apresentou valores elevados (variando de 280,0 $\mu\text{S}/\text{cm}$ no período chuvoso e de 233,2 $\mu\text{S}/\text{cm}$ no de estiagem).

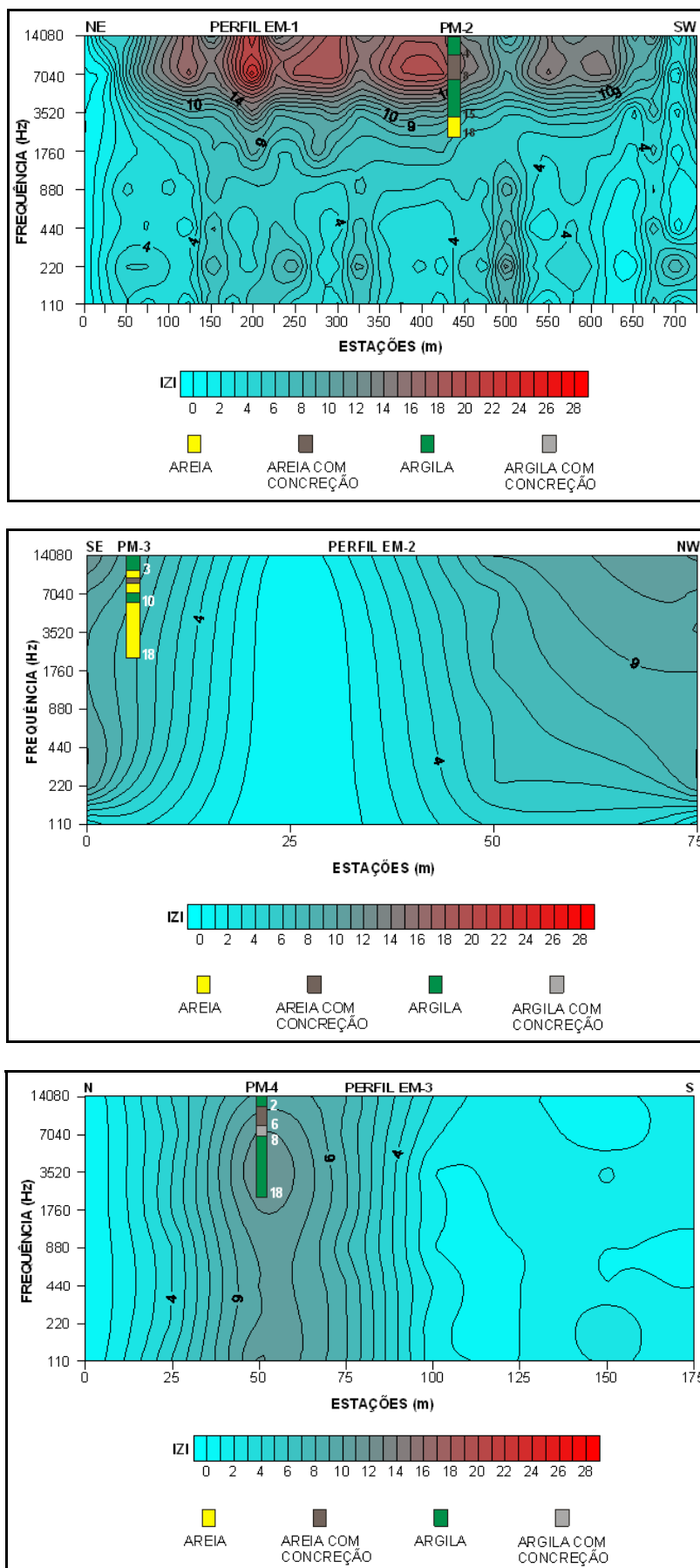


Figura 3.3 – Contornos de isovalores do módulo do campo magnético (Z) versus a frequência (pseudo-seção) para o Perfil EM-1, EM-2 e EM-3.

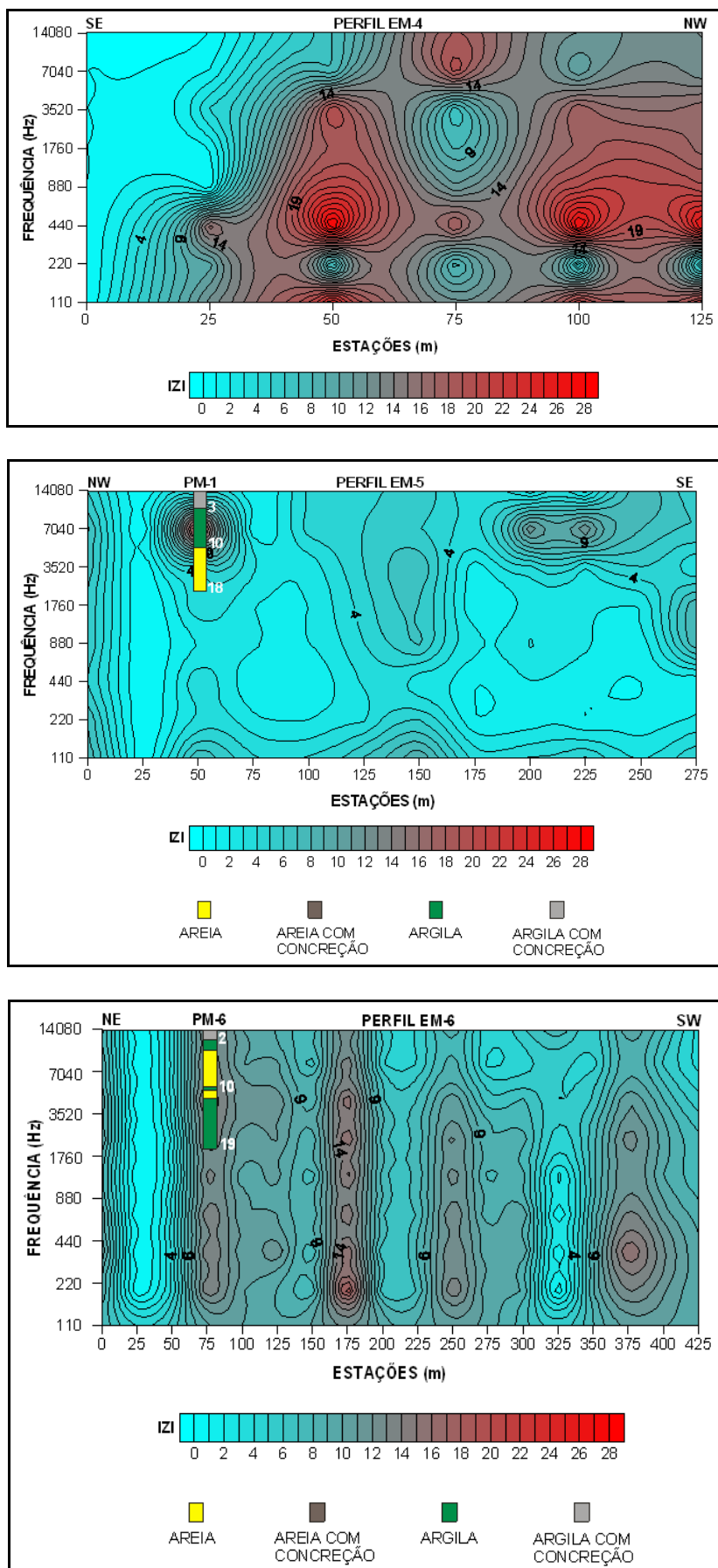


Figura 3.4 – Contorno de isovalores do módulo do campo magnético (Z) versus a frequência (pseudo-seção) para o Perfil EM-4, EM-5 e EM-6.

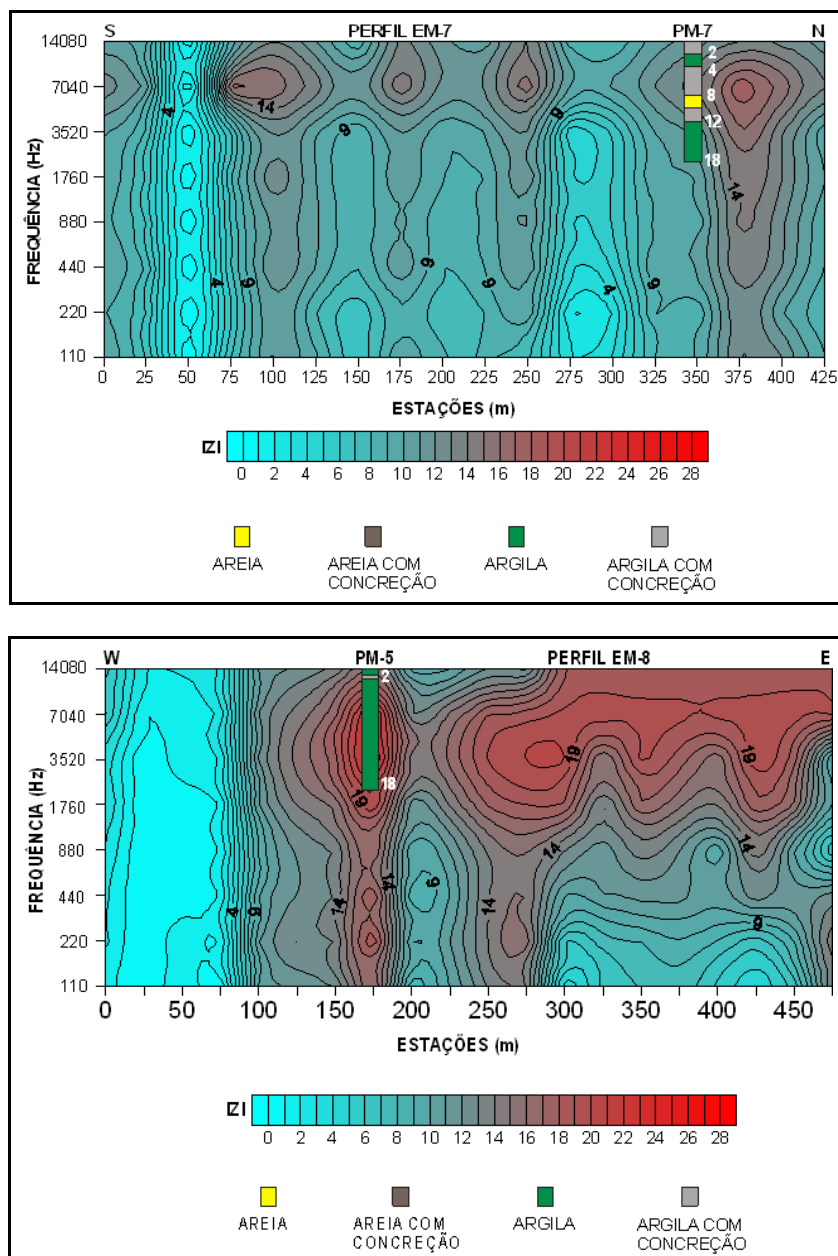


Figura 3.5 - Contorno de isovalores do módulo do campo magnético (Z) versus a frequência (pseudo-seção) para o Perfil EM-7 e EM-8.

Medidas de Resistividade

Os modelos geoeletricos da subsuperfície obtidos a partir das SEV estão representados nas Figuras 3.6 a 3.9. Também são representados os valores de resistividade aparente digitalizados durante o processamento de cada SEV (círculos) e os valores de resistividade aparente calculados para os respectivos modelos geoeletricos (linha contínua).

Na SEV 1 (Figura 3.6), assim como nas SEV 7, 8 e 9 (Figura 3.8), os valores de resistividade decrescem continuamente com o aumento de $AB/2$, provavelmente porque essas SEVs encontram-se mais próximas do Lago Bolonha (Figura 3.2), que teria suas águas

infiltrando lateralmente e em profundidade. Nas outras SEVis, à exceção da SEV 10 (Figura 3.9), os valores de resistividade aparente crescem a partir da pequena separação entre os eletrodos de corrente, atingem um máximo com $AB/2$ entre 4 e 6 m e passam a decrescer. O mencionado aumento na resistividade pode ter sido causado por concreções ferruginosas frequentemente observadas nos piezômetros.

Os modelos geoeletricos das SEVis 4, 5 e 6 (Figura 3.7) mostram uma queda acentuada na resistividade em torno de 10 m de profundidade, que pode ser associada à camada argilosa de coloração cinza observada nos piezômetros. Na SEV 2, essa queda acentuada somente ocorre à profundidade de 43 m (Figura 3.6), também sugerindo argilosidade.

A SEV 10 (Figura 3.9) apresenta um decréscimo acentuado de resistividade nos níveis mais rasos de profundidades (em torno de 4 m), que pode estar associado ao nível freático relativamente próximo a superfície, conforme verificado no piezômetro PM-1 instalado as suas proximidades, assim como a influencia de poças e lagoas formadas por águas pluviais localizadas em seu entorno.

Os modelos geoeletricos das SEVis 1, 2, 4, 7 e 10 foram correlacionados lateralmente com os perfis litológicos dos piezômetros perfurados às proximidades delas, conforme exemplificado nas Figuras 3.10, 3.11 e 3.12.

A correlação permitiu validar os modelos geoeletricos, já que a presença das argilas ou do nível de água faz com que os valores de resistividade diminuam, enquanto a presença de material arenoso produz aumento na resistividade.

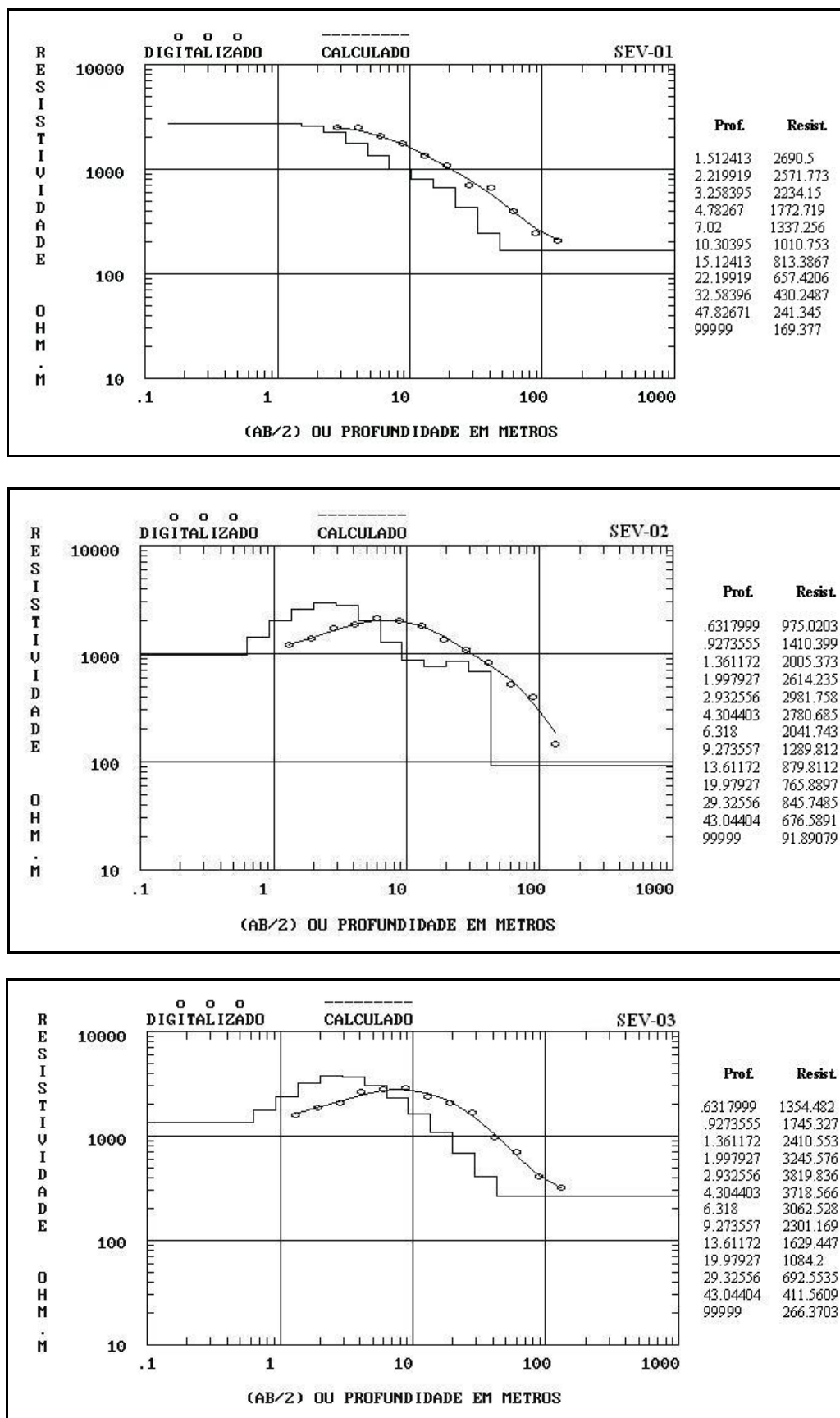


Figura 3.6 – Modelo interpretativo da SEV-01, SEV-02 e SEV-03.

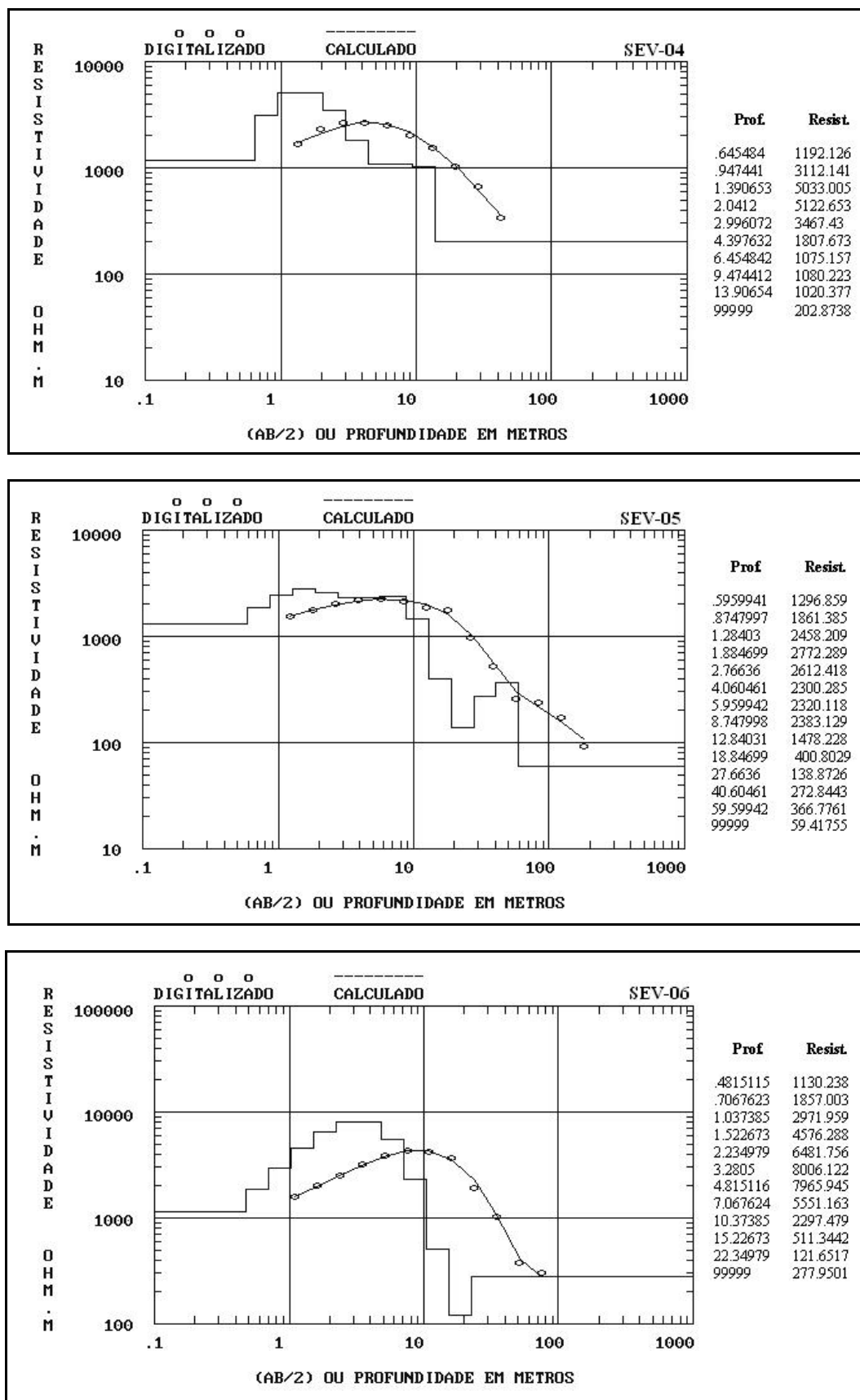


Figura 3.7 – Modelo interpretativo das SEV-04, SEV-05 e SEV-06.

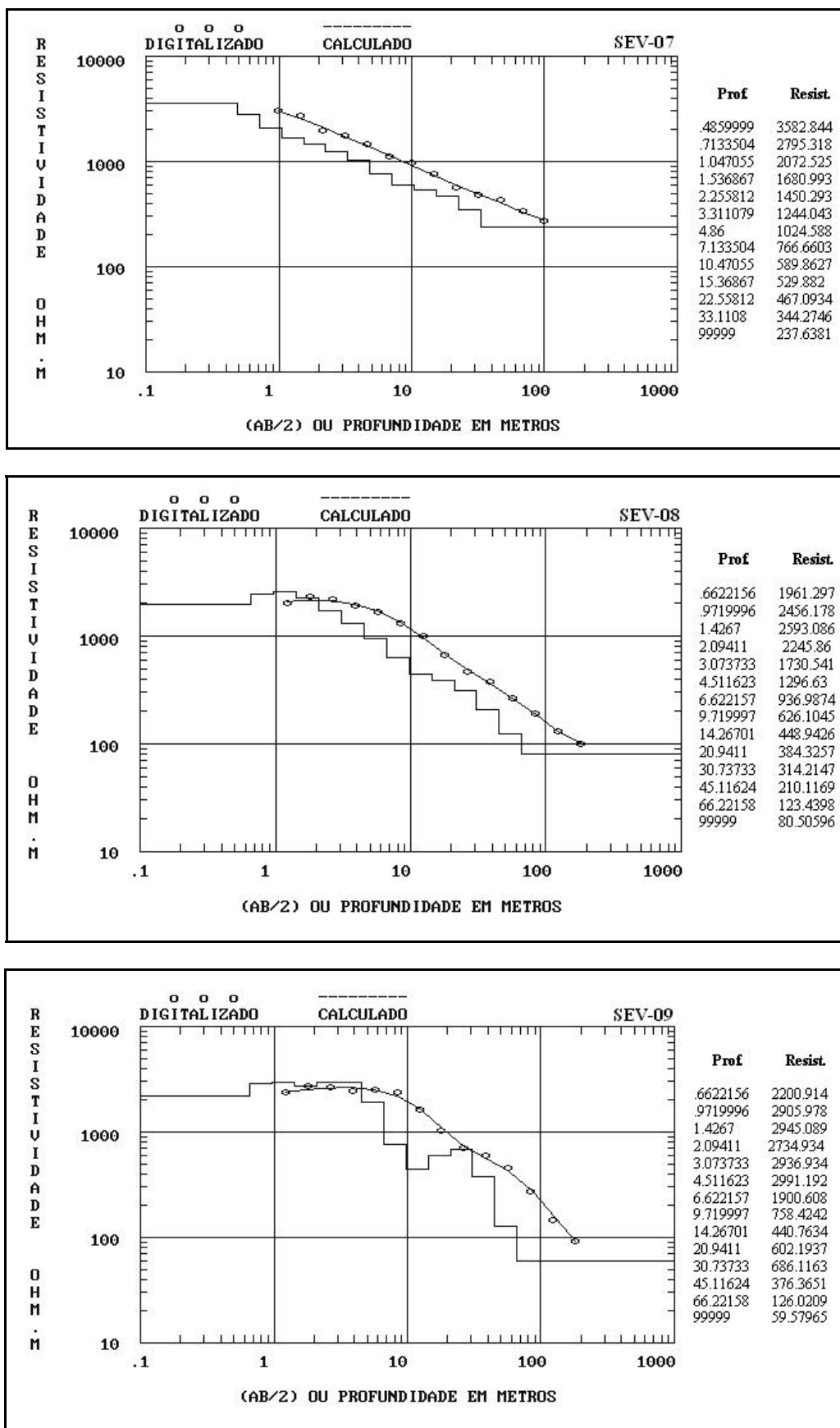


Figura 3.8 – Modelo interpretativo das SEV-07, SEV-08 e SEV-09.

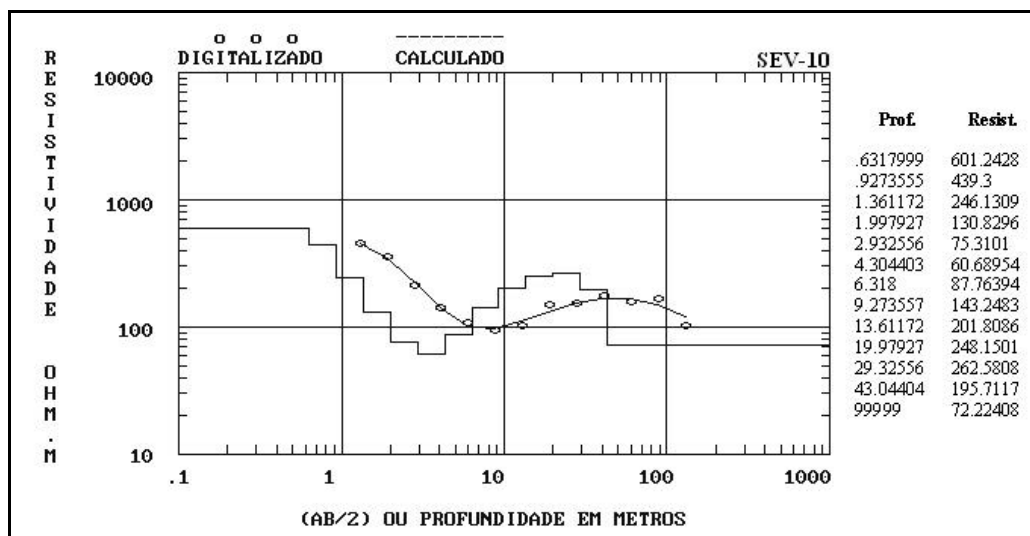


Figura 3.9 – Modelo interpretativo da SEV-10.

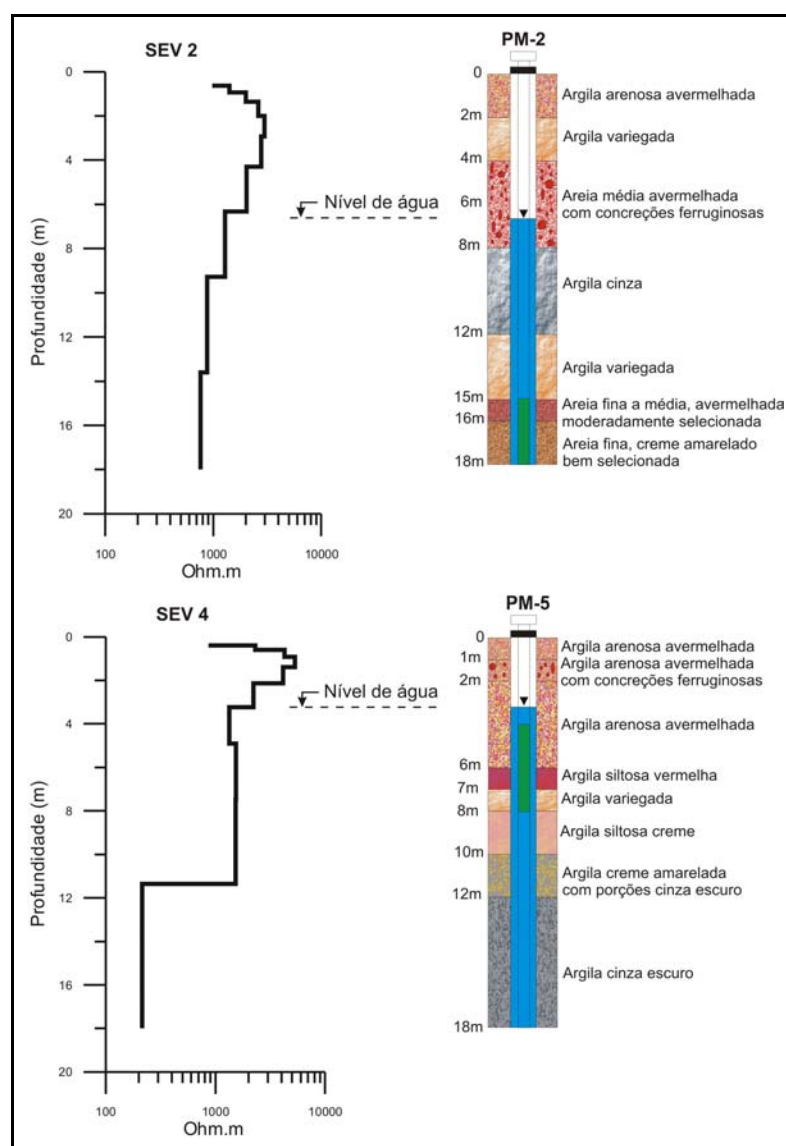


Figura 3.10 – Correlação dos modelos interpretativos das SEV 2 e 4 com a litologia dos piezômetros PM-2 e PM-5. A SEV 2 e o piezômetro PM-2 estão separados por menos de 20 m, assim como a SEV 4 e o piezômetro PM-5.

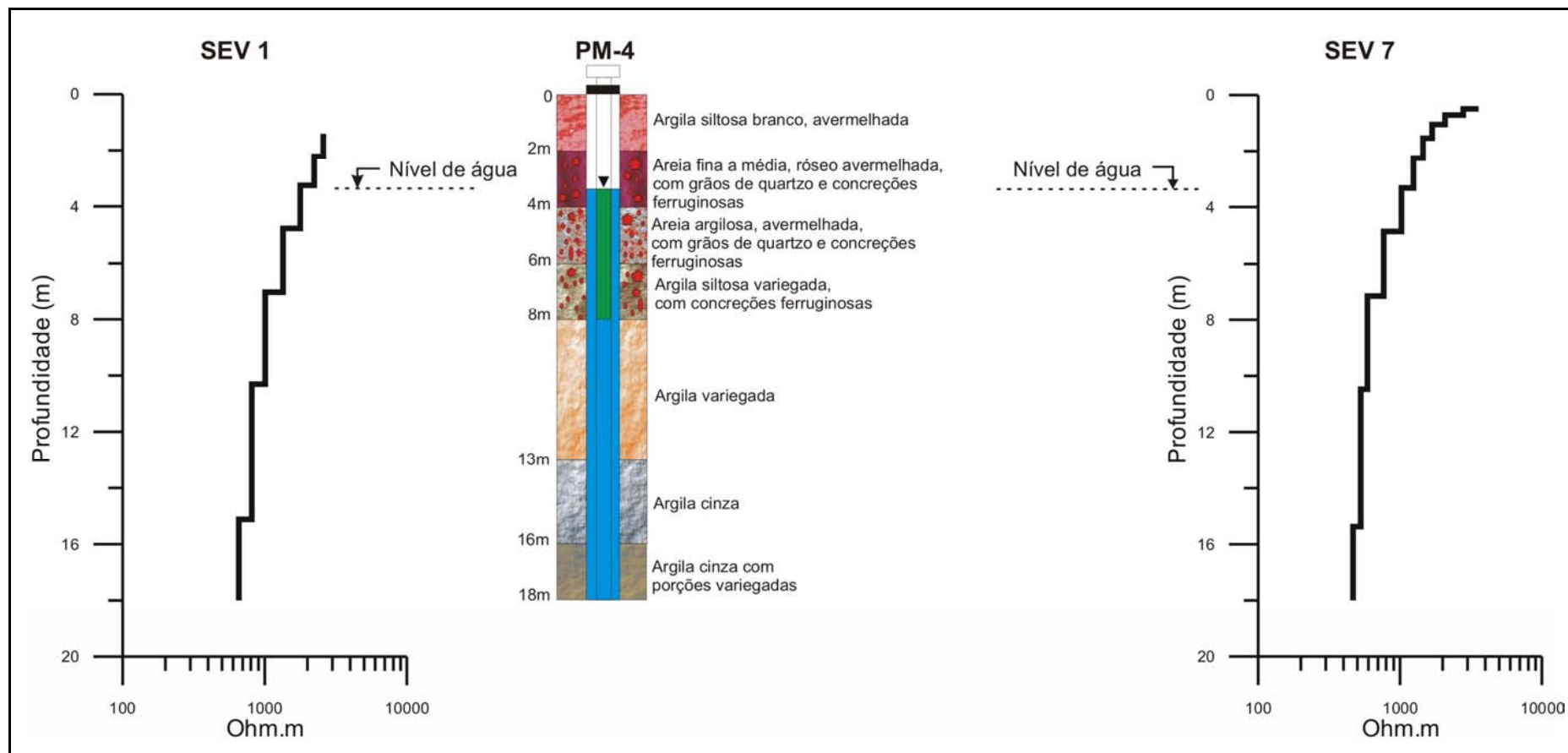


Figura 3.11 – Correlação dos modelos interpretativos das SEV 1 e 7 com a litologia do piezômetro PM-4. O piezômetro PM-4 encontra-se entre as SEV 1 e 7 distante cerca de 150 m delas.

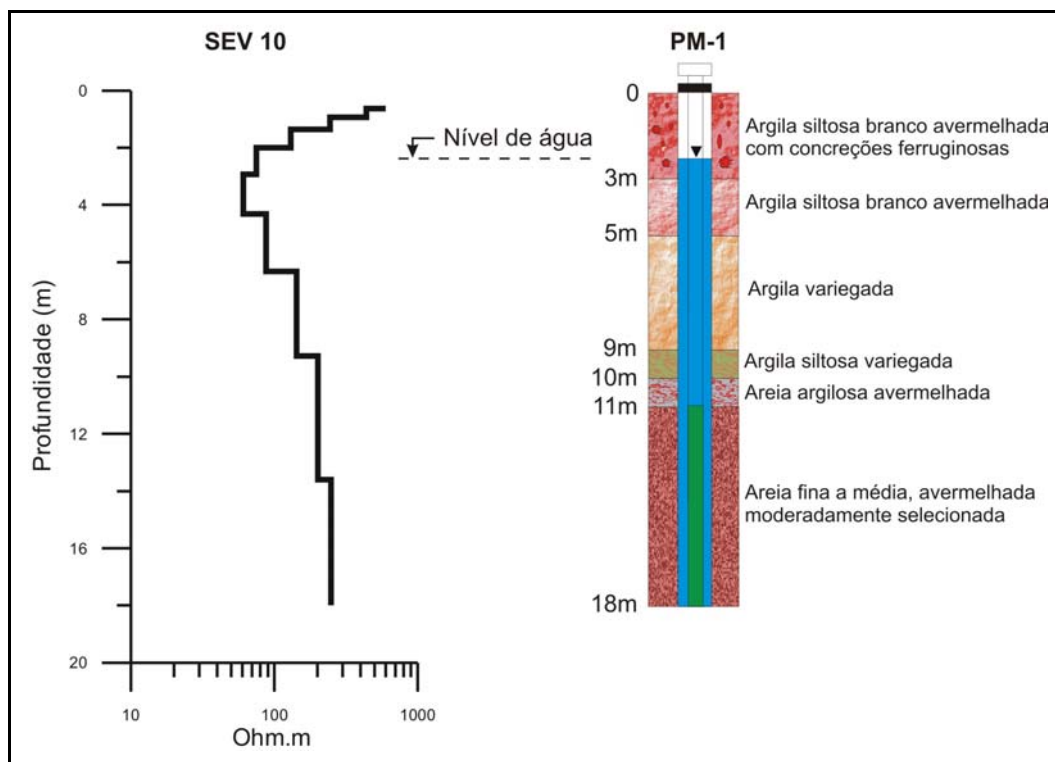


Figura 3.12 – Correlação do modelo interpretativo da SEV 10 com a litologia do piezômetro de monitoramento PM-1, com uma distância entre ambos em torno de 75 m.

Os modelos geoeletricos obtidos para as SEV 1, 2 e 3, realizadas ao longo do perfil EM-1, aparecem correlacionados lateralmente na Figura 3.13. Uma comparação dessa figura com a Figura 3.3 (pseudo-seção dos valores do módulo do campo para o perfil EM-1) mostra uma boa relação entre as medidas eletromagnéticas e de resistividade.

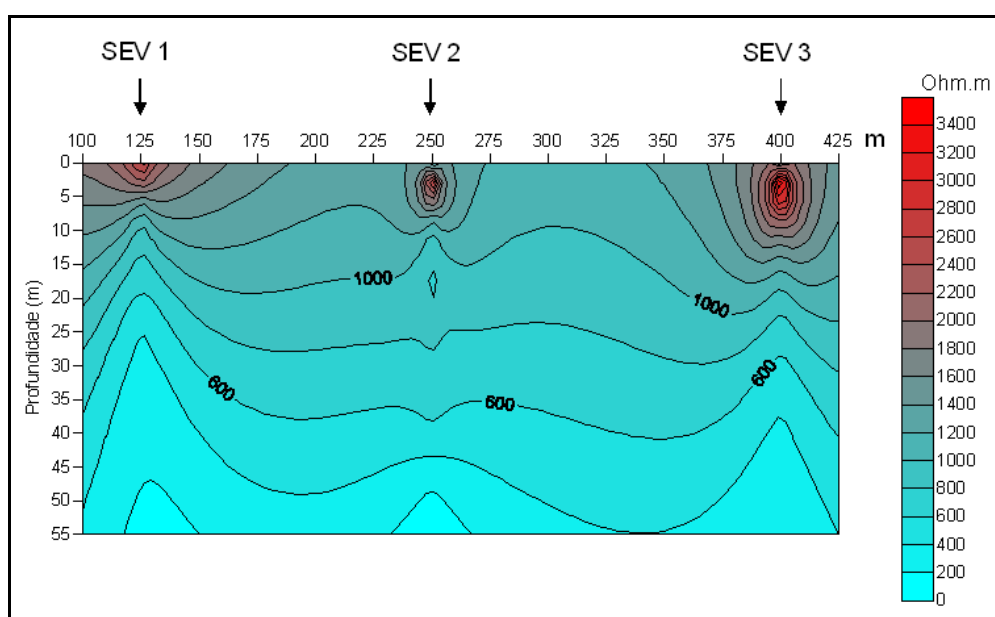


Figura 3.13 – Correlação lateral dos modelos geoeletricos das SEV realizadas sobre o perfil EM-1.

CONCLUSÕES

Os resultados das medidas geofísicas realizadas na área do PEUt apresentaram uma excelente concordância com as informações geológicas provenientes dos piezômetros.

As medidas eletromagnéticas realizadas na área de trabalho evidenciaram a presença de camadas geológicas com características elétricas diferentes (condutividade) que refletiram a presença de zonas condutoras (material argiloso) e zonas resistivas (material arenoso).

Há uma predominância de material arenoso, principalmente nos perfis 2, 3, 5 e 8 e nos demais a de material argiloso, mostrando variações litológicas ao longo dos perfis estudados. De acordo com as informações litológicas dos piezômetros, se tratam de argilas de coloração avermelhada, variegadas e esbranquiçadas e areias de granulometria que correspondem à fração fina e média, além da presença de concreções ferruginosas, sedimentos que estão relacionados ao Pós-Barreiras.

A representação dos valores medidos do módulo de campo versus frequência, permitiu uma melhor visualização da distribuição das zonas condutoras lateralmente e com a profundidade, exibindo uma pseudo-seção da subsuperfície.

Essa imagem aparente da subsuperfície (pseudo-seção) ao ser correlacionada com a distribuição dos sedimentos amostrados dos piezômetros perfurados sobre os perfis de medidas ou próximo deles, mostraram-se eficientes na delimitação das zonas arenosas e argilosas da subsuperfície, indicando que as variações de condutividade detectadas pelo método eletromagnético são melhores correlacionadas às variações litológicas ou à presença de água, do que à contaminação.

Além disso, a comparação entre as pseudo-seções indica ainda, um aumento na argilosidade da subsuperfície em direção à zona residencial adjacente ao PEUt, sugerindo que os lagos possuem chances de estarem protegidos de contaminações geradas na zona residencial.

Os modelos interpretativos das SEVis ao serem comparados com a litologia dos piezômetros, indicou que as argilas mais superficiais apresentam elevada resistividade e podem ser confundidas com material arenoso na interpretação geofísica. Os modelos geoeletricos obtidos a partir das SEVis mostraram boa correlação com as pseudo-seções das medidas eletromagnéticas indicando as zonas argilosas e arenosas.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao CPGG e à Faculdade de Geofísica da UFPA, à Universidade do Estado do Pará (UEPA), à Universidade Federal da Bahia (UFBA) e à Secretaria de Meio Ambiente do Pará (SEMA) pela infraestrutura e apoio oferecidos na realização dos trabalhos.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pelo financiamento dos estudos através dos projetos de pesquisa “Caracterização socioeconômica e ambiental integrada do sistema de abastecimento de água potável da cidade de Belém-PA” (Processo N^o 505247/2004-6), “Estudo Hidrogeológico da Bacia Hidrográfica do Utinga” (Processo N^o 476413-2004-4) e “Avaliação hidrogeoquímica do sistema hídrico na área de abrangência do Parque Ambiental de Belém-PA” (Processo N^o 471041/2006-8).

3.2 – INVESTIGAÇÃO DA POTENCIALIDADE DE CONTAMINAÇÃO NO PARQUE ESTADUAL DO UTINGA EM BELÉM (PA) UTILIZANDO O MÉTODO GEOFÍSICO GEORADAR

Este capítulo apresenta os resultados dos levantamentos geofísicos obtidos com a aplicação do Georadar na área de abrangência do PEUt. As informações são apresentadas na forma de artigo completo, o qual foi submetido à Revista da Associação Brasileira de Águas Subterrâneas (ABAS).

INVESTIGAÇÃO DA POTENCIALIDADE DE CONTAMINAÇÃO NO PARQUE ESTADUAL DO UTINGA EM BELÉM (PA) UTILIZANDO O MÉTODO GEOFÍSICO GEORADAR

RESUMO

Este estudo foi realizado no Parque Estadual do Utinga, localizado na Região Metropolitana de Belém (PA), que contém os reservatórios de águas superficiais, responsáveis pelo abastecimento de sua população. Em seu entorno, verifica-se uma urbanização crescente e desordenada, possibilitando que essa área torne-se uma fonte potencial de contaminação. Diante da possibilidade de que a poluição gerada chegue até os seus mananciais superficiais via subsuperfície rasa, torna-se necessário ter um conhecimento das características geológicas da área. Medições geofísicas realizadas no parque com o método Georadar mostraram bons resultados, os quais foram comparados a medidas EM de fase e quadratura com o Sistema Slingram MAX MIN I e informações de piezômetros. Os resultados obtidos com o Georadar permitiram a identificação de blocos lateríticos e tubulações, além da presença de zonas argilosas. As variações de condutividade detectadas através das medidas realizadas na área são associadas mais às variações litológicas do que à contaminação. A comparação entre os perfis indicou a predominância de argilosidade em subsuperfície, o que sugere que os recursos hídricos locais possuem chances de estarem protegidos de contaminações geradas na zona residencial, entretanto a presença de paleocanais arenosos rasos, identificados nos perfis, se constitui em um caminho para a migração de contaminação.

Palavras-Chaves: Georadar; Contaminação; Parque Estadual do Utinga; Região Metropolitana de Belém.

ABSTRACT

This study was conducted in Utinga State Park, located in the Metropolitan Region of Belém (PA) where surface water reservoirs are located and supply water for the city population. Surrounding it, there is a growing and disordered urbanization, allowing the area to become a potential source of contamination. Due to the possibility that pollution generated from this urbanization reaches the surface waters via shallow subsurface, it is necessary to have an understanding of the area's geological features. Geophysical measurements carried out in the Park with Ground Penetrating Radar method showed good results, which were compared to phase and quadrature EM measurements with the Slingram MAX MIN I System and data from piezometers. The results obtained with the Ground Penetrating Radar allowed the identification of lateritic blocks and pipes, and the presence of clay zones. Variations detected by conductivity measurements conducted in the area are more associated to lithologic variations than to contamination. A comparison of the profiles indicated the predominance of clay content in the subsurface, suggesting that local water resources are likely to be protected from the contamination generated in the residential area, however the presence of shallow sandy paleochannels identified in the profiles constitutes a path for contamination migration.

Keywords: Ground Penetration Radar; Contamination; Utinga State Park; Metropolitan Region of Belem.

INTRODUÇÃO

As transformações ocorridas no espaço urbano da Região Metropolitana de Belém (RMB) contribuíram não somente para a sua ocupação, através do entendimento das diferentes formas de apropriação, bem como ocasionou um intenso processo de degradação ambiental. Com isso, há um quadro sócioambiental permissivo e favorecedor de agravos à saúde da população (BAHIA, 2003).

No Parque Estadual do Utinga (PEUt), localizado na RMB, se encontram os principais mananciais de águas superficiais de abastecimento dessa região, os Lagos Bolonha e Água Preta. Em seu entorno, verifica-se uma urbanização crescente e desordenada que tem levado ao surgimento de bairros, conjuntos residenciais e à multiplicação de favelas desprovidas, em sua maioria, de saneamento básico, possibilitando que essa área torne-se uma

fonte potencial de contaminação via subsuperfície rasa aos recursos hídricos localizados em seu interior. Diante dessa possibilidade, se torna necessário ter um conhecimento das características geoambientais da área, a fim de se verificar o grau de proteção desses mananciais ao processo de contaminação.

Atualmente, uma das metodologias mais utilizadas para detectar e monitorar fluxos de contaminantes são os métodos geofísicos, sendo os mais empregados, os métodos elétricos e eletromagnéticos através das técnicas de Sondagem Elétrica Vertical, Caminhamento Elétrico, Caminhamento de Potencial Espontâneo, Caminhamento Eletromagnético e Radar (BAHIA et al., 2009).

Uma das principais vantagens da aplicação das técnicas geofísicas é a rapidez na avaliação de grandes áreas com custo relativamente baixo. Além disso, os levantamentos geofísicos propiciam a execução de perfis contínuos, possibilitando a identificação com maior precisão das variações laterais decorrentes das mudanças litológicas ou originadas pela presença da contaminação subterrânea.

Decidiu-se por realizar esse estudo com o método geofísico de Georadar, devido o mesmo ser o mais indicado em análises de rodovias pavimentadas, onde o número de camadas discretas é usualmente bem constituído, sendo paralelas à superfície do terreno, fornecendo informações mais detalhadas tanto sobre a estratigrafia rasa, como sobre a existência de contaminação, podendo mostrar excelentes resultados. Além disso, o Georadar se apresenta bem mais eficaz, por ser extremamente rápido e com baixo custo operacional em comparação aos demais métodos, que em alguns casos exigiria a quebra de pavimentação para a introdução de eletrodos.

CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

Criado em outubro de 1993, o Parque Estadual do Utinga (PEUt) é um dos maiores parques localizados em regiões metropolitanas do Brasil, com 1.340 hectares. Lugar de grande beleza natural, esse parque ambiental está ligado diretamente à preservação dos lagos Bolonha e Água Preta, responsáveis pelo abastecimento de água potável à população da RMB.

O PEUt está localizado no nordeste do Estado, na RMB, na área conhecida como Utinga (termo indígena que significa “quantidade de água, nascentes e rios”) limita-se ao norte e a leste com o município de Ananindeua, a oeste com a baía de Guajará e ao sul com o

rio Guamá. A Figura 3.14 apresenta geograficamente a RMB com a localização aproximada da área de estudo.

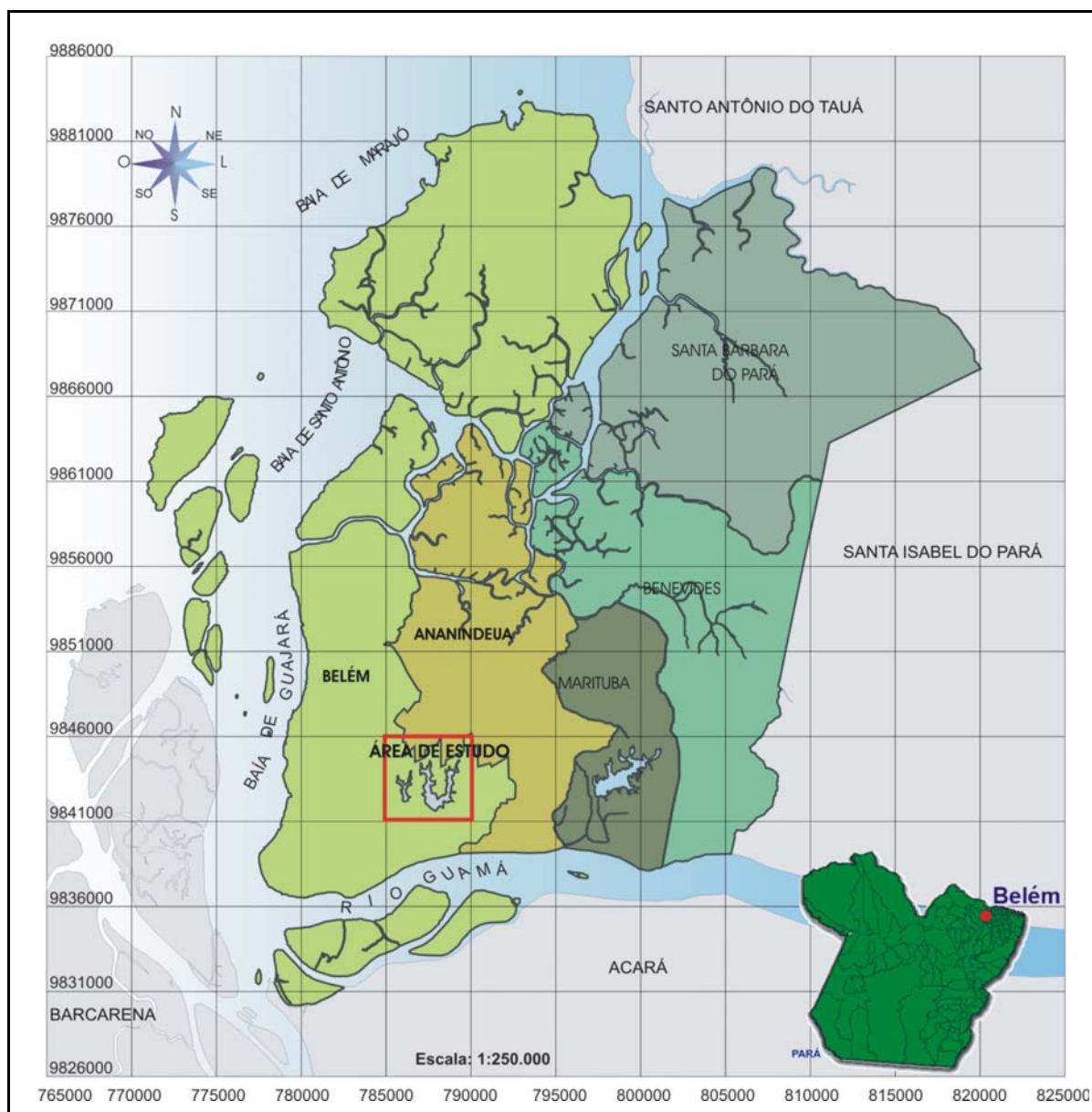


Figura 3.14 – Região Metropolitana de Belém com a localização da área de estudo (modificado de PMB, 1995).

GEOLOGIA LOCAL E HIDROGEOLOGIA

As unidades litoestratigráficas da RMB têm sua geologia representada por rochas formadas no Pré-Cambriano, Paleozóico e Cenozóico. Segundo Sauma Filho (1996), o Pré-Cambriano se caracteriza por um conjunto de rochas agrupadas no Complexo Maracaçumé, Formação Santa Luzia, Formação Tromai, Formação Gurupi, Formação Igarapé de Areia, Formação Vizeu e Granito Cantão. Enquanto o Paleozóico é representado pelos sedimentos da

Formação Piriá. Já no Cenozóico encontramos a Formação Pirabas, a partir de 80 m de profundidade, não aflorando na área da pesquisa. As unidades litológicas do Grupo Barreiras atingem até 100 m de espessura e cobre cerca de 65% da área total da RMB e são recobertas pelos sedimentos do Pós-Barreiras (Pleistoceno) e sedimentos recentes (Holoceno), ambos com uma espessura máxima em torno de 30 m.

Segundo Farias, Nascimento e Ferreira (1992), as observações geológicas de superfície identificaram que os terrenos de Belém e seus arredores são formados em quase sua totalidade por sedimentos arenosos da unidade Pós-Barreiras. Na área de estudo, a partir da superfície do terreno e com base nos perfis litoestratigráficos de piezômetros perfurados na área, são reconhecidos unidades litológicas da cobertura sedimentar Cenozóica, representado pela unidade do Pós-Barreiras (Figura 3.15).

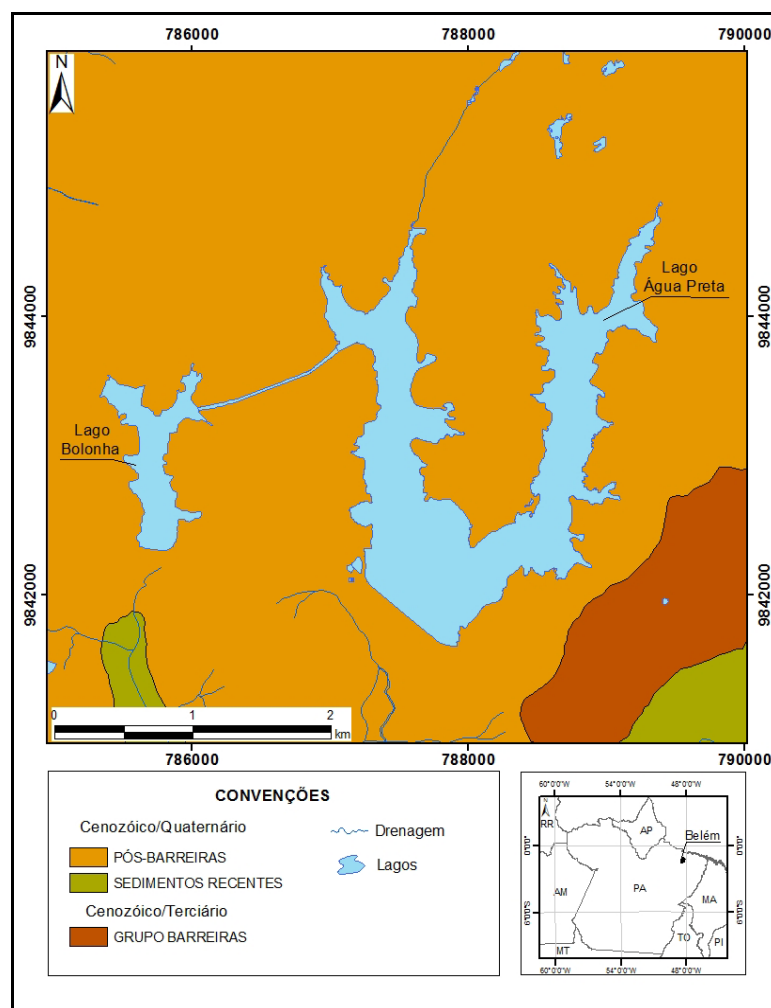


Figura 3.15 – Geologia da área de estudo.

Os pacotes sedimentares que acumulam água subterrânea na região de Belém e Ananindeua são formadores de cinco conjuntos aquíferos principais, denominados de

Aluviões, Pós-Barreiras (ambos do Quaternário) e Barreiras, Pirabas Superior e Pirabas Inferior do Terciário (MATTA, 2002).

No PEUt, de acordo com as informações obtidas com os perfis litoestratigráficos dos piezômetros perfurados na área de estudo em conjunto com a geologia, foi possível a classificação dos aquíferos como porosos, confinados e protegidos por uma camada de material argiloso. Em termos de litotipos aparecem argilas vermelhas, areias finas a médias e níveis ferruginosos que correspondem a unidade litoestratigráfica do Pós-Barreiras do período Quaternário, o que está de acordo com o estabelecido por Pereira, Ou e Kimble (1994), Piratoba Morales (2002), Rosseti et al. (1989) e Sauma Filho (1996), que estabelecem que os aquíferos do Pós-Barreiras do período Quaternário são formados por areias finas a médias, quartzosas, níveis ferruginosos, cuja espessura média de sedimentos é de cerca de 20 m, localizados geralmente na parte superior do terreno e com pequena distribuição espacial.

METODOLOGIA

Apresentam-se a seguir os conceitos básicos e a descrição sobre as técnicas usadas no desenvolvimento do presente estudo.

MÉTODO DO RADAR DE PENETRAÇÃO NO SOLO OU GEORADAR (*GROUND PENETRATING RADAR* OU GPR)

O Georadar (*Ground Penetrating Radar* ou GPR) foi utilizado em virtude da presença de trechos cobertos por concreto na área de estudo e, portanto, impossibilitadas de serem analisadas pelo método da Eletrorresistividade (SEV) utilizado anteriormente nos estudos de Bahia et al. (2009), visto que a utilização do mesmo nessas vias obrigaria a quebra da pavimentação para a colocação de eletrodos, o que não é recomendado por conta dos transtornos e custos que isso acarretaria. Já a utilização do método EM (Sistema Slingram MAX MIN I), também empregado nos mesmos estudos, seria prejudicada em virtude da existência da rede elétrica na área de coleta dos dados. Além disso, o Georadar pode caracterizar as propriedades das rochas e estruturas a pequenas profundidades, com grande resolução, bem como também tem sido bastante utilizado na investigação de áreas sujeitas à contaminação (ALMEIDA, 2007).

Com o Georadar é possível obter imagens de alta resolução da subsuperfície através da transmissão de ondas eletromagnéticas (EM) de altas frequências, que são radiadas para

dentro da terra por uma antena transmissora colocada na superfície do terreno (DAVIS; ANNAN, 1989).

Como em outros métodos geofísicos, o Georadar depende do sinal de retorno que é resultado da interação entre o sinal emitido e as propriedades eletromagnéticas dos materiais em subsuperfície. As ondas que retornam à superfície são detectadas na mesma antena transmissora ou em outra antena colocada próximo. O tempo decorrido entre o início da radiação e a detecção das ondas refletidas é registrado e permite que se estimem as profundidades das interfaces de reflexão, desde que seja conhecida a velocidade de propagação das ondas. As interfaces de reflexão são definidas sempre que há variações nas propriedades eletromagnéticas do meio (resistividade, constante dielétrica e permeabilidade ou susceptibilidade magnética).

O Georadar é atualmente o método geofísico de mais alta resolução, visto que é fundamentado na propagação e reflexão de ondas eletromagnéticas, mais precisamente ondas de rádio, que operam na faixa de frequências que variam normalmente de 15 a 2500 MHz. Tal como o método sísmico, uma seção de radar com uma separação constante entre as antenas emissora e receptora, conhecida como seção de afastamento comum, apresenta uma imagem da subsuperfície.

Informações detalhadas a respeito da propagação de ondas eletromagnéticas em altas frequências, aquisição, processamento e interpretação de dados GPR podem ser encontradas em literatura apropriada, tais como Botelho e Pestana (1996), Daniels (1996), Fisher et al. (1992a,b), Neves et al. (1995), Porsani (1999) e Ulriksen (1982).

Na aplicação do método para caracterização geológica, a profundidade de penetração pode variar de menos de 1 m, em áreas onde a cobertura geológica é eletricamente muito condutora (rica em argilas), até profundidades superiores a 25 m, em áreas de cobertura pouco condutora (areias sem argila e cascalho) (BERES JR.; HAENI, 1991). Estudos realizados em Belém e em Manaus, por exemplo, mostraram profundidades de penetração variando entre 4 m e 15 m, para a frequência de 100 MHz (SAUCK; OLIVEIRA; CARVALHO, 1995).

De acordo com Reynolds (1997), a operação de medidas na superfície do terreno com os sistemas de radar pode ser dividida em três modos básicos de aquisição:

- 1) perfis de reflexão com afastamento constante (Figura 3.16A), quando se utiliza uma antena mono-estática ou um par de antenas biestáticas separadas por uma distância fixa (*offset comum*);

- 2) sondagens de velocidade que incluem a técnica WARR (*wide angle reflection and refraction*) onde uma antena é mantida fixa enquanto a outra é deslocada (Figura 3.16B);

3) a técnica CMP (*Common Mid Point*), onde as duas antenas são deslocadas para ambos os lados de um ponto central (Figura 3.16C).

Os modos 2 e 3 são normalmente usados para estimar a velocidade de propagação das ondas.

Neste estudo foi utilizada a técnica de reflexão com afastamento constante e a velocidade de propagação das ondas foi estimada durante o processamento dos dados.

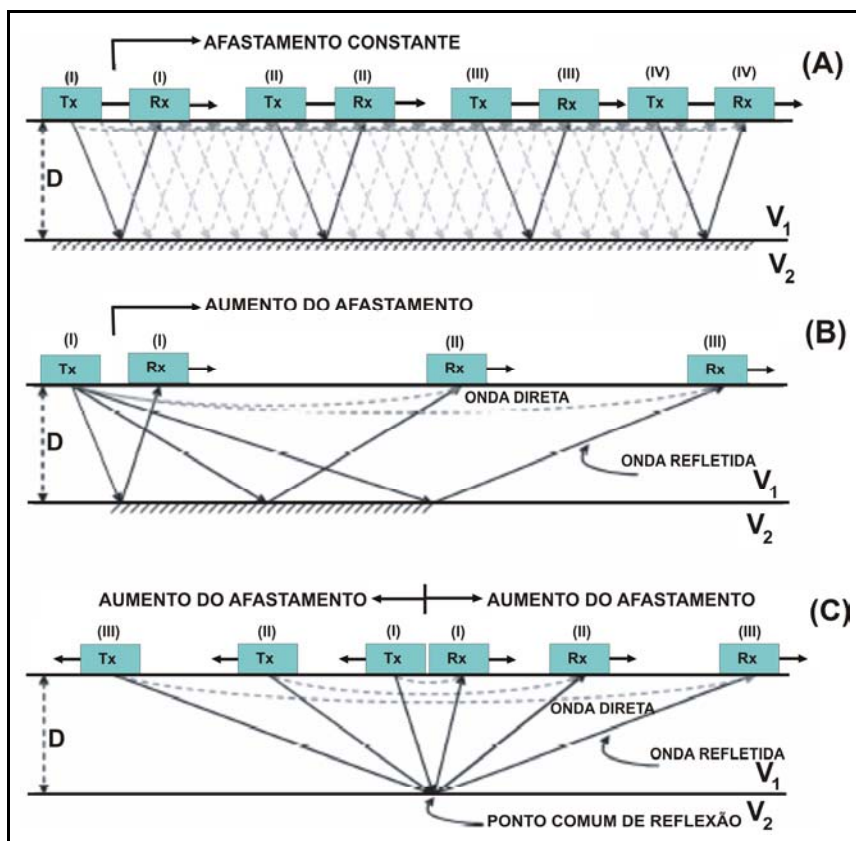


Figura 3.16 – Os três modos de operação do GPR: (A) afastamento constante, (B) WARR e (C) CMP (modificada de REYNOLDS, 1997).

Foram realizados dois perfis, tendo em vista a quantidade de vias pavimentadas que se limitavam a esse número: o primeiro deles (perfil 1) foi executado no sentido SW-NE, cobrindo uma extensão de 550 m ao longo da Av. João Paulo II, que se encontra na borda dos limites do parque (Figura 3.17). O segundo perfil foi realizado dentro do parque, na via que permite o acesso ao seu interior. Foi executado no sentido SE-NW, com 800 m de extensão (Figura 3.17).

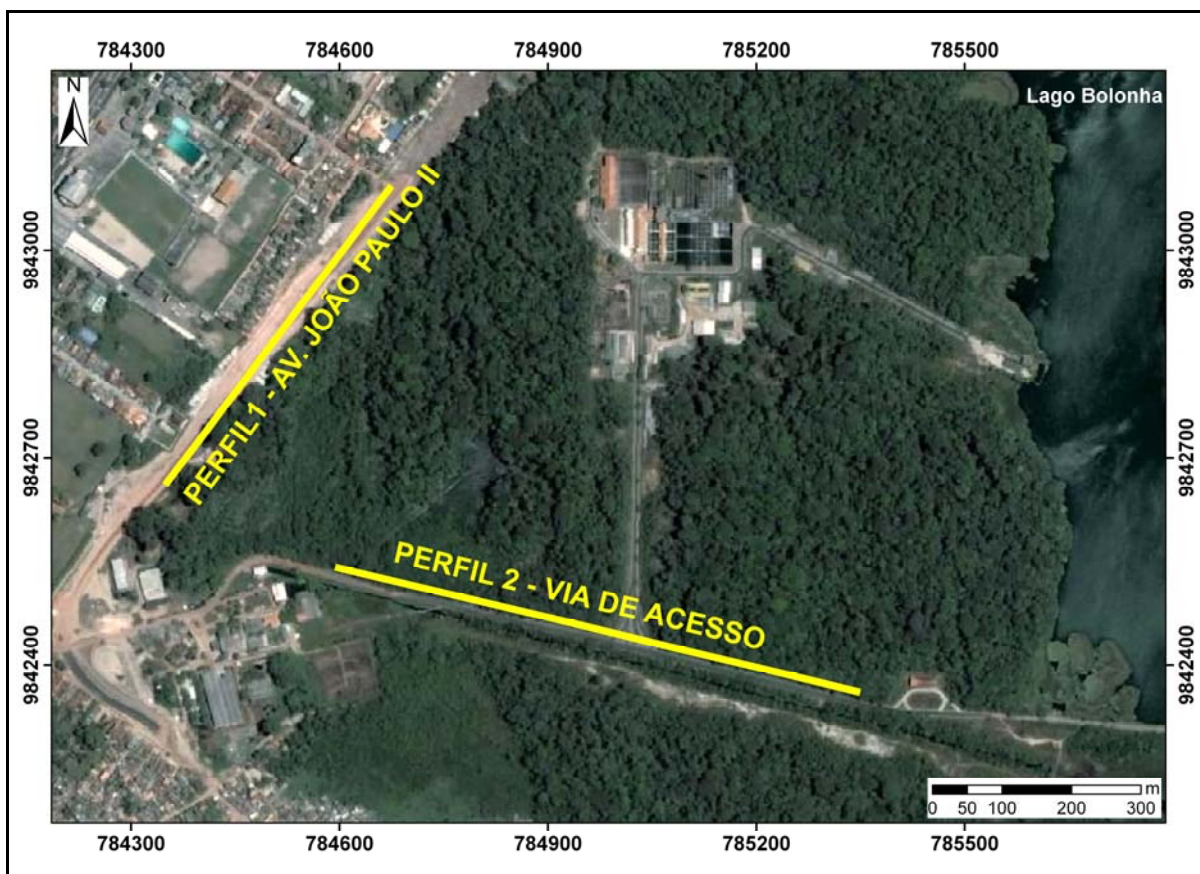


Figura 3.17 – Localização dos perfis de Georadar na área de estudo.

O equipamento GPR utilizado foi o modelo SIR-3000 da GSSI, com antena blindada de frequência 200 MHz. O instrumento foi operado no modo tempo, sendo o controle da posição das medidas obtido através de marcas inseridas no registro a intervalos de 50 m. O posicionamento das marcas foi controlado por trena.

As medidas obtidas com o GPR foram processadas com o programa Reflew-Win 4.2 da Sandmeier Software. O processamento envolveu basicamente os seguintes procedimentos: (a) interpolação das marcas de posicionamento horizontal para obtenção de escala horizontal uniforme; (b) estabelecimento do tempo zero de registro; (c) aplicação de filtro passa alta denominado *Subtract-mean (Dewow)*, para eliminar a saturação do registro devido às grandes amplitudes das ondas aéreas e diretas; (d) frequência de corte de 100 e 400 MHz; (e) aplicação de ganho (AGC); (f) aplicação de filtro de remoção de *background*; (g) aplicação de filtro passa banda (*bandpass butterworth*); (h) estimativa da velocidade de propagação das ondas; (i) conversão de tempo em profundidade. Para a conversão de tempo em profundidade foram usadas as velocidades constantes de 0,1 m/ns (Perfil 1) e 0,12 m/ns (Perfil 2), obtidas através do procedimento de superposição de hipérbolas, durante o processamento dos dados

(SANDMEIR, 2006). Não foi feita a correção estática e topográfica devido à área estudada ser totalmente plana.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

De acordo com os estudos de Bahia et al. (2009), as medidas eletromagnéticas realizadas no interior do PEUt evidenciaram a presença de camadas geológicas com características elétricas diferentes (condutividade), que refletiram a presença de zonas condutoras (material argiloso) e zonas resistivas (material arenoso). A imagem aparente da subsuperfície (pseudo-seção EM) pode ser correlacionada com a distribuição dos sedimentos amostrados em nove piezômetros com profundidades de 18 a 20 m, perfurados sobre os perfis de medidas EM que evidenciaram argila de coloração avermelhada, variegada e esbranquiçada, com concreções lateríticas e uma areia de granulometria que corresponde à fração de areia fina e média, relacionada aos sedimentos do período Pós-Barreiras, além de mostrar em alguns destes piezômetros o nível freático próximo à superfície do terreno (Figura 3.18).

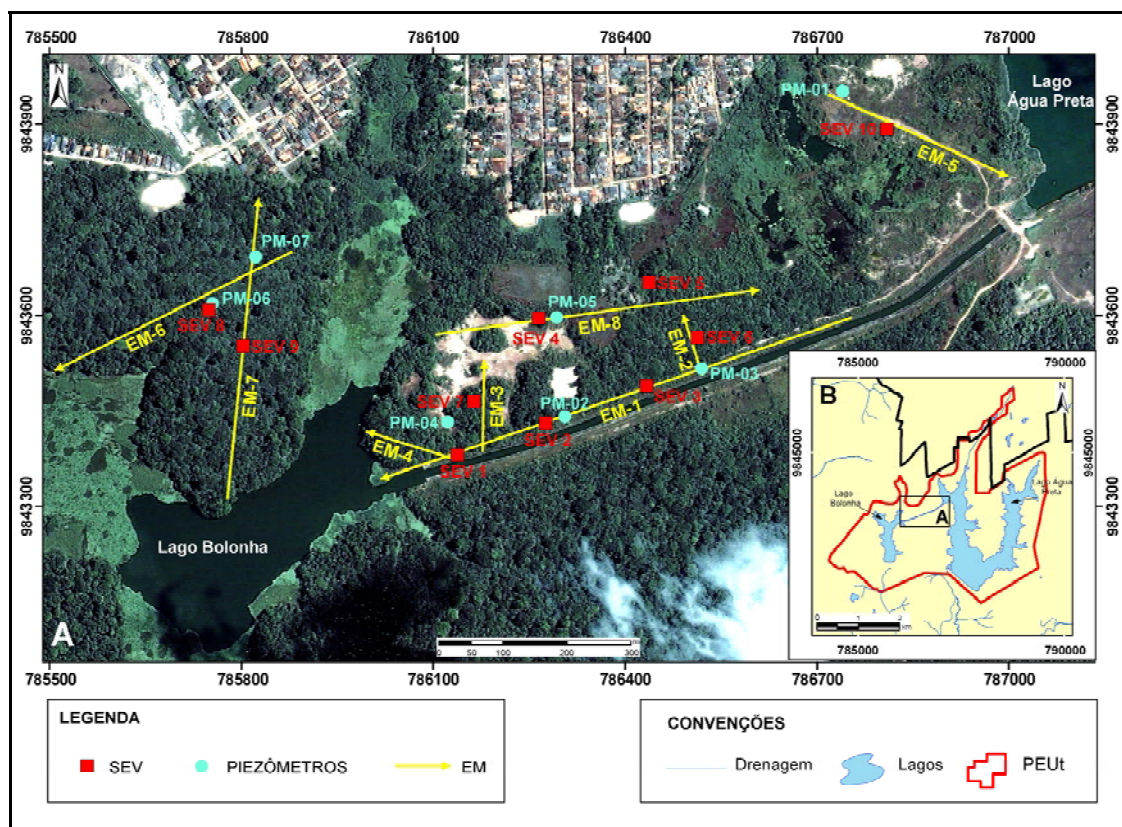


Figura 3.18 – Figura A: Posicionamento dos perfis Eletromagnéticos (EM), Sondagens Elétricas Verticais (SEV) e piezômetros de monitoramento (PM). Figura B: Visão geral da área de estudo, conforme estudos de Bahia et al. (2009).

De posse de dados dos perfis geológicos de piezômetros perfurados na área, foi possível fazer correlações e elaborar um modelo simulando a geometria das camadas aquíferas na área de estudo (Figura 3.19).

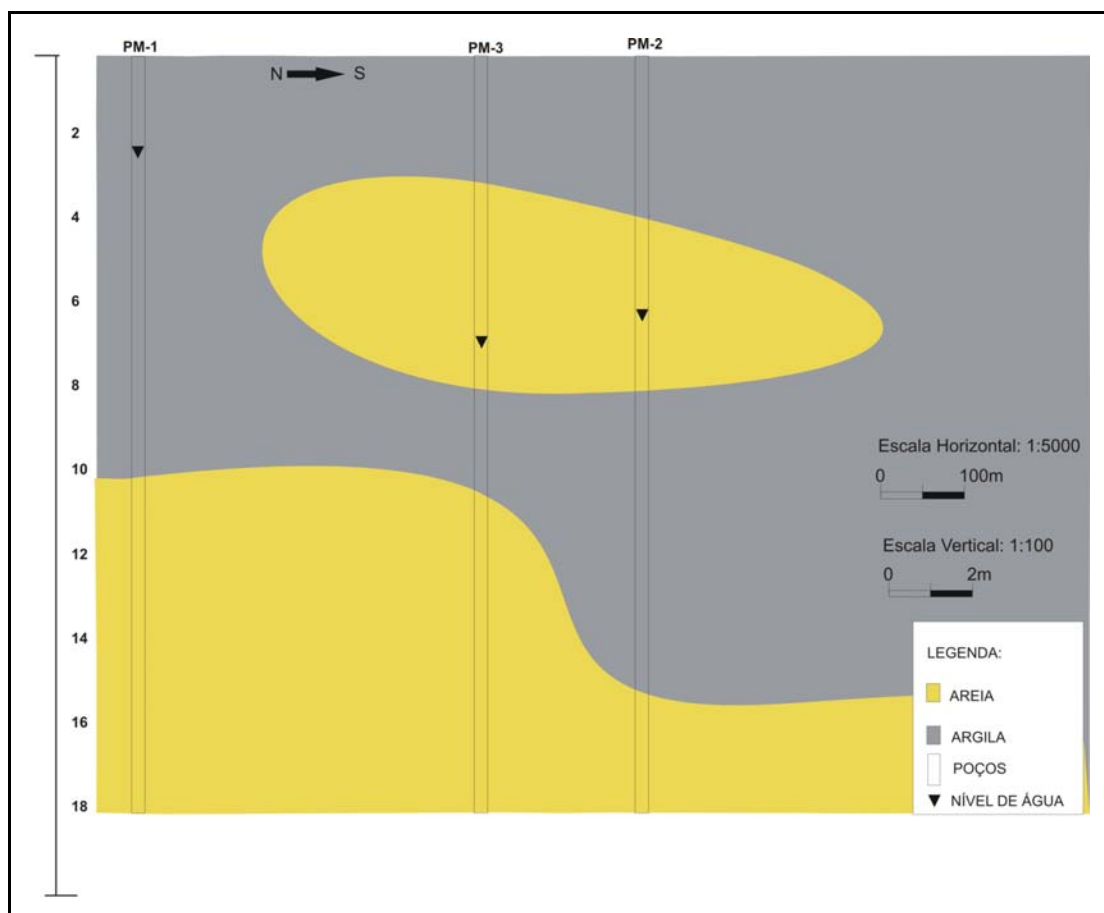


Figura 3.19 – Correlação das camadas aquíferas em piezômetros instalados na área de estudo.

Com esses resultados obtidos nos estudos desenvolvidos por Bahia et al. (2009) no PEUt realizado com o método geofísico EM e instalação de piezômetros em zonas que indicaram alterações em sua condutividade elétrica, foi possível realizar uma análise conjunta com os dados obtidos de Georadar, o que permitiu a caracterização da área dos perfis quanto à profundidade da zona saturada, existência e espessura da camada litológica e provável contaminação do lençol freático. A análise e interpretação dos perfis é apresentada através das Figuras 3.20 a 3.33.

PERFIL 1 – AV. JOÃO PAULO II

A Avenida João Paulo II é a via urbana de principal acesso ao PEUt. A avenida está localizada fora do parque e serve de limite a ele (Figura 3.17).

O perfil realizado nesta via tem 550 m de comprimento e foi subdividido em 4 seções de 100 m e uma de 150 m. Para a conversão de tempo em profundidade no perfil foi usada a velocidade de 0,1 m/ns.

O perfil apresentou zonas de reflexão intensa em sua parte superior, que se estenderam por todo o seu comprimento, bem como zonas de baixa reflexão causadas pela atenuação do sinal eletromagnético.

Na primeira parte do perfil, no intervalo de 0 a 100 m, representado na Figura 3.20, observa-se na sua porção mais superior, entre as profundidades de 1 m e 2 m, um forte refletor que pode ser relacionado ao nível freático, uma vez que este se apresenta próximo à superfície com profundidades de até 2 m (BAHIA et al., 2009). Este refletor é quase contínuo ao longo do perfil, sendo interrompido entre as posições 26 m e 36 m e entre as posições 50 m e 58 m, provavelmente pelo aumento da argilosidade do terreno. Observa-se ainda no perfil, entre as posições 58 m e 100 m, uma feição que pode estar relacionada à presença de um paleocanal arenoso.

Na porção do perfil que vai de 100 m a 200 m (Figura 3.21), aparece na parte inicial a continuação da feição identificada entre as posições 58 m e 100 m na Figura 3.20 como possível paleocanal. Entre as posições 154 m e 200 m e profundidades entre 1 m e 2,5 m, é possível observar uma segunda feição que também pode ser associada a um paleocanal.

As reflexões abaixo das feições associadas à paleocanais apresentam-se mais atenuadas, provavelmente devido a existência de material mais argiloso. Observa-se ainda nessa parte do perfil que a partir da posição 150 m e profundidades superiores a 2,5 m as interfaces de reflexão apresentam uma inclinação suave para nordeste.

Na porção do perfil que vai de 200 m a 300 m (Figura 3.22) é possível observar a continuação do refletor inclinado evidenciado na porção anterior do perfil mostrado na Figura 3.21. Há ainda a presença de formas hiperbólicas nas posições 212 m, 240 m, 266 m e 298 m, provavelmente relacionadas a tubos de drenagem. Na parte inferior deste perfil, há a ocorrência de uma zona de baixa reflexão que se estende de 266 m a 286 m, causada provavelmente por um aumento de argilosidade.

No percurso de 300 m a 400 m do perfil (Figura 3.23), as reflexões sugerem a existência de um contato entre duas unidades eletricamente diferentes, com a unidade basal apresentando maior argilosidade. Essa unidade apresenta uma maior proximidade da superfície do terreno no intervalo 340 m - 380 m. Nesse intervalo parece encontrar-se a zona mais arenosa da unidade superior.

Entre 400 m e 550 m (Figuras 3.24 e 3.25) destaca-se uma feição que pode ser associada a um paleocanal, que se estende até uma profundidade superior a 4 m.

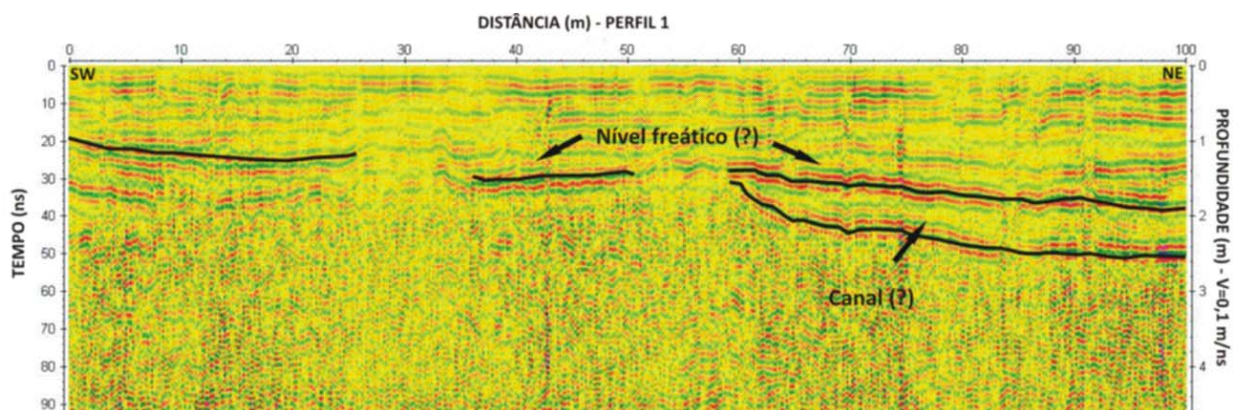


Figura 3.20 – Modelo interpretativo para o intervalo 0 a 100 m do Perfil 1.

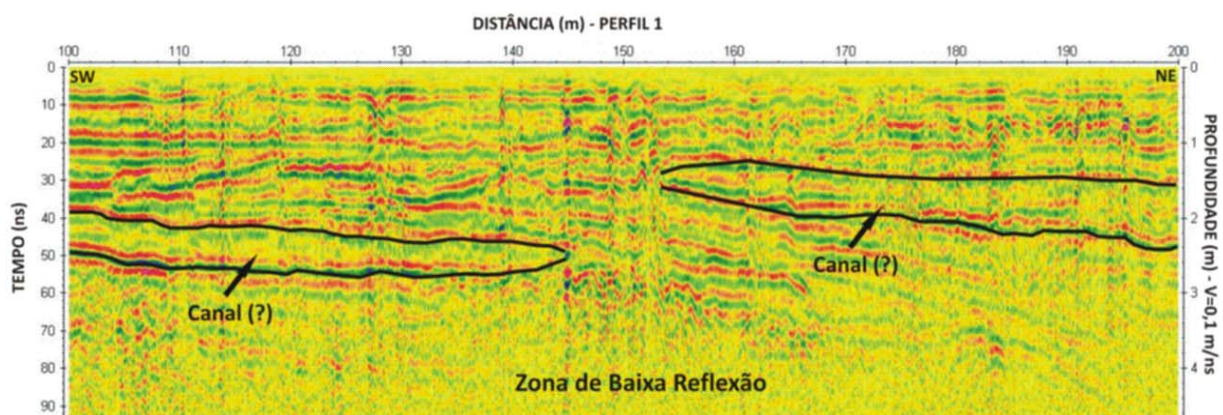


Figura 3.21 – Modelo interpretativo para o intervalo 100 a 200 m do Perfil 1.

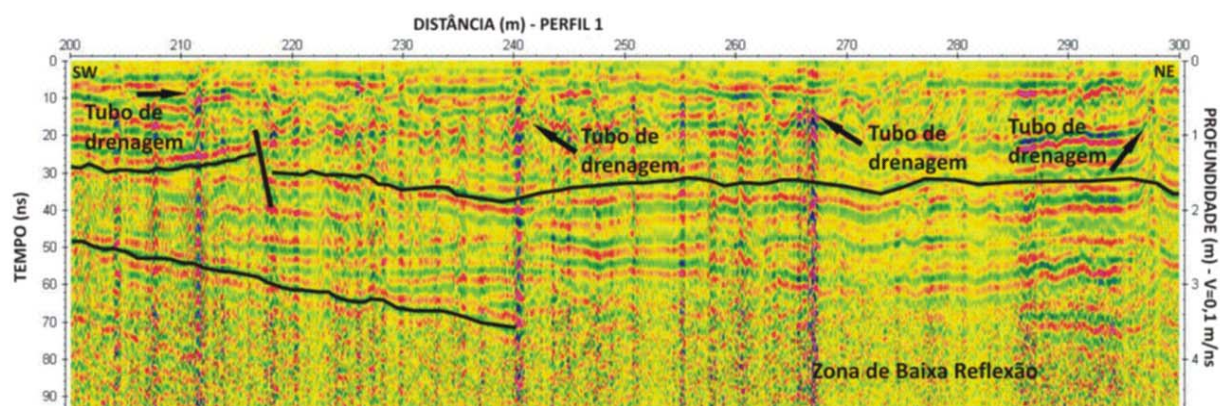


Figura 3.22 – Modelo interpretativo para o intervalo 200 a 300 m do Perfil 1.

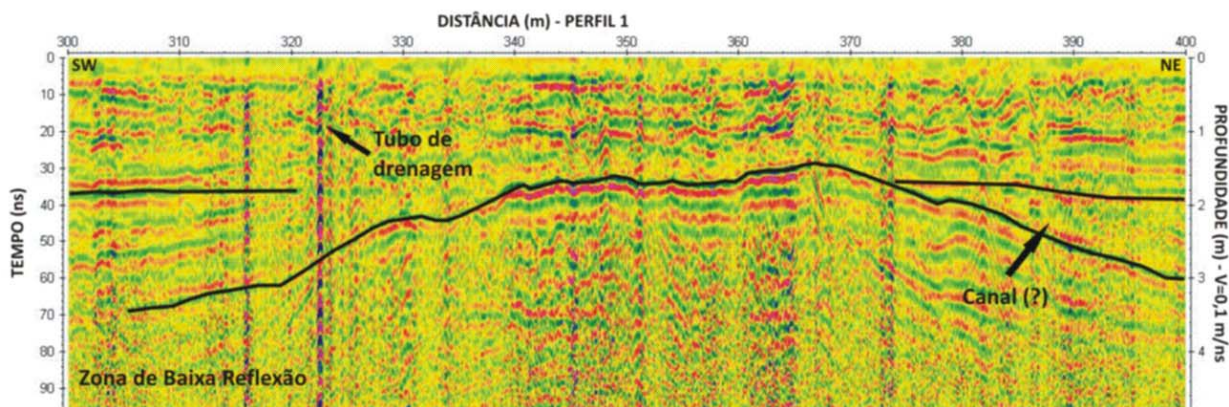


Figura 3.23 – Modelo interpretativo para o intervalo 300 a 400 m do Perfil 1.

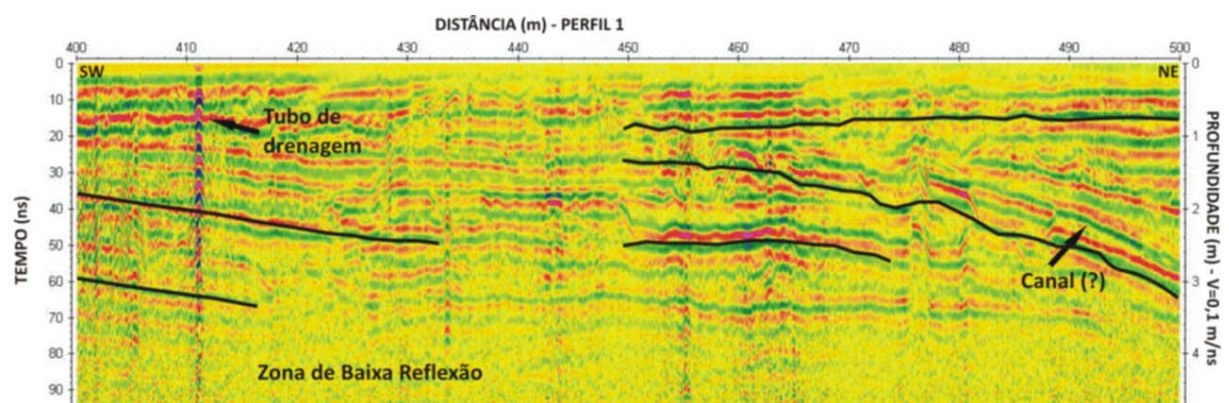


Figura 3.24 – Modelo interpretativo para o intervalo 400 a 500 m do Perfil 1.

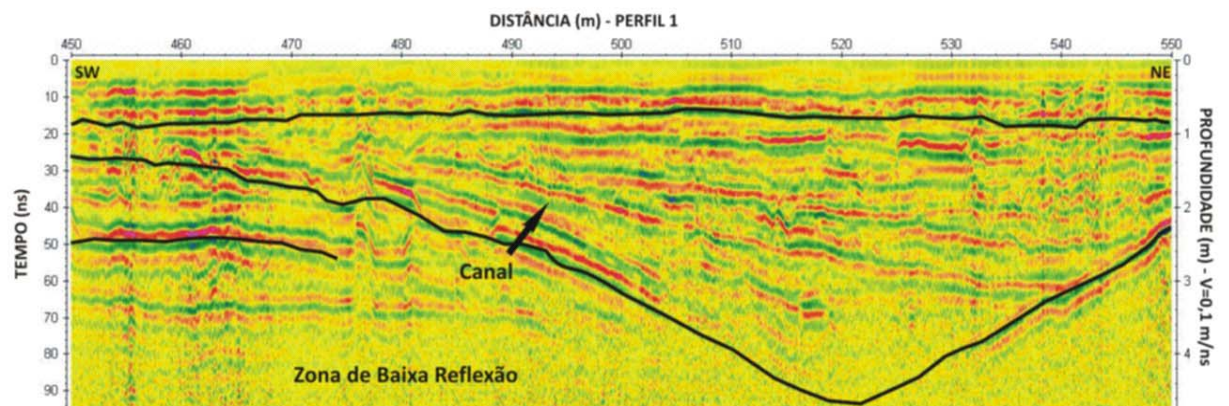


Figura 3.25 – Modelo interpretativo para o intervalo 450 a 550 m do Perfil 1.

PERFIL 2 – VIA DE ACESSO

O Perfil 2 foi realizado na via de que dá acesso ao interior do PEUt e cobriu uma extensão de 800 m de comprimento (Figura 3.17). O perfil foi subdividido em 8 seções de 100 m cada.

Para a conversão de tempo em profundidade neste perfil foi usada a velocidade de 0,12 m/ns.

Nos primeiros 100 m do perfil (Figura 3.26) nota-se um forte refletor a cerca de 0,20 m de profundidade que pode ter sido causado pela passagem da pavimentação/aterro para o solo. Logo abaixo desse refletor (entre 1 m e 2 m de profundidade) um segundo refletor pode estar relacionado ao nível freático. Entre as profundidades de 2 m e 4 m é possível visualizar um refletor que pode representar a passagem do solo para uma camada mais compactada, rica em material laterítico. Essa suposição provém da observação de algumas formas hiperbólicas nos registros, mas precisamente nas posições 22 m, 26 m, 54 m, 66 m e 96 m, que parecem estar associadas às concreções lateríticas, comuns na área de estudo.

Analisando o percurso de 100 m a 200 m desse perfil (Figura 3.27) pode-se notar a presença das hipérbolas que podem estar associadas às concreções lateríticas, assim como aos refletores identificados anteriormente. Neste perfil, ocorre ainda, uma descontinuidade lateral na posição 130 m, que pode ser uma falha causada por processos neotectônicos. Observam-se ainda, no percurso que vai de 200 m a 400 m (Figuras 3.28 e 3.29), os refletores antes identificados, que ocorrem na profundidade de 0,20 m e entre as profundidades de 2 m e 4 m. Além disso, há também nesse trecho, a presença de descontinuidades laterais (falhas neotectônicas) nos pontos de 222 m, 270 m, 280 m, 293 m, 302 m, 337 m e 346 m, que deslocam o refletor. Os dois deslocamentos localizados nas posições 337 m e 346 m (Figura 3.29) formam uma feição similar a um graben ou pode ser apenas o leito soterrado de um paleocanal, visto que essa feição parece limitar um paleocanal.

No perfil que vai de 400 m a 500 m (Figura 3.30), continuam os dois refletores anteriormente destacados. Pode-se também visualizar nesta seção descontinuidades laterais aos 423 m e 440 m.

No percurso de 500 m a 600 m (Figura 3.31), a partir dos 520 m aparece uma feição que se assemelha a um paleocanal. A base dessa feição parece coincidir com o refletor antes identificado como o topo de uma camada rica em material laterítico. Observa-se no perfil que a partir da posição 520 m a base do provável paleocanal torna-se difusa devido à atenuação do sinal, desaparecendo no trecho seguinte, mostrado no perfil que vai de 600 m a 700 m (Figura 3.32). Essa parte do perfil é caracterizada por elevada atenuação causada pelo aumento de condutividade provavelmente devido a uma maior argilosidade.

Aos 620 m, uma forma hiperbólica mostra a presença da tubulação principal de distribuição de água, responsável pela retirada de água da estação de tratamento localizada no interior da área de estudo e de distribuí-la para a população local. Essa tubulação, de constituição metálica, é visível fora da via onde foi realizado o perfil, sendo transversal a ela. A partir da posição 650 m desenvolve-se feição similar a um paleocanal, com topo bem

definido e base um pouco difusa por atenuação do sinal relacionado a um aumento de condutividade, provocado provavelmente por argilosidade.

Na última seção do perfil, de 700 m a 800 m (Figura 3.33), observa-se uma feição que parece ser a continuação do provável paleocanal identificado na seção anterior do perfil. Também nesta seção do perfil há predominância de forte atenuação do sinal causado provavelmente por argilosidade.

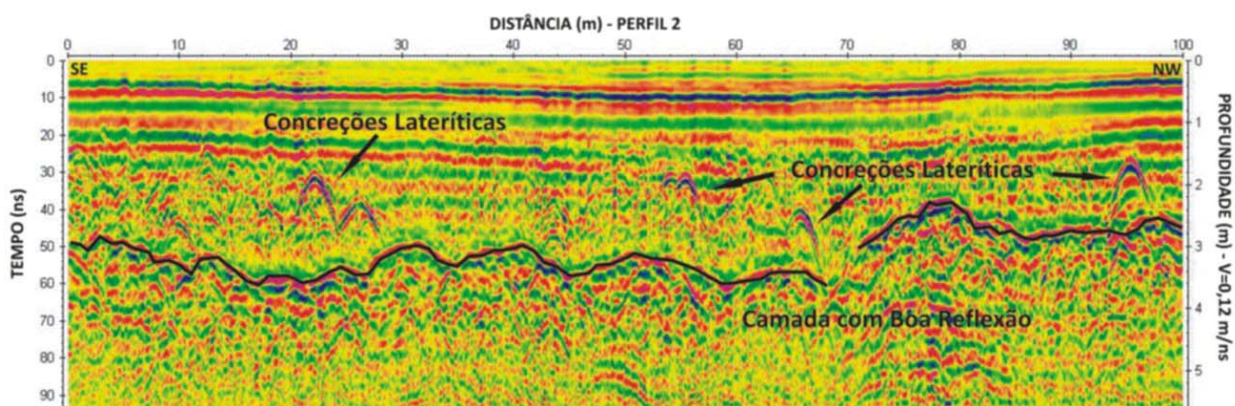


Figura 3.26 – Modelo interpretativo para o intervalo 0 a 100 m do Perfil 2.

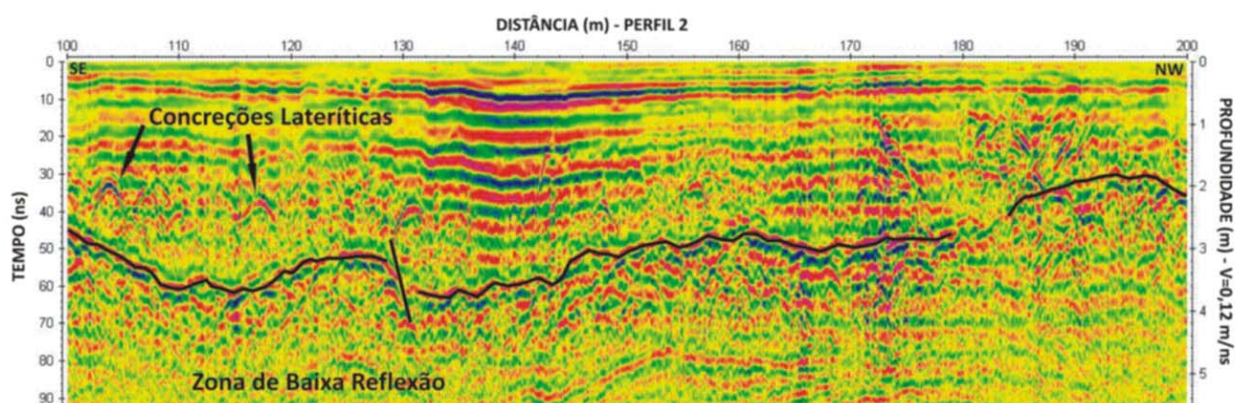


Figura 3.27 – Modelo interpretativo para o intervalo 100 a 200 m do Perfil 2.

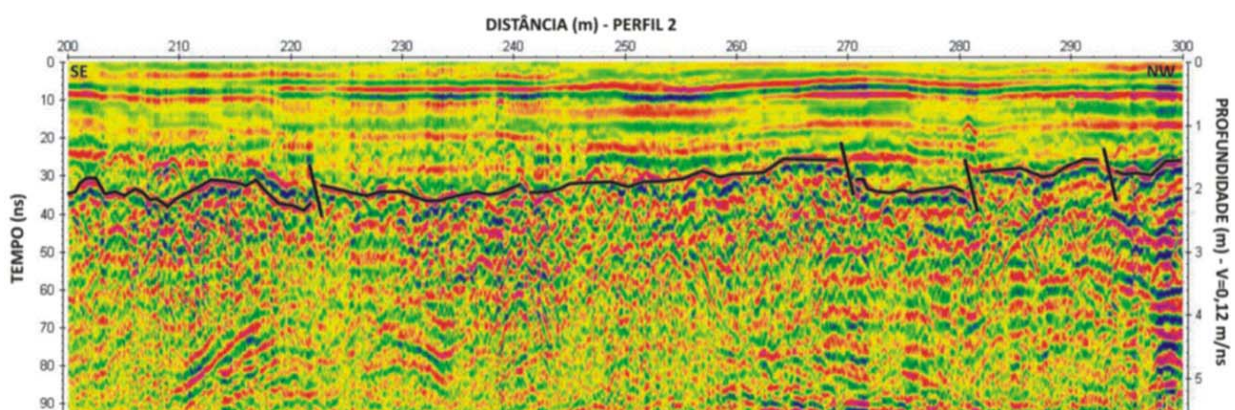


Figura 3.28 – Modelo interpretativo para o intervalo 200 a 300 m do Perfil 2.

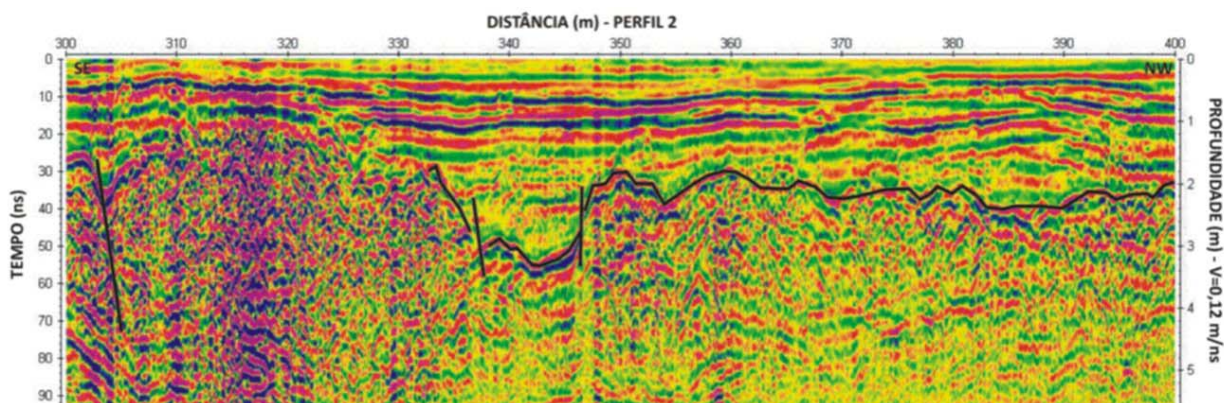


Figura 3.29 – Modelo interpretativo para o intervalo 300 a 400 m do Perfil 2.

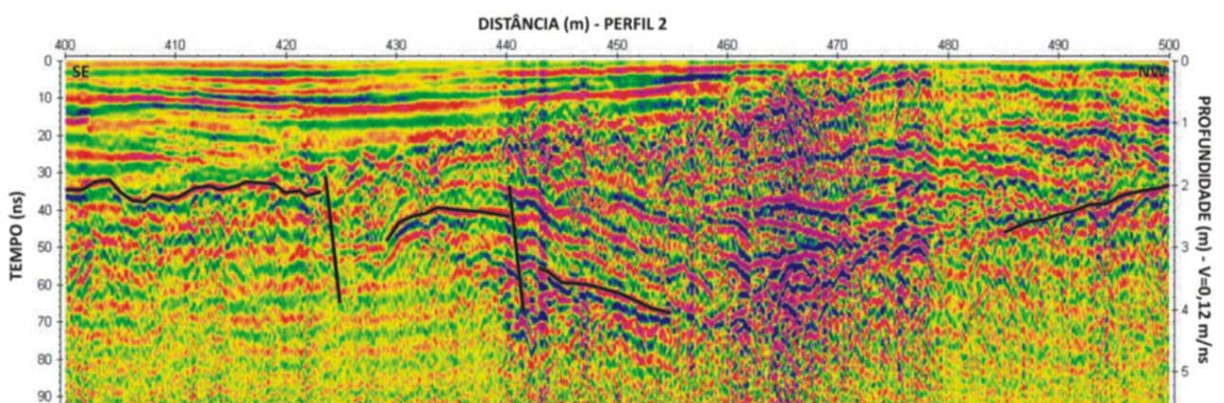


Figura 3.30 – Modelo interpretativo para o intervalo 400 a 500 m do Perfil 2.

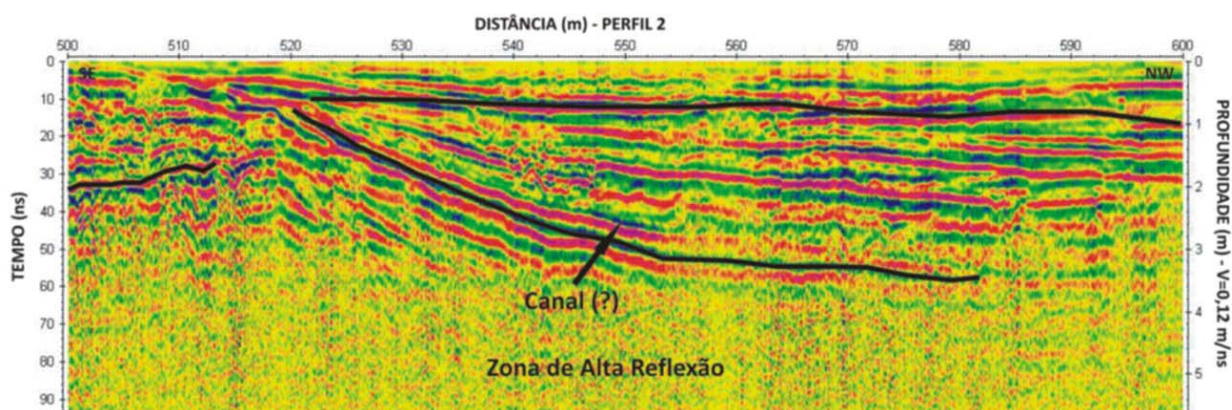


Figura 3.31 – Modelo interpretativo para o intervalo 500 a 600 m do Perfil 2.

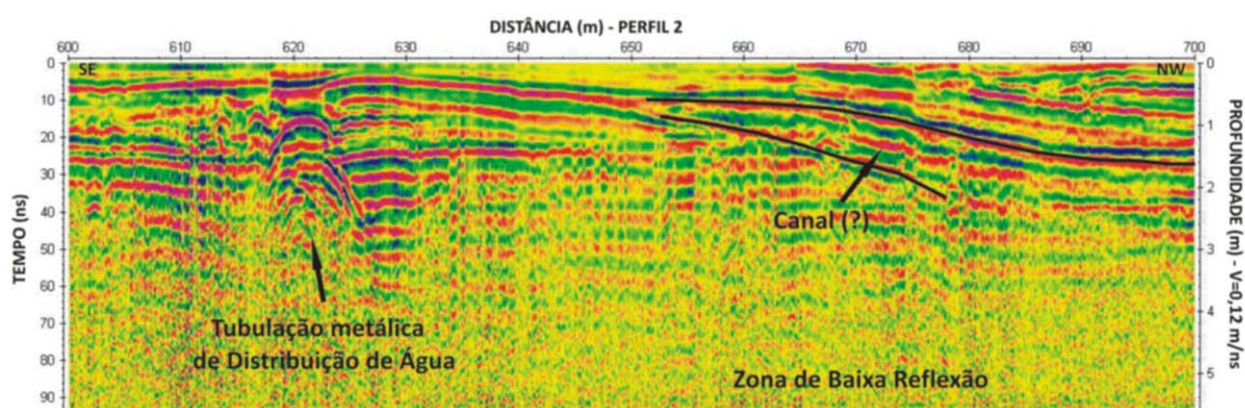


Figura 3.32 – Modelo interpretativo para o intervalo 600 a 700 m do Perfil 2.

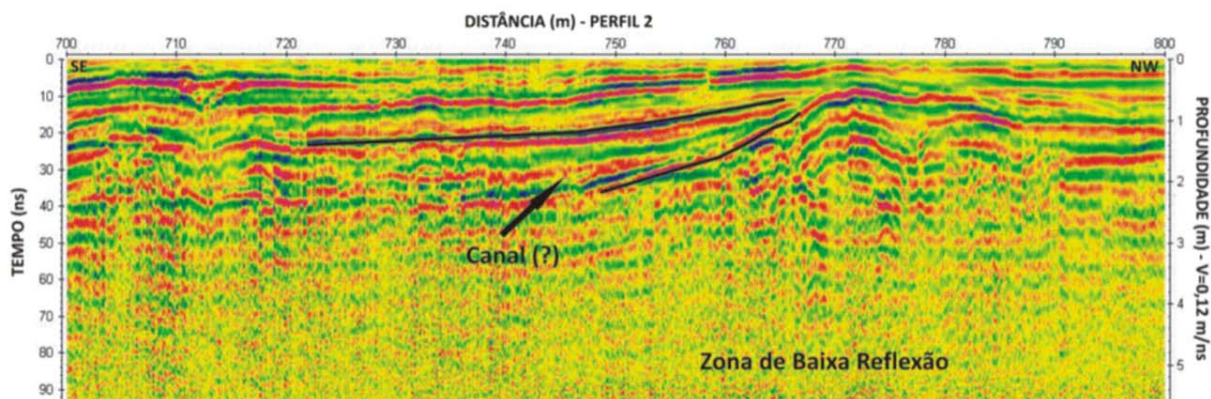


Figura 3.33 – Modelo interpretativo para o intervalo 700 a 800 m do Perfil 2.

CONCLUSÕES

Nos estudos realizados com a aplicação do método geofísico GPR na área do PEUt, em comparação aos resultados obtidos com o método geofísico EM (Sistema Slingram MAX MIN I) e instalação de piezômetros, provenientes de estudos realizados anteriormente na área de pesquisa, foi possível identificar zonas de baixa reflexão de sinal causadas por argilas, bem como reflexões que foram associadas a blocos lateríticos e tubulações. Alguns padrões de reflexões mostraram feições que podem ser devidos a paleocanais arenosos. O padrão das reflexões pode, portanto, ser correlacionado com a distribuição dos sedimentos na área, representados por argilas variegadas e areias de granulometria que correspondem à fração de areia fina e média, relacionados aos sedimentos do período Pós-Barreiras. O resultado dessa correlação indica que as variações de condutividade detectadas através das medidas realizadas na área, são associadas mais às variações litológicas do que a contaminação.

A comparação entre os perfis indicou a predominância de argilosidade em subsuperfície, o que sugere que os recursos hídricos locais possuem chances de estarem protegidos de contaminações geradas na zona residencial. A presença de canais arenosos rasos, identificados nos perfis, entretanto, se constitui em um caminho para a migração de contaminação.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi desenvolvido dentro do projeto de pesquisa “Avaliação hidrogeoquímica do sistema hídrico na área de abrangência do Parque Ambiental de Belém-PA”, financiado com recursos do CNPq, através do Processo Nº 471041/2006-8.

3.3 – CARACTERIZAÇÃO HIDROQUÍMICA E QUALIDADE DAS ÁGUAS NA ÁREA DO PARQUE ESTADUAL DO UTINGA, BELÉM, PARÁ, BRASIL.

Essa seção apresenta os resultados hidroquímicos das águas do Parque Estadual do Utinga (PEUt). As informações serão apresentadas na forma de artigo completo, o qual será submetido ao Hydrogeology Journal.

CARACTERIZAÇÃO HIDROQUÍMICA E QUALIDADE DAS ÁGUAS NA ÁREA DO PARQUE ESTADUAL DO UTINGA, BELÉM, PARÁ, BRASIL.

Abstract

The Utinga State Park covers the surface water reservoirs of the Metropolitan Region of Belem. Due to the pressure caused by the emergence of urban slums lacking basic sanitation and deforestation and occupation of land for speculative purposes, this environmentally protected area has been suffering increasing impacts and environmental degradation.

This article presents the results obtained from the hydrochemical study of the water resources located in the park area in order to determine possible influence of contaminants, assessing possible impacts on the supply sources.

The samples for hydrochemical analysis were collected from 7 piezometers, 13 sampling points in the Bolonha and Água Preta lakes and a water spring used as background for the study area.

The analytical results of the waters during the rainy and drought seasons proved that both were influenced by climatic and geological characteristics of the area. The samples showed low concentrations of the main dissolved constituents, inserting them within the parameters of potability standards established by the legislation. Anomalous values presented by the metals Cd^{+2} , Cu^{+2} and Pb^{+2} were detected during the rainy season, reaching figures that were near or above the limit established by the legislation.

Resumo

O Parque Estadual do Utinga abrange os reservatórios de águas superficiais responsáveis pelo abastecimento da população da Região Metropolitana de Belém. Devido à pressão urbana com o surgimento de favelas sem saneamento básico, desmatamento e a ocupação de terras com fins especulativos, essa área de proteção ambiental vem sofrendo impactos e processo de degradação ambiental crescentes.

O presente artigo expõe os resultados obtidos com o estudo hidroquímico dos recursos hídricos na área de abrangência do parque, visando determinar uma provável influência de contaminantes, avaliando a possibilidade dos mesmos virem a influenciar nos mananciais de abastecimento.

As amostras para análises hidroquímicas foram coletadas em 7 piezômetros, 13 pontos de amostragem nos lagos Bolonha e Água Preta e em uma nascente, utilizada como *background* para a área de estudo.

Os resultados analíticos das águas, tanto para a época de chuvas quanto para o de estiagem, mostraram-se influenciadas pelas características geológicas e climáticas da área. As amostras apresentaram baixas concentrações dos principais constituintes dissolvidos, inserindo-se no contexto dos padrões de potabilidade estabelecidos pela legislação vigente. Valores anômalos apresentados pelos metais Cd^{+2} , Cu^{+2} e Pb^{+2} foram detectados no período chuvoso, se apresentando próximos ou acima do limite estabelecido pela legislação.

Keywords: Hydrochemical; Water resources; Contamination; Utinga State Park; Metropolitan Region of Belem.

Introdução

A problemática do Parque Estadual do Utinga (PEUt) existe em decorrência da urbanização crescente e desordenada, que se verifica na Região Metropolitana de Belém (RMB), mas precisamente nos municípios de Belém e Ananindeua, levando ao surgimento de bairros, conjuntos residenciais e à multiplicação de favelas em seu entorno, o que vem ocasionando a contaminação dos recursos hídricos superficiais da região. Nessa área de proteção ambiental, estão localizados os Lagos Bolonha e Água Preta, mananciais responsáveis por 75% do abastecimento da população de Belém (CONSULTORA DE ENGENHARIA S.A-CENSA, 1983).

Estudos da composição das águas são de fundamental importância, sobretudo em áreas com crescente adensamento populacional. Ressalta-se ainda, o ineditismo do presente trabalho, por conta da não existência de estudos hidroquímicos direcionados às águas subterrâneas nessa importante área de preservação.

A presente pesquisa teve como objetivo principal o entendimento das características hidroquímicas e qualidade dos recursos hídricos na área do PEUt, avaliando possíveis influências de fontes contaminantes das águas, de modo a contribuir para o estabelecimento de políticas públicas e visando a preservação ambiental deste importante manancial de abastecimento público.

Características climáticas e geomorfológicas regionais

A RMB possui um clima quente e úmido, apresentando uma pluviosidade elevada, com frequentes chuvas no período tarde/noite. A umidade relativa do ar, com média anual de 85%, favorece a formação de chuvas de convecção, cuja precipitação se evidencia após a insolação máxima diurna, ou seja, durante a tarde ou princípio da noite.

Por sua posição geográfica, a RMB, pela classificação de Koppen, pertence a categoria climática “equatorial úmido” do tipo Af (DINIZ, 1986; OLIVEIRA; SOUZA, 1997; VIEIRA; SANTOS, 1987), sendo:

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

f = chuvas abundantes durante todo o ano, com totais pluviométricos mensais iguais ou superiores a 60 mm, condicionado ao tipo de vegetação conhecida como Floresta Tropical. O clima não conhece variação estacional sensível, dada a baixa oscilação anual de temperatura, inferior a 5° C.

A Amazônia com sua extensa área, unidades cronoestratigráficas, episódios tectônicos e orogênicos e intensa ação climática apresenta muitas unidades geomorfológicas. Na RMB, as principais unidades morfo-estruturais encontradas, resultantes dos processos geomorfológicos das paisagens, são constituídas pelo Planalto Rebaixado da Amazônia e pela Planície Amazônica e os relevos são marcadamente adaptados às estruturas geológicas (SANTOS et al., 2002).

O Planalto Rebaixado da Amazônia apresenta um relevo com uma extensa superfície plana, suavemente ondulada e dissecada, tendo-se desenvolvido em rochas do Grupo Barreiras e do Pós-Barreiras. A Planície Amazônica acompanha as margens do rio Guamá, do

furo das Marinhas e do baixo curso de seus afluentes, é caracterizada por uma área plana com leve declividade, formada por depósitos aluviais quaternários, além de apresentar áreas alagadas ou inundáveis periodicamente pelas chuvas ou pela cheia dos rios (PIRATOBA MORALES, 2002).

Aspectos geológicos e hidrogeológicos

As unidades litoestratigráficas da RMB têm sua geologia representada por rochas formadas no Pré-Cambriano, Paleozóico e Cenozóico.

Segundo Sauma Filho (1996), o Pré-Cambriano se caracteriza por um conjunto de rochas agrupadas no Complexo Maracaçumé, Formação Santa Luzia, Formação Tromaí, Formação Gurupi, Formação Igarapé de Areia, Formação Vizeu e Granito Cantão. Enquanto o Paleozóico é representado pelos sedimentos da Formação Piriá. Já no Cenozóico encontramos a Formação Pirabas, a partir de 80 m de profundidade, mas que ao considerarmos sua continuidade vertical esta espessura pode atingir 400 m ou mais, não aflorando na área da pesquisa. As unidades litológicas do Grupo Barreiras atingem até 100 m de espessura e cobre cerca de 65% da área total da RMB e são recobertas pelos sedimentos do Pós-Barreiras (Pleistoceno) e sedimentos recentes (Holoceno), ambos com uma espessura máxima em torno de 30 m.

Segundo Farias, Nascimento e Ferreira (1992), as observações geológicas de superfície identificaram que os terrenos de Belém e seus arredores são formados em quase sua totalidade por sedimentos arenosos da unidade Pós-Barreiras. Na área de estudo, a partir da superfície do terreno e com base nos perfis litoestratigráficos de piezômetros perfurados na área, são reconhecidos unidades litológicas da cobertura sedimentar Cenozóica, representado pela unidade do Pós-Barreiras (Figura 3.34).

Os pacotes sedimentares que acumulam água subterrânea na região de Belém e Ananindeua são formadores de cinco conjuntos aquíferos principais, denominados de Aluviões, Pós-Barreiras (ambos do Quaternário) e Barreiras, Pirabas Superior e Pirabas Inferior do Terciário (MATTA, 2002).

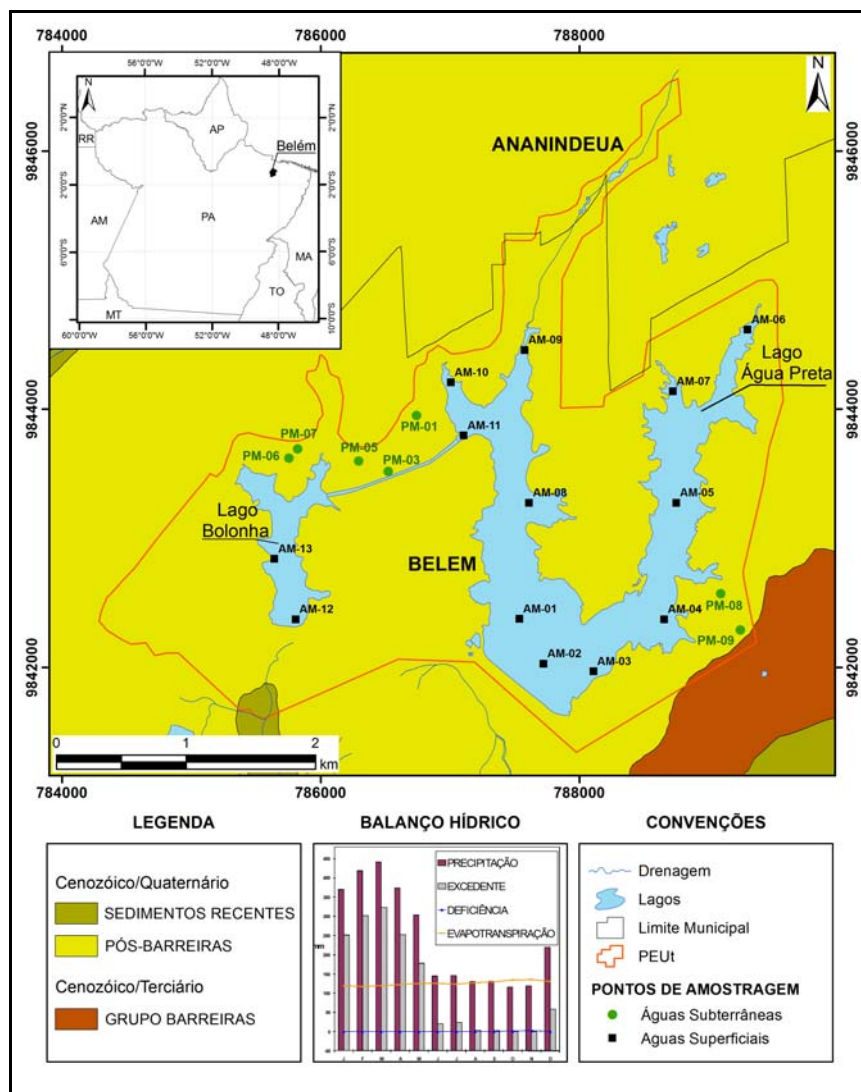


Figura 3.34 – Localização da área de estudo, com a geologia e localização dos pontos de amostragem de águas subterrâneas (piezômetros) e águas superficiais (lagos).

No PEUt, de acordo com as informações obtidas com os perfis litoestratigráficos dos piezômetros perfurados na área de estudo em conjunto com a geologia, foi possível a classificação dos aquíferos como porosos, confinados e protegidos por uma camada de material argiloso. Em termos de litotipos aparecem argilas vermelhas, areias finas a médias e níveis ferruginosos que correspondem a unidade litoestratigráfica do Pós-Barreiras, do período Quaternário, o que está de acordo com o estabelecido por Pereira, Ou e Kimble (1994), Piratoba Morales (2002), Rosseti et al. (1989) e Sauma Filho (1996), que estabelecem que os aquíferos do Pós-Barreiras do período Quaternário são formados por areias finas a médias, quartzosas, níveis ferruginosos, cuja espessura média de sedimentos é de cerca de 20 metros, localizados geralmente na parte superior do terreno e com pequena distribuição espacial.

Amostragem e métodos analíticos

As amostras para análises hidroquímicas foram coletadas em 7 piezômetros, 13 pontos de amostragem nos lagos Bolonha e Água Preta e adicionalmente, foram coletadas amostras de água em uma nascente, utilizada como *background* para a área de estudo (Figura 3.34).

Foram realizadas quatro campanhas de amostragem: duas no período de estiagem (outubro de 2006 e outubro de 2007) e duas no período chuvoso (março de 2006 e março de 2007).

A coleta de água subterrânea ocorreu após os piezômetros sofrerem um bombeamento prévio, a fim de se garantir a retirada de no mínimo 3 a 4 vezes o volume da coluna de água. Para a coleta utilizou-se um amostrador em aço inox previamente lavado com água destilada e frascos de armazenamento com volumes apropriados.

No caso das águas superficiais, as amostras foram coletadas a 20 cm da superfície com amostrador tipo "Van Dor" ou diretamente com o frasco de armazenamento num volume apropriado e de acordo aos parâmetros analisados nos pontos de controle dos lagos Água Preta, Bolonha e nascente.

A coleta e preservação das amostras foram realizadas de acordo com as orientações do Guia de Coleta e Preservação de Amostras d'água da Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental - CETESB (1987). Em cada ponto de amostragem coletaram-se 2 litros d'água para a realização da maioria das análises.

Alguns dos procedimentos relacionados aos parâmetros físico-químicos nas amostras de águas foram realizados em campo (Temperatura, pH e Condutividade Elétrica), as demais foram realizadas no laboratório de Hidrocarbonetos do Centro de Ciências Naturais e Tecnologia (CCNT) da Universidade do Estado do Pará (UEPA), seguindo as metodologias convencionalmente reconhecidas (AMINOT; CHAUSSEPIED, 1983; BAUMGARTEN et al., 1996; AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION, 1995).

O balanço iônico realizado nas amostras apresentou resultados que ultrapassaram em sua maioria o valor admissível. Esses erros de balanço iônico foram associados a águas muito diluídas, onde é difícil quantificar íons com baixas concentrações. Por outro lado, em alguns casos, altas concentrações de ferro também podem levar a formação de complexos de ferro total que também mascaram o ponto final da titulação (CUSTÓDIO; LLAMAS, 1976).

Com a utilização do software Qualigraf (FUNCEME, 2008), foi construído o diagrama triangular de Piper para os meses representativos das estações de chuva e seca, com

o intuito de se classificar as águas da área de estudo e identificar a variação sazonal de concentração dos íons. A análise da água poderá, portanto, ser comparada e interpretada usando-se técnicas gráficas para descrever a concentração ou abundância relativa dos constituintes maiores e menores.

Enquadramento legal dos corpos de água da área de estudo

Conforme o artigo 3, da Resolução CONAMA Nº 396/2008 (BRASIL, 2008), as águas subterrâneas captadas dos piezômetros localizados na área de abrangência do PEUt, são enquadradas como águas subterrâneas Classe II.

Segundo essa classificação, a qualidade das águas subterrâneas pode ser avaliada considerando os parâmetros e padrões de qualidade do Anexo I da referida resolução. Considerando também que as águas subterrâneas captadas, podem ser usadas para o consumo humano, foram observados os parâmetros e padrões de potabilidade da Portaria Nº 518/2004, do Ministério da Saúde (BRASIL, 2004).

Já as águas superficiais, segundo o Art. 4º da Resolução CONAMA 357/2005 (BRASIL, 2005), podem ser enquadradas como água doce Classe II, que podem ser destinadas ao abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional; à proteção das comunidades aquáticas; à recreação de contato primário; à aquicultura e à atividade de pesca. Segundo a classificação anterior, os corpos de águas superficiais estudados, também podem ser avaliados considerando os parâmetros e padrões de qualidade legislados na mesma resolução.

Caracterização hidroquímica

Os parâmetros analisados nesse estudo tiveram como objetivo, investigar possíveis contaminações relacionadas com a influência antropogênica. Nas tabelas 3.1 e 3.2, são apresentadas a média dos resultados analíticos obtidos.

Tabela 3.1 – Média dos resultados analíticos obtidos em amostras de águas subterrâneas e superficiais na época de chuvas – Período: Março/2006 e Março/2007).

Amostra	*	T	pH	CE	CaCO ₃	HCO ₃ ⁻	STD	NH ₄ ⁺	NO ₃ -N	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻
	**	°C	-	uS/cm	Mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	MG/L	mg/L	mg/L
PM-1	Água Subterrânea	28	4,75	55,80	12,00	0,08	27,90	0,24	1,06	8,50	0,23
PM-3		28	5,23	39,50	8,00	8,00	25,00	0,05	0,70	7,80	1,20
PM-5		28	4,67	280,00	8,00	8,00	139,71	0,03	0,64	22,40	1,70
PM-6		28	4,65	96,00	8,00	8,00	45,00	0,01	0,76	10,50	0,75
PM-7		28	4,63	82,00	12,00	12,00	133,00	0,13	0,57	5,30	1,20
PM-8		29	5,51	52,80	28,00	28,00	18,00	0,01	0,95	7,90	0,20
PM-9		28	5,05	53,80	21,00	18,00	26,90	Nd	1,34	9,40	10,00
MÉDIA		28	4,93	94,27	13,86	11,73	45,93	0,07	0,86	10,26	2,18
MÍNIMO		28	4,63	39,50	8,00	0,08	18,00	0	0,57	5,30	0,20
MÁXIMO		29	5,51	280,00	28,00	28,00	139,71	0,24	1,34	22,40	10,00
AM-01	Água Superficial	27	6,20	26,90	32,40	32,30	12,00	Nd	0,85	10,20	5,00
AM-02		28	6,20	26,50	32,40	32,30	12,00	0,10	0,78	10,20	5,00
AM-03		29	6,10	24,80	29,40	29,40	12,00	0,10	1,63	8,50	6,00
AM-04		28	6,10	29,30	32,40	32,30	14,00	Nd	0,68	12,00	5,00
AM-05		28	6,10	34,00	38,20	38,20	16,00	Nd	1,04	6,80	4,00
AM-06		28	5,80	48,80	38,20	38,20	23,00	Nd	5,20	6,80	4,00
AM-07		29	6,00	40,80	47,10	47,10	19,00	Nd	1,53	10,20	4,00
AM-08		29	6,10	31,80	35,30	35,30	15,00	Nd	1,23	6,80	4,00
AM-09		28	5,90	48,80	44,10	44,10	23,00	Nd	1,47	13,70	4,00
AM-10		28	5,90	47,80	47,10	47,10	22,00	Nd	1,90	10,20	4,00
AM-11		29	6,10	42,00	38,20	38,20	18,00	Nd	1,29	6,80	4,00
AM-12		30	5,90	37,70	38,20	38,20	18,00	0,10	0,56	6,80	4,00
AM-13		30	5,90	39,90	38,20	38,20	20,00	Nd	2,78	10,20	5,00
Nascente	28	5,23	39,00	12,00	8,00	25,00	Nd	0,17	7,80	1,80	
MÉDIA	29	6,02	36,85	37,78	37,76	17,23	0,02	1,61	9,17	4,46	
MÍNIMO	27	5,80	24,80	29,40	29,40	12,00	0	0,56	6,80	4,00	
MÁXIMO	30	6,20	48,80	47,10	47,10	23,00	0,10	5,20	13,70	6,00	

* Parâmetro analisado; ** Unidade de medida; Nd=Não detectado
STD = Sólidos Totais Dissolvidos

Continua...

Tabela 3.1 – Média dos resultados analíticos obtidos em amostras de águas subterrâneas e superficiais na época de chuvas – Período: Março/2006 e Março/2007).

Amostra	*	DQO	DBO	Na ⁺	K ⁺	Ca ⁺²	Mg ⁺²	Fe _t	Cd ⁺²	Zn ⁺²	Cu ⁺²	Pb ⁺²
	**	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
PM-1	Água Subterrânea	27,25	3,80	0,17	0,56	2,10	0,36	0,40	Nd	Nd	Nd	Nd
PM-3		25,98	2,20	0,12	1,00	1,49	0,26	0,29	0,004	0,035	Nd	Nd
PM-5		27,25	5,20	2,33	5,42	0,24	0,30	6,66	0,004	0,028	Nd	Nd
PM-6		22,00	2,20	0,92	0,97	0,27	0,17	2,30	0,004	0,105	Nd	Nd
PM-7		24,28	1,10	0,20	3,14	3,39	1,07	1,04	0,004	0,206	Nd	Nd
PM-8		24,70	1,25	0,19	1,10	0,95	0,15	0,12	0,004	0,066	Nd	Nd
PM-9		23,00	1,73	0,17	0,54	2,00	0,35	0,13	Nd	Nd	Nd	Nd
MÉDIA		24,92	2,50	0,58	1,82	1,49	0,38	1,56	0,003	0,060	0	0
MÍNIMO		22,00	1,10	0,12	0,54	0,24	0,15	0,12	0	0	0	0
MÁXIMO	27,25	5,20	2,33	5,42	3,39	1,07	6,66	0,004	0,206	0	0	
AM-01	Água Superficial	14,70	5,50	0,29	0,29	0,63	0,92	0,20	0,004	Nd	0,018	0,232
AM-02		10,30	4,50	0,29	0,29	0,56	0,93	0,23	Nd	Nd	0,020	0,006
AM-03		5,90	6,30	0,28	0,23	0,15	0,80	0,35	Nd	Nd	0,002	0,149
AM-04		7,60	2,80	0,32	0,42	0,82	1,00	0,25	Nd	Nd	0,016	0,055
AM-05		19,80	6,30	0,40	0,36	1,37	1,07	0,23	Nd	Nd	0,017	0,069
AM-06		12,90	5,30	0,86	0,35	0,99	0,81	0,35	Nd	Nd	0,016	Nd
AM-07		12,20	4,60	0,52	0,55	2,82	1,31	0,45	Nd	Nd	0,020	0,048
AM-08		7,10	6,80	0,37	0,39	1,29	1,08	0,26	Nd	Nd	0,021	0,047
AM-09		14,00	4,80	0,58	0,78	3,33	1,36	0,34	Nd	Nd	0,020	0,049
AM-10		16,50	6,70	0,59	0,68	3,36	1,38	0,42	Nd	Nd	0,016	0,285
AM-11		13,60	8,70	0,41	0,42	1,72	1,16	0,25	Nd	Nd	0,002	Nd
AM-12		15,50	8,70	0,44	0,52	2,08	1,18	0,13	0,001	Nd	0,007	Nd
AM-13		15,30	6,30	0,50	0,71	2,49	1,26	0,32	Nd	Nd	0,024	0,026
Nascente	20,00	4,20	0,12	1,00	1,49	0,26	3,80	Nd	Nd	Nd	Nd	
MÉDIA	12,72	5,95	0,45	0,46	1,66	1,10	0,29	0	0	0,015	0,074	
MÍNIMO	5,90	2,80	0,28	0,23	0,15	0,80	0,13	0,001	0	0,002	0,006	
MÁXIMO	19,80	8,70	0,86	0,78	3,36	1,38	0,45	0,004	0	0,024	0,285	

* Parâmetro analisado; ** Unidade de medida; Nd=Não detectado

DQO = Demanda Química de Oxigênio

DBO = Demanda Bioquímica de Oxigênio

Tabela 3.2 - Média dos resultados analíticos obtidos em amostras de águas subterrâneas e superficiais na época de estiagem – Período: Outubro/2006 e Outubro/2007.

Amostra	*	T	pH	CE	CaCO ₃	HCO ₃ ⁻	STD	NH ₄ ⁺	NO ₃ -N	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻
	**	°C	-	uS/cm	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
PM-1	Água Subterrânea	28	4,75	68,80	46,60	24,44	27,90	0,08	0,24	12,13	0,23
PM-3		28	4,46	28,60	12,90	12,90	18,04	0,50	0,50	4,94	0,13
PM-5		28	4,67	233,20	54,50	42,30	133,00	0,04	0,83	33,76	2,61
PM-6		28	4,65	55,80	11,30	11,30	42,95	0,29	0,77	8,54	0,25
PM-7		28	4,63	64,30	15,60	15,60	40,79	0,16	0,68	10,55	0,19
PM-8		27	5,53	40,40	12,00	10,40	22,67	0,07	0,97	4,98	0,08
PM-9		28	5,20	32,60	10,40	12,00	32,10	0,04	2,98	8,17	0,60
MÉDIA		28	4,84	74,81	23,33	18,42	46,31	0,17	1,00	11,87	0,58
MÍNIMO		27	4,46	28,60	11,30	10,40	18,00	0,04	0,24	4,94	0,08
MÁXIMO		28	5,53	233,20	54,50	42,30	139,71	0,50	2,98	33,76	2,61
AM-01	Água Superficial	28	6,20	57,00	29,80	29,80	31,30	Nd	0,33	12,80	0,10
AM-02		28	6,10	55,80	29,00	29,00	28,20	0,10	0,22	12,80	0,10
AM-03		29	6,30	51,70	29,20	29,20	32,20	0,20	0,46	11,00	0,10
AM-04		27	6,40	59,70	29,80	29,80	31,90	Nd	0,16	15,40	0,10
AM-05		28	6,50	71,20	30,10	30,10	45,10	Nd	0,25	8,60	0,10
AM-06		27	6,50	110,10	30,30	30,30	70,90	Nd	0,28	8,90	0,10
AM-07		28	6,50	95,90	30,90	30,80	57,20	Nd	0,20	13,30	0,10
AM-08		28	6,60	72,10	31,70	31,70	40,10	0,10	0,21	8,90	0,10
AM-09		29	6,50	106,00	30,00	30,00	65,90	Nd	0,43	17,80	0,10
AM-10		30	6,40	105,40	30,50	30,50	64,00	Nd	0,25	13,30	0,10
AM-11		30	5,90	81,30	27,20	27,20	52,80	Nd	0,49	8,80	0,10
AM-12		30	5,80	88,40	28,00	28,00	50,70	0,10	0,17	8,70	0,10
AM-13		31	5,60	76,30	25,70	25,70	46,00	Nd	0,36	13,50	0,10
Nascente	29	5,48	120,8	23,00	22,00	60,40	Nd	0,23	13,70	3,00	
MÉDIA	29	6,02	79,30	29,40	29,39	47,41	0,04	0,29	11,83	0,10	
MÍNIMO	27	5,60	51,70	25,70	25,70	28,20	0	0,16	8,60	0,10	
MÁXIMO	31	6,60	110,10	31,70	31,70	70,90	0,20	0,49	17,80	0,10	

* Parâmetro analisado; ** Unidade de medida; Nd=Não detectado

STD = Sólidos Totais Dissolvidos

Continua...

Tabela 3.2 - Média dos resultados analíticos obtidos em amostras de águas subterrâneas e superficiais na época de estiagem – Período: Outubro/2006 e Outubro/2007.

Amostra	*	DQO	DBO	Na ⁺	K ⁺	Ca ⁺²	Mg ⁺²	Fe _t	Cd ⁺²	Zn ⁺²	Cu ⁺²	Pb ⁺²
	**	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
PM-1	Água Subterrânea	34,00	5,87	0,83	0,80	4,26	0,74	6,30	Nd	Nd	Nd	Nd
PM-3		32,30	5,61	0,07	0,30	1,30	0,17	5,20	Nd	Nd	Nd	Nd
PM-5		66,75	7,80	1,41	3,10	8,10	0,92	6,60	Nd	Nd	Nd	Nd
PM-6		22,00	5,08	0,34	0,28	3,10	0,40	4,30	Nd	Nd	Nd	Nd
PM-7		27,35	5,20	0,29	0,70	2,60	0,39	2,30	Nd	Nd	Nd	Nd
PM-8		24,00	4,30	0,13	0,58	1,20	0,15	0,34	Nd	Nd	Nd	Nd
PM-9		30,19	4,82	0,11	0,70	2,59	0,60	0,41	Nd	Nd	Nd	Nd
MÉDIA		33,80	5,53	0,45	0,92	3,31	0,48	3,64	0	0	0	0
MÍNIMO		22,00	4,30	0,01	0,28	1,20	0,15	0,34	0	0	0	0
MÁXIMO	66,75	7,80	1,41	3,10	8,10	0,92	6,60	0	0	0	0	
AM-01	Água Superficial	74,80	11,00	0,39	2,30	2,05	3,28	0,31	Nd	Nd	Nd	Nd
AM-02		40,70	10,00	0,38	1,61	2,81	3,24	0,29	Nd	Nd	Nd	Nd
AM-03		24,40	5,60	0,37	1,28	1,42	2,64	0,38	Nd	Nd	Nd	Nd
AM-04		30,80	5,10	0,41	1,81	2,37	3,85	0,40	Nd	Nd	Nd	Nd
AM-05		73,40	8,00	0,51	0,96	1,33	2,20	0,23	Nd	Nd	Nd	Nd
AM-06		56,80	12,90	1,09	1,30	2,01	2,23	0,35	Nd	Nd	Nd	Nd
AM-07		60,80	7,00	0,68	1,64	2,24	3,22	0,14	Nd	Nd	Nd	Nd
AM-08		34,10	8,50	0,47	1,17	1,31	2,06	0,34	Nd	Nd	Nd	Nd
AM-09		71,30	6,00	0,76	2,40	2,28	4,21	0,43	Nd	Nd	Nd	Nd
AM-10		64,30	11,20	0,75	2,39	1,87	3,18	0,29	Nd	Nd	Nd	Nd
AM-11		54,50	6,80	0,54	1,04	1,40	2,00	0,23	Nd	Nd	Nd	Nd
AM-12		77,10	9,00	0,57	1,30	1,59	2,16	0,42	Nd	Nd	Nd	Nd
AM-13		71,50	7,00	0,63	1,63	3,16	3,39	0,46	Nd	Nd	Nd	Nd
Nascente	23,00	4,00	0,29	1,22	3,50	0,61	3,50	Nd	Nd	Nd	Nd	
MÉDIA	56,50	8,32	0,58	1,60	1,99	2,90	0,33	0	0	0	0	
MÍNIMO	24,10	5,10	0,37	0,96	1,31	2,00	0,14	0	0	0	0	
MÁXIMO	77,10	12,90	1,09	2,40	3,16	4,21	0,46	0	0	0	0	

* Parâmetro analisado; ** Unidade de medida; Nd=Não detectado

DQO = Demanda Química de Oxigênio

DBO = Demanda Bioquímica de Oxigênio

O potencial hidrogeniônico da água indica as condições de acidez, neutralidade ou alcalinidade, sendo que a faixa das águas naturais varia de 4,5 a 8,5. O pH das águas subterrâneas apresentou valores de 4,63 a 5,51 no período chuvoso e de 4,46 a 5,53 no período de estiagem, caracterizando-as como águas ácidas (Figura 3.35). Nos estudos de Lima e Kobayashi (1988) nas águas dos aquíferos Barreiras e Pós-Barreiras, os resultados de pH apresentaram um valor médio de 4,4. Cabe ainda destacar, o estudo desenvolvido por Sioli (1960) em alguns poços rasos da RMB, obtendo valores de pH da ordem de 4,9 para poços não contaminados, enquanto que poços aparentemente poluídos por esgotos e fossas apresentaram um pH de 6,4 e 5,7.

No caso das águas superficiais, os valores de pH obtidos durante o período de amostragem também são evidenciados na Figura 3.35. Os valores máximos e mínimos de pH nas águas superficiais foram de 6,60 e 5,60, respectivamente, para o período de estiagem e de 6,20 e 5,80 para o período de chuvas, não apresentando mudanças significativas de uma época climática para a outra, inclusive as amostras obtidas na nascente. De acordo com Junk (1983), as águas naturais na Amazônia apresentam um pH entre 6,0 e 7,0 próximos da neutralidade. Portanto, os valores de pH obtidos, podem ser considerados normais para ambientes da região amazônica. Deve-se considerar ainda o fato da quantidade de Ca^{2+} e Mg^{2+} serem relativamente maiores que a de Na^+ e K^+ , o que influencia no pH próximo da neutralidade. Para as amostras que apresentaram pH ácido, isso pode estar relacionado com o aumento de ânions procedentes de solos ácidos da área de influência dos lagos ou pela abundante vegetação na área, também considerado como característica comum das águas continentais da região.

A condutância específica (condutividade) é uma expressão numérica da capacidade de uma água conduzir uma corrente elétrica. É um parâmetro que fornece boa indicação das modificações na composição de uma água, especialmente na sua concentração mineral, porém não fornece nenhuma indicação das quantidades relativas dos vários componentes.

Nas águas subterrâneas, os valores de condutividade elétrica apresentaram-se mais elevados no período chuvoso (média de 94,27 $\mu\text{S}/\text{cm}$) em comparação com os valores obtidos no período de estiagem (média de 74,81 $\mu\text{S}/\text{cm}$) (Figura 3.35). Os baixos valores de condutividade refletidos na maioria dos piezômetros confirmam mais uma vez a presença de ambientes fortemente lixiviados, possivelmente causados pela alta pluviosidade e temperaturas da região amazônica, onde os elementos maiores (Na^+ , Ca^{+2} , K^+ e Mg^{+2}) responsáveis pelas características básicas, já migraram para o sistema hídrico deixando-os com características ácidas, com a presença de alumínio e ferro.

As amostras relacionadas ao PM-5 foram as que apresentaram os valores mais elevados de condutividade, tanto no período chuvoso (280 $\mu\text{S}/\text{cm}$) quanto no período de estiagem (233 $\mu\text{S}/\text{cm}$), revelando a presença de eletrólitos fortes em solução. Cabe ressaltar que este piezômetro é um dos mais próximos da zona urbana, com nível freático próximo à superfície (3,92 metros) e está localizado em uma cota topográfica baixa, provocando em algumas ocasiões o seu quase alagamento por águas pluviais. Os parâmetros de STD , Cl^- e Fe_t apresentaram comportamento similar ao da condutividade para o mesmo ponto de coleta.

A condutividade nas águas superficiais mostrou variação significativa, ao se comparar os resultados obtidos na época de seca e de chuva. As amostras coletadas na época

de chuva mostraram valores menores de condutividade (média de 36,85 uS/cm) em comparação com os valores obtidos na época de estiagem (média de 79,30 uS/cm) (Figura 3.35). Normalmente as águas coletadas no período chuvoso apresentam menores valores de condutividade elétrica devido o menor conteúdo de sais dissolvidos.

Nas águas brutas, os Sólidos Totais Dissolvidos (STD) são constituídos principalmente por carbonatos, bicarbonatos, cloretos, sulfatos, fosfatos e possivelmente nitratos de cálcio, magnésio, potássio, pequenas quantidades de ferro, magnésio e outras substâncias. Os elementos químicos contidos na água podem diminuir por diluição (água da chuva) ou aumentar pela adição de despejos industriais (BRANCO, 1986).

Os STD nas águas subterrâneas praticamente não mostraram diferenças nas épocas de chuva (média de 45,93 mg/L) e de estiagem (média de 46,31 mg/L). Conforme citado anteriormente, as amostras de STD do PM-5 foram as que apresentaram os valores mais elevados, tanto no período chuvoso (139,71 mg/L), quanto no período de estiagem (133,00 mg/L). No entanto, todas as amostras apresentaram valores relativamente baixos, ficando dentro da faixa de aceitação da Resolução CONAMA 396/08 (Figura 3.35).

Os resultados de STD nas águas superficiais apresentaram o mesmo comportamento mostrado pela condutividade, com valores menores na época de chuva se comparado com os registrados na época de estiagem. Os dados obtidos revelam que, com relação à sazonalidade, verifica-se que os valores se apresentam ligeiramente elevados no período de estiagem com média de 47,41 mg/L em relação ao período chuvoso que apresentou média de 17,23 mg/L, comportamento similar ao das amostras de água da nascente. Ambos os valores se encontram bem abaixo do valor máximo permitido pela Resolução CONAMA 357/2005 (Figura 3.35).

O Cl^- é um dos principais constituintes iônicos das águas subterrâneas e a sua presença está diretamente relacionada com fontes pontuais e difusas de contaminação antrópica e pelas características geológicas e geoquímicas dos aquíferos da área. A sua concentração nas amostras de águas subterrâneas do PEUt, mostrou-se ligeiramente maior na época de estiagem (média de 11,87 mg/L) do que na época de chuvas (média de 10,26 mg/L), valores estes inferiores a 250 mg/L, que corresponde ao padrão de qualidade da faixa de aceitação da legislação aqui utilizada (Figura 3.36). Ao compararmos esses valores com os obtidos por Piratoba Morales (2002) no Aurá, que apresentou valores médios de Cl^- para poços poluídos de 103,62 mg/L, pode-se considerar as amostras da área de estudo como não poluídas. Ao tentar estabelecer uma relação entre o Cl^- com o Na^+ , se observou que enquanto o teor de Cl^- aumenta, o Na^+ pouco se manifesta. Há porém, amostras que exibem alguma tendência associada ao Na^+ , é o caso do PM-5.

No que consta às águas superficiais, observa-se que a concentração de Cl^- mostrou um comportamento similar ao observado pela condutividade e dos STD, com maiores valores na época de estiagem (média de 11,83 mg/L) do que na época de chuvas (média de 9,17 mg/L) (Figura 3.36). O Cl^- é um constituinte iônico principal e sempre presente nas águas continentais, mostrando maiores valores na época de estiagem se comparado com o de chuvas. Estudos realizados por Cordeiro (1987) reportam que a concentração de Cl^- pode ser de origem natural (águas doces e marinhas) ou decorrente da poluição dos esgotos sanitários ou despejos industriais e urbanos em geral. As amostras apresentaram valores relativamente baixos, ficando dentro da faixa de aceitação da Resolução CONAMA 357/2005.

O íon sulfato é um indicador de poluição por decomposição da matéria orgânica, no ciclo do enxofre. Em águas naturais, a fonte de sulfato ocorre através da dissolução de solos e rochas e pela oxidação de sulfeto. O SO_4^{2-} é um dos mais abundantes íons na natureza, surge nas águas subterrâneas através da dissolução de solos e rochas. Nesse estudo, o SO_4^{2-} se apresentou nas águas subterrâneas com uma concentração média de 2,18 mg/L para o período chuvoso e de 0,58 mg/L para o período de estiagem, permanecendo dessa forma abaixo do limite do padrão de qualidade de 250 mg/L (Figura 3.36).

Numerosas águas residuárias industriais, como as provenientes de curtumes, fábricas de celulose, papel e tecelagem, lançam sulfatos nos corpos receptores. Nas águas superficiais, o SO_4^{2-} apresentou um valor médio de 4,46 mg/L para o período chuvoso e de 0,09 mg/L para o período seco (Figura 3.36). As amostras da nascente apresentaram 3,00 mg/L para o período seco e de 1,80 mg/L para o período chuvoso. A legislação, aqui utilizada, recomenda que o teor de sulfato atenda o limite máximo aceitável de 250 mg/L, valor este bem superior aos encontrados nesse estudo em todas amostras.

De acordo com Noriega (2004), no ciclo do nitrogênio, este elemento apresenta várias formas e estado de oxidação. No meio aquático, o nitrogênio pode ser encontrado nas seguintes formas; nitrogênio molecular (N_2), em equilíbrio entre a atmosfera e a água; nitrogênio orgânico (dissolvido e no particulado em suspensão); nitrito (NO_2^-); nitrato (NO_3^-) amônia e amônio (NH_3 , NH_4).

O nitrogênio pode se apresentar na forma ionizada como amônio (NH_4^+) ou não ionizada como amônia (NH_3). Este balanço é especialmente controlado pelo pH da água, sendo a forma não ionizada mais abundante em valores de pH maiores que 10 e a forma ionizada em pH abaixo de 8,5 (CARMOUZE, 1999). Sendo assim, no presente estudo, foram feitas análises de amônio (NH_4^+), nitrito ($\text{NO}_2\text{-N}$) e nitrato ($\text{NO}_3\text{-N}$).

O NH_4^+ é uma forma nitrogenada reduzida que indica uma poluição recente, uma vez que essa substância é oxidada rapidamente na água devido a presença de bactérias nitrificantes. Por essa razão, se constitui em um importante índice da presença de despejos orgânicos recentes. Os valores de NH_4^+ nas águas subterrâneas apresentaram uma média de 0,07 mg/L no período chuvoso e 0,17 mg/L para o período de estiagem. Suas menores concentrações foram registradas no período de maiores precipitações pluviométricas, provavelmente ocasionados pela diluição das águas nessa época do ano. Comparando a variação dos valores de NH_4^+ , observa-se que os resultados analíticos ficaram abaixo do limite de padrão de qualidade de 1,5 mg/L da Portaria 518/04 do Ministério da Saúde, visto que a Resolução CONAMA 396/08 não apresenta valores referenciados para esse parâmetro.

Já nas águas superficiais, o NH_4^+ apresentou um valor médio de 0,02 mg/L no período chuvoso, com um valor máximo de 0,10 mg/L, enquanto que no período de estiagem apresentou uma média de 0,04 mg/L, com valores mínimos de 0,10 mg/L e máximos de 0,20 mg/L. A distribuição desse parâmetro foi mais acentuada à montante do local de entrada de água do rio Guamá (pontos AM-2 e AM-3) e nos pontos AM-8 e AM-12. A maior concentração de NH_4^+ , nos pontos a montante da entrada do rio Guamá, pode ser explicado por estes estarem numa área de menor turbulência das águas, com menor aeração, se tornando um ambiente mais propício às reações de redução de nitrato à amônio. Observa-se que os valores se encontram dentro dos limites permitidos pela legislação e próximos aos de ambientes ainda não impactados, conforme Bahia (2003), Braz (1985), Gaspar (2001), Matta (2002) e Piratoba Morales (2002) cujos estudos apontam valores em ambientes antropizados com concentrações de NH_4^+ superiores ao verificado neste estudo (média de 32,6 mg/L), o que evidencia um processo de autodepuração no ecossistema estudado. Adicionalmente, o NH_4^+ não foi detectado nas amostras da nascente.

As concentrações de $\text{NO}_2\text{-N}$ obtidas nas amostras de águas subterrâneas foram baixas, apresentando no período chuvoso um valor médio de 0,02 mg/L e no período seco 0,03 mg/L, sendo que todas as amostras ficaram dentro dos limites legais. Esses resultados já eram esperados, visto que o $\text{NO}_2\text{-N}$ é bastante instável no meio, sofrendo constantes modificações. Nas águas superficiais o íon nitrito não foi detectado, provavelmente em virtude desse íon ser rapidamente oxidado para a forma de nitrato.

O $\text{NO}_3\text{-N}$ é um ânion muito móvel e pode ser removido com facilidade das camadas superiores do solo para a água (BOWER, 1978), representa o estágio final da oxidação da matéria orgânica. No entanto, nas águas subterrâneas é uma substância bastante persistente por conta de sua alta estabilidade. Devido à sua forma iônica, move-se na água subterrânea

praticamente sem retardamento, motivo pelo qual pode ser considerado como a forma estável do nitrogênio dissolvido. Os maiores valores de $\text{NO}_3\text{-N}$ neste estudo ocorreram durante o período de estiagem com um valor médio de 1,00 mg/L contra 0,86 mg/L para o período chuvoso, confirmando a tendência de elevação nas concentrações do $\text{NO}_3\text{-N}$ em períodos menos chuvosos (Figura 3.36).

De acordo com a Figura 3.36, observa-se que os valores obtidos de $\text{NO}_3\text{-N}$ para as águas subterrâneas se encontram bem abaixo da faixa de aceitação da legislação vigente, cujo limite máximo para águas de consumo humano é de 10,0 mg/L. Ressalta-se ainda, que os teores de $\text{NO}_3\text{-N}$ obtidos apresentaram-se próximos ou abaixo dos encontrados por Piratoba Morales (2002) em águas subterrâneas não-contaminadas na área do Aurá, o que ratifica o fato das águas subterrâneas da área de estudo não estarem sendo contaminadas por efluentes domésticos.

As médias de $\text{NO}_3\text{-N}$ para as águas superficiais foram de 0,29 mg/L no período seco e de 1,61 mg/L para o período de chuvas (Figura 3.36). As maiores concentrações de $\text{NO}_3\text{-N}$ coincidiram com alguns dos maiores valores de condutividade elétrica observados na área. O nitrato registrou uma tendência de elevação nas concentrações no período mais chuvoso, visto que ele é resultante da oxidação completa dos compostos orgânicos nitrogenados a partir da atividade aeróbica das bactérias. Altas concentrações deste nutriente indicam maiores aportes de matéria orgânica. Em regiões tropicais, onde prevalecem as altas temperaturas, há uma aceleração dos processos de degradação desta matéria, levando a elevados índices de $\text{NO}_3\text{-N}$ (SODRÉ, 2007). Para Baumgarten; Rocha e Niencheski (1996) o $\text{NO}_3\text{-N}$ é a forma mais estável em solução aquosa, sendo um importante nutriente dissolvido para os produtores primários e é regenerado por via bacteriana (nitrificação ou oxidação total).

Os valores obtidos de $\text{NO}_3\text{-N}$ para as águas superficiais ficaram bem abaixo do limite máximo permitido, podendo-se concluir que a área em estudo ainda passa por um processo de autodepuração e renovação de suas águas, não atingindo concentrações características de ambientes hipereutróficos (Figura 3.36).

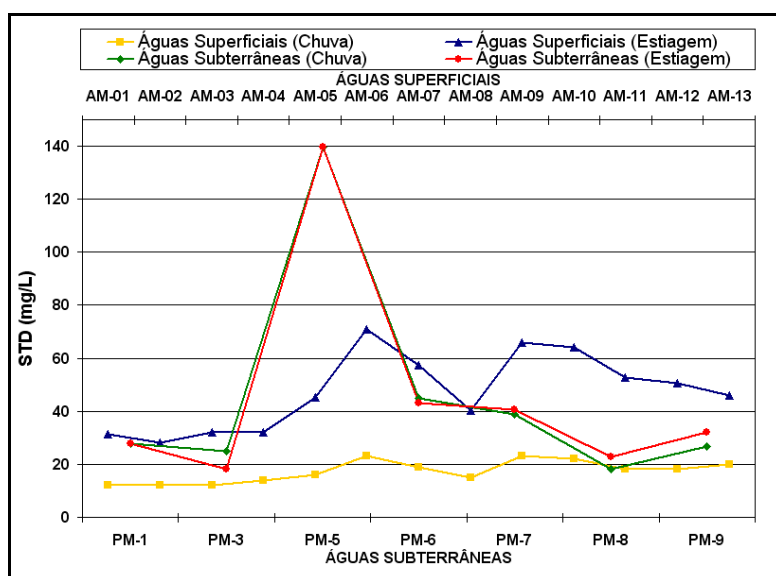
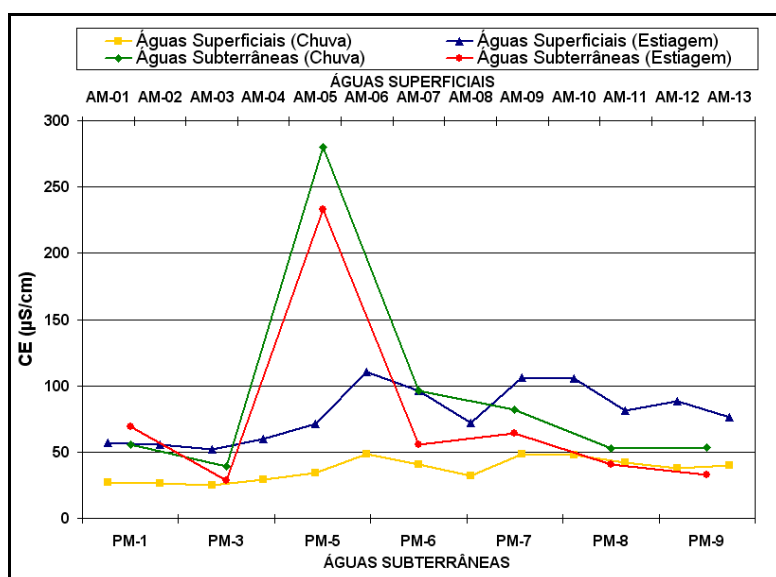
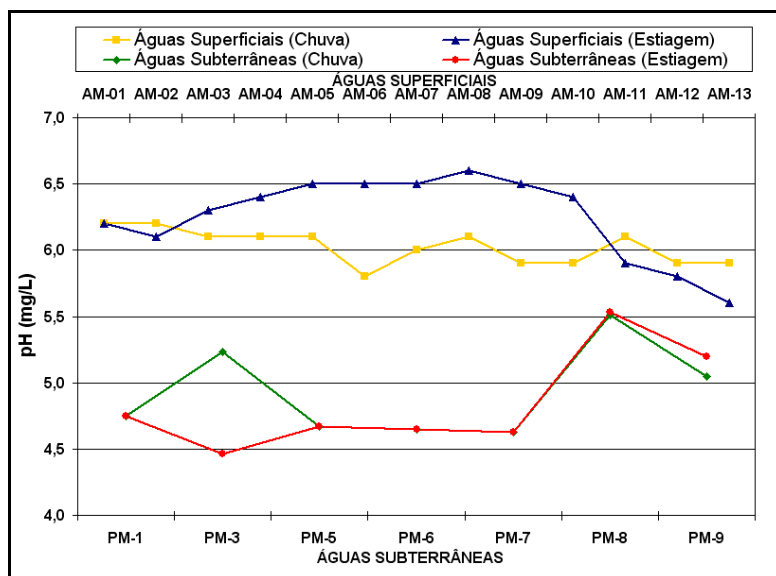


Figura 3.35 – Resultados de pH, CE e STD para as águas subterrâneas e superficiais da área de estudo.

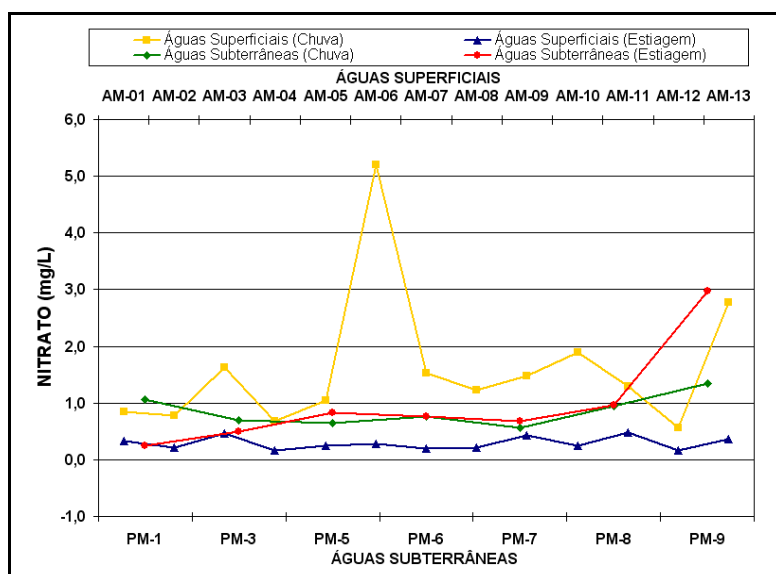
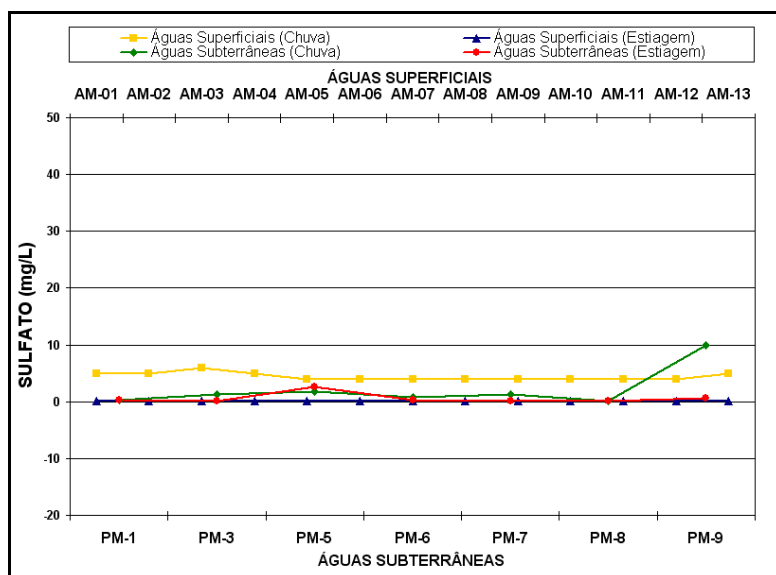
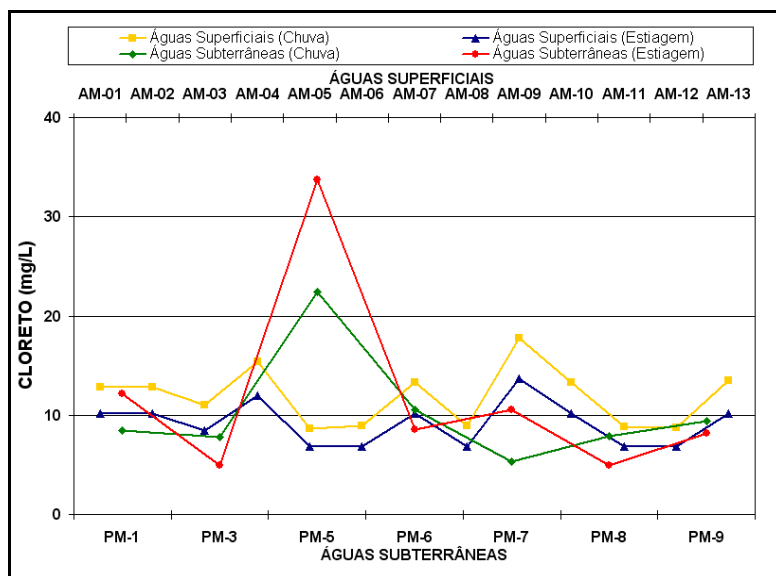


Figura 3.36 – Resultados de Cl⁻, SO₄²⁻ e NO₃-N para as águas subterrâneas e superficiais da área de estudo.

Comportamento inverso ao mostrado pela condutividade elétrica nas águas subterrâneas foi apresentado pelo HCO_3^- . O valor da média na época de estiagem (18,42 mg/ CaCO_3) foi maior que a média mostrada na época de chuvas (11,73 mg/ CaCO_3), demonstrando que esse íon está relacionado com o material geológico presente no aquífero (Figura 3.37).

O HCO_3^- apresentou o mesmo comportamento nas águas superficiais, tanto em relação à condutividade, quanto ao STD e ao cloreto, com exceção para os valores obtidos na nascente. O valor médio do HCO_3^- na época de chuva (37,76 mg/ CaCO_3) foi maior que o mostrado na época de estiagem (média de 29,39 mg/ CaCO_3) (Figura 3.37). Aparente alcalinidade podem ser as causas do comportamento do HCO_3^- .

Os parâmetros da DBO e DQO mostraram valores relativamente baixos nas águas subterrâneas e característicos de águas não contaminadas. Os valores da DBO com média de 2,50 mg/L (período chuvoso) e 5,53 mg/L (período de estiagem) não indicaram presença de matéria orgânica possível de ser estabilizada pela via biológica (Figura 3.37). No que se refere a DQO, são apresentados valores médios de 24,92 mg/L (período chuvoso) e 33,80 mg/L (período de estiagem), que comparativamente são relativamente maiores em relação à DBO, indicando a presença de substâncias químicas susceptíveis de serem oxidadas somente pela via química (Figura 3.37).

Os valores da DBO nas águas superficiais mostraram-se maiores na época de estiagem (média de 8,32 mg/L) se comparados com os teores observados na época de chuva (média de 5,95 mg/L), bem acima da média dos valores obtidos na nascente (4,00 mg/L para a época de estiagem e 4,20 mg/L para a época de chuva) e da faixa de 5,0 mg/L, que é o valor máximo aceito pela legislação em vigor (Figura 3.37). Quantitativamente, a DQO acompanhou o comportamento da DBO com maiores teores na época de estiagem (média de 56,50 mg/L), se comparados com a época de chuva (média de 12,72 mg/L) (Figura 3.37).

De acordo com Almeida (2003), Instituto Evandro Chagas (2008) e Mazzeo (1991), os valores da BDO e da DQO se mostraram compatíveis com as características ambientais e climáticas da região de clima tropical úmido e rica em matéria orgânica, com valores elevados nas altas temperaturas e mediante pluviosidade, o que também foi confirmado nos estudos de Braz, Menezes e Oliveira (1997) e Jesus e Paranhos (2003).

Nas águas subterrâneas, o Fe , apresentou uma média de 1,56 mg/L (período chuvoso) e de 3,64 mg/L (período de estiagem). Esses valores ficaram acima do padrão de qualidade de 0,3 mg/L estabelecidos pela Resolução CONAMA 396/08 e Portaria 518/04 do Ministério da Saúde (Figura 3.38).

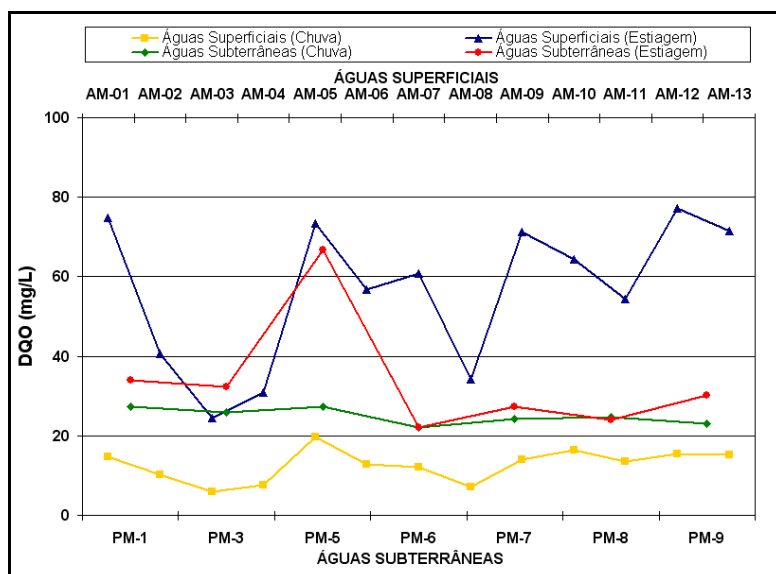
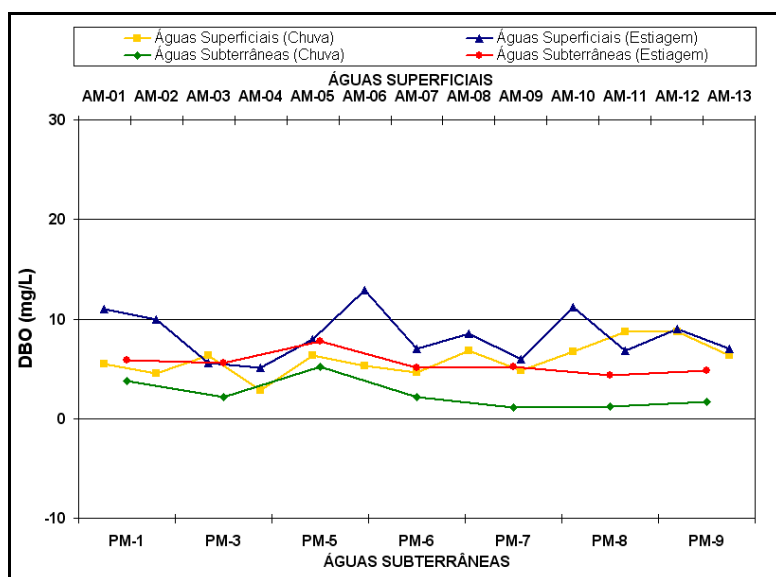
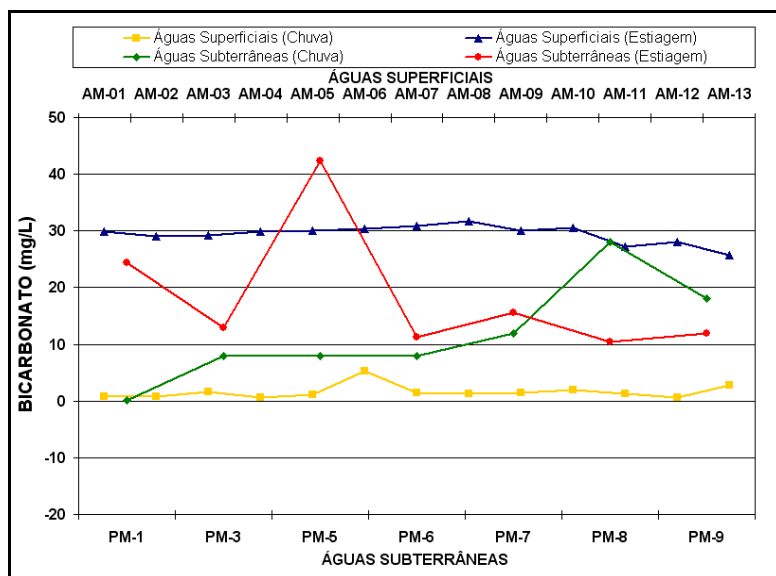


Figura 3.37 – Resultados de HCO_3^- , DBO e DQO para as águas subterrâneas e superficiais da área de estudo.

A presença de material particulado em suspensão, representado especialmente por argilas e pela presença de concreções lateríticas, pode ter causado os valores elevados nos parâmetros de Fe_t . O ambiente intemperizado na Amazônia caracteriza-se pela forte ação lixiviadora (abundância de chuvas e principalmente decomposição da matéria orgânica), capaz de produzir substâncias ácidas que atacam os minerais formadores de rochas sedimentares. Tais rochas, ricas em ferro, logo produzem soluções diluídas sob concentrações elevadas desse metal. Sua estabilidade depende fundamentalmente do potencial redox. O ferro, presente na rocha, é reduzido a Fe^{+2} pela matéria orgânica. Uma vez solubilizado, o ferro passa para as águas subterrâneas aumentando sensivelmente sua concentração (CUSTÓDIO; LLAMAS, 1976; HEM, 1970; LISBOA et al., 2003; STUMM; MORGAN, 1981).

Nas águas superficiais em relação ao Fe_t , foram apresentadas médias de 0,33 mg/L para o período seco e de 0,29 mg/L para o período de chuvas, ultrapassando em alguns pontos o limite máximo permitido pela legislação (Figura 3.38). Valores considerados baixos, quando comparados aos obtidos nas amostras da nascente que se apresentaram em torno de 3,5 mg/L para o período seco e de 3,8 mg/L para o período chuvoso. As principais fontes naturais do ferro para o ambiente aquático são o intemperismo das rochas que compõem a bacia de drenagem e a erosão de solos ricos nesses materiais (ESTEVES, 1998).

Valores relativamente baixos nas águas subterrâneas de Na^+ (média de 0,58 mg/L), K^+ (média de 1,82 mg/L), Ca^{+2} (média de 1,49 mg/L) e Mg^{+2} (média de 0,38 mg/L), tanto no período seco quanto no chuvoso, indicaram a presença de ambiente lixiviado, onde estes elementos, na sua grande maioria, foram dissolvidos no sistema hídrico subterrâneo (Figuras 3.38 e 3.39). Esses elementos não apresentam padrões de qualidade na legislação vigente, mas são importantes na classificação geoquímica das águas subterrâneas.

Em geral os resultados dos componentes catiônicos principais (Na^+ , K^+ , Ca^{+2} e Mg^{+2}) nas águas superficiais, mostraram maiores teores na época de estiagem se comparados ao período chuvoso (Figuras 3.38 e 3.39). Estudos anteriores realizados nos recursos hídricos da área de estudo sempre evidenciaram o mesmo comportamento (CARNEIRO; GERALDO, 2000; PIRATOBA MORALES, 2002; RIBEIRO, 1992).

Em relação aos metais pesados Cd^{+2} , Cu^{+2} , Zn^{+2} e Pb^{+2} nas águas subterrâneas, pode se observar que o Cd^{+2} apesar de não ter sido detectado no período de estiagem, apresentou no período chuvoso um valor médio de 0,003 mg/L. Com exceção dos piezômetros PM-1 e PM-9, os demais mostraram-se próximos ao limite máximo legislado de 0,005 mg/L pela Portaria

518/04 e acima do valor de 0,001 mg/L estabelecido pela Resolução 357/05 (Figuras 3.39 e 3.40).

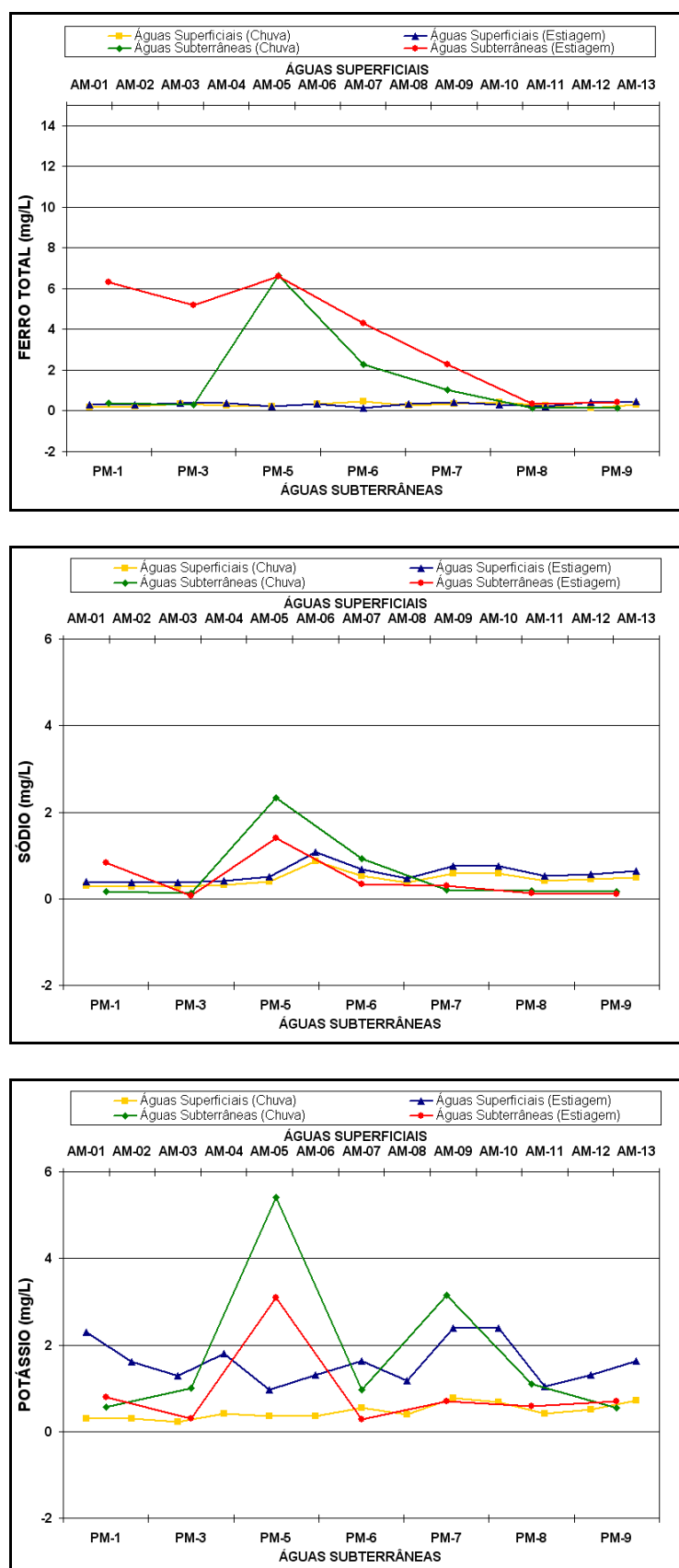


Figura 3.38 – Resultados de Fe, Na⁺ e K⁺ para as águas subterrâneas e superficiais da área de estudo.

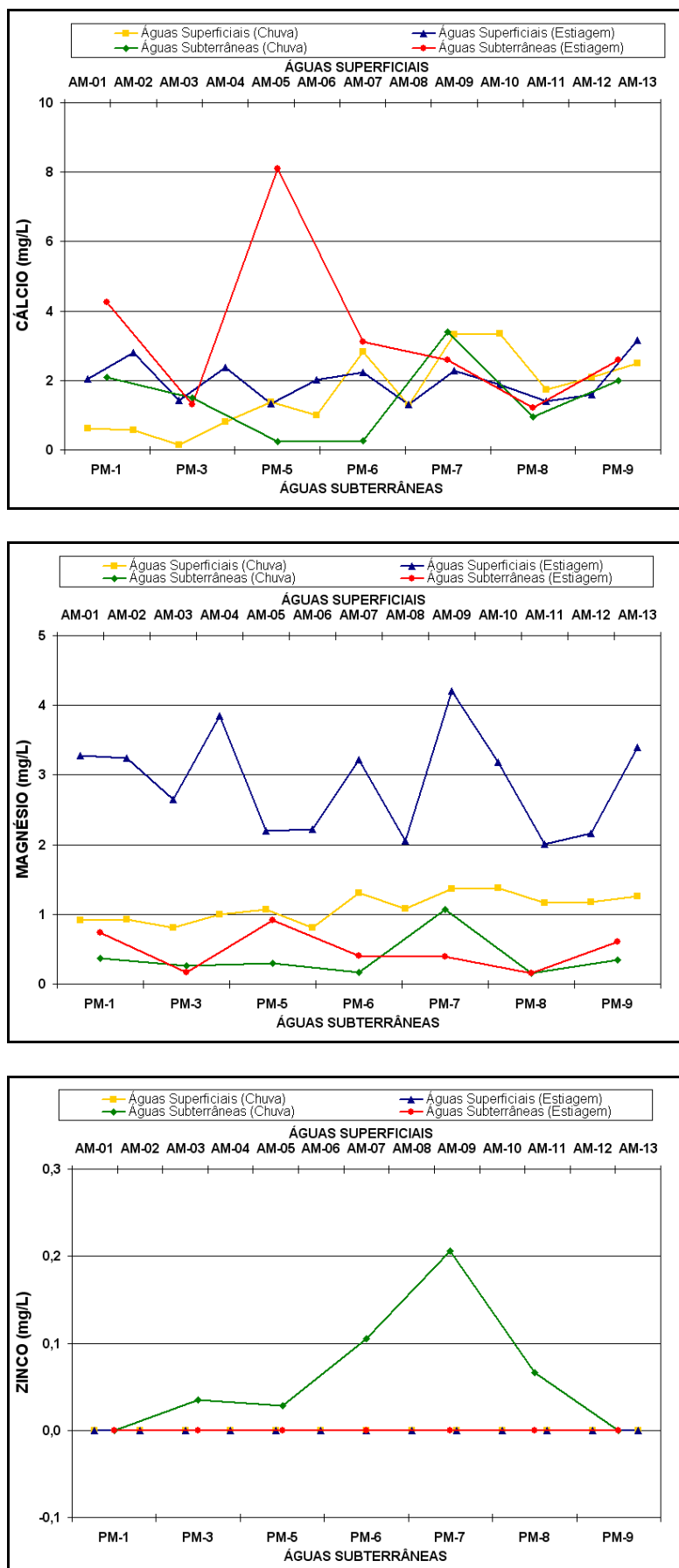


Figura 3.39 – Resultados de Ca^{2+} , Mg^{2+} e Zn^{2+} para as águas subterrâneas e superficiais da área de estudo.

O Cd^{+2} tem alto potencial tóxico, podendo causar envenenamento quando ingerido na água ou nos alimentos em grandes quantidades, é cancerígeno e sua inserção no meio ambiente pode ocorrer por meio de praguicidas, fertilizantes, além de fontes industriais (BRIGANTE; ESPÍNDOLA, 2003). Normalmente, esse metal apresenta-se nas águas naturais em pequenas concentrações, geralmente inferiores a 0,001 mg/L.

O Cu^{+2} e Pb^{+2} não foram detectados em ambos os períodos sazonais nas águas subterrâneas. O Zn^{+2} não foi detectado no período de estiagem, já no período chuvoso apresentou uma média de 0,06 mg/L, encontrando-se dentro dos padrões de qualidade legislados (Figuras 3.39 e 3.40).

Nas amostras de águas superficiais, os metais pesados (Cd^{+2} , Cu^{+2} , Zn^{+2} e Pb^{+2}) ficaram abaixo do nível de detecção do aparelho nas campanhas de amostragem realizadas no período de estiagem. No entanto, no período chuvoso, o Cd^{+2} apresentou no ponto AM-1 valor de 0,004 mg/L e no AM-12 valor de 0,001 mg/L. Esses valores que se encontram acima do limite e igual respectivamente ao estabelecido pela Resolução 357/05 e pela Portaria 518/04 (Figuras 3.39 e 3.40).

A análise da concentração de Cu^{+2} nas águas superficiais no período chuvoso, revelou que para este parâmetro os valores estiveram acima do limite permitido em quase todos os pontos de coleta (média de 0,015 mg/L), atingindo valores superiores ao estabelecido pelo CONAMA, que é de 0,009 mg/L (Figura 3.40). As fontes de Cu^{+2} para o meio ambiente incluem corrosão de tubulações de latão por águas ácidas, efluentes de estações de tratamento de esgotos e uso de compostos de cobre.

A Figura 3.40 revela que o Pb^{+2} também apresentou valores para o período chuvoso, acima do limite máximo permitido de 0,01 mg/L proposto pela legislação em quase todos os pontos de coleta (média de 0,074 mg/L). Estudos hidrogeoquímicos realizados na região em amostras de água dos sistemas de abastecimento público, revelaram que a média aritmética dos teores de Pb^{+2} foi de 0,361 mg/L (CUNHA, 2008). O Pb^{+2} é um elemento muito tóxico à saúde humana por ser acumulativo no organismo, pode causar efeitos adversos à saúde, principalmente no sistema nervoso central, que são irreversíveis, em especial nas crianças, que são caracterizadas como grupo de risco.

Os valores anômalos aqui apresentados pelos metais Cd^{+2} , Cu^{+2} e Pb^{+2} nos recursos hídricos do PEUt podem estar relacionados à origem geológica e/ou antropogênica. Por se tratar de uma exposição crônica (com baixa dose e longa duração), é fundamental a necessidade de aprofundar as investigações sobre o contaminante no meio ambiente, no sentido de se identificar com maior precisão as prováveis fontes.

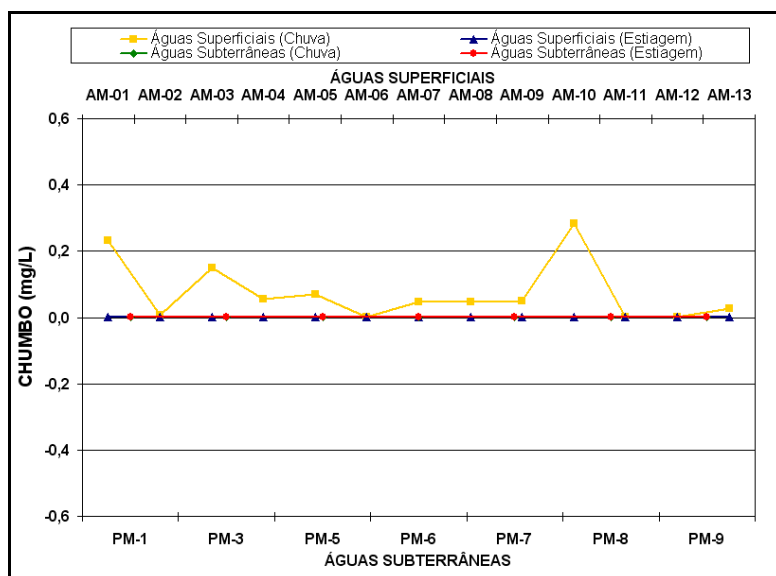
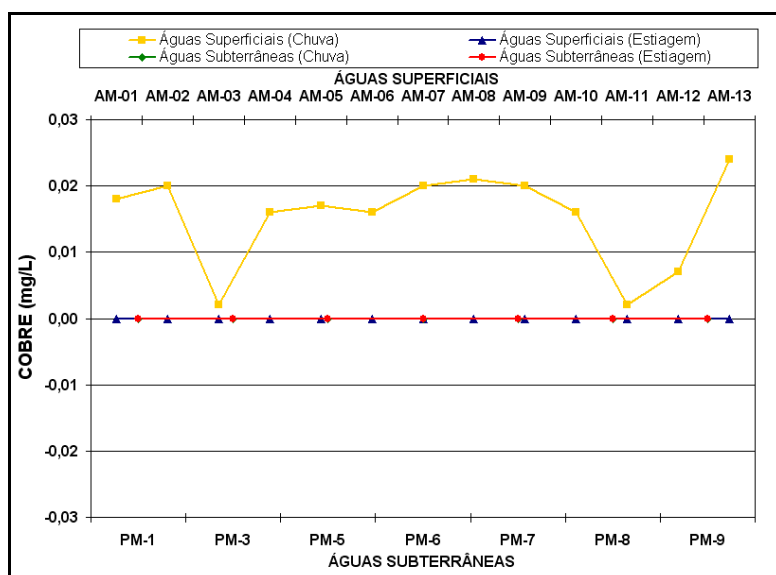
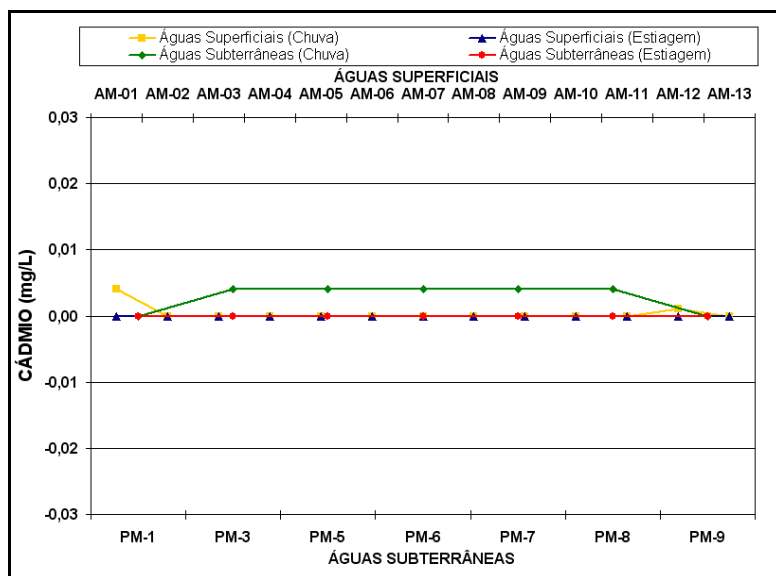


Figura 3.40 – Resultados de Cd^{+2} , Cu^{+2} e Pb^{+2} para as águas subterrâneas e superficiais da área de estudo.

Classificação iônica dos recursos hídricos da área de estudo

A Figura 3.41 apresenta o diagrama triangular de Piper (1944) com a caracterização iônica das águas subterrâneas e superficiais da área de estudo para os períodos de chuva e estiagem.

Verifica-se nas amostras que quanto aos cátions dissolvidos há o predomínio de sódio e quanto aos ânions, de bicarbonato. As águas analisadas em sua maioria são bicarbonatadas sódicas, sendo apenas uma delas classificada como cloretada sódica (PM-1).

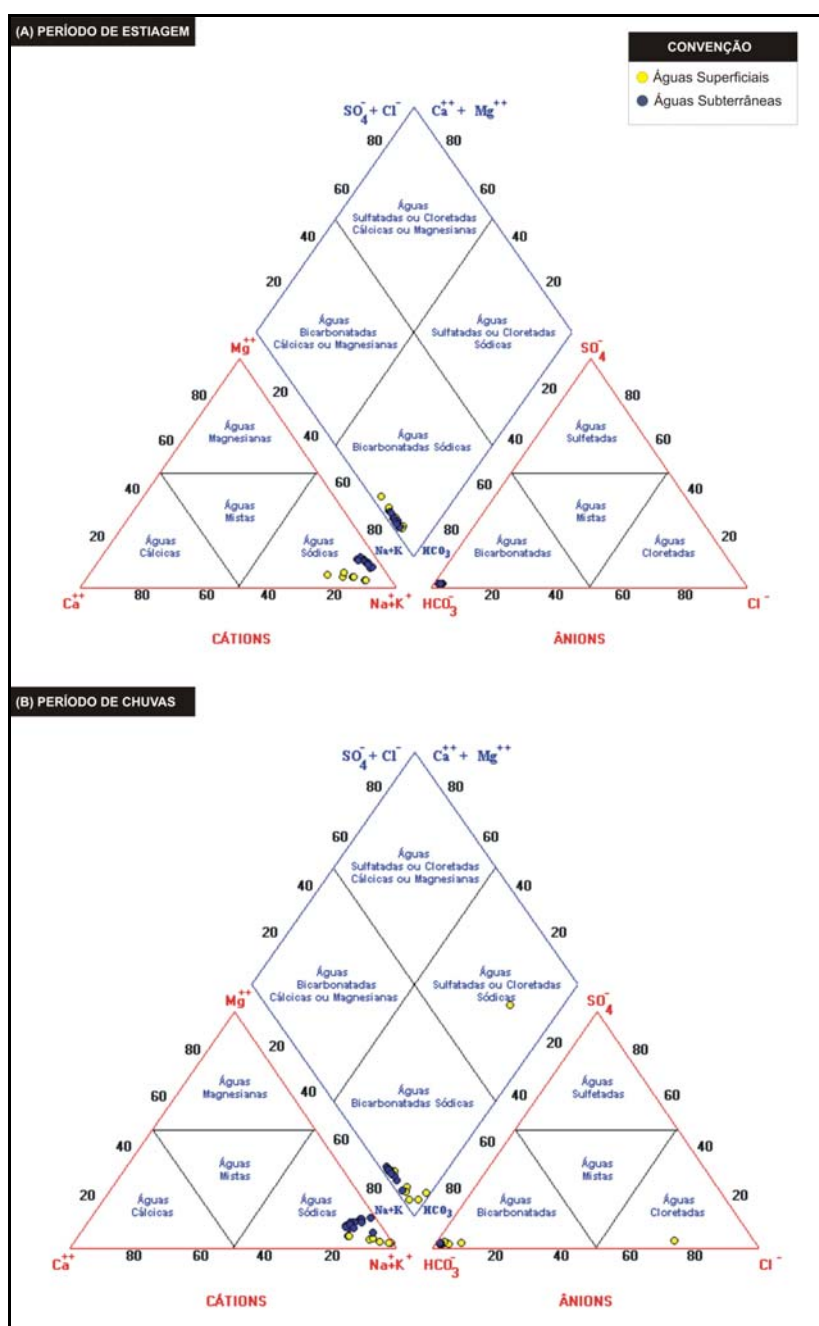


Figura 3.41 – Representação gráfica da classificação das águas subterrâneas e superficiais através dos diagramas de Piper (1944) para o período de estiagem (A) e de chuvas (B).

Conclusões

Nas análises físico-químicas das águas superficiais e subterrâneas, verifica-se que existe uma pequena diferença nas concentrações entre o período de estiagem e o chuvoso, corroborando com a existência de uma conexão entre os reservatórios. Em geral, os meses de dezembro a maio correspondem ao período chuvoso na RMB, época em que o aquífero encontra-se com seu nível mais elevado e acontece a renovação das suas águas.

Os parâmetros hidroquímicos característicos mostram que as águas subterrâneas do PEUt são predominantemente ácidas, assim como as águas superficiais, porém algumas amostras desse grupo se apresentaram levemente neutras.

Há um predomínio de baixos valores de condutividade elétrica e sólidos totais dissolvidos, que apontam para uma baixa mineralização das águas, de forma que boa parte das amostras apresentaram baixos valores de concentração iônica.

A qualidade das águas subterrâneas foi avaliada considerando os parâmetros e padrões de qualidade do Anexo I da Resolução CONAMA Nº 396/2008 e as águas superficiais pela Resolução CONAMA 357/2005. Considerando que ambas podem ser usadas para o consumo humano, foram observados ainda os parâmetros e padrões de potabilidade da Portaria Nº 518/2004, do Ministério da Saúde.

De acordo com o artigo 3 da Resolução CONAMA Nº 396/08, as águas subterrâneas na área de estudo podem ser enquadradas como águas subterrâneas Classe II. Já os corpos de água superficiais, segundo o Art. 4º da Resolução CONAMA 357/05, podem ser enquadrados como água doce Classe II.

Pelo diagrama de Piper as águas analisadas são predominantemente bicarbonatadas sódicas, sendo apenas uma das amostras de águas subterrâneas (PM-1) classificada como cloretada sódica, não apresentando características geoquímicas diferentes em relação aos períodos sazonais.

Através dos resultados analíticos das águas subterrâneas na área de abrangência do PEUt, tanto na época de estiagem quanto na época de chuva, verificou-se um acréscimo nos teores dos elementos dissolvidos bicarbonato e cloreto, indicando rápida infiltração das águas pluviais. Os piezômetros PM-1 e PM-5 já apresentam alterações na qualidade de suas amostras, quando comparado as demais amostragens, o que pode estar ocorrendo por estarem localizados próximos a uma área de forte influência antropogênica (invasão) com despejo de esgoto in natura local, poças e lagoas formadas por águas pluviais, facilitado pelo nível freático próximo a superfície (em torno de 3 metros).

Em relação aos metais pesados Cd^{+2} , Cu^{+2} , Zn^{+2} e Pb^{+2} nas águas subterrâneas, os mesmos não foram detectados nas campanhas de amostragem realizadas no período de estiagem. Já no período chuvoso, o Cd^{+2} apresentou-se, em grande parte dos pontos amostrados, próximo ao limite máximo legislado pela Portaria 518/04 e acima do valor estabelecido pela Resolução 396/08.

Apesar disso, os resultados obtidos para as águas subterrâneas quando comparados com a Resolução CONAMA N^o 396/08 e à Portaria 518/04, percebe-se que as amostras não apresentaram evidência de estarem poluídas, uma vez que a maioria dos parâmetros analisados apresentaram baixas concentrações dos constituintes dissolvidos, inserindo-se no contexto dos padrões de potabilidade estabelecidos por essa legislação. Além disso, deve-se considerar outras variáveis, como a existência de outros poços e principalmente de igarapés e canais, que podem estar atuando como um sistema drenante dos fluxos subterrâneos da área.

As amostras de águas superficiais coletadas no PEUt, ao serem comparados com a Resolução CONAMA N^o 357/05 e com a Portaria N^o 518/2004 do Ministério da Saúde, não indicaram alterações em suas características ambientais. Com exceção dos valores associados aos metais pesados (Cd^{+2} , Cu^{+2} , Zn^{+2} e Pb^{+2}), que apesar de não terem sido detectados nas campanhas de amostragem realizadas no período de estiagem, no período chuvoso os valores dos metais Cd^{+2} , Cu^{+2} e Pb^{+2} se apresentaram na maior parte dos pontos de coleta próximos ou acima dos limites estabelecidos pela legislação aqui utilizada.

Os valores anômalos apresentados pelos metais pesados nos recursos hídricos do PEUt podem estar relacionados à origem geológica e/ou antropogênica, necessitando de estudos mais aprofundados no sentido de se determinar a sua verdadeira causa.

Apesar de não serem encontradas variações significativas na concentração da maioria dos parâmetros geoquímicos analisados nos pontos de controle das amostras de águas superficiais e subterrâneas na área de abrangência dos estudos, no caso do PEUt os riscos mais iminentes identificados são relacionados aos seus recursos hídricos locais, tendo em vista que a sua vulnerabilidade é determinada pela sua proximidade ou afastamento do lugar onde encontram-se as fontes pontuais antropogênicas, o fato dos lagos e igarapés da área encontraram-se localizados em cotas topográficas relativamente baixas (até 5 metros) e pela geologia, que podem vir a facilitar o fluxo superficial ou subterrâneo, além da entrada e saída da maré, entre outros.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Curso de Pós-Graduação em Geologia da Universidade Federal da Bahia, ao Instituto de Geociências da Universidade Federal do Pará, à Universidade do Estado do Pará (UEPA) e à Secretaria de Meio Ambiente do Pará (SEMA) pela infraestrutura e apoio oferecidos na realização dos trabalhos. Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela viabilização financeira das pesquisas, através do financiamento do projeto de pesquisa intitulado “Estudo hidrogeológico da Bacia Hidrográfica do Utinga”, Processo Nº 476413/2004-4/Edital Universal.

4 – CONSIDERAÇÕES E CONCLUSÕES FINAIS

Aqui são apresentadas as principais conclusões, após a apresentação dos fundamentos e discussões associadas ao presente trabalho de pesquisa técnico-científico realizado na área do Parque Estadual do Utinga, localizado em Belém-PA, cujo objetivo principal foi a avaliação hidrogeológica e ambiental do sistema hídrico nesta área de preservação ambiental, com base em estudos hidrogeológicos, geofísicos e geoquímicos.

Os resultados das medidas geofísicas realizadas na área do PEUt apresentaram uma excelente concordância com as informações geológicas provenientes dos piezômetros.

As medidas eletromagnéticas realizadas na área de trabalho evidenciaram a presença de camadas geológicas com características elétricas diferentes (condutividade), que refletiram a presença de zonas condutoras (material argiloso) e zonas resistivas (material arenoso).

Há uma predominância de material arenoso, principalmente nos perfis 2, 3, 5 e 8 e nos demais a de material argiloso, mostrando variações litológicas ao longo dos perfis estudados. De acordo com as informações litológicas dos piezômetros, se tratam de argilas de coloração avermelhada, variegadas e esbranquiçadas e areias de granulometria que correspondem à fração fina e média, além da presença de concreções ferruginosas, sedimentos que estão relacionados ao Pós-Barreiras.

A representação dos valores medidos do módulo de campo versus frequência, permitiu uma melhor visualização da distribuição das zonas condutoras lateralmente e com a profundidade, exibindo uma pseudo-seção da subsuperfície.

Essa imagem aparente da subsuperfície (pseudo-seção) ao ser correlacionada com a distribuição dos sedimentos amostrados dos piezômetros perfurados sobre os perfis de medidas ou próximo deles, mostraram-se eficientes na delimitação das zonas arenosas e argilosas da subsuperfície, indicando que as variações de condutividade detectadas pelo método eletromagnético são melhores correlacionadas às variações litológicas ou à presença de água, do que à contaminação.

Além disso, a comparação entre as pseudo-seções indica, ainda, um aumento na argilosidade da subsuperfície em direção à zona residencial adjacente ao PEUt, sugerindo que os lagos possuem chances de estarem protegidos de contaminações geradas na zona residencial.

Os modelos interpretativos das SEV ao serem comparados com a litologia dos piezômetros, indicou que as argilas mais superficiais apresentam elevada resistividade e podem ser confundidas com material arenoso na interpretação geofísica. Os modelos geoeletricos obtidos a partir das SEV mostraram boa correlação com as pseudo-seções das medidas eletromagnéticas indicando as zonas argilosas e arenosas.

Nos estudos realizados com a aplicação do método geofísico GPR na área do Parque Estadual do Utinga em comparação aos resultados obtidos nos estudos com o método EM (Sistema Slingram MAX MIN I), SEV e instalação de piezômetros, foi possível identificar zonas de baixa reflexão de sinal causadas por argilas, bem como reflexões que foram associadas a blocos lateríticos e tubulações. Alguns padrões de reflexões mostraram feições que podem ser devidos a paleocanais arenosos. O padrão das reflexões pode, portanto, ser correlacionado com a distribuição dos sedimentos na área, representados por argilas variegadas e areias de granulometria que correspondem à fração de areia fina e média, relacionados aos sedimentos do Pós-Barreiras. O resultado dessa correlação indica que as variações de condutividade detectadas através das medidas realizadas na área, são mais associadas a variações litológicas do que a contaminação.

A presença de paleocanais arenosos rasos, identificados nos perfis GPR, se constitui em um caminho para a migração de contaminação. No entanto, como não foi observada atenuação do sinal no interior desses canais, eles provavelmente não se encontram contaminados.

Os aquíferos localizados na área de estudo são do tipo porosos, confinados, protegidos por uma camada de material argiloso, que correspondem a unidade estratigráfica do Pós-Barreiras.

A observação das curvas de comportamento dos níveis estáticos mostrou de maneira geral, que embora alguns poços estejam relativamente distantes uns dos outros, as variações do nível freático exibiram tendências similares, especialmente, no final do tempo de estiagem e início do período de chuvas, indicando que os mesmos se comportam como área de descarga das águas subterrâneas e que provavelmente estão sofrendo influência dos lagos que são bombeados periodicamente. Além disso, essa concordância nas variações dos níveis estáticos, ratifica o fato desses poços estarem interligados com o mesmo aquífero.

Os valores obtidos de condutividade hidráulica, tanto com a análise granulométrica quanto com o ensaio de bombeamento refletiram um ambiente representado pela predominância de material argilo-arenoso e argilo-siltoso com areia fina, compatíveis com o tipo de material geológico encontrado na área.

Os valores de condutividade hidráulica entre $1,24 \times 10^{-3}$ e $6,71 \times 10^{-3}$ cm/s (média de $3,6275 \times 10^{-5}$ m/s) obtidos com os ensaios de bombeamento, em conjunto com o valor de 28% de porosidade e o valor médio de 0,013 referente ao gradiente hidráulico da área, permitiram estimar o fluxo laminar da água a uma velocidade aproximada de 53,10 m/ano.

Os resultados hidrodinâmicos obtidos com os métodos diretos indicam que o fluxo subterrâneo, tanto no período chuvoso quanto no de estiagem, seguem no sentido norte-sul, em direção aos lagos Bolonha e Água Preta. Isso se constitui num fator de preocupação ambiental, uma vez que os lagos são efluentes em relação aos aquíferos locais e qualquer contaminação das águas subterrâneas poderá acarretar em contaminação dessas águas superficiais.

Nas análises físico-químicas das águas superficiais e subterrâneas, verifica-se que existe uma pequena diferença nas concentrações entre o período de estiagem e o chuvoso, corroborando com a existência de uma conexão entre os reservatórios. Em geral, os meses de dezembro a maio correspondem ao período chuvoso na RMB, época em que o aquífero encontra-se com seu nível mais elevado e acontece a renovação das suas águas, em contrapartida, os de junho a outubro correspondem ao período de estiagem na região, época em que os aquíferos encontram-se com o seu nível mais baixo.

Os parâmetros hidroquímicos característicos mostram que as águas subterrâneas do PEUt são predominantemente ácidas, assim como as águas superficiais, porém algumas amostras desse grupo se apresentaram levemente neutras.

Há um predomínio de baixos valores de condutividade elétrica e sólidos totais dissolvidos, que apontam para uma baixa mineralização das águas, de forma que boa parte das amostras apresentaram valores de concentração iônica baixas.

De acordo com o artigo 3 da Resolução CONAMA N^o 396/08, as águas subterrâneas na área de estudo podem ser enquadradas como águas subterrâneas Classe II. Já os corpos de água superficiais, segundo o Art. 4^o da Resolução CONAMA 357/05, podem ser enquadrados como água doce Classe II.

Através dos resultados analíticos das águas subterrâneas na área de abrangência do PEUt, tanto na época de estiagem quanto na época de chuva, verificou-se um acréscimo nos teores dos elementos dissolvidos bicarbonato e cloreto, indicando rápida infiltração das águas pluviais. Os piezômetros PM-1 e PM-5 já apresentam alterações na qualidade de suas amostras, quando comparado as demais amostragens, o que pode estar ocorrendo por estarem localizados próximos a uma área de forte influência antropogênica (invasão) com despejo de

esgoto in natura local, poças e lagoas formadas por águas pluviais, facilitado pelo nível freático próximo a superfície (em torno de 3 metros).

Em relação aos metais pesados Cd^{+2} , Cu^{+2} , Zn^{+2} e Pb^{+2} nas águas subterrâneas, pode se observar que o Cd^{+2} apesar de não ter sido detectado no período de estiagem, apresentou no período chuvoso um valor médio de 0,003 mg/L. Com exceção dos piezômetros PM-1 e PM-9, os demais mostraram-se próximos ao limite máximo legislado de 0,005 mg/L.

Apesar disso, os resultados obtidos para as águas subterrâneas quando comparados com a Resolução CONAMA N^o 396/08 e à Portaria 518/04, percebe-se que as amostras não apresentaram evidência de estarem poluídas, uma vez que a maioria dos parâmetros analisados apresentaram baixas concentrações dos constituintes dissolvidos, inserindo-se no contexto dos padrões de potabilidade estabelecidos por essa legislação. Além disso, deve-se considerar outras variáveis, como a existência de outros poços e principalmente de igarapés e canais, que podem estar atuando como um sistema drenante dos fluxos subterrâneos da área.

As amostras de águas superficiais coletadas no PEUt, ao serem comparados com a Resolução CONAMA N^o 357/05 e com a Portaria N^o 518/2004 do Ministério da Saúde, indicaram alterações nas características ambientais nos pontos de coleta localizados mais próximos do avanço da fronteira urbana. Os valores associados aos metais pesados (Cd^{+2} , Cu^{+2} , Zn^{+2} e Pb^{+2}) não foram detectados nas campanhas de amostragem realizadas no período de estiagem. No entanto, no período chuvoso os valores de cádmio, no ponto de coleta AM-01, apresentou um valor de 0,004 mg/L, se encontrando fora do limite estabelecido pela legislação vigente, que é de 0,001mg/L. O mesmo comportamento, em quase todos os pontos de coleta, foi observado nos valores relacionados ao Cu^{+2} (média de 0,015 mg/L) e ao Pb^{+2} (0,074 mg/L), que apresentaram concentrações acima do limite permitido pela Resolução 357/05, com valores de 0,009 mg/L e 0,01 mg/L, respectivamente. Os valores anômalos aqui apresentados podem estar relacionados à origem geológica, necessitando de estudos mais aprofundados no sentido de se determinar a sua verdadeira causa.

Pelo diagrama triangular de Piper, as águas analisadas são predominantemente bicarbonatadas sódicas, sendo apenas uma das amostras de águas subterrâneas (PM-1) classificada como cloretada sódica, não apresentando características geoquímicas diferentes em relação aos períodos sazonais.

Apesar de não serem encontradas variações significativas na concentração dos parâmetros geoquímicos analisados nos pontos de controle das amostras de águas superficiais e subterrâneas na área de abrangência dos estudos, os quais mostram que os recursos hídricos da área não estão sendo atingidos pelo deslocamento de poluentes, no caso do PEUt os riscos

mais iminentes identificados são relacionados aos seus recursos hídricos locais, tendo em vista que a sua vulnerabilidade é determinada pela sua proximidade ou afastamento do lugar onde encontram-se as fontes pontuais antropogênicas, pelo fato dos lagos e igarapés da área encontraram-se localizados em cotas topográficas relativamente baixas (até 5 metros) e pela geologia, que podem vir a facilitar o fluxo superficial ou subterrâneo, além da entrada e saída da maré, entre outros.

Percebe-se através dos estudos, um rápido e intenso processo de ocupação urbana desordenada nas áreas de transição e expansão da cidade (norte da área de estudo) por conta da implantação dos assentamentos planejados (conjuntos residenciais) e espontâneos (invasões) e de outros estabelecimentos comerciais, industriais e recreativos, possibilitando que a cobertura vegetal dos arredores do PEUt fosse significativamente alterada, o que tem contribuído para acelerar o processo de degradação de seus recursos naturais. A poluição hídrica causada pela precariedade local do sistema de saneamento básico, principalmente nas áreas ocupadas pelos assentamentos espontâneos localizados, geralmente, nas proximidades das cabeceiras dos lagos pode comprometer a sua capacidade de autodepuração a médio e longo prazo, com o risco de eutrofização dos lagos.

Por estar localizado em um grande centro urbano, diversas atividades ilícitas (pesca, caça a animais silvestres, desmatamento, etc) são realizadas no interior do PEUt, sem que a fiscalização dos órgãos responsáveis possa impedir, além das muitas ocupações irregulares que instaladas nesta área, acabam por desencadear diversos problemas ambientais, pois vem acompanhada de intensa exploração e destruição dos seus recursos naturais.

Há uma tentativa de resguardar o PEUt das agressões antrópicas. No entanto, apenas cercar e “tentar proteger” essa área não estão sendo suficientes para garantir a sobrevivência de seu ambiente natural, visto que seria preciso uma participação completa da sociedade.

As áreas onde foram identificados processos de erosão, desmatamento e assoreamento, intensificados por atividades humanas, têm condições mais favoráveis de recuperação a partir da adoção de medidas inibidoras da agressão ambiental, tais como a aplicação da lei de crimes ambientais aos infratores e ações mitigadoras destinadas a promover a recuperação das áreas degradadas, bem como a contenção do avanço da degradação, através de investimentos do poder público em instrumentos e técnicas de preservação e recuperação ambiental. No caso do PEUt, as prioridades de gestão devem conduzir a propostas imediatas, integradas à gestão ambiental e aos investimentos em saneamento básico, visto que essa é uma área considerada crítica em relação aos inúmeros impactos ambientais ocorrentes.

A gestão ambiental do PEUt se faz presente e necessária, para que as propriedades naturais sejam recuperadas e não percam suas qualidades ambientais com o uso desordenado. O processo de gestão serve, também, para organizar o acesso público a essas áreas, para que a população possa manter uma relação de contato direto com a natureza, com intuito de entendê-la melhor, conhecer suas leis, conservá-las e preservá-las conscientemente, pois um dos objetivos fundamentais de se permitir a presença humana em determinadas áreas específicas dentro das unidades de proteção ambiental, é promover a educação ambiental, como ponte de ligação entre homem e natureza.

5 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ACWORTH, R. I; JORSTAD, L. B. Integration of multi-channel piezometry and electrical tomography to better define chemical heterogeneity in a landfill leachate plume within a sand aquifer. **Journal of Contaminant Hydrology**, New York, v. 83, n. 3, p. 200-220, feb. 2006.
- ALMEIDA, F. M. Qualidades das águas subterrâneas das bacias hidrográficas do Tucunduba e Paracuri, Belém-PA, como base para a gestão das águas urbanas de Belém. In: SIMPÓSIO AMAZÔNIA, CIDADES E GEOPOLÍTICA DAS ÁGUAS, 1.; 2003, Belém. **Anais...**Belém: UFPA, 2003. p. 132-135.
- _____. **Estudo da contaminação por hidrocarbonetos em postos de serviços do município de Abaetetuba-Pa utilizando georadar**. 2007. 142 f. Dissertação (Mestrado em Geofísica) – Programa de Pós-Graduação em Geofísica, Universidade Federal do Pará, Belém, 2007.
- AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION, AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION, WATER POLLUTION CONTROL FEDERATION. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. 19th ed. Washington: American Public Health Association, 1995. 1134 p.
- AMINOT, Alain; CHAUSSEPIED, Marcel. **Manuel des analyses chimiques en milieu marin**. Brest: Centre National pour L'Exploitation des Océans, 1983. 395 p.
- ANASED. Processo e classificação de amostras de sedimentos. Software Anased. Disponível em: <http://www.anased.hpg.com.br>. Acesso em: 27 out. 2006.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13895**: Construção de poços de monitoramento e amostragem. Rio de Janeiro, 1997.
- BAHIA, V. E. **Estudo hidrogeológico da área localizada entre o Depósito de Lixo Metropolitano de Belém (Aurá) e o Lago Água Preta**. 2003. 117 f. Dissertação (Mestrado em Ciências - Geologia) – Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 2003.
- BAHIA, V. E et al. Imageamento da subsuperfície rasa na área dos mananciais superficiais de abastecimento de água de Belém-PA. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 43.; 2006, Aracaju. **Resumos...**Sergipe: Sociedade Brasileira de Geologia, 2006. p. 306.
- _____. A subsuperfície rasa na área do Parque Ambiental de Belém: Estudo a partir de dados geofísicos e de poços. In: Gilmar José Rizzotto; Marcos Luiz do Espírito Santo Quadros; Marcelo Lacerda Vasquez. (Org.). **Contribuições à Geologia da Amazônia**. 6. ed. Belém: Sociedade Brasileira de Geologia - Núcleo Norte, 2009. cap. 12, p. 183-192.

- BARCELONA, M. J. et al. **Practical guide for ground-water sampling**. Champaign: Ed. SWS Contract Report, 1985. 103 p.
- BAUMGARTEN, M. G. Z.; ROCHA, J. M.; NIENCHESKI, L. F. **Manual de análises em oceanografia química**. Rio Grande: Ed. da FURG, 1996. 132 p.
- BEEK, C. G. M. V.; PUFFELEN, J. V. Changes in the chemical composition of drinking water after well infiltration in a unconsolidated sandy aquifer. **Water Resources Research**, Washington, v. 23, n. 1, p. 69-76, mar. 1987.
- BENSON, R. C.; GLACUNCUM, R. A.; NOEL, M. R. **Geophysical Techniques for sensing buried wastes and waste migration**. Las Vegas: Lockheed Engineering and Management Services Co., Inc., 1984. 256 p.
- BENSON A. K; PAYNE, K. L; STUBBEN, M. A. Mapping groundwater contamination using DC resistivity and VLF geophysical methods – A case study. **Geophysics**, Tulsa, v. 62, n. 1, p. 80-86, jan. 1997.
- BERES JR, M.; HAENI, F. P. Application of Ground-Penetrating-Radar Methods in Hydrogeologic Studies. **Ground Water**, Malden, v. 29, n. 3, p. 375-386, may. 1991.
- BORDALO, C. A. L. **O desafio das águas numa metrópole amazônica: uma reflexão das políticas de proteção dos mananciais da Região Metropolitana de Belém-PA (1984 – 2004)**. 2006. 369 f. Tese (Doutorado em Ciências – Desenvolvimento Socioambiental) – Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Sustentável do Trópico Úmido, Universidade Federal do Pará, Belém.
- BOTELHO, M. A. B.; PESTANA, R. Migração de radar (GPR) com correção topográfica simultânea. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 39., 1996, Salvador. **Anais...** Salvador: Sociedade Brasileira de Geologia, 1996. p. 394-397.
- BOWER, H. Groundwater hidrology. New York: McGraw-Hill Book Company, 1978. 480 p.
- BRANCO, Samuel Murgel. Hidrobiologia aplicada à engenharia sanitária. 3ed. São Paulo: CETESB, 1986. 616 p.
- _____. O meio ambiente em debate. São Paulo: Editora Moderna, 1988, 88 p., (Coleção Polêmica, 5).
- BRANDON, K. Perils to parks: the social context of threats. In: BRANDON, K.; REDFORD, K.H.; SANDERSON, S. (Eds.). **Parks in peril: people, politics, and protected areas**. Washington: Island Press, 1998. p. 415-439.
- BRASIL. Casa Civil da Presidência da República. Subchefia para Assuntos Jurídicos. Decreto Nº 84.017 de 21 de setembro de 1979. Aprova o Regulamento dos Parques Nacionais Brasileiros. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Poder Executivo, Brasília, DF, set. 1979.

_____. Casa Civil da Presidência da República. Subchefia para Assuntos Jurídicos. Política Nacional do Meio Ambiente - Lei Nº 6.938 de 31 de agosto de 1981. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Poder Executivo, Brasília, DF, ago. 1981.

_____. Casa Civil da Presidência da República. Subchefia para Assuntos Jurídicos. Sistema Nacional de Unidades de Conservação - SNUC, Lei Nº 9.985 de 18 de julho de 2000. Regulamenta o art. 225, § 1º, incisos I, II, III e VII da Constituição Federal, institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza e dá outras providências. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Poder Executivo, Brasília, DF, jul. 2000.

_____. Constituição (1988). **Constituição da República Federativa do Brasil**. Brasília, DF: Senado, 1988.

_____. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. **Efetividade de gestão das unidades de conservação federais do Brasil**. Brasília, DF: IBAMA, WWF-Brasil, 2007. 96 p.

_____. Ministério do Meio Ambiente. Resolução CONAMA Nº 20, de 18 de junho de 1986. Dispõe sobre a classificação das águas, doces, salobras e salinas em Território Nacional e dá outras providências. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 28 p., jul. 1986.

_____. Ministério do Meio Ambiente. Decreto Nº 1.160, de 21 de junho de 1994. Cria a Comissão Interministerial para o Desenvolvimento Sustentável (CIDES) e dá outras providências. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, jun. 1994.

_____. Ministério do Meio Ambiente. Lei Nº 9.985, de 18 de julho de 2000. Regulamenta o art. 225, § 1º, incisos I, II, III e VII da Constituição Federal, institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza e dá outras providências. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, set. 2000.

_____. Ministério do Meio Ambiente. Secretaria de Biodiversidade e Florestas. **Biodiversidade brasileira: avaliação e identificação de áreas e ações prioritárias para conservação, utilização sustentável e repartição de benefícios da biodiversidade brasileira**. Brasília, DF, 2002. 404 p.

_____. Ministério da Saúde. Portaria Nº 518, de 25 de março de 2004. Estabelece normas e padrões de potabilidade da água destinada ao consumo humano. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, v. 59, seção 1, p. 266-270, mar. 2004.

_____. Ministério do Meio Ambiente. Resolução CONAMA Nº 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 23 p., mar. 2005.

- _____. Ministério do Meio Ambiente. Resolução CONAMA Nº 396, de 03 de abril de 2008. Dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas e dá outras providências. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 13 p., abr. 2008.
- BRAZ, V. M. N. **Estudo da qualidade da água de abastecimento da zona urbana de Belém (PA)**. 1985. 167 f. Dissertação (Mestrado em Geologia e Geoquímica) – Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 1985.
- _____. Poluição dos recursos hídricos da Amazônia. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL PROBLEMÁTICA DO USO LOCAL E GLOBAL DA ÁGUA DA AMAZÔNIA, 1.: 2003, Belém. **Resumos...** Belém: Núcleo de Altos Estudos Amazônicos, 2003. 1 CD.
- BRAZ, V. M. N.; MENEZES, L. C.; OLIVEIRA, M. Situação atual dos lagos do complexo hídrico do Utinga, Belém-Pa, em relação aos parâmetros bioquímicos e bacteriológicos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL. 19., Foz do Iguaçu, 1997. p.377.
- BROWN, L. C. Turkish Foreign Policy in an Age of Uncertainty (Book review). **Foreign Affairs**, Turquia, v. 82, n. 3, p. 162, mar. 2003.
- BRIGANTE, Janete; ESPÍNDOLA, Evaldo Luíz Gaeta. **Liminologia Fluvial**. Um estudo no rio Mogi-Guaçu. São Carlos: RIMA, 2003. 278 p.
- CABRAL. C. L. **Geografia da Área Protegida: uma abordagem sobre os efeitos da expansão urbana na qualidade de vida da APA Metropolitana de Belém-PA (1994-2009)**. 2010. 127 f. Monografia (Especialização) - Núcleo de Altos Estudos Amazônicos, Universidade Federal do Pará, Belém, 2010.
- CARMOUZE, J. P. The Energy Balance in Lake Titicaca. In: DEJOUX, C.; ILTIS, A. (Ed.). **The Netherlands**, Norwell: Kluwer Academic Publishers, 1999. p. 131-146.
- CARNEIRO, B. S.; GERALDO. A. V. **Determinação de clorofila e avaliação da produtividade nos lagos Água Preta e Bolonha**. 2000. 48 f. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso)- Centro Tecnológico, Universidade Federal do Pará, Belém, 2000.
- CASTRO, V. L. L.; DUARTE, M. A. C.; PACHECO, A. Desenvolvimento urbano e industrial no curso inferior da bacia do Rio Doce e os efeitos impactantes no sistema aquífero Lacustre-Extremoz – RN: Análise preliminar. In: JOINT WORLD CONGRESS ON GROUNDWATER, 1., 2000, Fortaleza. **Anais...**Fortaleza: 2000. 1 CD.
- CHAVES, M. do P. S. R.; RODRIGUES, D. C. B. Desenvolvimento Sustentável: limites e perspectivas no debate contemporâneo. **Revista Internacional de Desenvolvimento Local**. Campo Grande, v. 8, n. 13, p. 99-106, set. 2006.
- COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. **Guia de coleta e preservação de amostras de água**. 1ª ed. São Paulo: 1987. 155 p.

COMPANHIA DE DESENVOLVIMENTO E ADMINISTRAÇÃO DA ÁREA METROPOLITANA DE BELÉM. **Plano de desenvolvimento da Grande Belém**: metodologia, estudos básicos, prognósticos, desenvolvimento e sistema. Belém, 1975.

_____. **Plano Diretor do Utinga**. Parques do Utinga – PDPU. Belém, 1987. vol. I e II.

COMISIÓN PARA LA COOPERACIÓN AMBIENTAL. Apresenta as suas contribuições para a conservação, proteção e melhoramento do meio ambiente da América do Norte. Disponível em: <<http://www.cec.org>>. Acesso em: 15 out. 2008.

COMMISSION FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT. Overall Progress Achieved Since the United Nations Conference on Environment and Development. United Nations Economic and Social Council. 1997. Disponível em: <<http://www.un.org/es/documents/>>. Acesso em: 18 out. 2008.

COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS. **RADAMBRASIL**: Levantamento de recursos naturais. Rio de Janeiro: IBGE, 1983. Belo Horizonte: CPRM, 2002. 28 p.

CONSULTORA DE ENGENHARIA S.A. **Diagnóstico do estudo urbanístico de proteção sanitária dos lagos Bolonha e Água Preta**. II: Urbanização e medidas de proteção sanitária da região dos lagos-Utinga. Belém: Companhia de Saneamento do Pará, 1983. 279 p.

COOPER, H. H; JACOB, C. E. A generalized graphical method for evaluating formation constants and summarizing well-field history. **American Geophysical Unions Transactions**, Washington, v. 37, p. 526-534, sep. 1946.

CORDEIRO, C. A. **Estudo da salinização no estuário do rio Pará no trecho Belém-Mosqueiro**. 106 f. Dissertação (Mestrado em Geologia) – Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 1987.

CRUZ, Ernesto. A água de Belém: sistema de abastecimento usados na capital desde os tempos coloniais aos dias modernos. Belém: Ofs. da Revista Veterinária, 1944. 137 p.

CUNHA, F. G. Implicações dos elevados teores de chumbo nas águas de abastecimento público em alguns municípios do Estado do Pará na saúde da população. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 44., 2008, Curitiba. **Anais...**Curitiba: Sociedade Brasileira de Geologia, 2008. p. 370.

CUSTÓDIO, Emilio; LLAMAS, Manuel Ramon. **Hidrología subterránea**. Barcelona: Ediciones Ómega S.A., 1976. 1194 p.

DANELON, O. M.; NORDEMANN, L. M. M. Ocorrência natural e antropogênica de Cl⁻, Na⁺, NO³⁻, NH⁴⁺ e SO⁴²⁻ na bacia do Rio Quilombo – (Cubatão – SP). **Revista Brasileira de Geociências**, São Paulo, v. 21, n. 1, p. 96-106, mar. 1991.

DANIELS, Jeffrey J. Surface Penetrating Radar. London: The Institution of Electrical Engineers, 1996.

- DAVIS, J. L.; ANNAN, A. P. Ground penetrating radar for high-resolution mapping of soil and rock stratigraphy. **Geophysical Prospecting**, Malden, v. 37, n. 5, p. 531-551, jul. 1989.
- DIAS, S. da F. (Coord.). **Estudo ambiental do Utinga: vida útil do sistema de abastecimento de água de Belém**. Relatório de Pesquisa 19. Belém: Instituto de Desenvolvimento Econômico Social do Pará, 1991. 118 p.
- DINIZ, T. D. de A. S. Característica climática da Amazônia Oriental: Pesquisa sobre utilização e conservação do solo da Amazônia Oriental. Relatório final do convênio EMBRAPA/CPATU/GTZ. Belém: EMBRAPA, 1986. p.3-13.
- DRISCOLL, Fletcher G. Groundwater and wells. St Paul: Johnson Division. 1987. 1089 p.
- ELIS V. R.; ZUQUETTE, L. V. Caracterização geofísica de áreas utilizadas para disposição de resíduos sólidos urbanos. **Revista Brasileira de Geociências**, São Paulo, v. 32, p. 119-134, 2002.
- ESTEVEVES, Francisco de Assis. Fundamentos de limnologia. 2. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 1998. 602 p.
- FANCY, S. G.; GROSS, J. E.; CARTER, S. L. Monitoring the condition of natural resources in US national parks. **Environmental monitoring and assessment**, Dordrecht, v. 140, n. 1, p. 395-406, may. 2008.
- FARIAS, E. dos S.; NASCIMENTO, F. S do; FERREIRA, M. A. A. **Mapeamento da área Belém-Outeiro**. 1992. 247 f. Estágio de campo III (Relatório Final) – Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém.
- FARIAS, G. L.; LIMA, M. C. **Coletânea de Legislação Ambiental, Federal e Estadual**. Curitiba: Secretaria de Estado do Desenvolvimento Urbano e do Meio Ambiente, Coordenadoria de Estudos e Defesa do Meio Ambiente, 1991.
- FETTER, Charles William. Applied Hydrogeology. 3 ed. New Jersey: Prentice Hall, Inc., 1994. 691 p.
- FILHO, S.S.A. Conflitos ambientais e os instrumentos da Política Nacional de Meio Ambiente. **eGesta**, Santos, v. 4, n. 2, p. 127-140, abr-jun. 2008.
- FISHER, E.; MCMECHAN, G.A.; ANNAN, A.P. Acquisition and processing of wide-aperture ground-penetrating radar data. **Geophysics**, Tulsa, v. 57, n.3, p. 495-504, jun. 1992a.
- FISHER, E. et al. Examples of reverse-time migration of single-channel, ground-penetrating radar profiles. **Geophysics**, Tulsa, v. 57, n. 4, p. 577-586. jun. 1992b.
- FORD, M.; TELLAM, J.H. Source, type and extent of inorganic contamination within the Birmingham urban aquifer system, UK. **Journal of Hydrology**, Maryland Heights, v. 156, n.1-4, p. 101-135, apr. 1994.

- FOSTER, Stephen; LAWRENCE, Adrian; MORRIS, Brian. Groundwater in Urban Development: Assessing Management Needs and Formulating Policy Strategies. Germany: Nürnberg, 1998. 72 p.
- FUNDAÇÃO CEARENSE DE METEOROLOGIA E RECURSOS HÍDRICOS. **Software Qualigraf**. Disponível em: <<http://www.funceme.br>>. Acesso em: 27 out. 2008.
- GASPAR, M. T. P. **Avaliação dos impactos da ocupação urbana sobre as águas da bacia hidrográfica do igarapé Mata Fome, Belém – Pará**. 2001. 112 f. Dissertação (Mestrado em Geoquímica e Petrologia) – Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 2001.
- GLEICK, Peter H. Water in Crisis: A Guide to the World's Fresh Water Resources. New York: Oxford University Press, 1993. 504 p.
- HANTZSCHE, N. N.; FINNEMORE, E. J. Predicting Ground-Water Nitrate-Nitrogen Impacts. **Ground Water**, Malden, v. 30, n. 4, p. 490-499, jul. 1992.
- HARMAN, W. A.; ALLAN, C. J.; FORSYTHE, R. D. Assessment of potential groundwater contamination sources in a wellhead protection area. **Journal of Environmental Management**, Columbus, v. 62, n. 3, p. 271-282, jul. 2001.
- HAZEN, A. Discussion: Dams on sand foundations. **Transactions**, American Society of Civil Engineers, v. 73, n. 5, p. 199-203, jun. 1911.
- HEATH, Ralph C. Basic Ground-Water Hydrology. 5. ed. United States: Geological Survey Water-Supply Paper 2220, 1989. 86 p.
- HEM, John David. Study and interpretation of the chemical characteristics of natural water. 2 ed. Washington: Geological Survey Water-Supply, 1970. 363 p.
- IMBIRIBA JUNIOR, M.; COSTA, F. R. da. Recursos Hídricos: O caso dos mananciais dos lagos Bolonha e Água Preta na Região Metropolitana de Belém, Pará. In: ASSEMBLÉIA DA ASSOCIAÇÃO NACIONAL DOS SERVIÇOS MUNICIPAIS DE SANEAMENTO, 33., 2003, Santo André. **Anais eletrônicos...** Santo André: ASSEMAE, 2003. Disponível em: <www.marte.dpi.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2008/11.16.16.44/doc/4599-4606.pdf>. Acesso em: 17 set. 2004.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Cartografia Temática do Brasil e do Mundo. Disponível em: <www.ibge.gov.br>. Acesso em: 18 out. 2008.
- _____. Estimativa do universo populacional. Recenseamento geral do Brasil. Disponível em: <www.ibge.gov.br/cidadesat/topwindow.htm?1>. Acesso em: 28 jul. 2010.
- INSTITUTO DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO SOCIAL DO PARÁ. **Projeto reconhecimento dos recursos naturais da Região Metropolitana de Belém. Reconhecimento hidrogeológico**. Anexo I. Belém, 1980. 11 p.
- _____. **Estudo ambiental do Utinga, vida útil do sistema de abastecimento de água de Belém**. Relatório de Pesquisa N^o 19. Belém, 1991. 24 p.

- INSTITUTO EVANDRO CHAGAS. **Avaliação da qualidade da água superficial do manancial do Utinga que pertence ao sistema de abastecimento da cidade de Belém-PA**, 2008. Belém: Instituto Evandro Chagas, 2008. 32 p.
- INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. Normais Climatológicas do Brasil (1931 a 1997). Brasília-DF: INMET, 1998.
- INTERNATIONAL UNION FOR CONSERVATION OF NATURE / WORLD COMMISSION ON PROTECTED AREAS. Protected Areas: Benefits Beyond Boundaries. Disponível em: <www.iucn.org.br/themes/wcpa>. Acesso em: 20 out. 2008.
- JESUS, M. S.; PARANHOS, P. F. **Caracterização dos resíduos líquidos lançados nos principais canais das bacias hidrográficas que deságuam no Rio Guamá**. 2003. 90 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Sanitária) – Instituto de Tecnologia, Universidade Federal do Pará, Belém, 2003.
- JUNK, W.J. As águas da Região Amazônica. In: SALATI, E. et al. (Org). **Amazônia: desenvolvimento, integração e ecologia**. São Paulo: Brasiliense-CNPq, 1983, p. 45-100.
- KELLY, W.E. Geoelectric sounding for delineating groundwater contamination. **Ground Water**, Malden, v. 14, n. 1, p. 6-10, jan. 1976.
- KRUMBEIN, William Christian; PETTIJOHN, Francis John. Manual of sedimentary petrography. New York: Appleton-Century, 1938. 549 p.
- LAPOIX, F. **Cidades verdes e abertas**. In: CHARBONNEAU, J. P. et. al. **Enciclopédia de Ecologia**. São Paulo: EPU, 1979, p. 324-339.
- LIMA O. A. de; SATO H. K.; PORSANI M. J. Imaging industrial contaminant plumes with resistivity techniques. **Journal of Applied Geophysics**, Maryland Heights, v. 34, n. 2. p. 93-108, dec.1995.
- LIMA, W. N.; KOBAYASHI, C. N. Sobre o quimismo predominante nas águas do sistema flúvio-estuarino de Barcarena-PA. **Geoquímica Brasiliensis**, São Paulo, v. 2, n. 1, p. 53-71, jan. 1988.
- LISBOA, F. M.; MELLO, V.; BRAZ, V. M. N. Estimativa da carga orgânica das bacias hidrográficas que deságuam no rio Guamá. Belém-PA. In: SIMPÓSIO AMAZÔNIA, CIDADES E GEOPOLÍTICA DAS ÁGUAS, 1.; 2003, Belém. **Anais...** Belém: UFPA, 2003. p. 146-149.
- LUIZ, J. G.; SILVA, L. M. C. **Geofísica de prospecção**. Apostila Belém: Universidade Federal do Pará, 1983. 263 p.
- MAACK, Reinhard. Geografia Física do Estado do Paraná. 2. ed. Rio de Janeiro: Livraria José Olimpo Editora, 1981. 450 p.
- MANNING, R.; VALLIERE, W.; MINTEER, B. Values, ethics, and attitudes toward national forest management: An Empirical Study. **Society and Natural Resources**, Phoenix, v. 12, n. 5. p. 421-436, jan. 1999.

- MARKEL, R. H.; KAMININSKI, J. T. Mapping Ground Water by Using Electrical Resistivity with a Buried Current Source. **Ground Water**, Malden, v. 10, n. 2, p. 18-25, mar. 1972.
- MARTINS, J. A. C. **Contaminação de aquíferos por derivados do petróleo em postos de abastecimento automotivo na Bacia do Murucutu**. 2009. 92 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Geologia) – Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 2009.
- MATTA, M. A. da S. **Fundamentos hidrogeológicos para a gestão integrada dos recursos hídricos da Região de Belém/Ananindeua – Pará, Brasil**. 2002. 292 f. Tese (Doutorado em Hidrogeologia) – Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém.
- MATTA, M. A. da S. et al. Comportamento do nível estático e do fluxo hídrico subterrâneo do sistema hidrogeológico superior da bacia hidrográfica do Murucutu Belém-PA. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 16., 2010, São Luíz. **Anais...** São Luíz: Associação Brasileira de Águas Subterrâneas, 2010. 1 CD.
- MAZZEO, T. E. **Avaliação ambiental das vias de drenagem da região metropolitana de Belém-PA quanto à distribuição dos elementos Ca, Cd, Cr, Cu, Fe, Hg, K, Mg, Mn, Na, Ni, Pb e Zn**. 1991. 141 f. Dissertação (Mestrado em Geologia e Geoquímica) – Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 1991.
- MELO, M.S. **A Formação Rio Claro e depósitos associados: sedimentação neocenoica na depressão periférica paulista**. 1995. 144 f. Tese (Doutorado em Geociências) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1995.
- MERCÊS, Simaia do S. S. (Coord.). Relatório Ambiental da Região Metropolitana de Belém. Belém: PNDU/IPEA/DADESP/COHAB, 1997. 261 p.
- MOORE, S. A.; POLLEY, A. Defining indicators and standards for tourism impacts in protected areas: Cape Range National Park, Australia. **Environmental Management**, New York. v. 39, n. 3, p. 291-300, mar. 2007.
- MORAES, M. C. da S. **Avaliação do regime de precipitação na região de Belém (RMB) e sua relação com a hidrologia subterrânea**. 1999. 54 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Meteorologia) – Depto de Meteorologia, Universidade Federal do Pará, Belém, 1999.
- MORAES, S. R. R. de; TUROLLA, F. A. Visão geral dos problemas e da política ambiental no Brasil. **Informações Econômicas**, São Paulo, v. 34, n. 4, p. 7-13, abr. 2004.
- MOREIRA, Eidorfe. Belém e sua expressão geográfica. Belém: Imprensa Universitária, 1966. 212 p.
- MOREIRA, E. Belém e sua expressão geográfica. In: **Obras Reunidas de Eidorfe Moreira**. Belém: Cejup, 1989.
- MUNN, R. E. (Ed.). **Environmental Impact Assessment: Principles and Procedures**. New York: John Willey and sons, 1979. 190 p.

- MUÑOZ, Héctor Raúl. Interfaces da Gestão de Recursos Hídricos: Desafios da Lei de Águas de 1997. 2. ed. Brasília: Secretaria de Recursos Hídricos, 2000. 322 p.
- NASCIMENTO, Cicerino Cabral do. Clima e morfologia urbana em Belém. Belém: Núcleo de Meio Ambiente, 1995. 160 p.
- NEVES, F. A.; ROULSTON, M. S.; MILLER, J. A. Source signature deconvolution of ground penetrating radar data. **Revista Brasileira de Geofísica**, Rio de Janeiro, v. 13, n. 2, p. 143-153, jul. 1995.
- NORIEGA, C. E. D. **Influência hidrológica e grau de poluição dos rios Pirapama e Jaboatão no estuário da Barra das Jangadas (PE-Brasil): Ciclo nictemeral**. 2004. 163 f. Dissertação (Mestrado em Geociências) - Centro de Tecnologia e Geociências, Universidade Federal de Pernambuco, Recife. 2004.
- NÚCLEO DE ALTOS ESTUDOS AMAZÔNICOS. Universidade Federal do Pará. Relatório do projeto MEGAM - Estudo das mudanças sócioambientais no estuário amazônico. Belém, 2004. 117 p.
- NUNES, L. P. M. **Caracterização geométrica da área de curtume localizado no Distrito Industrial de Icoaraci, Belém-Pará**. 2005. 86 f. Dissertação (Mestrado em Geofísica) – Centro de Geociências, Curso de Pós-Graduação em Geofísica, Universidade Federal do Pará, Belém. 2005.
- OLIVEIRA, E. M. de; KACOWICZ, Z. Relatório de qualidade do meio ambiente-RQMA. Sinopse. Brasília, DF: SEMA, 1984.
- OLIVEIRA, M. C. F. et al. Estudo das alterações meteorológicas associadas à urbanização de Belém-Pará. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 9., 1995, Campina Grande. **Anais...** Campina Grande: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, 1995. p. 177-179.
- OLIVEIRA, M. C. F.; SOUZA, P. F. Estudo das possíveis variações e mudanças climáticas em Belém-PA. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 10.; 1997, Piracicaba. **Anais...** São Paulo: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, 1997. p. 410-412.
- OLIVEIRA, J. R. et al. Controle de vazamentos em postos de combustíveis na Região Metropolitana de Belém e seus aspectos jurídicos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 12.; 2002, Florianópolis. **Anais...** Santa Catarina: Associação Brasileira de águas Subterrâneas, 2002. 1 CD.
- ORELLANA, Ernesto. Prospección geométrica en corriente contínua. Madrid: Paraninfo, 1972. 523 p.
- PARÁ, (Estado). Decreto Nº 3.251, de 12 de abril de 1984. Dispõe sobre a criação do conselho Gestor da APA Belém e do Parque Ambiental de Belém. Diário Oficial [do] Estado Nº 25.385 de 04 de maio de 1984a.

_____. Decreto Nº 3.252, de 12 de abril de 1984. Dispõe sobre a criação do conselho Gestor da APA Belém e do Parque Ambiental de Belém. Diário Oficial [do] Estado Nº 25.385 de 04 de maio de 1984b.

_____. Decreto Nº 1.551, de 03 de maio de 1993. Dispõe sobre a implantação da área de proteção ambiental dos mananciais de abastecimento de água de Belém – APA Belém. Diário Oficial [do] Estado Nº 27.460 de 04 de maio de 1993a.

_____. Decreto Nº 1.552 de 03 de maio de 1993. Dispõe sobre a criação do Parque Ambiental de Belém e dá outras providências. Diário Oficial [do] Estado Nº 27.460 de 04/05/1993b.

_____. Decreto Nº 1.042, de 09 de fevereiro de 1993. Altera o Decreto Nº 1.985, de 28 de outubro de 1993, que cria o Conselho Gestor da APA-Belém e do Parque Ambiental de Belém e dá outras providências. Diário Oficial [do] Estado Nº 27.460 de 04 de maio de 1993c.

_____. Secretaria de Estado de Indústria, Comércio e Mineração. **Plano diretor de mineração em áreas urbanas, Região Metropolitana de Belém**. Belém, 1995. 187 p.

_____. Lei Nº 6.116, de 03 de abril de 1998. Dispõe sobre a proibição de construção de unidades habitacionais às proximidades de fontes de abastecimento de água potável no Estado do Pará e dá outras providências. Diário Oficial [do] Estado Nº 28.689 de 06/04/1998.

_____. Secretaria de Estado de Ciência, Tecnologia e Meio Ambiente. **Guia Ambiental do Estado do Pará: O que você precisa saber sobre Gestão Ambiental**. Belém, 2000. 34 p.

_____. Decreto Nº 1.329 de 02 de outubro de 2008. Altera o Decreto Estadual Nº 1.551, de 3 de maio de 1993, que dispõe sobre a Implantação da Área de Proteção Ambiental dos Mananciais de Abastecimento de Água de Belém - APA Belém, e dá outras providências. Diário Oficial [do] Estado Nº 31.268 de 03 de outubro de 2008a.

_____. Decreto Nº 1.330 de 02 de outubro de 2008. Altera o Decreto Estadual Nº 1.552, de 3 de maio de 1993, que dispõe sobre a criação do Parque Ambiental da Belém, e dá outras providências. Diário Oficial [do] Estado Nº 31.268 de 03 de outubro de 2008b.

PARANAGUÁ, Patrícia et al. **Belém Sustentável**. Belém: Imazon, 2003. 112 p.

PEACE PARKS FOUNDATION. Apresenta a sua contribuição para a criação de uma rede de áreas protegidas sobre ecossistemas através das fronteiras internacionais. Disponível em: <<http://www.peaceparks.org>>. Acesso em: 16 out. 2008.

PENTEADO, Antônio Rocha. **Geografia Urbana de Belém**. Belém: Universidade Federal do Pará, 1967. 448 p.

PEREIRA, S. F.; OU Z. Y.; KIMBLE, H.J. Backaction evading measurement for quantum nondemolition detection and quantum optical tapping. **Phys. Rev. Lett.**, Califórnia, v. 72, n. 2, p. 214-217, jan. 1994.

- PEREIRA, J. A. Saneamento em Áreas Urbanas. In: PEREIRA, J. A. (Org). **Saneamento Ambiental em Áreas Urbanas. Esgotamento Sanitário na Região Metropolitana de Belém**. Belém: UFPA/NUMA, 2003. p. 199-219.
- PHILIPPI JR, A.; PELICIONI, M. C. F. (Ed.). **Educação Ambiental e Sustentabilidade**. Barueri: Manole, 2005. 878 p.
- PIPER, A. M. A graphic procedure in the geochemical interpretation of water-analyses. **Transactions American Geophysical Union**, Washington, v. 25, n. 1, p. 914-928, jun.1944.
- PIRATOBA MORALES, G. **Avaliação ambiental dos recursos hídricos, solos e sedimentos na área de abrangência do Depósito de Resíduos Sólidos do Aurá**. 2002. 220 f. Tese (Doutorado em Geologia) – Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém.
- PORSANI J. L. **Ground Penetrating Radar (GPR): Proposta metodológica de emprego em estudos geológico-geotécnicos nas regiões de Rio Claro e Descalvado - SP**. 1999. 145 f. Tese (Doutorado em Geofísica) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, São Paulo.
- POSTEL, S. L.; DAILY, G. C.; EHRLICH, P. R. Human Appropriation of Renewable Fresh Water. **Science**, New York, v. 271, n. 5250, p. 785-788, feb. 1996.
- POSTEL, S.; CARPENTER, S. R. Freshwater ecosystem services. In: **Nature's services, Societal Dependence On Natural Ecosystems**, Island Press: Washington, 1997. p. 195-214.
- PREFEITURA MUNICIPAL DE BELÉM (Belém, PA). **Região Metropolitana de Belém**. Belém, 1995. Secretaria Municipal de Coordenação Geral do Planejamento e Gestão. Escala 1:250.000.
- _____. **Projeto Técnico: Saneamento Ambiental do Complexo de Destino Final de Resíduos Sólidos do Aurá-Belém-PA**. Belém: Prefeitura Municipal de Belém, 1997. 340 p.
- PROGRAMA DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O DESENVOLVIMENTO. Relatório sobre o Desenvolvimento Humano no Brasil. Brasília: PNUD / IPEA, 1996. 96 p.
- REBOUÇAS, A. DA C.; BRAGA, B.P.F.; TUNDISI, J.G. **Águas doces no Brasil: capital ecológico, uso e conservação**. São Paulo: Editora Escrituras, 2002. 703 p.
- RESSOURCES NATURELLES CANADA. **L'état des forêts au Canada**. Ottawa, 1998.
- REYNOLDS, John M. An introduction to applied and environmental geophysics. New York: John Wiley & Sons Ltda, 1997. 800 p.

- RIBEIRO, H. M. C. **Avaliação Atual da Qualidade das Águas dos lagos Bolonha e Água Preta, situados na área fisiográfica de Utinga (Belém-PA)**. 1992. 204 f. Dissertação (Mestrado em Geologia) – Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 1992.
- RIBEIRO, Karla Tereza Silva Ribeiro. **Água e saúde humana em Belém**. Coleção Megam. Belém: Cejup, 2004. 280 p.
- RÖPER, M. On the way to a better state? The role of NGOs in the planning and implementation of protected areas in Brazil. **GeoJournal**, Columbus, v. 52, n. 1, p. 61-69, set. 2000.
- ROSSETI, D. de F.; TRUCKENBRODT, W.; GOÉS, A. M. 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**, Belém, v. 1, n. 4, p. 25-74, nov. 1989.
- RYLANDS, A. B.; BRANDON, K. Unidades de Conservação Brasileiras. **Megadiversidade**, Belo Horizonte, v. 1, n. 1, p. 27-35, jul. 2005.
- SANDMEIER, K. J. Reflexw, version 4.2 Windows 9X/NT/2000/XP: program for the processing of seismic, acoustic or electromagnetic reflection, refraction and transmission data. Handbook. 2006. 408 p.
- SANTOS, E. C. dos. Estudo de impacto ambiental do complexo de destino final de resíduos sólidos da Região Metropolitana de Belém. Belém: FADESP/SESAN, 1991. 427 p.
- SANTOS, J. O. S.; HARTMANN, L. A.; MCNAUGHTON, N. J.; FLETCHER, I. R. Timing of mafic magmatism in the Tapajós Province (Brazil) and implications for the evolution of the Amazon craton – Evidence from baddeleyite and zircon U-Pb SHRIMP geochronology. **Journal of South American Earth Sciences**, Maryland Heights, v. 15, n.4, p. 409-429, sep. 2002.
- SAUCK, W. A. Transferência de Tecnologia em Radar de Penetração e Aplicação em Hidrogeologia na Região Amazônica. Relatório apresentado ao CNPq. Belém: CNPq, 1995.
- SAUCK, W. A.; ALVES, J. G. V.; LUIZ, J. G. Successful Applications of GPR in the Lower Amazon Region, Belém, Pará, Brazil. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE GEOFÍSICA, 4.; 1995, Rio de Janeiro. **Resumos...** Rio de Janeiro: Sociedade Brasileira de Geofísica, 1995. p. 974-975.
- SAUCK, W. A.; OLIVEIRA, J. A. D.; CARVALHO, J. S. GPR in the middle Amazon Basin, Amazonas state, Brazil. In: INTERNATIONAL CONGRESS OF GEOPHYSICAL BRAZILIAN SOCIETY, 4.; 1995, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: Sociedade Brasileira de Geofísica, 1995. p. 972-973.

- SAUMA FILHO, M. **As águas subterrâneas de Belém e adjacentes: Influência da formação Pirabas e parâmetros físico-químicos para medidas de qualidade.** 1996. 128 f. Dissertação (Mestrado em Geologia) – Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 1996.
- SEITZ, H. R.; WALLACE, A. T.; WILLANS, R. E. Investigation of a Landfill in Granite-Loess Terrane. **Ground Water**, Malden, v. 10, n. 4, p. 35-41, jul. 1972.
- SETTI, A. A. A necessidade do uso sustentável dos recursos hídricos. Brasília: Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis, Ministério do Meio Ambiente e da Amazônia Legal, 1994.
- SHIKLOMANOV, I. A. World freshwater resources. In: P. H. Gleick (Ed.). **Water in Crisis: A Guide to the World's Freshwater Resources.** New York: Oxford University Press, 1993. p. 13-24.
- SHIKLOMANOV, I. A. World Water Resources and their Use. Database on CD Rom. Paris, UNESCO. 1999.
- SILVA, E. A. da S. **Degradação Ambiental em áreas de preservação: Lago das Flores, Ivaiporã – PR.** 2001. 136 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, 2001.
- SILVA, R. C. S. 2002. **Aplicação dos métodos geofísicos elétrico e eletromagnético na determinação de unidades sedimentares costeiras tropicais em Bragança, nordeste do Pará.** 2002. 55 f. Dissertação (Mestrado em Geologia) – Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 2002.
- SIOLI, H. Pesquisas limnológicas na região da Estrada de Ferro de Bragança, Estado do Pará, Brasil. **Boletim Técnico do Instituto Agrônomo do Norte**, Belém, n. 37, p. 1-91, jun. 1960.
- SMITH, R. L.; HOWES, B. L.; DUFF, J. H. Denitrification in nitrate-contaminated groundwater: Occurrence in steep vertical geochemical gradients. **Geochimica et Cosmochimica Acta**, Maryland Heights, v. 55, n. 7, p. 1815-1825, jul. 1991.
- SODRÉ, S. do S.V. Hidroquímica dos lagos Bolonha e Água Preta. 2007. 114 f. Dissertação (Mestrado em Geologia) – Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 2007.
- STRANG, H. E. Parques Nacionais e Reservas Equivalentes - Fatores de conservação do ambiente natural do homem. **Boletim Geográfico**, Maringá, v. 31, n. 227, p. 123-131, mar-abr.1972.
- STUMM, Werner; MORGAN, James J. **Aquatic chemistry.** New York:Wiley-interscience, 1981. 780 p.

- SWIFT, C. M. Fundamentals of the Eletromagnetic Method. In: Nabighian, M.N. (Ed.). **Eletromagnetic methods in applied geophysics**. Tulsa: SEG, 1987. p. 5-10.
- TATUMI, S. H. et al. Datação de Sedimentos Pós-Barreiras no Norte do Brasil: implicações paleogeográficas. **Revista Brasileira de Geociências**, São Paulo, v. 38, n. 3, p. 514-524, set. 2008.
- THORNTHWAITE, Charles Warren.; MATHER, John Russel. **The water balance**. New Jersey: Drexel Institute of Technology, 1955. 180 p.
- TOMMASI, L. R. Estudos de Impacto Ambiental. São Paulo: Editora CETESB, 1994. 354 p.
- TRANEL. M. J. Incorporating non-material values in wilderness planning for Denali National Park and Preserve, Alaska, USA. **Parks**, Alaska, v. 10, n. 2, p. 35-48, jun. 2000.
- TRINDADE JR, S. C. **A Cidade Dispersa: Os novos espaços de assentamentos em Belém e a Reestruturação Metropolitana**. 1998. 395 f. Tese (Doutorado em Geografia) - Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo.
- TUCCI, C. E. M.; CLARKE, R. T. Impacto das mudanças da cobertura vegetal no escoamento: Revisão. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 2, n. 1, p. 135-152, jan-jun. 1997.
- UNITED NATIONS EDUCATIONAL, SCIENTIFIC AND CULTURAL ORGANIZATION. Mudanças Climáticas e Mudanças Socioambientais Globais: reflexões sobre alternativas de futuro. Brasília, Junho, 2008. Disponível em: <<http://www.unesco.org/new/en/unesco/>>. Acesso em: 18 out. 2008.
- URISCH, D. W. The practical applications of surfaces electrical resistivity to detection of groundwater pollution. **Ground Water**, Malden, v. 21, n. 2, p. 144-152, mar. 1983.
- ULRIKSEN, C. P. F. **Application of impulse radar to civil engineering**. 1982. 175 p. Tese (Doutorado em Geologia) - Department of Engineering Geology, University of Technology, Lund.
- VALLEJO, L. R. Unidades de conservação: uma discussão teórica a luz dos conceitos de território e de políticas públicas. **GEOgraphia**, Rio de Janeiro, v. 4, n. 8, p. 57-78, mar. 2002.
- _____. **Políticas públicas e conservação ambiental: territorialidades em conflito nos parques estaduais da Ilha Grande, da Serra da Tiririca e do Desengano (RJ)**. 2005. 288 f. Tese (Doutorado em Geografia) – Departamento de Geografia, Universidade Federal Fluminense, Niterói.
- VENTURA, Vanderlei José; RAMBELLI, Ana Maria. Legislação federal sobre o meio ambiente: leis, decreto-leis, decretos, portarias e resoluções anotados para uso prático e imediato. 2. ed. Taubaté: Vana, 1996. 1148 p.
- VIEIRA, Lúcio Salgado; SANTOS, Paulo Cezar Tadeu C. dos. Amazônia: seus solos e recursos naturais. São Paulo: Agronômica Ceres, 1987. 416 p.

- VISCONTI, G. et al. Environmental Protection and Social Protection: The Sirente-Velino Regional Park. In: **Global Change and Protected Areas**, v. 9. Italy: Springer, 2001. 540 p.
- VITORINO FILHO, S. Estudo de águas subterrâneas com métodos elétricos na região semi-árida de Patos-PB. 1991. 120 f. Dissertação (Mestrado em Geofísica) - Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém.
- ZAHLER, P. M. Meio Ambiente e Reforma Agrária: questões para discussão. **Ciência e Cultura**, Campinas, v. 40, n. 8, p. 748-760, ago. 1988.
- ZOHDY, Adel A. R.; BILDORF, Raitt Jaffe. Programs for the Automatic Processing and Interpretation of Schlumberger Sounding curves in Quickbasic 4.0 (U.S. Geological Survey open-file report). New York: U.S. Dept. of the Interior 1989. 19 p.
- WARD S. W. Geotechnical and Environmental Geophysics. In: **Investigation in Geophysics 5**. Tulsa: Soc. Expl. Geophysics, 1990. 300 p.
- WORLD COMMISSION ON DAMS. Dams and Development: A New Framework for Decision-Making. The Report of the World Commission on Dams. London, Earthscan, 2000. Disponível em: <<http://www.unep.org/dams/WCD/>>. Acesso em: 20 out. 2008.
- WORLD WILDLIFE FUND. Apresenta sua contribuição em preservar a biodiversidade e o desenvolvimento sustentável em todo o globo. Disponível em: <<http://www.wwf.org.br>>. Acesso em: 19 out. 2008.
- WWF-BRASIL. Cadernos de Educação Ambiental Água para Vida, Água para Todos: Livro das Águas. Brasília: WWF-BRASIL, 2006. 72 p.