



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
FACULDADE DE GEOLOGIA**

ANTONIO FRANCISCO PINHEIRO PANTOJA JÚNIOR

**ASPECTOS HIDROGEOLÓGICOS DA MICROBACIA DO RIO
MAGUARIAÇU: UMA PROPOSTA ALTERNATIVA DE
ABASTECIMENTO DE ÁGUA PARA ÁREA CENTRAL DO
MUNICÍPIO DE ANANINDEUA-PA.**

**BELÉM
2012**

ANTONIO FRANCISCO PINHEIRO PANTOJA JÚNIOR

ASPECTOS HIDROGEOLÓGICOS DA MICROBACIA DO RIO
MAGUARIAÇU: UMA PROPOSTA ALTERNATIVA DE
ABASTECIMENTO DE ÁGUA PARA ÁREA CENTRAL DO MUNICÍPIO
DE ANANINDEUA-PA

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Faculdade de Geologia
do Instituto de Geociências da
Universidade Federal do Pará –
UFPA, em cumprimento às
exigências para obtenção do grau de
Bacharel em Geologia.

Orientador: Prof. Dr. Milton Antonio
da Silva Mata

Coorientador: Prof. M. Sc. Valdinei
Mendes da Silva

Belém
2012

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)
Biblioteca Geólogo Raimundo Montenegro Garcia de Montalvão

P198a Pantoja Júnior, Antonio Francisco Pinheiro

Aspectos hidrogeológicos da microbacia do rio Maguariaçú: uma proposta alternativa de abastecimento de água para área Central do município de Ananindeua-PA / Antonio Francisco Pinheiro Pantoja Júnior; Orientador: Milton Antonio da Silva Matta; Coorientador: Valdinei Mendes da Silva – 2012

93 f. : il.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação em geologia) – Universidade Federal do Pará, Instituto de Geociências, Faculdade de Geologia, Belém, 2012.

1. Águas subterrâneas – Ananindeua (PA). 2. Hidrogeologia – Ananindeua (PA). 3. Qualidade da Água – Ananindeua (PA). 4. Reservas – Ananindeua (PA). 5. Proposta de Abastecimento – Ananindeua (PA). I. Matta, Milton Antonio da Silva, *orient.* II. Silva, Valdinei Mendes da, *coorient.* III. Universidade Federal do Pará. IV. Título.

CDD 22^a ed.: 551.49098115

ANTONIO FRANCISCO PINHEIRO PANTOJA JÚNIOR

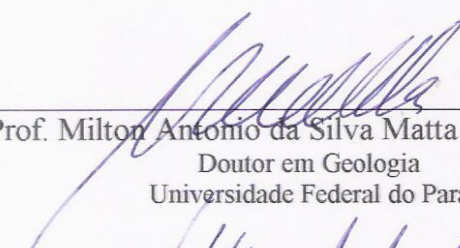
ASPECTOS HIDROGEOLÓGICOS DA MICROBACIA DO RIO
MAGUARIAÇU: UMA PROPOSTA ALTERNATIVA DE
ABASTECIMENTO DE ÁGUA PARA ÁREA CENTRAL DO MUNICÍPIO
DE ANANINDEUA-PA

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Faculdade de Geologia do
Instituto de Geociências da Universidade
Federal do Pará – UFPA, em cumprimento
às exigências para obtenção do grau de
Bacharel em Geologia.

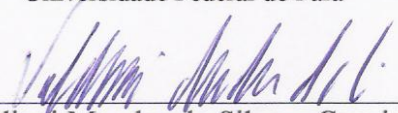
Data de aprovação: ____/____/____

Conceito: _____

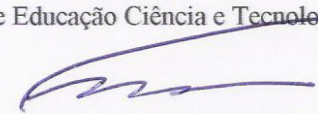
Banca examinadora:



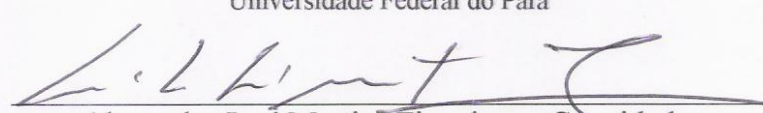
Prof. Milton Antonio da Silva Matta – Orientador
Doutor em Geologia
Universidade Federal do Pará



Prof. Valdinéi Mendes da Silva – Coorientador
Mestre em Engenharia Civil - Recursos Hídricos e Saneamento
Ambiental
Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Pará



Prof. Francisco de Assis Matos de Abreu – Relator
Doutor em Geologia
Universidade Federal do Pará



Alexandre José Martins Figueiras – Convidado
Mestre em Geologia
Universidade Federal do Pará

Dedico este trabalho de conclusão de curso a minha família, principalmente aos meus pais, pela dedicação, confiança, cuidado, justiça e honestidade que foram transmitidos e me ensinaram assim, a ser forte na vida.

Antonio Francisco Pinheiro Pantoja Júnior

AGRADECIMENTOS

Agradeço antes de tudo a Deus por ter me abençoado com sabedoria suficiente para administrar minhas escolhas e me tornar uma pessoa capaz de superar todos os obstáculos sempre com paz de espírito em minhas decisões.

Aos meus pais, Antonio Francisco Pinheiro Pantoja e Maria Darque Vilar Pantoja por nunca duvidarem do meu sucesso e sempre me incentivarem a seguir o meu caminho.

Ao Professor e Orientador Milton Matta, pela orientação deste trabalho, pela confiança em mim atribuída, pelas oportunidades, pela amizade construída ao longo do curso e por tudo que aprendi como aluno, bolsista, monitor e amigo. Enfim, pelos ensinamentos e contribuições ao meu trabalho. Obrigado.

Ao professor e Coorientador Valdinei Mendes, pela orientação deste trabalho ora no trabalho de campo ora no apoio instrumental, com o qual foram possíveis análises laboratoriais e trabalhos de campo. Enfim, pelos ensinamentos e contribuições ao meu trabalho.

Ao professor Francisco de Assis Matos de Abreu pela confiança nos meus serviços, oportunidades encarregadas, conselhos e aprendizado que ajudou muito nessa reta final e começo de nova caminhada. Espero trabalhar e aprender muita coisa ainda com meu muito em breve colega de profissão, carinhosamente conhecido por “Matozão”.

Aos colegas de trabalho que fizeram todo o processo mais agradável, em especial a Laís Caroline, Lorena Pacheco, Andressa Braga, Vitor Duarte e Francyhelton Nery.

Ao Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Pará pelo apoio a pesquisa que forneceu subsídios para que este trabalho de conclusão de curso fosse realizado.

Ao LARHIMA (Laboratório de Recursos Hídricos e Meio Ambiente) pelos trabalhos exigidos, apresentações em congressos, participações em eventos, consultorias, prestações de serviço, visitas técnicas que só enriqueceram meu currículo e onde consegui colocar em prática a teoria da sala de aula.

A todos os professores com os quais pude interagir ao longo do curso e dos quais levei ensinamentos e lições de vida.

A minha namorada Jennyfer Palheta, por toda a paciência, incentivo e cuidados tanto comigo como para com que este trabalho justificasse todo o tempo investido.

Aos meus irmãos Alexandre e Ana por sempre acreditarem em mim.

A todos os amigos, amigas, simpatizantes e indesejáveis que fizeram de mim quem eu sou. Em especial ao Jorge Martins, Antonia Railine, Ignácio Loyola, Bruna Leal, Max de Jesus, Eduardo Albuquerque, Luiz Cristo, Karen Carmona, Renan Feitosa, Daniele Lima, Kumar Vasudevan, Alyson Nogueira, Paulo Isaac, e às Turmas de Geologia 2006/07/08/09/11 pela vivência e pela soma, no estilo de cada um, ao longo do curso.

“Agradeço por sua constância no passado, esperando que tenha trazido algum retorno, mesmo que na forma de distração para as preocupações da vida, estimulando a mudança de pensamento que só pode ser encontrada no reino encantado do romance.”

Arthur Conan Doyle

RESUMO

Com área de 191 km² e população de 471.744 habitantes o município de Ananindeua possui densidade demográfica de 2.470 hab/km² (IBGE Cidades, 2010). Esta área possui bacias hidrográficas com forte ocupação urbana. Entre elas, indústrias, centros comerciais, postos de combustíveis, clubes recreativos, hipermercados, garagens de ônibus, condomínios residenciais e uma densidade populacional que vem crescendo a cada ano. As ações antrópicas na região vêm contribuindo significativamente para o aumento da degradação dos recursos naturais, notadamente os corpos hídricos, ao mesmo tempo em que possuem uma rede de abastecimento que não atende a demanda. A pesquisa foi realizada na Bacia do Rio Maguariaçu, pertencente aos limites do município de Ananindeua na Mesorregião Metropolitana de Belém. No entanto, o estudo se concentrou apenas na região de nascente da bacia (microbacia). O objetivo geral deste trabalho visa estudar o comportamento do fluxo hídrico subterrâneo e analisar a qualidade da água na Microbacia do Rio Maguariaçu (MRM) e, a partir desses dados, identificar zonas de recarga do aquífero superior, conhecer as características geométricas do fluxo hídrico subterrâneo, identificar contaminantes, realizar o cálculo de reserva do aquífero e elaborar proposta de abastecimento de água para a área da MRM, Ananindeua-PA.

Palavras-chave: Águas subterrâneas – Ananindeua (PA). Hidrogeologia – Ananindeua (PA). Qualidade da Água – Ananindeua (PA). Reservas – Ananindeua (PA). Proposta de Abastecimento – Ananindeua (PA).

ABSTRACT

With an area of 191 km² and a population of 471,744 inhabitants the municipal district of Ananindeua has a population density of 2.470 inhab/km² (IBGE Cities, 2010). This catchment area has a strong urban occupation. Among these industries, shopping centers, gas stations, recreational club, supermarkets, bus garages, residential development and a population density that is growing every year. The human activities in the region have contributed significantly to the degradation of natural resources, especially water bodies, while they have a supply network not to fulfil the demand. The survey was conducted in Maguariaçu River Basin, belonging to the limits of the the municipality of in Ananindeua mesoregion metropolitan Belém. However, the study focused only on the region nascent of the basin (microbasin). The aim of this work aims to study the behavior of underground water flow and analyze water quality in River Microbasin Maguariaçu(MRM), and from these data, identify areas of recharge to the aquifer top, knowing the geometrical characteristics of the underground water flow identify contaminants, perform the calculation of reserves of the aquifer and to develop proposed water supply for the area of MRM, Ananindeua-PA.

Keywords: Groundwater – Ananindeua (PA). Hydrogeology – Ananindeua (PA). Water Quality – Ananindeua (PA). Reserves – Ananindeua (PA). Supply Proposal – Ananindeua (PA).

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Balanço Hídrico segundo o método de Thornthwaite e Mather da Região de Belém.	22
Figura 2: Representação gráfica das linhas P, DEF, e EXC para a região de Belém (1961-1997).	22
Figura 3: Mapa da rede de drenagem na MRM, Ananindeua – PA.	24
Figura 4: Distribuição das profundidades dos poços tubulares da região de Ananindeua.	27
Figura 5: Distribuição das vazões dos poços tubulares profundos da região de Ananindeua.	27
Figura 6: Valores do Nível Estático de poços tubulares profundos da região de Ananindeua.	27
Figura 7: (A) Esquerda e (B) Direita. Perfis hidrogeológicos inferidos baseados em dados geofísicos atravessando o município de Ananindeua na direção NW-SE.	29
Figura 8: Perímetro da área de estudo.	33
Figura 9: Mapa de localização da área.	34
Figura 10: Mapa de localização dos poços cadastrados para confecção do mapa de fluxo na Microbacia do Rio Maguariaçu, Ananindeua-PA.	37
Figura 11: Mapa de isolinhas equipotenciais hidráulicas da Microbacia do Rio Maguariaçu.	38
Figura 12: Mapa de Fluxo Subterrâneo da Região da Microbacia do Rio Maguariaçu mostrando as linhas equipotenciais para carga hidráulica.	39
Figura 13: Bloco diagrama de fluxo subterrâneo da Microbacia do Rio Maguariaçu, Ananindeua-PA.	40
Figura 14: Mapa de localização dos pontos de amostragem para análise da qualidade de água na Microbacia do Rio Maguariaçu, Ananindeua-PA.	43
Figura 15: Atividades poluidoras na Microbacia do Rio Maguariaçu, Ananindeua-PA.	45
Figura 16: Diagrama de valores de pH das amostras de água para os meses de novembro de 2010 e fevereiro de 2011 na área de estudo.	46
Figura 17: Distribuição areal do pH para novembro (esquerda) e para fevereiro (direita) na área de estudo da Microbacia do Rio Maguariaçu, Ananindeua-PA.	47
Figura 18: Diagrama de valores de Oxigênio Consumido das amostras de água para os meses de novembro de 2010 e fevereiro de 2011 na área de estudo.	48

Figura 19: Distribuição areal do Oxigênio Consumido (O.C.) para novembro (esquerda) e para fevereiro (direita) na área de estudo da Microbacia do Rio Maguariaçu, Ananindeua-PA.	49
Figura 20: Diagrama de valores de Dureza das amostras de água para os meses de novembro de 2010 e fevereiro de 2011 na área de estudo.	50
Figura 21: Distribuição areal da Dureza para novembro (esquerda) e para fevereiro (direita) na área de estudo da Microbacia do Rio Maguariaçu, Ananindeua-PA.	51
Figura 22: Diagrama de valores de Amônia das amostras de água para os meses de novembro de 2010 e fevereiro de 2011 na área de estudo.	52
Figura 23: Distribuição areal de Amônia para novembro (esquerda) e para fevereiro (direita) na área de estudo da Microbacia do Rio Maguariaçu, Ananindeua-PA.	53
Figura 24: Diagrama de valores de Nitrato das amostras de água para os meses de novembro de 2010 e fevereiro de 2011 na área de estudo.	54
Figura 25: Distribuição areal de Nitrato para novembro (esquerda) e para fevereiro (direita) na área de estudo da Microbacia do Rio Maguariaçu, Ananindeua-PA.	55
Figura 26: Diagrama de valores de Cloreto das amostras de água para os meses de novembro de 2010 e fevereiro de 2011 na área de estudo.	56
Figura 27: Distribuição areal de Cloreto para novembro (esquerda) e para fevereiro (direita) na área de estudo da Microbacia do Rio Maguariaçu, Ananindeua-PA.	57
Figura 28: Diagrama de valores de Ferro Total das amostras de água para os meses de novembro de 2010 e fevereiro de 2011 na área de estudo.	58
Figura 29: Distribuição areal de Ferro Total para novembro (esquerda) e para fevereiro (direita) na área de estudo da Microbacia do Rio Maguariaçu, Ananindeua-PA.	59
Figura 30: Diagrama de valores de STD das amostras de água para os meses de novembro de 2010 e fevereiro de 2011 na área de estudo.	60
Figura 31: Distribuição areal de STD para novembro (esquerda) e para fevereiro (direita) na área de estudo da Microbacia do Rio Maguariaçu, Ananindeua-PA.	61
Figura 32: Diagrama de valores de Sulfato das amostras de água para os meses de novembro de 2010 e fevereiro de 2011 na área de estudo.	62
Figura 33: Distribuição areal de Sulfato para novembro (esquerda) e para fevereiro (direita) na área de estudo da Microbacia do Rio Maguariaçu, Ananindeua-PA.	63
Figura 34: Diagrama de valores de Fosfato das amostras de água para os meses de novembro de 2010 e fevereiro de 2011 na área de estudo.	64

Figura 35: Distribuição areal de Fosfato para novembro (esquerda) e para fevereiro (direita) na área de estudo da Microbacia do Rio Maguariaçu, Ananindeua-PA. _____	65
Figura 36: Diagrama de valores de Condutividade Elétrica das amostras de água para os meses de novembro de 2010 e fevereiro de 2011 na área de estudo. _____	66
Figura 37: Distribuição areal de Condutividade Elétrica para novembro (esquerda) e fevereiro (direita) na área de estudo da Microbacia do Rio Maguariaçu, Ananindeua-PA. _____	67
Figura 38: Variação nos níveis de água do poço 01. _____	71
Figura 39: Variação nos níveis de água do poço 02. _____	71
Figura 40: Perfil composto de um poço construído no conjunto habitacional Eduardo Angelim no distrito de Icoaraci, Belém-PA. _____	80

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Balanço Hídrico segundo o método de Thornthwaite e Mather, região de Belém.	23
Tabela 2: Características dos Sistemas Hidrogeológicos da área de Belém e Ananindeua.	_ 26
Tabela 3: Dados obtidos em trabalho de campo de 53 poços na área da Microbacia do Rio Maguariaçu, Ananindeua-PA no período de Junho de 2011.	_____ 35
Tabela 4: Pontos amostrados na área da Microbacia do Rio Maguariaçu, Ananindeua-PA.	_ 42
Tabela 5: Valores obtidos nas análises para o período de estiagem que compreende o mês de novembro de 2010.	_____ 44
Tabela 6: Valores obtidos nas análises para o período chuvoso que compreende o mês de fevereiro de 2011.	_____ 44
Tabela 7: Composição do custo de produção do metro cúbico de água subterrânea para um regime de bombeamento de 16 horas por dia.	_____ 84
Tabela 8: Tarifas de água e esgoto da concessionária COSANPA, vigentes desde julho de 2008.	_____ 85

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	-	Associação Brasileira de Normas Técnicas
CONAMA	-	Conselho Nacional de Meio Ambiente
COSANPA	-	Companhia de Saneamento do Pará
CPRM	-	Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais
DEF	-	Deficiência
EXC	-	Excedente
IBGE	-	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INMET	-	Instituto Nacional de Meteorologia
MRM	-	Microbacia do Rio Maguariaçu
O.C.	-	Oxigênio Consumido
P	-	Precipitação
pH	-	Potencial Hidrogeniônico
RMB	-	Região Metropolitana de Belém
SIG	-	Sistema de Informação Geográfica
STD	-	Sólidos Totais Dissolvidos
UTM	-	Universal Transverso de Mercatu
VMP	-	Valores Máximos Permitidos

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	17
1.1	JUSTIFICATIVA	18
1.2	OBJETIVOS	19
2	CARACTERÍSTICAS GERAIS DO MEIO FÍSICO	20
2.1	CLIMA	20
2.2	BALANÇO HÍDRICO	21
2.3	REPOSIÇÃO	22
2.4	RETIRADA	22
2.5	EXCEDENTE	22
2.6	HIDROGRAFIA	23
3	CLASSIFICAÇÃO DOS SISTEMAS HIDROGEOLÓGICOS	25
3.1	ANÁLISE DA GEOMETRIA DAS UNIDADES AQUÍFERAS	26
4	MATERIAIS E MÉTODOS	30
5	LOCALIZAÇÃO E ACESSO DA ÁREA DE TRABALHO	33
6	FLUXOS HÍDRICOS SUBTERRÂNEOS	35
7	QUALIDADE DA ÁGUA	42
7.1	CONSIDERAÇÕES	46
7.1.1	pH (Potencial Hidrogeniônico)	46
7.1.2	Oxigênio Consumido (mg/L CaCO₃)	48
7.1.3	Dureza	50
7.1.4	Amônia (NH₃):	52
7.1.5	Nitrato (NO⁻³):	54
7.1.6	Cloreto (Cl):	56
7.1.7	Ferro Total:	58
7.1.8	Sólidos Totais Dissolvidos (STD):	60
7.1.9	Sulfato (SO₄²⁻):	62
7.1.10	Fosfato (PO₄³⁻):	64
7.1.11	Condutividade Elétrica (µS/cm):	66
8	RESERVAS HÍDRICAS SUBTERRÂNEAS	68
8.1	DEFINIÇÕES	68
8.1.1	Reservas Renováveis:	68

8.1.2	Reservas Permanentes:	68
8.1.3	Reservas Totais:	69
8.1.4	Reservas de Exploração:	69
8.1.5	Potencialidade:	69
8.1.6	Disponibilidade:	69
8.2	CÁLCULO DAS RESERVAS	69
8.2.1	Reservas Renováveis (RR):	70
8.2.2	Reservas Permanentes (RP):	72
8.2.3	Reservas Totais (RT):	74
8.2.4	Reservas Explotáveis (RE):	74
8.3	DISPONIBILIDADES HÍDRICAS	74
9	PROPOSTA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA	75
9.1	AMBIENTE HIDROGEOLÓGICO	75
9.2	DEMANDA DE ÁGUA	76
9.3	DADOS TÉCNICOS PARA A CONSTRUÇÃO DOS POÇOS TUBULARES	77
9.4	NÚMERO DE POÇOS NECESSÁRIOS PARA SUPRIR A DEMANDA DIÁRIA	77
9.5	AVALIAÇÃO ECONÔMICA	78
10	DISCUSSÃO	86
10.1	COMPORTAMENTO DO FLUXO SUBTERRÂNEO:	86
10.2	GRAU DE POTABILIDADE:	86
10.2.1	Contaminantes:	87
10.3	CÁLCULO DE RESERVA E PROPOSTA ALTERNATIVA DE ABASTECIMENTO:	88
11	CONCLUSÕES	90
	REFERÊNCIAS	91

1. INTRODUÇÃO

Com área de 191 km² e população de 471.744 habitantes o município de Ananindeua possui densidade demográfica de 2.470 hab/km² (IBGE Cidades, 2011). Esta área possui bacias hidrográficas com forte ocupação urbana. Entre elas, a bacia do rio Maguariaçu que possui indústrias, centros comerciais, postos de combustíveis, clubes recreativos, hipermercados, garagens de ônibus, condomínios residenciais e uma densidade populacional que vem crescendo a cada ano. As ações antrópicas na região vêm contribuindo significativamente para o aumento da degradação dos recursos naturais, notadamente os corpos hídricos, ao mesmo tempo em que possuem uma rede de abastecimento que não atende a demanda.

Grande parte dos resíduos resultantes dos processos e atividades resultam em poluição e a contaminação de aquíferos, redução da fauna e da flora das águas superficiais, eutrofização de corpos receptores, prejuízos estético-visuais do meio ambiente, afetando as atividades econômicas e limitando a sua utilização sustentável.

De acordo com Barrella (2001 apud RODRIGUES E LEITÃO FILHO, 2001), bacia hidrográfica é definida como um conjunto de terras drenadas por um rio e seus afluentes, formada nas regiões mais altas do relevo por divisores de águas, onde as águas das chuvas, ou escoam superficialmente formando os riachos e rios, ou infiltram no solo para formação de nascentes e do lençol freático.

A Lei Federal nº 9.433/97 (BRASIL, 2011), da Política Nacional de Recursos Hídricos fundamentou a água como um bem de domínio público, consolidando e instituindo a bacia hidrográfica como unidade territorial, a sua gestão integrada, o reconhecimento do valor econômico da água e a gestão descentralizada e participativa dessas unidades.

A gestão dos recursos hídricos de forma sustentável depende de instrumentos, que possam ser desenvolvidos e aplicados com o intuito de atender as necessidades e expectativas da comunidade, alcançando os limites da bacia hidrográfica de maneira utilitarista e/ou enfocado na preservação ambiental. Com a plena e concreta aplicação dessas ferramentas é que se pode avaliar o grau de eficiência da implantação do sistema (PORTO, R.; PORTO, M., 2008).

O entendimento dos principais elementos hidrogeológicos é fundamental em qualquer processo de gestão das águas de uma bacia hidrográfica. E quando se fala em saneamento básico e abastecimento de água potável, a região da grande Belém sofre com o descaso das autoridades e não oferece qualidade de vida compatível com a região que é tida

como detentora da maior descarga de água doce do planeta ao receber quantidade de chuvas que superam os 2500 mm anuais (MATTA, 2002).

A situação em Ananindeua, município adjacente a Belém, não é diferente, uma vez que o crescimento urbano e o inchaço demográfico não têm acompanhado os investimentos na área de saneamento e abastecimento de água, acarretando problemas para os corpos hídricos e a saúde da população.

A realização deste trabalho conta com a combinação de dados de sensoriamento remoto e de Sistema de Informação Geográfica (SIG) que são ferramentas indispensáveis e que cada vez mais são utilizadas nos processos de pesquisa e planejamento econômico, territorial e ambiental.

1.1. JUSTIFICATIVA

O aumento populacional e o aumento das atividades industriais nas últimas décadas vêm contribuindo para o agravamento da poluição das águas superficiais e subterrâneas. Portanto, fazem-se necessárias pesquisas voltadas a análise e representação de corpos d'água em subsuperfície para que se possa preservar os aquíferos, protegendo suas áreas de recarga e identificando fontes poluidoras.

A área que compreende a Microbacia do Rio Maguariaçu (MRM), no município de Ananindeua-PA, não apresenta rede de esgoto. Além disso, a ocupação desordenada do meio físico acarreta novos agentes poluidores e novas fontes de contaminação dos aquíferos superiores da microbacia. A identificação dessas fontes é de suma importância para proteção dos mananciais, recuperação dos rios e preservação dos mananciais subterrâneos, importantes fontes de recursos hídricos.

A ocupação crescente na área, somada ao desconhecimento da hidrogeologia da bacia, servem de principal via para problemas de cunhos ambientais. Esse estudo, além de identificar os principais problemas ambientais da bacia, apresenta propostas de soluções diante do cenário apresentado nas pesquisas.

Segundo Barbosa e Silva (2002), a atuação da administração pública para sanar os problemas de contaminação dos corpos hídricos é agravada pelas condições climáticas desfavoráveis da região e falta de recursos, além de falha na elaboração e implantação dos projetos de saneamento. A gestão integrada dos recursos hídricos, utilizando a bacia hidrográfica como área de intervenção, facilitaria a manutenção dos rios e lagos e a utilização dos usos múltiplos para o desenvolvimento econômico.

O cálculo da reserva hídrica subterrânea da microbacia, associado à análise da qualidade das águas subterrâneas, servirão de base para formação de uma proposta de abastecimento de água para a área, que pode contribuir significativamente para reduzir a problemática da falta de água.

Essa pesquisa é apoiada pelo Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica do Instituto de Geociências, onde vem sendo desenvolvidos estudos com vistas a proposição de fundamentos para o gerenciamento integrado dos recursos hídricos em microbacias urbanas, sendo utilizada a microbacia da rio Maguariaçu como recorte geográfico.

1.2. OBJETIVOS

O objetivo geral deste trabalho visa estudar o comportamento do fluxo hídrico subterrâneo e analisar a qualidade da água na MRM e, a partir desses dados, identificar zonas de recarga do aquífero superior, conhecer as características geométricas do fluxo hídrico subterrâneo, identificar contaminantes, realizar o cálculo de reserva do aquífero e elaborar proposta de abastecimento de água para a área da MRM, Ananindeua-PA.

Objetivos Específicos

- Definir o comportamento do fluxo hídrico subterrâneo;
- Analisar a qualidade da água do aquífero superior correlacionando-a com fontes potenciais de contaminação;
- Apresentar a distribuição areal dos principais parâmetros físico-químicos analisados na área;
- Estimar a reserva hídrica subterrânea da MRM;
- Elaborar uma proposta de abastecimento de água para a população da área contemplando o crescimento populacional anual.

2. CARACTERÍSTICAS GERAIS DO MEIO FÍSICO

As características físicas gerais da área de estudo constituem os condicionantes geo-ambientais de suma relevância que irão servir de base para todo o estudo. Serão apresentados nesse item os principais elementos do meio físico da região de Belém e Ananindeua.

2.1. CLIMA

O município de Belém situa-se no nordeste do Estado do Pará, possui altitudes desde níveis baixos referentes ao nível médio do mar (regiões de baixadas) até os 20m em alguns locais. Dois aspectos importantes chamam a atenção do ponto de vista climático: latitude bem próxima ao equador ($1^{\circ} 28' 03''$ S) e proximidade com o litoral.

Em decorrência da baixa latitude, os raios solares incidem de forma praticamente vertical durante todo o ano resultando numa carga térmica elevada. Desse modo, a temperatura é o elemento do clima que mais se altera com a ocupação urbana e mostra íntima relação com as características da superfície.

Estudos realizados por Oliveira e Souza (1997 apud MATTA, 2002) mostraram que as características climáticas de Belém, no período de 1896 a 1995, apresentaram a temperatura do ar com valores médios anuais de $25,8^{\circ}\text{C}$ e as médias de temperatura máxima e mínima alcançaram valores de $31,5^{\circ}\text{C}$ e de 22°C , respectivamente.

O clima é megatérmico, úmido, com temperaturas elevadas, em torno de 25°C e pequena amplitude térmica. O regime pluviométrico está em torno de 2.500 a 3.125mm com chuvas regulares, com maior concentração de janeiro a junho. A umidade relativa do ar está em torno de 85%.

O clima na cidade e seus arredores é reflexo dos elementos do clima urbano (temperatura do ar, umidade relativa do ar, vento, precipitação pluviométrica e brilho solar) que sofrem modificações que estão relacionadas com o crescimento desordenado da cidade e a própria influência da forma urbana sobre eles.

As relações entre as alterações climáticas e os processos de urbanização são bem conhecidas. Essas alterações são efeitos que tem como causa o rápido e desordenado crescimento populacional dos grandes centros urbanos. Com isso, as áreas ocupadas têm as suas coberturas naturais modificadas por diversos tipos de construções prediais e solos pavimentados, cuja conseqüência imediata é um aumento da temperatura causada por

alterações no balanço radiativo, na circulação do ar e na taxa de evaporação, gerando assim um clima urbano específico (COSTA; MARTINS, 1996).

2.2. BALANÇO HÍDRICO

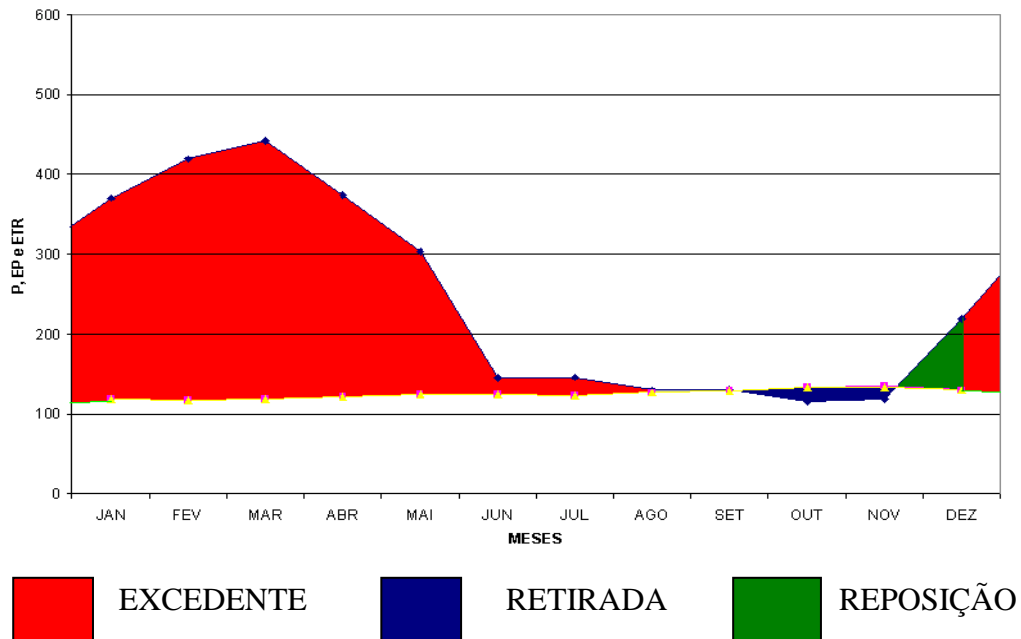
O planejamento hídrico é a base para o dimensionamento do manejo integrado dos recursos naturais e do meio urbano. O balanço hídrico como ferramenta do gerenciamento, permite classificar o clima de uma região, realizar o zoneamento agroclimático e ambiental, o período de disponibilidade e necessidade hídrica no solo, além de favorecer o gerenciamento integrado dos recursos hídricos (LIMA; SANTOS, 2009).

No sentido de entender o papel representado pelo clima na matriz dos recursos hídricos da região estudada, utilizou-se o cálculo de balanço hídrico proposto por Thornthwaite e Mather (1955), o qual se baseia nos valores de precipitação, temperatura e evaporação como elementos básicos da classificação climática.

Segundo Matta (2002), ao longo de 60 anos (1931-1990), a média anual da precipitação em Belém ficou em torno de 2.745 mm/ano, sendo que a época mais chuvosa recebeu 331,4 mm/mês e a estação seca 126,2 mm/mês. O mês que apresenta maior precipitação é o mês de março com 422,5 mm/mês, seguido de abril com 361,9 mm/mês. O de menor precipitação é o mês de novembro com 90,4 mm/mês, seguido de outubro com 99,9 mm/mês. Os excedentes hídricos (meses mais chuvosos) ocorrem nos meses de janeiro a junho com um total anual de 1.263,0 mm. As deficiências hídricas (meses menos chuvosos) ocorrem nos meses de julho a novembro com um valor anual de 84,9 mm. A evapotranspiração potencial anual foi de 1.853,4 mm, com índices mensais oscilando entre 120,1 mm (fevereiro) a 174,5 mm (outubro). Para a coluna de armazenamento de água destacam-se os meses de janeiro a junho com sua capacidade máxima e nos demais meses ocorrem armazenamentos com variações de 19 a 90 mm.

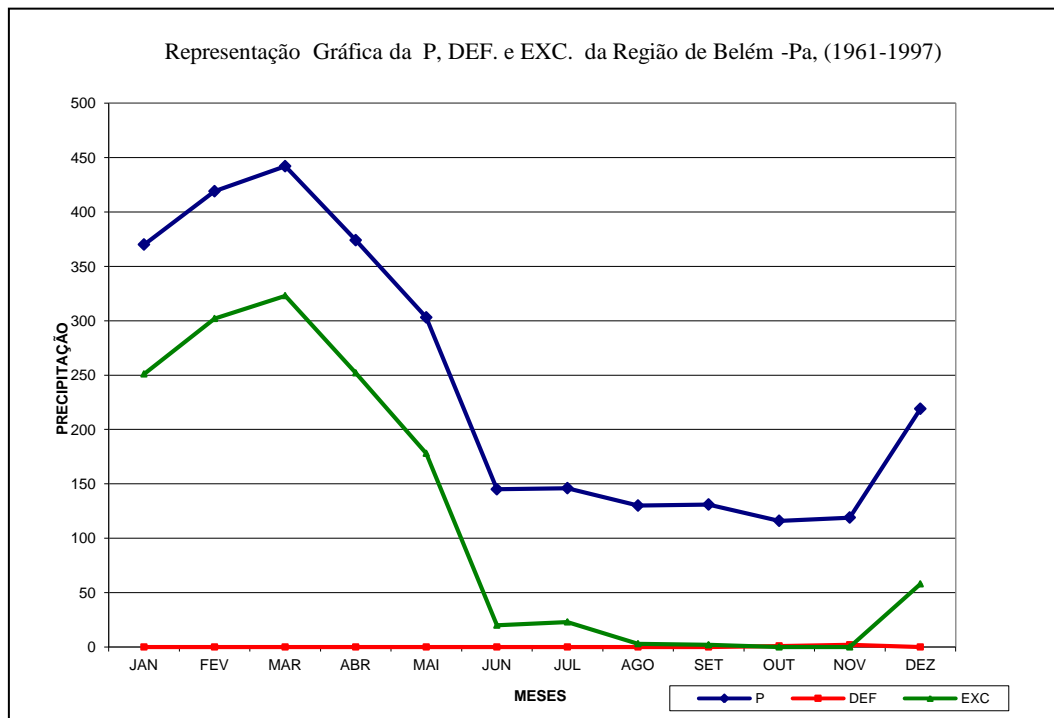
As figuras 1 e 2 apresentam o balanço hídrico anual para a cidade de Belém-PA, permitindo uma melhor visualização da variação dos principais dados mensais como precipitação (P), deficiência (DEF) e excedente (EXC) de água em mm.

Figura 1: Balanço Hídrico segundo o método de Thornthwaite e Mather da Região de Belém.



Fonte: Matta (2002).

Figura 2: Representação gráfica das linhas P, DEF, e EXC para a região de Belém (1961-1997).



Fonte: Matta (op.cit.).

Durante o período de janeiro a setembro, a deficiência (DEF) de água no solo é zero, tendo uma mínima contribuição durante os últimos meses do ano (outubro a dezembro).

O excedente (EXC), ao contrário da deficiência (DEF), apresenta valores superiores de janeiro a maio, quando ocorrem as maiores precipitações na região, diminuindo depois até o mês de setembro. Os meses de outubro e novembro apresentam excedência zero, e a partir de dezembro volta a crescer a quantidade de água no solo.

A tabela 1 apresenta os dados levados em consideração no balanço hídrico para Belém (RMB) e adjacências no período de 1961 a 1997.

Tabela 1: Balanço Hídrico segundo o método de Thornthwaite e Mather, região de Belém.

Local: Belém		Retenção Hídrica: 125 mm								
Latitude: 01° 27' S		Longitude: 48° 28' W			Período: 1961 a 1997					
Dados: INMET										
Meses	T	ETP	P	P - ETP	NEG	ARN	ALT	ETR	DEF	EXC
JAN	25,6	119	370	251	0	125	0	119	0	251
FEV	25,5	117	419	302	0	125	0	117	0	302
MAR	25,6	119	442	323	0	125	0	119	0	323
ABR	25,8	122	374	252	0	125	0	122	0	252
MAI	26,6	125	303	178	0	125	0	125	0	178
JUN	26,6	125	145	20	0	125	0	125	0	20
JUL	25,9	123	146	23	0	125	0	123	0	23
AGO	26,1	127	130	3	0	125	0	127	0	3
SET	26,2	129	131	2	0	125	0	129	0	2
OUT	26,5	134	116	-18	-18	108	-17	133	1	0
NOV	26,5	135	119	-16	34	94	-14	133	2	0
DEZ	26,2	130	219	89	0	125	31	130	0	58
ANUAL	26	1505	2914	1409				1502	3	1412

Fonte: Modificado de Matta (2002).

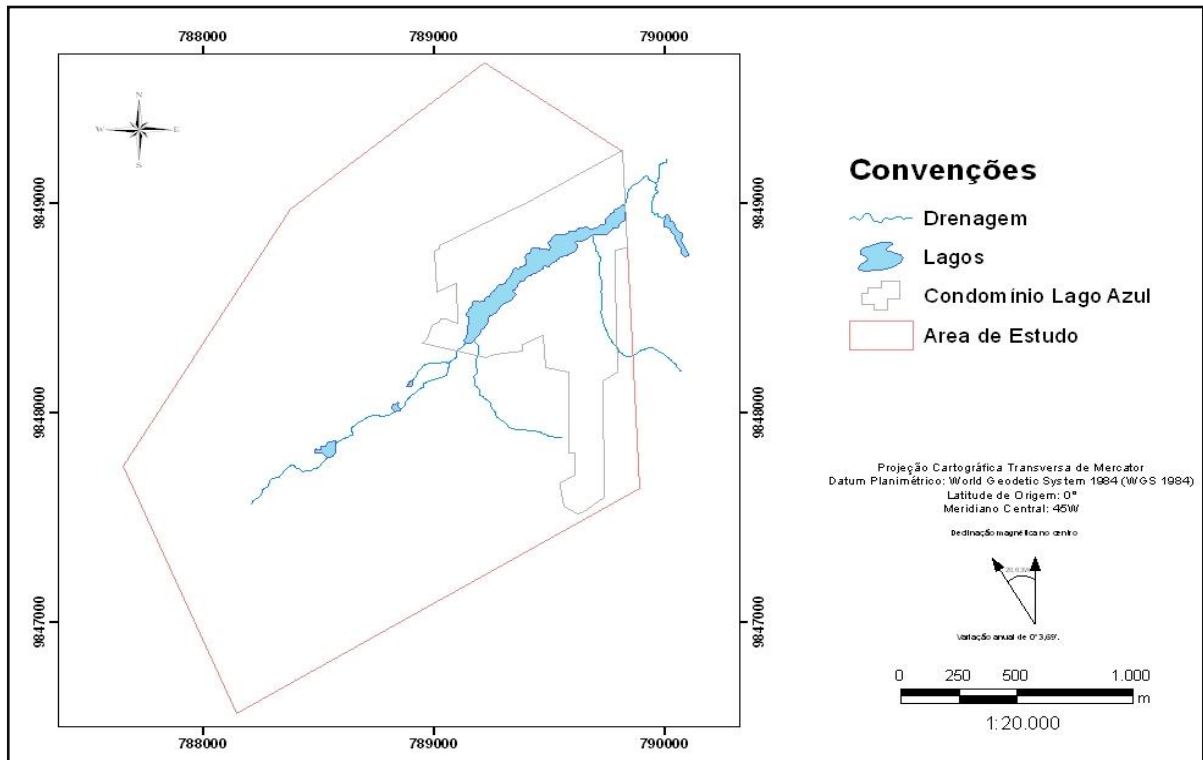
- Coluna 1 - Meses do Ano;
- Coluna 2 - Temperatura Média do Período (T°C);
- Coluna 3 - Evapotranspiração Potencial: Máxima perda de água na forma de vapor para atmosfera através de uma superfície de água (ETP);
- Coluna 4 - Precipitação Pluviais em mm (P);
- Coluna 5 - Saldo entre Precipitação e Evapotranspiração, podendo ser negativo ou positivo (P-ETP);
- Coluna 6 - Armazenamento da água disponível (ARN);
- Coluna 7 - Alteração dos valores da coluna 8 (ALT);
- Coluna 8 - Evapotranspiração Real: Máxima perda de água na forma de vapor, para a atmosfera, que ocorre com uma vegetação em crescimento (ETR);
- Coluna 9 - Deficiência da água: no solo em mm (DEF);
- Coluna 10 - Excedente de água no solo em mm (EXC)

2.3. HIDROGRAFIA

A hidrografia do município de Ananindeua é representada pelos rios Guamá ao Sul, fazendo limite com Belém; o Maguariáçu, ao Norte e o Benfica a Nordeste limitando

com Benevides. Para o Guamá vertem o rio Água Preta, limite natural, a Oeste, com o município de Belém; o rio Uriboquinha, o qual, em todo o seu curso, serve de limite parcial com Benevides; e o igarapé Aurá. O rio Maguariaçu deságua no furo do Maguari e forma limite natural, a Noroeste, com o município de Belém. Ao Norte, encontram-se as ilhas João Pilato, Santa Rosa e Sassunema.

Figura 3: Mapa da rede de drenagem na MRM, Ananindeua – PA.



A rede de drenagem na área de estudo é composta principalmente por uma das nascentes do Rio Maguari, por dois lagos que armazenam a maior parte da água escoada na borda da bacia hidrográfica e deságua no furo do Maguari.

3. CLASSIFICAÇÃO DOS SISTEMAS HIDROGEOLÓGICOS

Os sistemas hidrogeológicos da região de Belém e Ananindeua pertencem às unidades estratigráficas, da mais antiga para a mais nova, Pirabas, Barreiras e Cobertura Quaternária. Esses sistemas estão razoavelmente estudados até uma profundidade em torno de 280 metros. Em profundidades superiores a 280 metros, as características hidrodinâmicas e as espessuras das camadas de sedimentos não são conhecidas (MATTA, 2002).

Esses sistemas mostram uma complexidade geométrica de suas unidades aquíferas, com espessuras saturadas de até 30 metros, intercaladas com camadas impermeáveis de espessura equivalentes, as quais parecem não apresentar comunicações hidráulicas. Aquíferos confinados aparecem, em média, a partir dos 25 metros de profundidade (MATTA, 2002).

Os pacotes sedimentares que acumulam água subterrânea na região de Belém e Ananindeua são formadores de cinco conjuntos aquíferos principais resumidos na Tabela 2 são:

- Aluviões: constituem um domínio permoporoso que, apesar de suas boas capacidades armazenadoras, não possuem expressão significativa na área de Belém, em função de suas espessuras inferiores a 10m;
- Pós-Barreiras: é constituída por níveis argilo-arenosos, inconsolidados, existentes desde a superfície até cerca de 25 metros sendo, por vezes, recoberta por alúvios e colúvios;
- Barreiras: esta unidade aquífera é a mais conhecida e explorada na área estudada e corresponde aos sedimentos do Grupo Barreiras, cujas expressões litológicas são bastante heterogêneas. Estão aí incluídos desde argilitos até arenitos grosseiros com níveis conglomeráticos. Aparecem ainda níveis lateríticos e argilosos caulinizados;
- Pirabas Superior: essa unidade é composta pelos sedimentos marinhos, fossilíferos, da Formação Pirabas. Há camadas de argilas carbonáticas de cor cinza-esverdeada e leitos de calcário duro, de coloração cinza esbranquiçada, que se alternam sucessivamente com camadas de arenito carbonático, siltitos e arenitos;
- Pirabas Inferior: essa unidade é composta, predominantemente, de camadas repetitivas de arenitos de cor cinza-esbranquiçada, granulação fina a conglomerática, com intercalações mais espessas de argilas e siltitos.

As características de cada um dos sistemas estão resumidas na Tabela 2.

Tabela 2: Características dos Sistemas Hidrogeológicos da área de Belém e Ananindeua.

Sistemas Hidrogeológicos	Aluviões	Pós-Barreiras	Barreiras	Pirabas Superior	Pirabas Inferior
Vazões	10 m ³ /h	5 m ³ /h	10 a 70 m ³ /h	100 a 200 m ³ /h	Até 300 m ³ /h
Profundidade	< 10 m	Até 25 m	25 - 90 m	90 - 187 m	180 - 290 m
Vulnerabilidade	Altíssima	Altíssima	Baixa	Baixa	Baixa
Natureza	Aquífero Livre	Aquífero Livre	Semi-Livre a Confinado	Confinado	Confinado
Característica das Águas Produzidas	Presença de Ferro	Presença de Ferro	Presença de Ferro	---	---
Sedimento	Areno-argiloso	Areno-argiloso	Arenoso, com lentes de argila e intercalação com camadas ricas em calcário.	Arenoso, com intercalações de Calcário e Argila.	Arenoso, com intercalações de Calcário e Argila.

Fonte: Adaptado de Matta (2002).

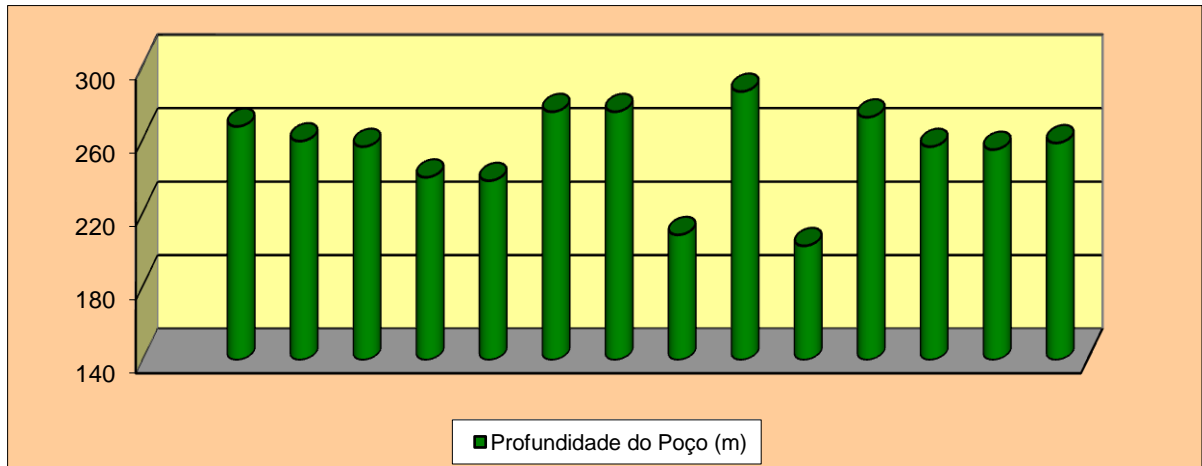
3.1. ANÁLISE DA GEOMETRIA DAS UNIDADES AQUÍFERAS

Para a estimativa da geometria das Unidades Aquíferas presentes em Ananindeua, Matta (2002) selecionou 14 poços tubulares profundos. Esse número pequeno de poços tem relação com a escassa disponibilidade dessas obras na área de Ananindeua.

As profundidades dos poços selecionados variam de 286 metros no poço 09 a 202 metros no poço 10 (Figura 4). A profundidade média dos poços é 253,23 metros, um pouco menor do que a profundidade média dos poços de Belém. As vazões dos poços cadastrados se encontram dentro do intervalo de 105 a 250 m³/h, com uma vazão média de 173,08 m³/h (Figura 5).

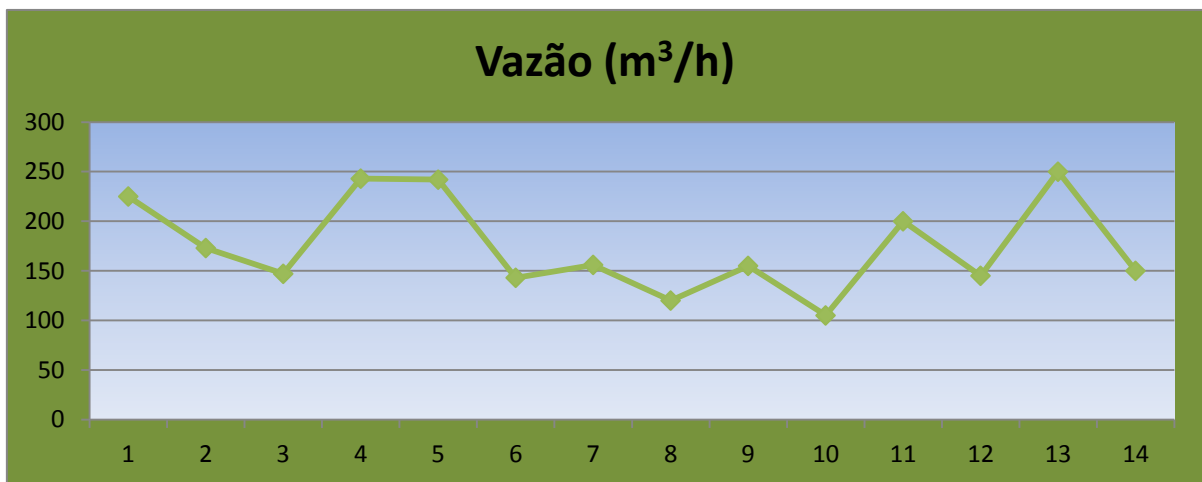
Os níveis estáticos variam desde 11,94 m até 27,90 m (Figura 6). O valor médio do nível estático foi de 19,80 m, sendo esse valor superior ao valor médio registrado para os poços de Belém (14,30 m). Da mesma forma, o valor mínimo do nível estático nesses poços é cerca de 10 vezes superior ao menor valor do nível estático registrado nos poços do município de Belém (1,8m).

Figura 4: Distribuição das profundidades dos poços tubulares da região de Ananindeua.



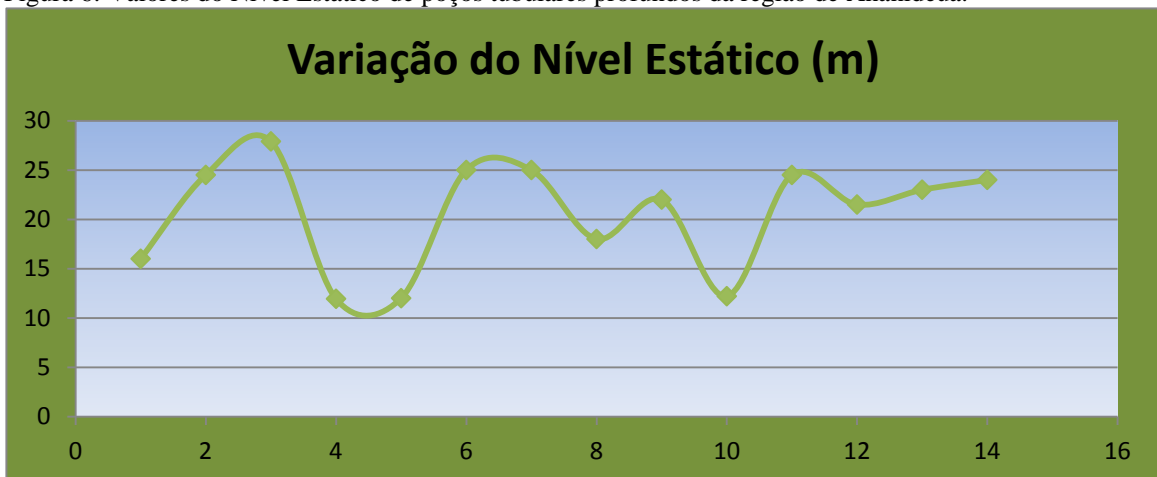
Fonte: Matta (2002).

Figura 5: Distribuição das vazões dos poços tubulares profundos da região de Ananindeua.



Fonte: Adaptado de Matta, (op.cit.).

Figura 6: Valores do Nível Estático de poços tubulares profundos da região de Ananindeua.

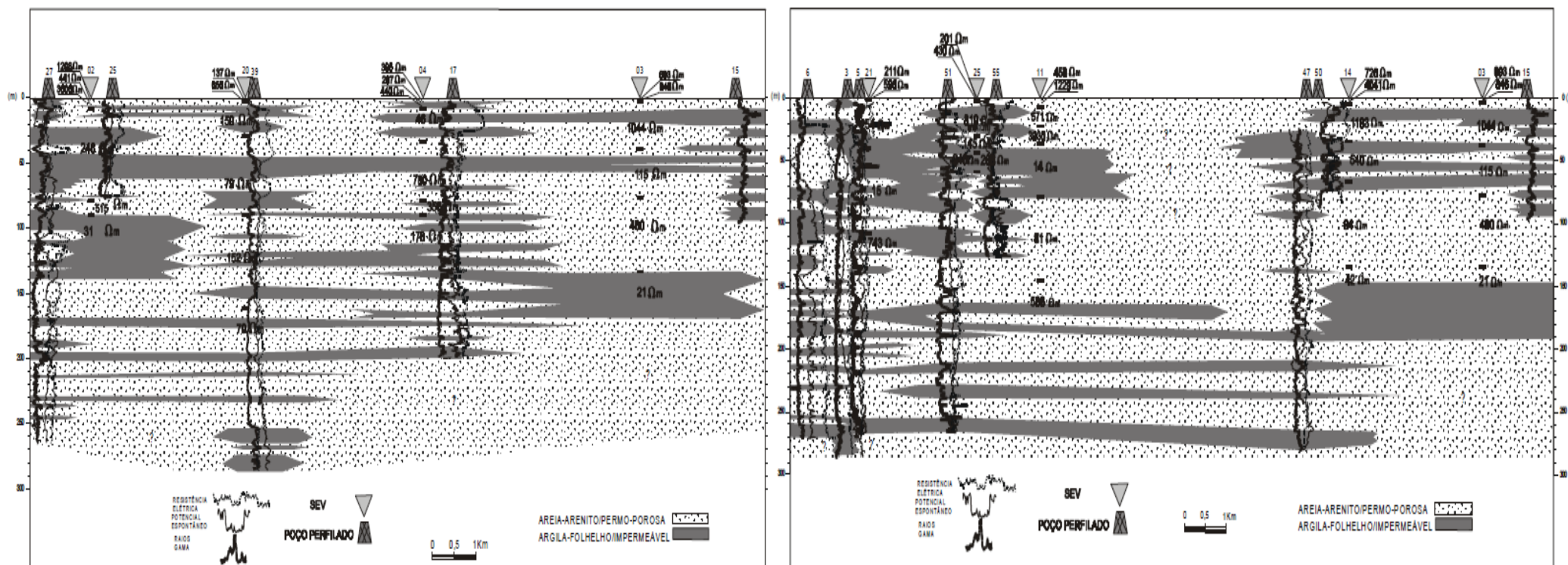


Fonte: Adaptado de Matta (op.cit.).

Perfis geoelétricos da região de Ananindeua obtidos por Mendes e Verma (2002) são compostos por 13 (treze) poços profundos (cujas profundidades variam de 200 m a 285 m), separados por vários quilômetros de distancia, mas apresentando continuidade lateral a partir de 170 m de profundidade, onde prevalece a composição arenosa com níveis argilosos. Como pode ser observado na figura 7a e 7b, os corpos aquíferos apresentam uma configuração (ou forma) descontínua lenticular, intercalados com corpos lenticulares de argila.

De acordo com as características mostradas pela geologia, entende-se que a zona aquífera acima de 160 m faria parte dos sedimentos Barreiras, de ambiente estuarino pela descontinuidade dos corpos sedimentares. A porção inferior seria a Formação Pirabas, de ambiente marinho, em função da elevada continuidade lateral.

Figura 7: (A) Esquerda e (B) Direita. Perfis hidrogeológicos inferidos baseados em dados geofísicos atravessando o município de Ananindeua na direção NW-SE.



Fonte: Mendes e Verma (2002)

4. MATERIAIS E MÉTODOS

O trabalho de caracterização hidrogeológica e qualidade de água na região de Ananindeua, desde o início das pesquisas e estudos preliminares, já se tinha de uma área predefinida da Microbacia do Rio Maguariaçu, que acabou, depois de pequenos ajustes, se mantendo no decorrer dos estudos. As primeiras fases do mesmo consistiram da pesquisa e análise bibliográfica de trabalhos anteriormente realizados na área, dando ênfase nos trabalhos que contemplassem os aspectos sociais, físicos, geológicos e hidrogeológicos a fim de se construir uma síntese da situação atual da área. Além disso, buscou-se o que há de vigente na legislação atual sobre os padrões de potabilidade das águas para a realização das análises em laboratório.

Para confecção dos mapas de fluxo foram aferidas 53 medidas de nível estático dentro da área de estudo, a maioria de poços tubulares rasos e alguns poços amazonas, de onde a população da área tira a água usada nos afazeres de casa e para o próprio consumo.

Os poços estudados na área foram selecionados e cadastrados com informações técnicas, entre elas nível estático.

A seleção foi realizada de modo a contemplar toda a área de estudo selecionando 53 (cinquenta e três) poços.

O cadastramento dos poços foi realizado contemplando informações como localização em coordenadas UTM, tipo de poço, profundidade do nível estático, entre outras.

Para cada um dos 53 poços cadastrados, foi calculada a diferença entre a cota topográfica e o valor da profundidade do nível da água (nível estático), obtendo-se assim, os valores dos potenciais hidráulicos que foram utilizados para determinação das isolinhas na caracterização da superfície potenciométrica e interpretação da direção e sentido do fluxo subterrâneo. Para a construção do mapa de fluxo subterrâneo utilizou-se dos programas Surfer 8.0.

Com relação às amostras de água para análise, o critério de amostragem obedeceu aos dispositivos da Portaria nº. 2914, de 12 de dezembro de 2011 do Ministério da Saúde, que estabelece o número mínimo de amostras para controle de qualidade de água em função do tipo de manancial e da população envolvida.

A população na Microbacia do Rio Maguariaçu, Ananindeua-PA é de aproximadamente 48.000 habitantes (IBGE, 2006). Segundo a portaria referida, para populações menores que 50.000 habitantes, e para águas subterrâneas, o número mínimo de amostras coletadas para monitoramento da qualidade físico-química deve ser de 5 (cinco).

Contudo, com o intuito de se obter um resultado mais representativo da situação da área, optou-se por um número de 12 (doze) amostras a serem analisadas, dentre poços do tipo “amazonas” e tubulares rasos, dos quais a população local retira a água necessária para realização de suas atividades diárias.

Para as coletas de amostras, visando análises no campo e no laboratório, os procedimentos incluíram, em primeiro lugar, a preparação dos frascos de coleta, que foram lavados com água natural e detergente, posteriormente passados no ácido de lavagem (HCl 5%), e, por último, lavados com água destilada.

No campo, foi realizado, primeiramente, o ambiente para cada amostra (salvo quando para análise de ferro) e em seguida a coleta, utilizando a água coletada diretamente do poço, evitando as passagens por tubulações e/ou torneiras. No caso do poço 5b (tipo “amazonas”), a água foi retirada por meio de um dispositivo auxiliar devido a dificuldade encontrada para a coleta da água. As amostras foram armazenadas em frascos de 1 litro e condicionadas em um isopor com gelo, onde permaneceram até o início das análises para evitar uma possível descaracterização das mesmas.

Todos os poços tiveram seus níveis estáticos medidos. Os parâmetros temperatura, pH e condutividade elétrica foram medidos no campo e o restante, analisado no laboratório. A coleta foi pontual e os pontos de amostragem foram identificados por coordenadas UTM obtidas com GPSMAP 60CSx Garmim.

Com exceção dos parâmetros medidos no campo, foram analisados no Laboratório de Hidroquímica do Centro de Geociências da UFPA (dureza total, oxigênio consumido, nitrato, amônia, sulfato, fosfato e ferro).

As metodologias analíticas utilizadas para os parâmetros físico-químicos seguiram os padrões técnicos especificados nas normas nacionais que disciplinam a matéria, em especial a Portaria nº. 2914 de 2011 do Ministério da Saúde do Brasil e a APHA Standard Methods.

Para a comparação dos resultados obtidos com os valores máximos permitidos pela legislação vigente, utilizou-se o que determina a Portaria nº. 2914 de 2011 do Ministério da Saúde. Os parâmetros analisados são: temperatura (°C), pH, sólidos totais dissolvidos (STD), condutividade elétrica ($\mu\text{s}/\text{cm}$ a 25 °C), oxigênio consumido (mg/L CaCO_3), dureza total (mg/L CaCO_3), cloreto (mg/L Cl⁻), ferro total, amônia (mg/L NH_3) nitrato (mg/L NO_3^-), fosfato (mg/L PO_4^{3-}), sulfato (mg/L SO_4^{2-}).

Com o fim das análises os resultados receberam o seguinte tratamento: a) construção de gráficos individuais de cada parâmetro por meio do programa *Excell for*

Windows para visualização e comparação de valores; b) construção de mapas por meio do programa ArcGis 10; d) construção dos mapas com as curvas de isovalores dos principais parâmetros indicadores de potabilidade por meio do programa Surfer 8.0.

Um cálculo de reservas foi realizado baseado em dados de reserva para a RMB (Matta, 2002) e adjacências, voltado à área da MRM.

A proposta alternativa de abastecimento de água foi elaborada com base na demanda requerida para a área de estudo, assim como a população da área e as condições socioeconômicas.

5. LOCALIZAÇÃO E ACESSO DA ÁREA DE TRABALHO

A pesquisa foi realizada na Bacia do Rio Maguariçu, pertencente aos limites do município de Ananindeua na Mesorregião Metropolitana de Belém. No entanto, o estudo se concentrou apenas na região de nascente da bacia (microbacia) fechando um polígono de vértices e coordenadas UTM (latitude; longitude) A (9846575; 788148), B (9847746; 787652), C (9848969; 788372), D (9849671; 789219), E (9849247; 789821) e F (9847640; 789887) como é indicado na figura 8.

Os principais acessos à área são a BR-316 ao sul, e a Rodovia do Coqueiro à oeste (Figura 9). A área possui densidade demográfica elevada e segundo dados do IBGE (2006) crescem a níveis mais elevados do que a RMB. Na área também há um condomínio residencial luxuoso (Lago Azul) e um clube campestre (CaixaPara).

A MRM passa por um intenso processo de urbanização, contendo atividades de relativo potencial degradantes do meio ambiente, no entanto ela apresenta características de áreas que podem, por meio de medidas mitigadoras, garantir a sua qualidade ambiental. Sendo assim o presente trabalho atua como uma ferramenta para subsidiar uma futura gestão da bacia.

Figura 8: Perímetro da área de estudo.

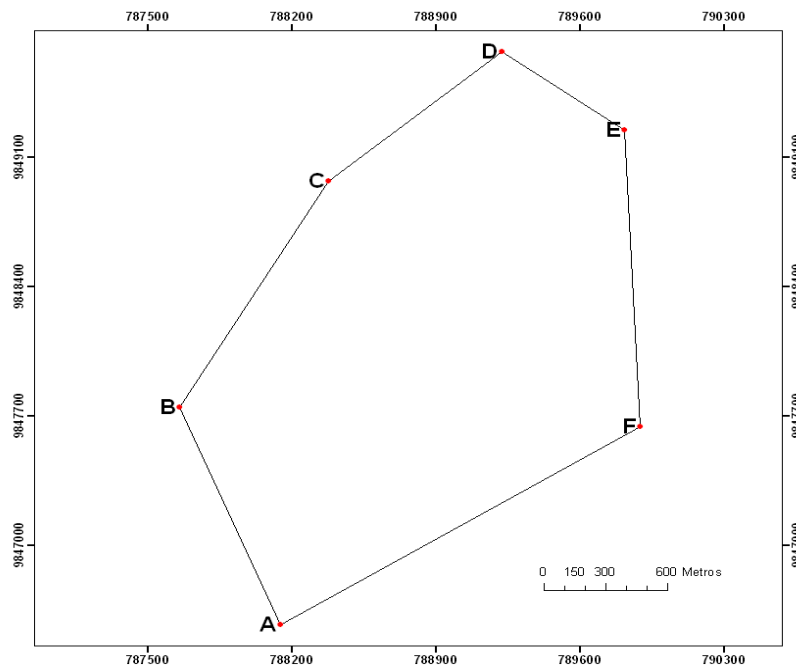
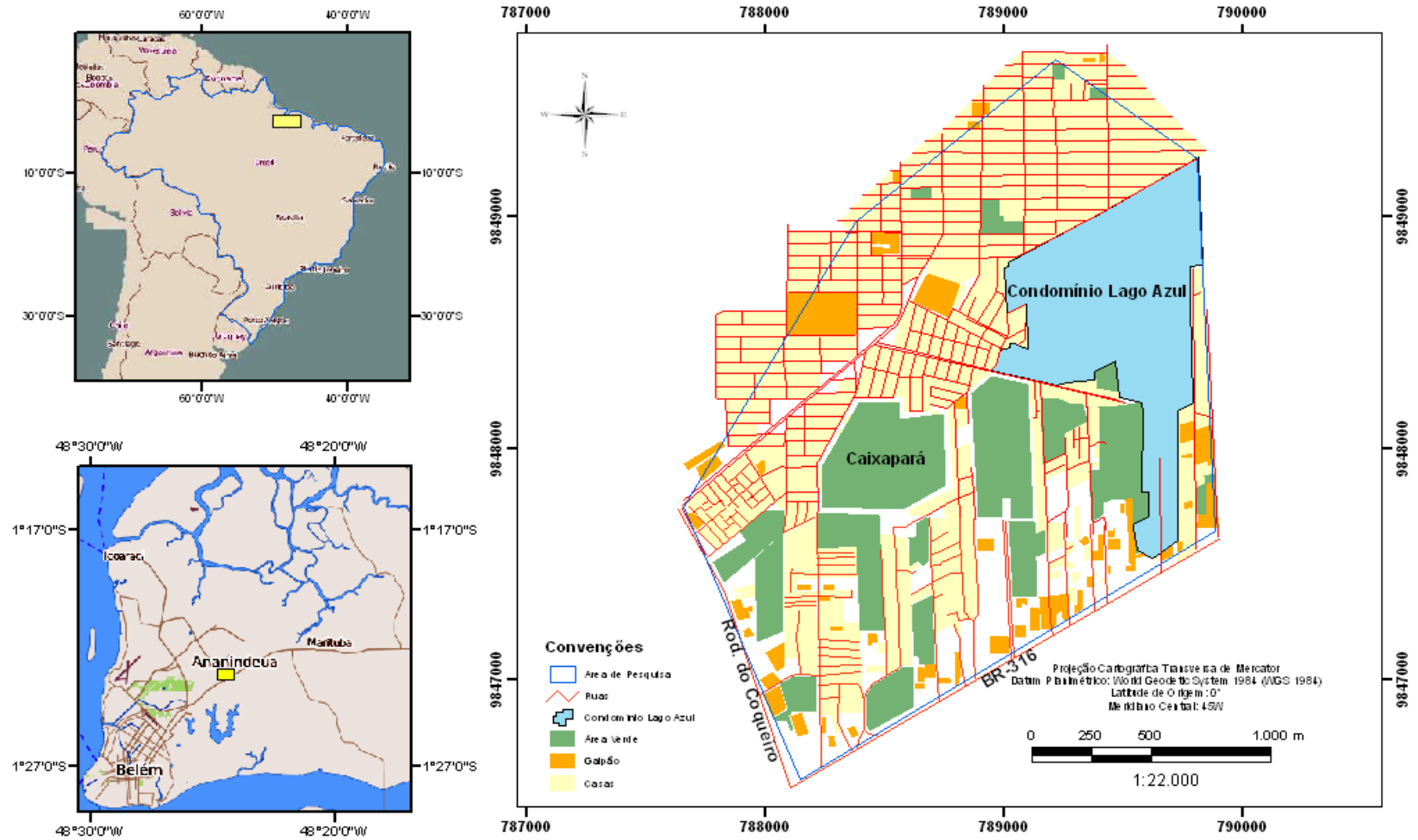


Figura 9: Mapa de localização da área.



6. FLUXOS HÍDRICOS SUBTERRÂNEOS

Nos estudos que propõem a gestão integrada dos recursos hídricos na MRM, é necessário que se conheça o comportamento dos fluxos hídricos subterrâneos a fim de se obter uma série de informações sobre os aquíferos, entre as quais está o conhecimento das áreas de recarga e descarga destes reservatórios, o que possibilita o controle e a gestão das águas e evitando os potenciais contaminantes na área.

Em se tratando de aquíferos horizontais, com fluxos se deslocando na horizontal, como é o caso dos sistemas aquíferos da região estudada, é possível traçar as isolinhas dos potenciais hidráulicos para a representação da superfície potenciométrica. Para tanto, basta que se tenha um número suficiente de poços e que seja possível se obter as cotas precisas dos níveis estáticos (MATTA, 2002).

A partir dos dados obtidos nos 53 poços (Tabela 3) foram construídos os mapas de potenciais hidráulicos (Figura 11), mapa de fluxo subterrâneo (Figura 12) e bloco diagrama do fluxo subterrâneo (Figura 13) do aquífero superior (Barreiras) para a MRM, Ananindeua-PA.

Deve-se considerar o fato de que foram estudados poços com diferentes profundidades, onde foram medidos os níveis de água. Quando se tem um quadro em que poços mais profundos apresentam níveis de água mais rasos, isso significa gradientes ascendentes, caracterizando zonas de descarga das águas subterrâneas (MATTA, 2002).

Tabela 3: Dados obtidos em trabalho de campo de 53 poços na área da Microbacia do Rio Maguariaçu, Ananindeua-PA no período de Junho de 2011.

(continuação)

Poço	Latitude	Longitude	Cota	Nível Estático Junho 2011	Carga Hidr. Junho 2011
PA1	9848118	788388	20	2,60	17,40
PA2	9847998	788370	19	2,77	16,23
PA3	9847968	788227	23	2,67	20,33
PA4	9847836	788261	22	3,22	18,78
PA5	9847800	788188	22	2,44	19,56
PA6	9847582	788291	23	0,88	22,12
PA7	9847464	788378	22	1,79	20,21
PA8	9847316	788379	24	2,76	21,24
PA9	9847162	788347	25	2,62	22,38
PA10	9847046	788382	26	2,66	23,34
PA11	9846836	788353	23	2,26	20,74

(conclusão)

Poço	Latitude	Longitude	Cota	Nível Estático Junho 2011	Carga Hidr. Junho 2011
PA12	9846676	788365	22	3,02	18,98
PA13	9847532	788668	20	0,87	19,13
PA14	9847280	788681	23	2,09	20,91
PA15	9847240	788642	24	1,15	22,85
PA16	9847158	788728	26	1,16	24,84
PA17	9847916	789434	21	0,50	20,50
PA18	9848070	789444	19	1,63	17,37
PA19	9847840	789470	21	0,54	20,46
PA20	9847592	789450	25	1,91	23,09
PA21	9847592	789450	25	0,56	24,44
PA22	9847860	789461	22	7,33	14,67
PA23	9847860	789461	22	1,71	20,29
PA24	9847284	789494	25	3,96	21,04
PA25	9847074	788976	23	2,94	20,06
PA26	9847216	788951	23	1,09	21,91
PA27	9847430	788955	22	0,24	21,76
PA28	9847438	788937	21	0,47	20,53
PA29	9847570	788930	22	0,64	21,36
PA30	9847710	788905	23	1,69	21,31
PA31	9847834	788933	21	1,66	19,34
PA32	9847822	788895	20	1,84	18,16
PA33	9847990	788932	19	1,90	17,10
PA34	9848152	788908	20	1,44	18,56
PA35	9846972	788060	25	2,67	22,33
PA36	9847236	787988	23	2,68	20,32
PA37	9847712	787963	22	3,87	18,13
PA38	9848170	788634	19	2,26	16,74
PA39	9848682	789080	19	4,62	14,38
PA40	9848684	788706	22	4,39	17,61
PA41	9848618	788391	22	4,01	17,99
PA42	9849094	788670	20	3,24	16,76
PA43	9849162	789009	19	3,16	15,84
PA44	9849152	789012	20	2,81	17,19
PA45	9849356	789068	20	2,69	17,31
PA46	9846844	788128	24	3,22	20,78
PA47	9847826	789729	23	1,53	21,47
PA48	9847820	789753	24	4,03	19,97
PA49	9847677	789764	24	6,19	17,81
PA50	9849000	789644	19	4,31	14,69
PA51	9848122	789697	23	1,41	21,59
PA52	9848857	789173	18	3,61	14,39
PA53	9848806	789329	19	5,34	13,66

Figura 10: Mapa de localização dos poços cadastrados para confecção do mapa de fluxo na Microbacia do Rio Maguariaçu, Ananindeua-PA.

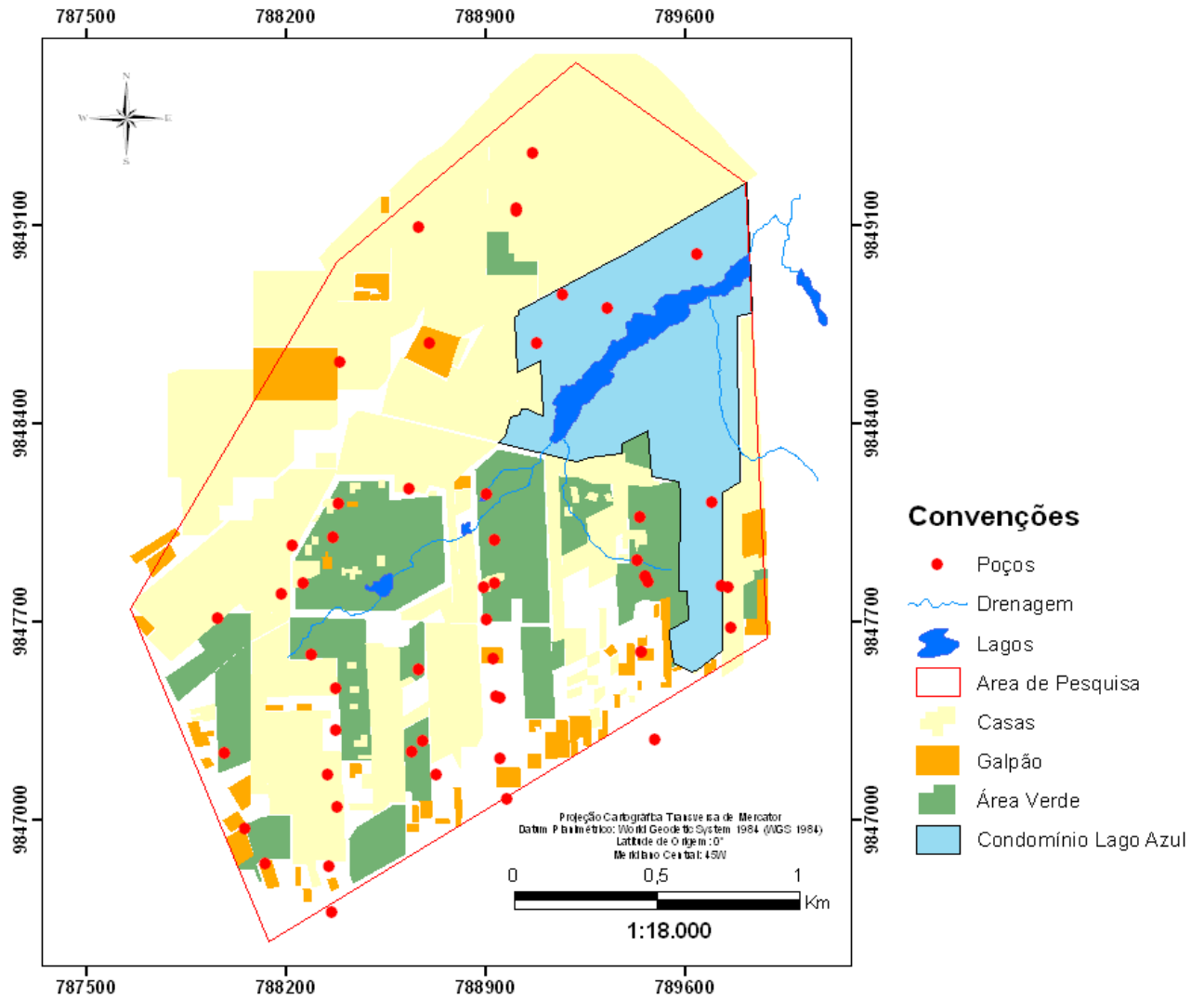


Figura 11: Mapa de isolinhas equipotenciais hidráulicas da Microbacia do Rio Maguariagu.

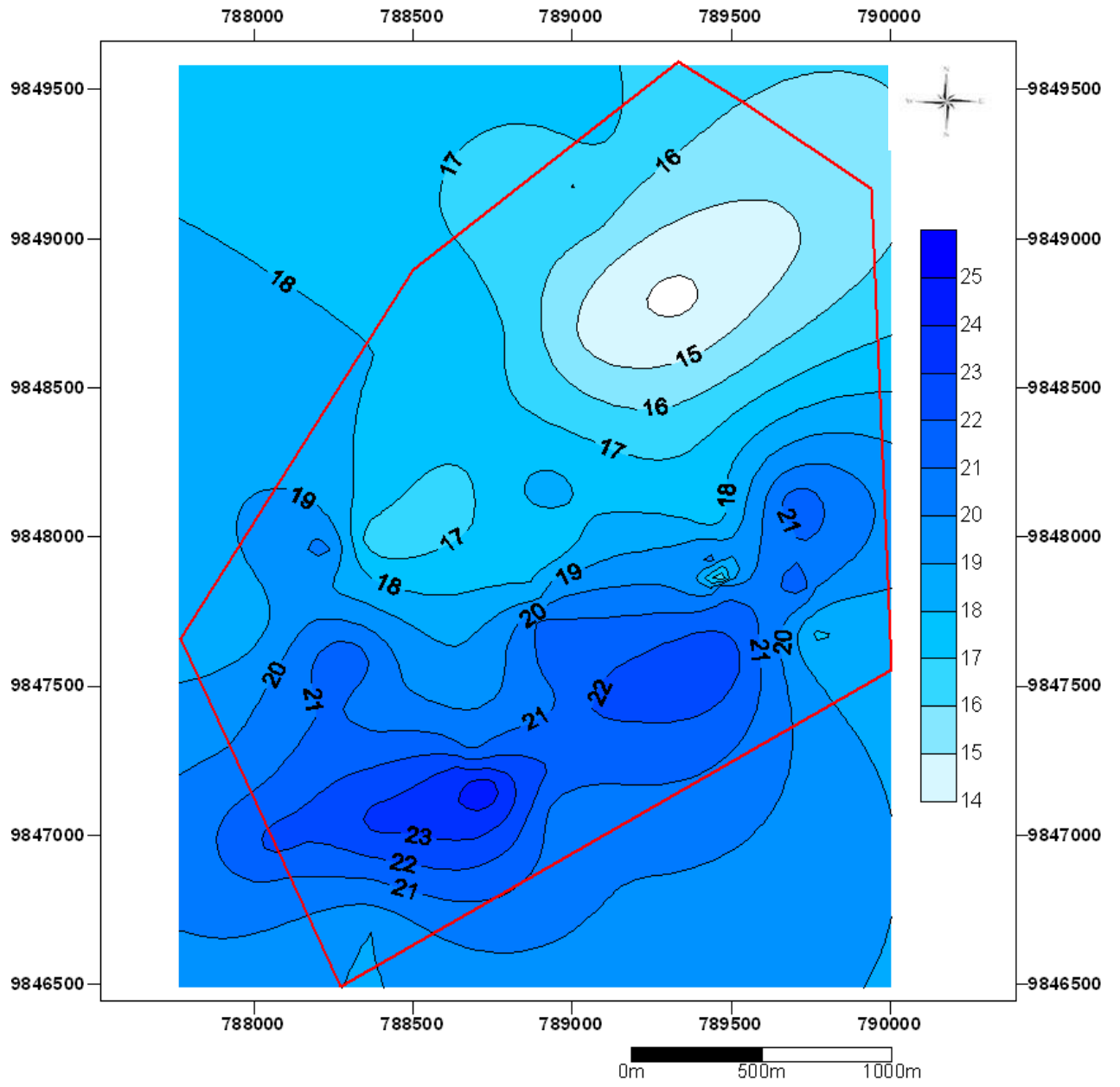


Figura 12: Mapa de Fluxo Subterrâneo da Região da Microbacia do Rio Maguariáçu mostrando as linhas equipotenciais para carga hidráulica.

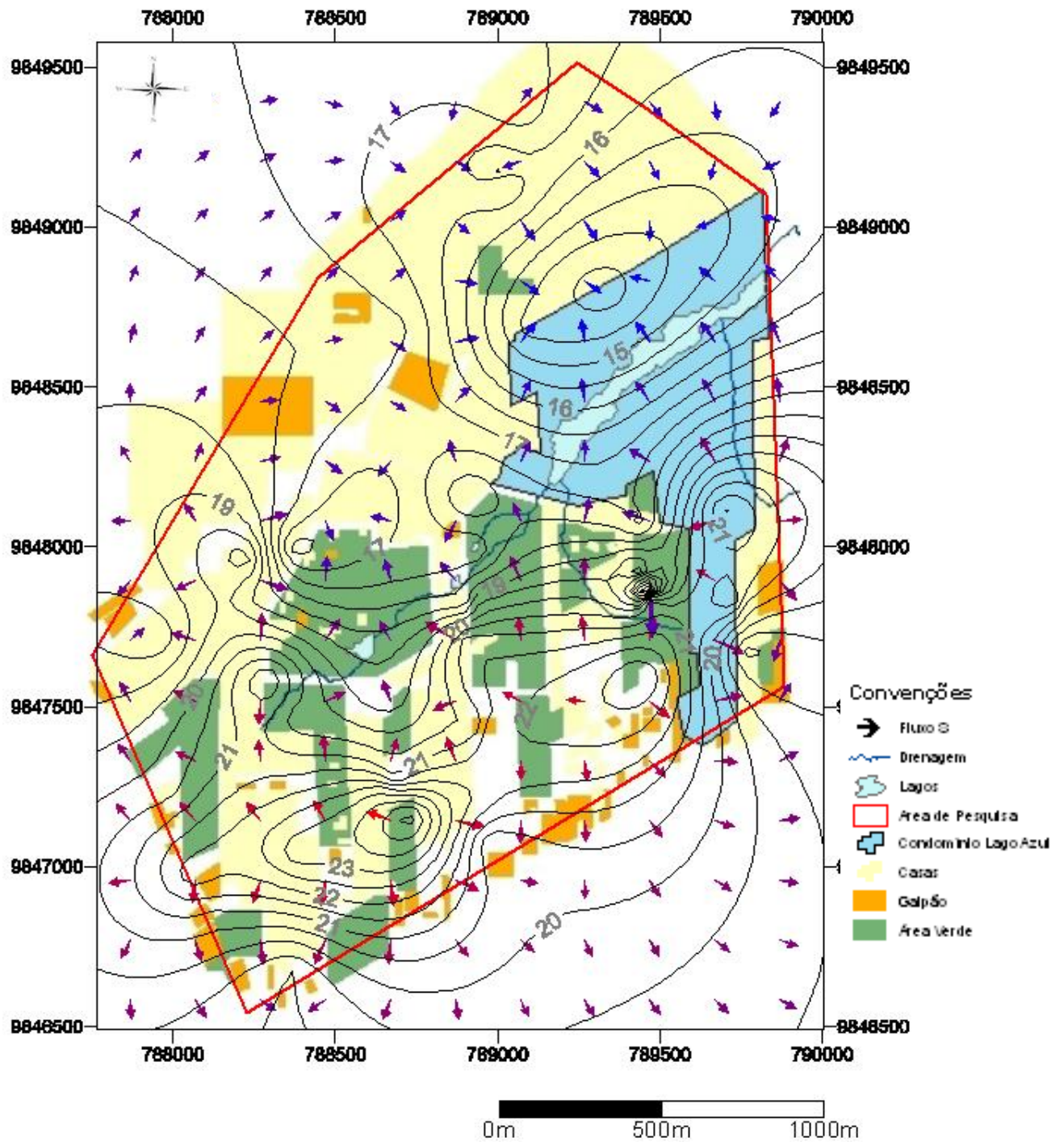
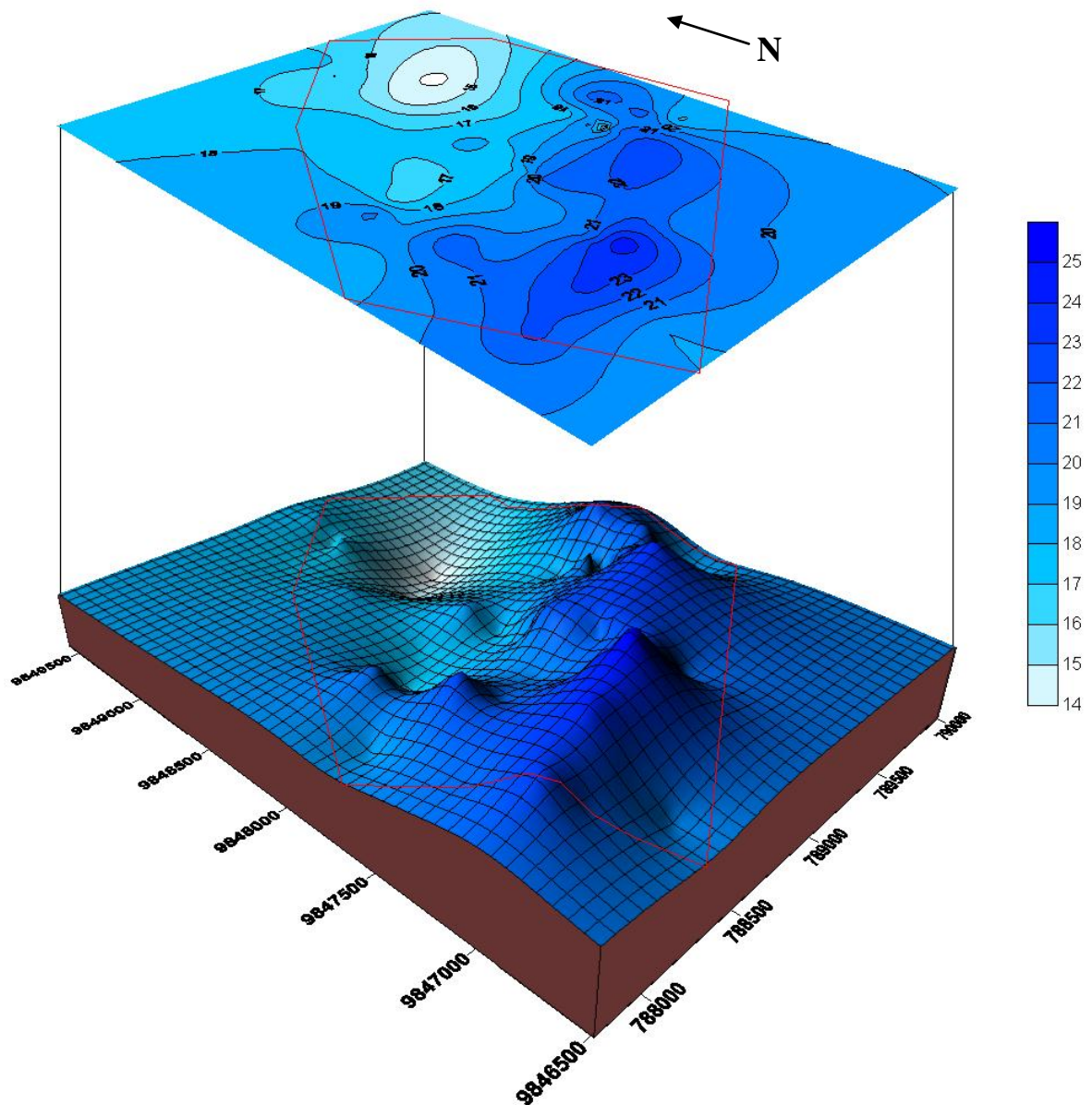


Figura 13: Bloco diagrama de fluxo subterrâneo da Microbacia do Rio Maguariaçu, Ananindeua-PA.



Os poços selecionados não apresentaram variações consideráveis em suas profundidades uma vez que não existe variação significativa nas profundidades dos poços selecionados e, analisando-se a tabela 3, pode se verificar que as profundidades do lençol freático (nível estático) na área estudada variam desde 0,24 m até 7,33 m, com uma média de 2,51 m. A maior parte da área monitorada apresenta baixa profundidade, abaixo de 3 metros.

O problema da área por apresentar baixas profundidades é a vulnerabilidade do aquífero livre e a facilidade com que é possível construir um poço artesanalmente, fora de qualquer regra reguladora de construção de poços.

O comportamento do fluxo na área é controlado pelo divisor de águas existente na parte sul e sudeste, e analisando a figura 12, pode-se definir duas zonas principais de recarga para a nascente do rio Maguariaçu, ambas na porção sul-sudeste do mapa coincidindo com o divisor de águas da região. A zona principal de descarga coincidiu com a cabeceira do lago que pertence ao condomínio residencial Lago Azul.

De qualquer forma, não se recomenda a captação das águas desse aquífero superior, mais raso, para abastecimento público da população da área. Essas águas, mesmo aquelas em maiores profundidades, provém de aquíferos livres, sem qualquer proteção natural e, por isso, muito vulneráveis à poluição. Devem-se preferir as águas dos aquíferos confinados, mais protegidos e menos vulneráveis aos agentes contaminantes.

7. QUALIDADE DA ÁGUA

A qualidade das águas subterrâneas destinadas ao abastecimento humano precisa obedecer a certos padrões de potabilidade. No Brasil, esses padrões são estabelecidos nos Anexos I à XV da Portaria nº. 2914, de 12 de dezembro de 2011 do Ministério da Saúde.

As coletas foram realizadas na área da MRM em dois períodos, um no período de estiagem (menos chuvoso) no mês de novembro de 2010 e outro no período chuvoso no mês de fevereiro de 2011, formando um total de 24 amostras divididas em duas campanhas, sendo dessas, dois de poços do tipo “amazonas” (amostras 5a e 5b) e 22 de poços do tipo tubular raso.

Vale a ressalva que para o ponto 5 houve indisponibilidade de coleta no segundo período, portanto foi adotado dois pontos, onde o ponto **5a** foi realizado no período de estiagem e o ponto **5b** foi realizado no período chuvoso, ambos pertencentes à zona intermediária no mapa e ambos poços do tipo “amazonas”.

Os pontos de amostragem, bem como a identificação dos poços são apresentados na tabela 4 e visualizados na figura 14. Os resultados das análises de natureza físico-químicas realizadas estão apresentados nas tabelas 5 e 6.

Ainda há, para efeito de correlações, o mapa de potenciais agentes contaminantes (Figura 15) da área apresentando a localização de oficinas, indústrias e postos de combustíveis (OLIVEIRA e TORRES, 2011).

Tabela 4: Pontos amostrados na área da Microbacia do Rio Maguariaçu, Ananindeua-PA.

Pontos	Tipo	Latitude	Longitude
PA1	Tubular	9848006	788377
PA2	Tubular	9847572	788325
PA3	Tubular	9846846	788346
PA4	Tubular	9847824	788623
PA5a	Amazonas	9848256	788758
PA5b	Amazonas	9847932	789433
PA6	Tubular	9847438	788937
PA7	Tubular	9847982	788933
PA8	Tubular	9849336	789118
PA9	Tubular	9848910	789642
PA10	Tubular	9848866	789530
PA11	Tubular	9848602	789580
PA12	Tubular	9848478	789498

Figura 14: Mapa de localização dos pontos de amostragem para análise da qualidade de água na Microbacia do Rio Maguariaçu, Ananindeua-PA.

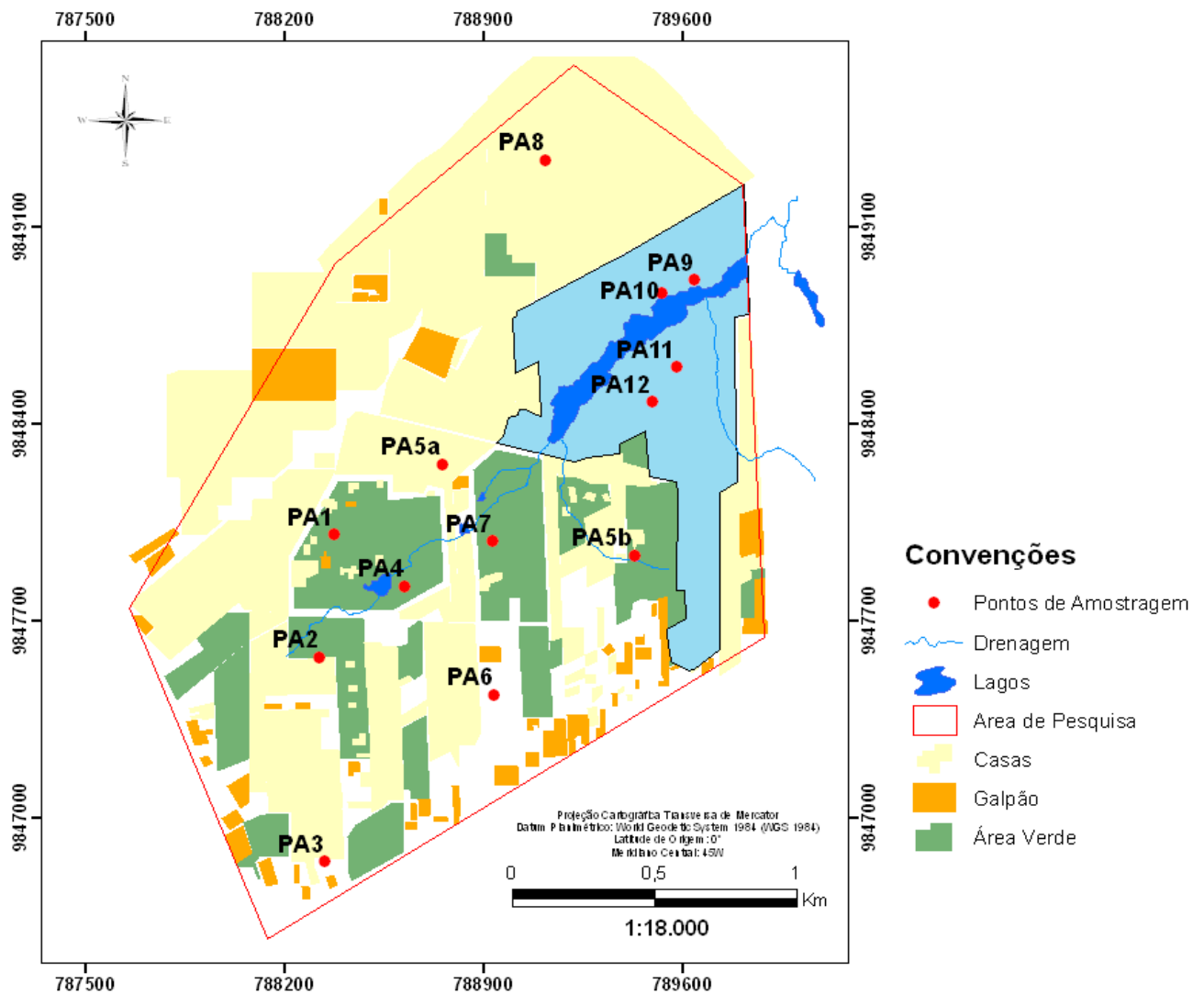


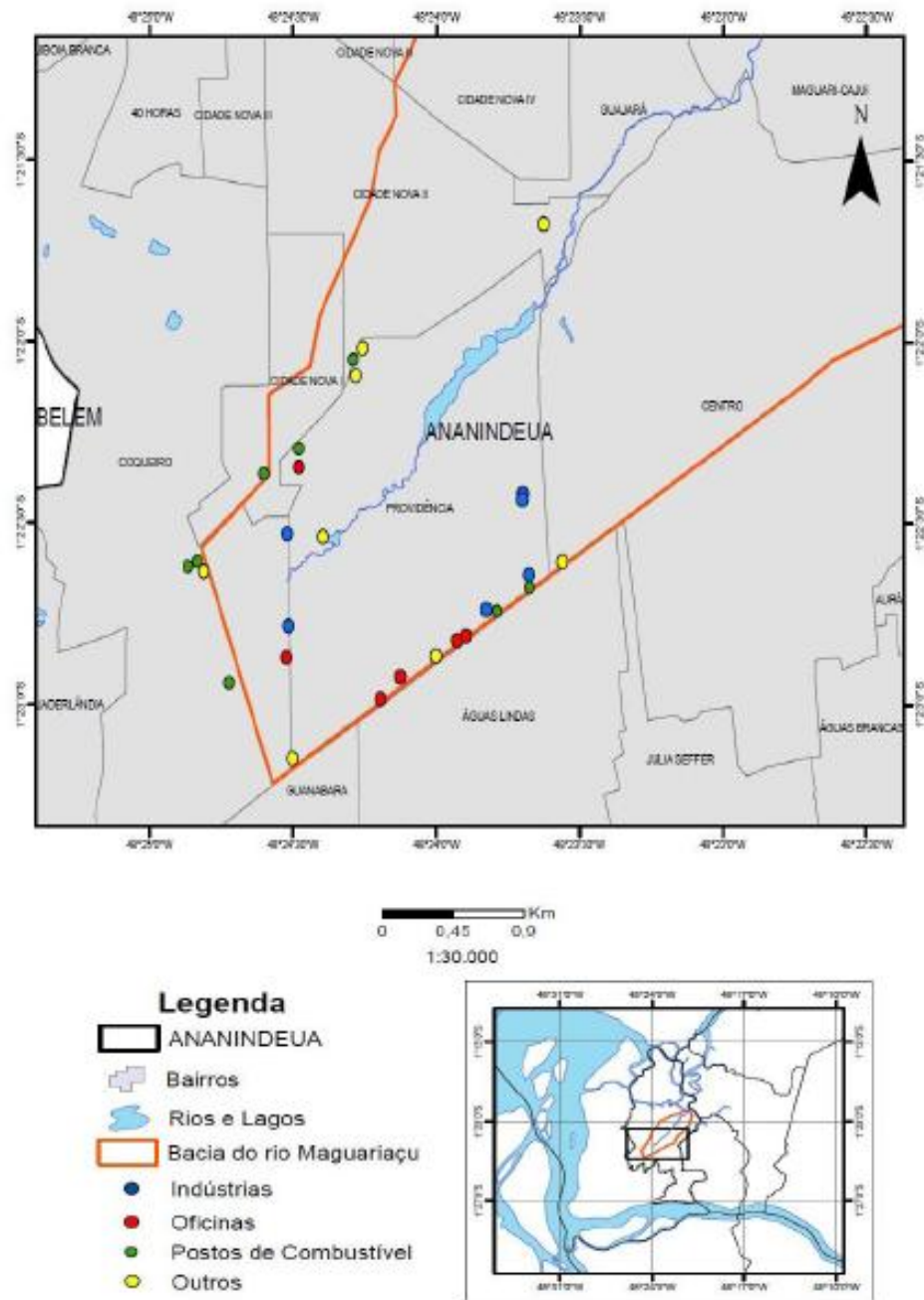
Tabela 5: Valores obtidos nas análises para o período de estiagem que compreende o mês de novembro de 2010.

Ponto	Temp. °C	pH	STD	Condutiv. µS/cm	O. C. mg/L CaCO ₃	Dureza mg/L CaCO ₃	Cloreto Cl ⁻ (mg/L)	Ferro Total	Amônia NH ₃ (mg/L)	Nitrato NO ⁻³ (mg/L)	Fosfato PO ₄ ³⁻ (mg/L)	Sulfato SO ₄ ²⁻ (mg/L)
PA1	29,11	3,92	200	432	0,35	34,41	39,36	0,60	9,10	9	0,01	6
PA2	27,66	4,69	67	140	0,25	22,27	10,62	0,02	0,40	1,8	0,01	12
PA3	27,93	5,53	137	290	0,35	76,41	15,02	0,062	0,92	1,7	0,01	38
PA4	29,08	5,60	116	250	0,95	48,58	23,31	0,46	4,10	1	0	28
PA5a	27,87	4,81	32	68	0	5,06	6,99	0,12	0,31	0,6	0	2
PA6	28,24	4,70	28	58	0	6,07	5,70	0,10	0	0,9	0,32	1
PA7	28,22	4,07	38	81	0,65	4,05	5,44	0,06	0,11	1,1	0	1
PA8	29,04	4,78	168	362	0,15	30,36	6,45	0,04	4,90	9	0	12
PA9	28,57	3,85	125	266	0	24,29	4,60	0,04	1,08	2,8	0	27
PA10	30,99	4,08	129	288	0,25	22,27	5,30	0,02	3,51	3,4	0,01	1
PA11	28,23	4,38	43	92	0	12,14	2,50	0,26	0,16	1	0	2
PA12	28,41	4,19	59	125	0	9,11	3,05	0,10	0,54	1	0	1

Tabela 6: Valores obtidos nas análises para o período chuvoso que compreende o mês de fevereiro de 2011.

Ponto	Temp. °C	pH	STD	Condutiv. µS/cm	O. C. mg/L CaCO ₃	Dureza mg/L CaCO ₃	Cloreto Cl ⁻ (mg/L)	Ferro Total	Amônia NH ₃ (mg/L)	Nitrato NO ⁻³ (mg/L)	Fosfato PO ₄ ³⁻ (mg/L)	Sulfato SO ₄ ²⁻ (mg/L)
PA1	28,91	4,08	198	426	0	96,15	32,11	1,43	9,50	10	0,01	4
PA2	27,37	4,55	21	43	0,85	84,84	4,14	0,02	0,01	0,5	0,01	1
PA3	28,11	4,58	16	34	2,15	90,50	0,52	0,26	0	0,1	0,05	3
PA4	28,93	5,33	170	365	0	181	25,90	0,03	8	1,9	0,03	38
PA5b	28,29	4,35	32	68	0,7	56,56	8,8	0,21	0,10	0,4	0,15	1
PA6	27,41	4,82	32	66	0	124,43	5,28	0,13	0,01	0,7	0,09	1
PA7	27,61	4,40	38	81	1	164,02	6,73	0,14	0,10	0,9	0,08	1
PA8	27,23	3,80	145	300	0	126,15	26,70	0,53	3,70	6	0,01	0
PA9	29,16	3,86	125	249	0,45	130,09	23,93	0,19	1,74	4	0,03	0
PA10	29,32	3,60	110	230	0,3	122,12	22	0,17	1,65	3	0,01	0
PA11	28,03	4,39	51	103	0,4	203,62	14,50	0,06	0,05	1,1	0,09	1
PA12	28,37	4,37	53	105	3,05	101,81	14,50	0,06	0,45	1,1	0,08	0

Figura 15: Atividades poluidoras na Microbacia do Rio Maguariçu, Ananindeua-PA.



Fonte: Oliveira e Torres (2011).

7.1. CONSIDERAÇÕES

Como forma de analisar os dados apresentados acima, se considerou neste trabalho uma interpretação individual dos parâmetros seguindo duas etapas. Uma primeira baseada na análise do gráfico individual de cada parâmetro em conjunto com uma análise espacial dos parâmetros através de curvas de isovalores.

7.1.1. pH (Potencial Hidrogeniônico)

Medida da concentração relativa dos íons de hidrogênio numa solução. Os valores de pH (Figura 16) obtidos vão de 3,85 até 5,6 para o mês de novembro e 3,6 até 5,33 para fevereiro, com uma média de 4,5 e 4,3 respectivamente.

Segundo Matta (2002) essa acidez é típica da região amazônica, que em função da decomposição da matéria orgânica, produz ácidos orgânicos os quais apresentam grupos carboxílicos (COOH), que se dissociam liberando H^+ e diminuindo o pH das águas.

Segundo o Ministério da Saúde, o pH de águas próprias para o consumo deve estar entre 6,0 e 9,5. Sendo assim, as águas da área de estudo podem ser consideradas como impróprias para o consumo.

Figura 16: Diagrama de valores de pH das amostras de água para os meses de novembro de 2010 e fevereiro de 2011 na área de estudo.

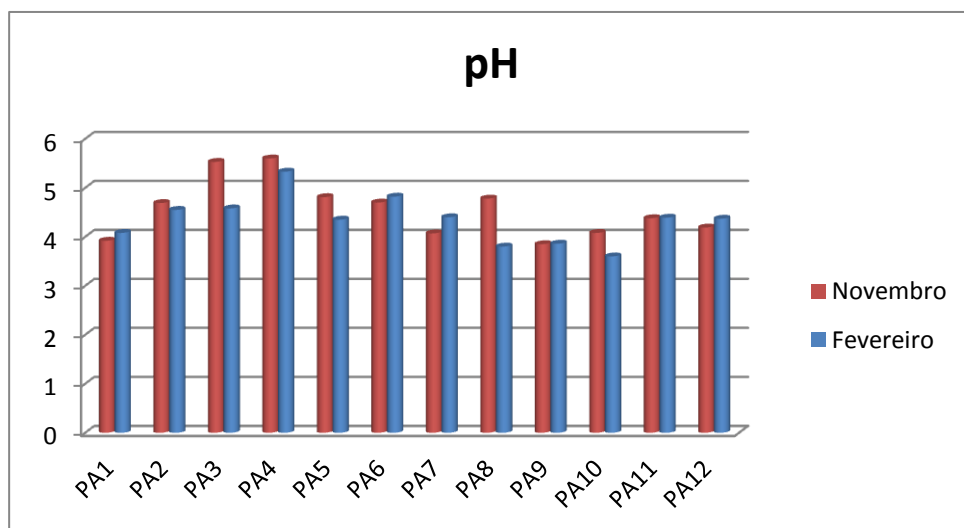
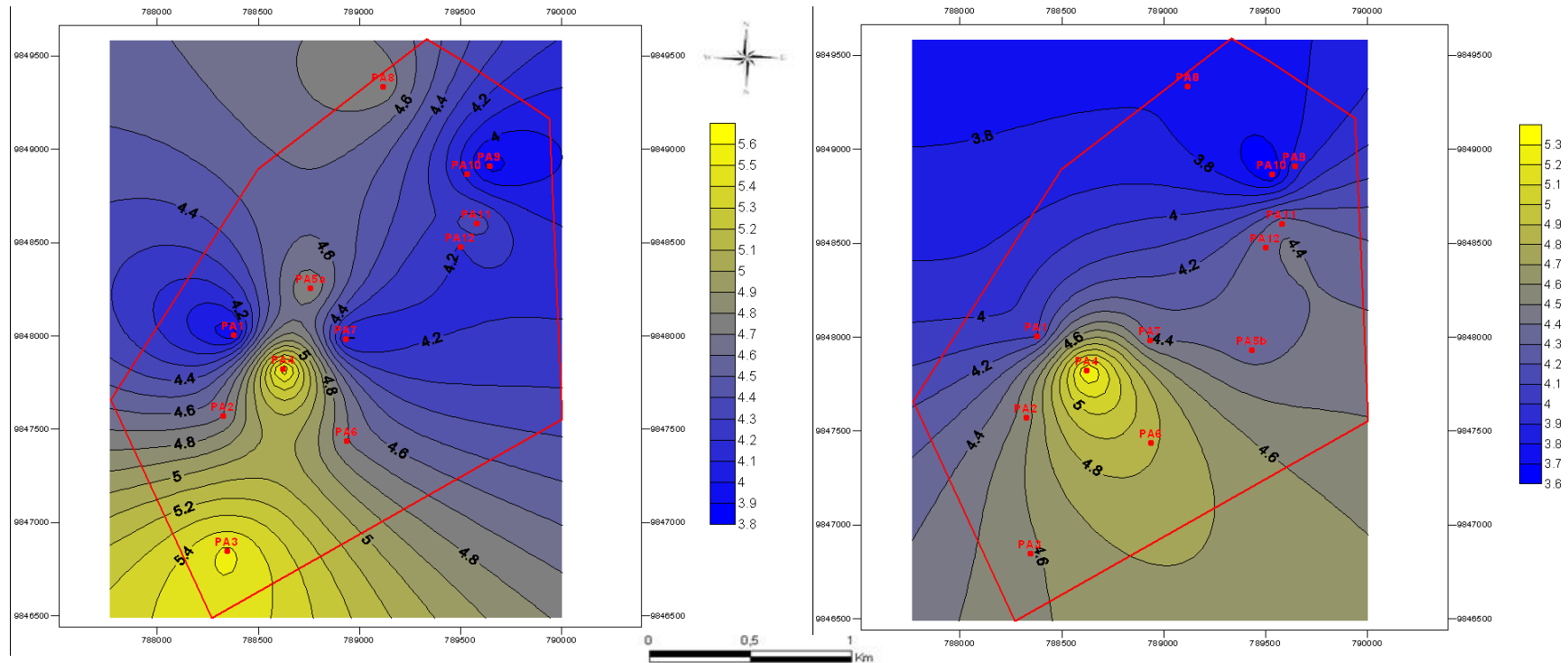


Figura 17: Distribuição areal do pH para novembro (esquerda) e para fevereiro (direita) na área de estudo da Microbacia do Rio Maguariáçu, Ananindeua-PA.



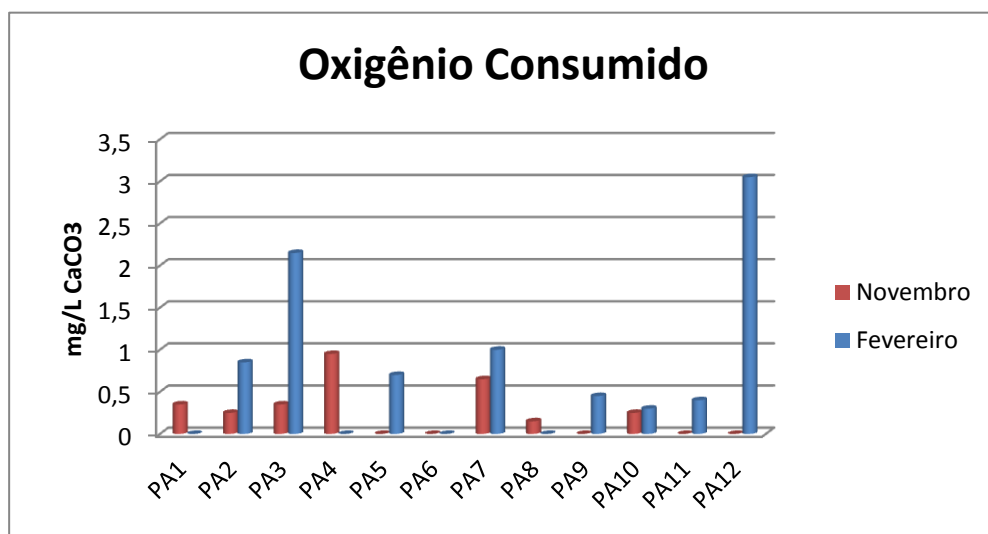
A figura 17 mostra a variação dos valores de pH dentro da área estudada. Percebe-se a presença de dois picos de valores (em amarelo), que não ultrapassam 5,6 no período de estiagem, e que no período chuvoso é representado apenas com um pico na porção mais central da área com um valor máximo menor que 5,3.

7.1.2. Oxigênio Consumido (mg/L CaCO₃)

A determinação do Oxigênio Consumido (O.C.) fornece a quantidade de material orgânico que é oxidável nas condições impostas durante o ensaio.

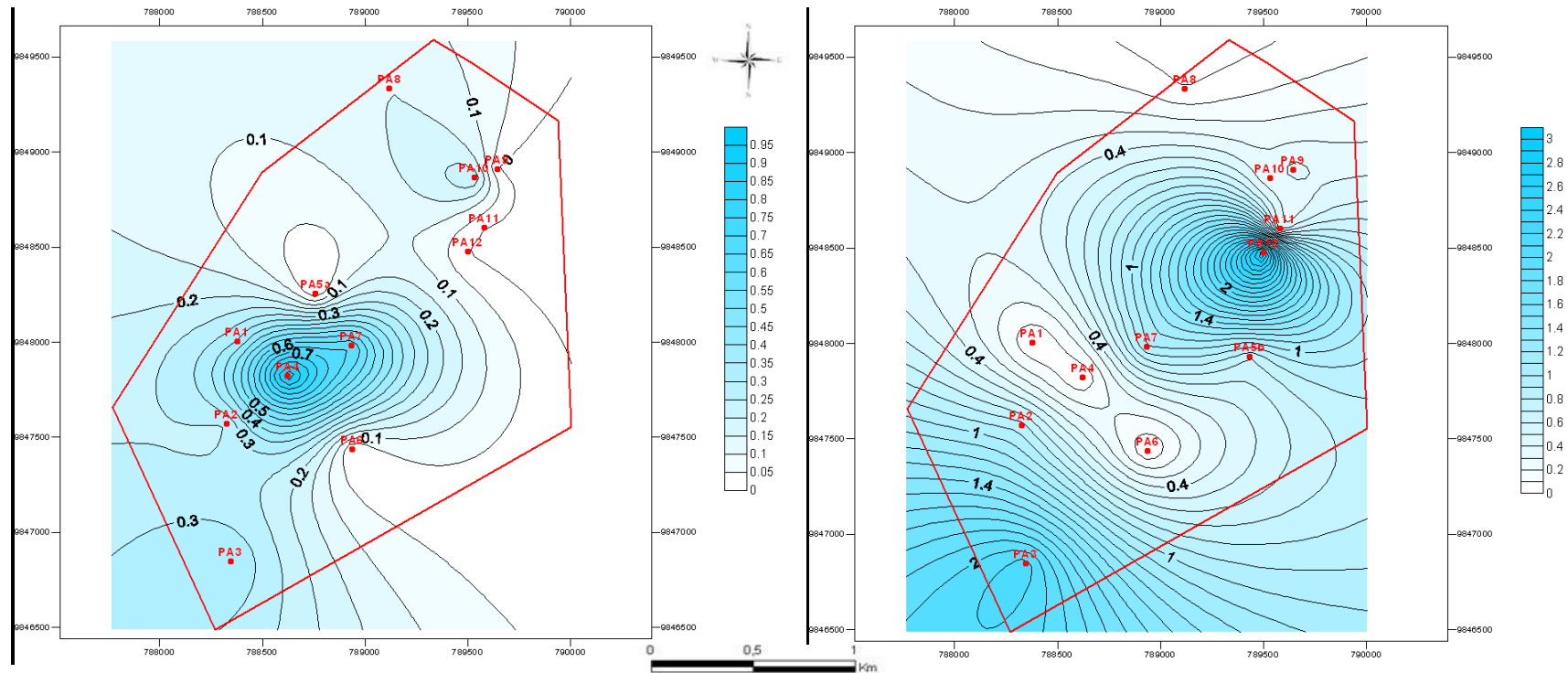
A informação sobre a quantidade do O.C. é útil para definir alterações da qualidade da água, além de indicar o desenvolvimento de microorganismos nas unidades de tratamento.

Figura 18: Diagrama de valores de Oxigênio Consumido das amostras de água para os meses de novembro de 2010 e fevereiro de 2011 na área de estudo.



Os resultados de oxigênio consumido obtidos nas análises foram valores baixos para o período de estiagem e valores mais elevados para o período chuvoso, como mostrado na figura 18. Os valores obtidos vão de 0 a 0,9 mg/L CaCO₃ para o período de estiagem e de 0 a 3 mg/L CaCO₃ para o período chuvoso, com média de 0,24 e 0,74 respectivamente. Dessas, uma amostra (PA12) apresentou um valor anômalo de 3,05 mg/L CaCO₃. Esse valor pode ser resultante de um foco de contaminação local no mês de fevereiro.

Figura 19: Distribuição areal do Oxigênio Consumido (O.C.) para novembro (esquerda) e para fevereiro (direita) na área de estudo da Microbacia do Rio Maguariçu, Ananindeua-PA.



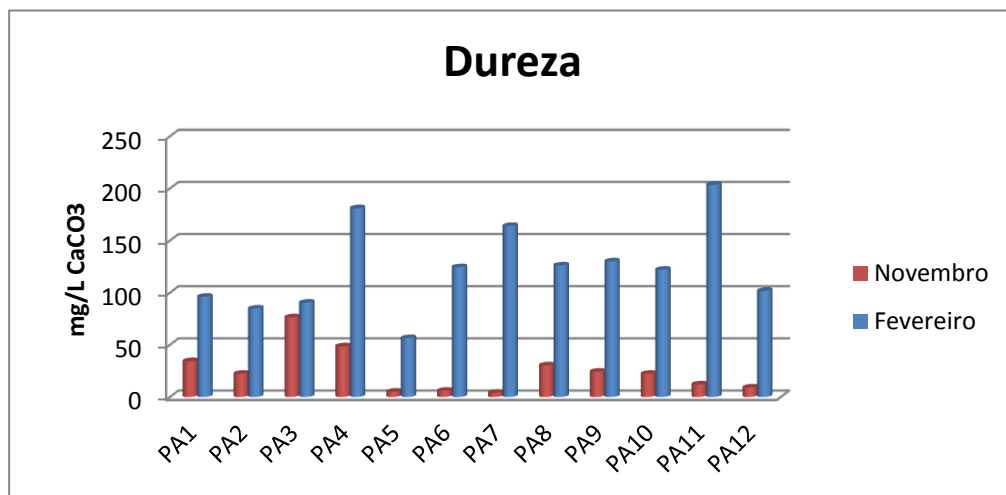
A distribuição dos valores de oxigênio consumido mostra uma relação com a matéria orgânica presente na área e esta, por sua vez, com os mapas de pH, implicando uma relação entre esses parâmetros. Para o período de estiagem têm-se um pico na porção central, enquanto no período chuvoso a mesma porção é caracterizada por baixos índices de O.C. e o pico é deslocado mais a nordeste, justapondo-se ao maior lago na área, o que é apoiado pela distribuição do pH na área. Se comparado com o mapa de oxigênio consumido (Figura 19) relacionado com a quantidade de matéria orgânica, se percebe uma distribuição contrária de valores, evidenciando que os teores de matéria orgânica são os principais responsáveis pela diminuição do pH das águas.

7.1.3. Dureza

Águas duras são aquelas que exigem consideráveis quantidades de sabão para produzir espuma e é devida à presença de cátions metálicos bivalentes. Os principais íons causadores de dureza são cálcio e magnésio tendo um papel secundário o zinco e o estrôncio (MATTA, 2002).

Dureza é um parâmetro característico da qualidade de águas de abastecimento industrial e doméstico sendo que para águas potáveis são admitidos valores máximos relativamente altos, típicos de águas duras ou muito duras. Segundo a Portaria n° 2914/11 do Ministério da Saúde o valor máximo permitido para águas destinadas ao consumo humano é de 500 mg CaCO₃/L.

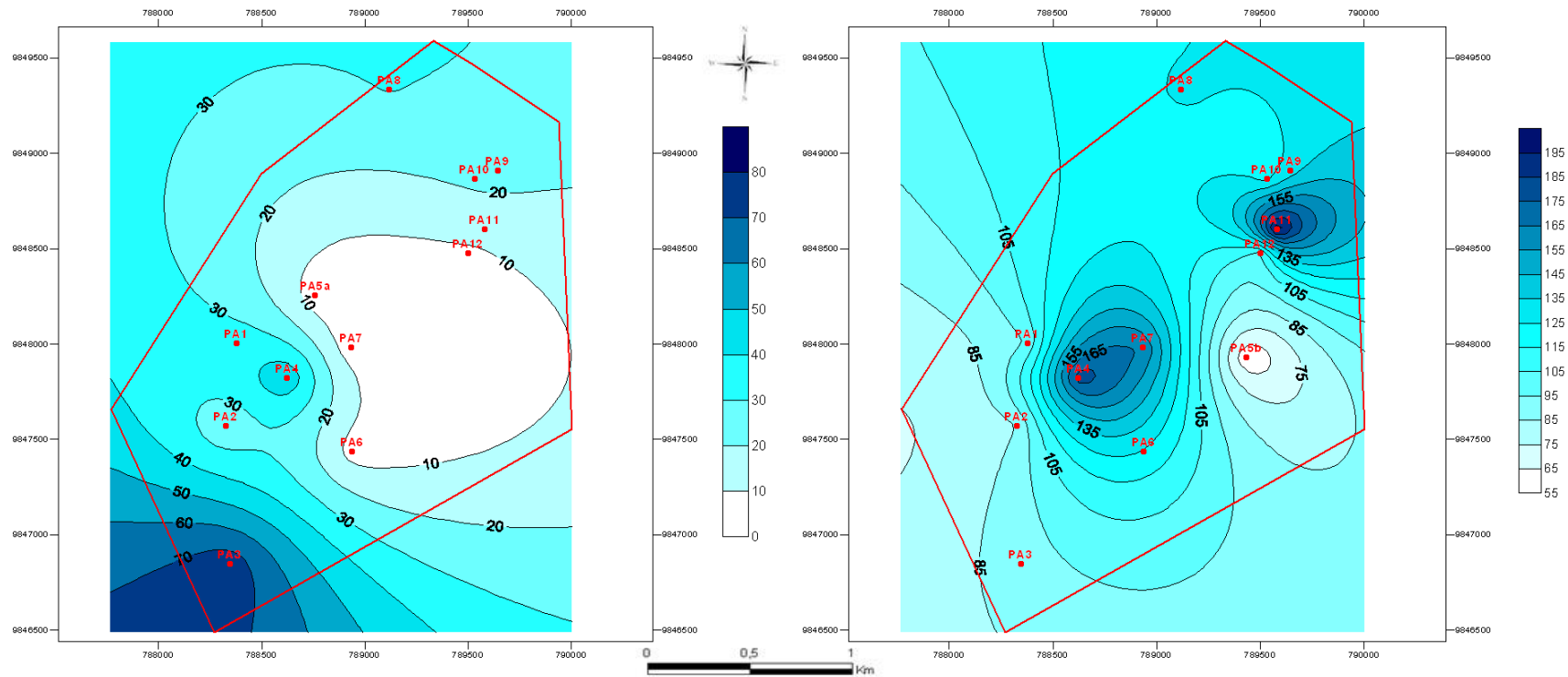
Figura 20: Diagrama de valores de Dureza das amostras de água para os meses de novembro de 2010 e fevereiro de 2011 na área de estudo.



Segundo Baumgarten e Pozza (2001), as águas podem ser classificadas de acordo com seu grau de dureza total que apresentam: de 0 a 75 mg/L CaCO₃ - branda; 75 a 150 mg/L CaCO₃ - moderadamente dura; 150 a 300 mg/L CaCO₃ - dura; e 300 ou mais mg/L CaCO₃ - extremamente dura.

Os valores de dureza (Figura 20) mostram variação de 4,05 a 76,41 mg/L CaCO₃ no período de estiagem e de 56,56 a 203,62 mg/L CaCO₃ no período chuvoso, com média de 24,59 e 123,54 mg/L CaCO₃ respectivamente. O gráfico mostra uma diferença evidente nas amostras em relação a dureza nos dois períodos, onde as amostras de novembro foram classificadas como brandas e as amostras de fevereiro foram classificadas como moderadamente duras.

Figura 21: Distribuição areal da Dureza para novembro (esquerda) e para fevereiro (direita) na área de estudo da Microbacia do Rio Maguariaçu, Ananindeua-PA.



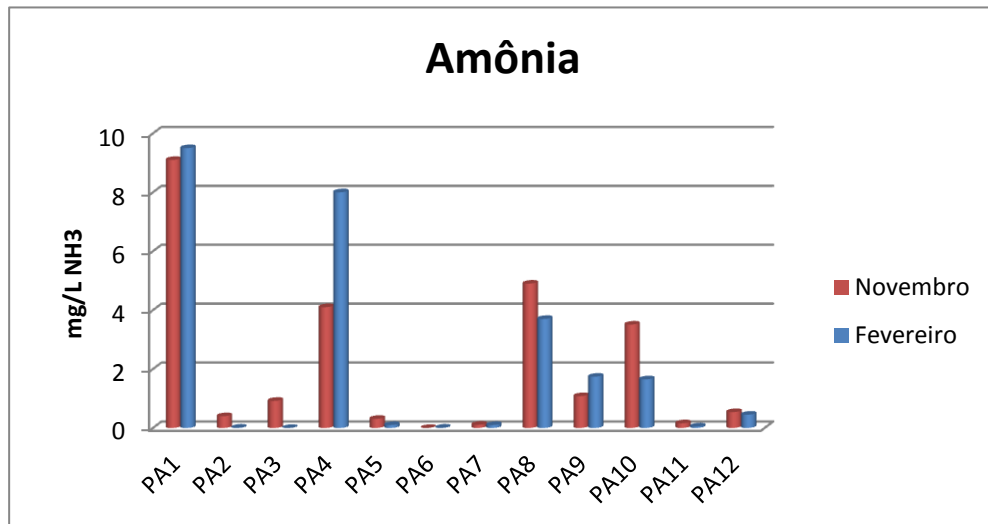
A figura 21 mostra a distribuição das curvas de isovalores de dureza na MRM, Ananindeua-PA. Se comparado com os mapas de distribuição, mais uma vez o pico do período de estiagem está a sudoeste da área e pico do período chuvoso está em acordo com a cabeceira do lago que há na área.

7.1.4. Amônia (NH₃):

É uma substância tóxica não persistente e não cumulativa e, sua concentração, que normalmente é baixa, não causa nenhum dano fisiológico aos seres humanos e animais. Ela é formada principalmente pela hidrólise da uréia e geralmente está presente em pequenas quantidades em águas subterrâneas porque as partículas e argilas do solo a adsorvem e não a liberam facilmente (BAUMGARTEN; POZZA, 2001).

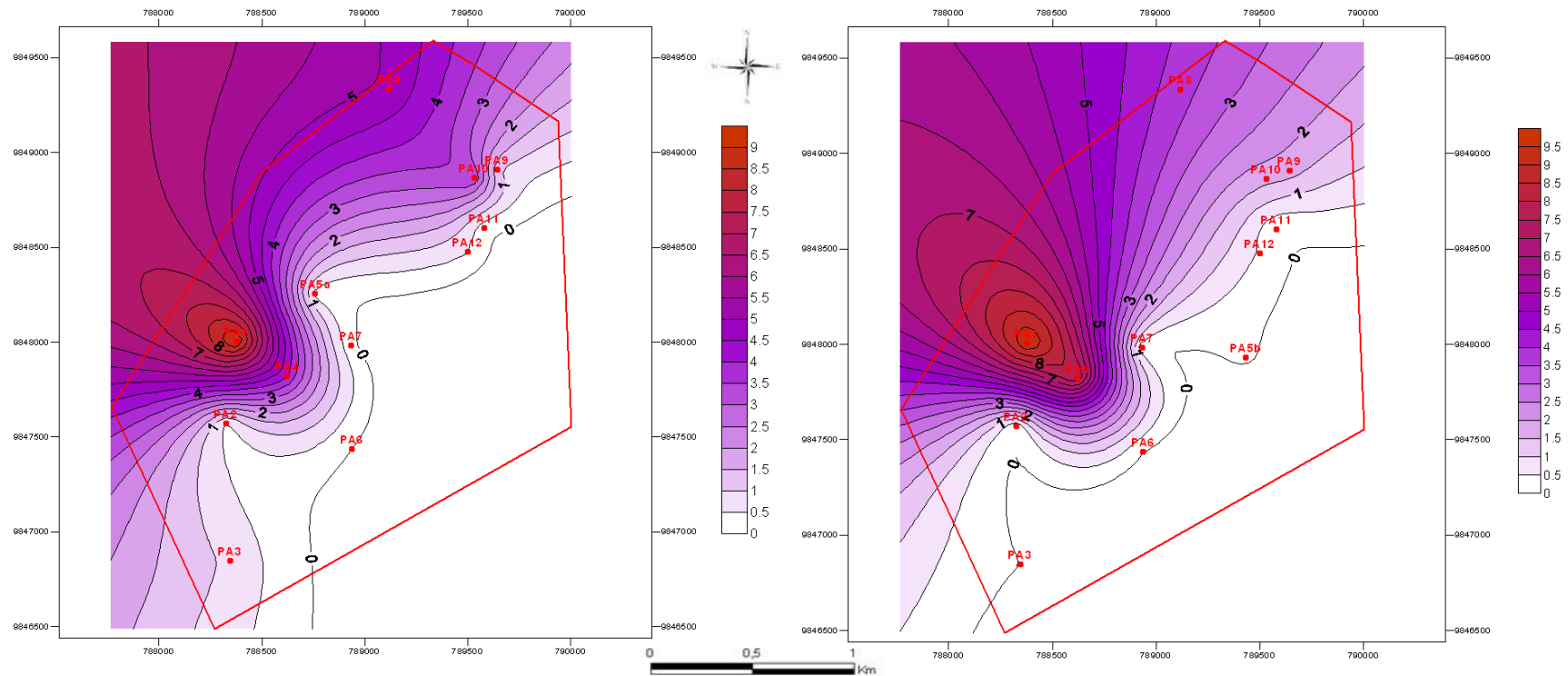
Em locais poluídos, no entanto, seu teor costuma ser alto. O caminho de decomposição das substâncias orgânicas nitrogenadas é chegar ao nitrato, passando primeiro pelo estágio de amônia, por isso, a presença desta substância indica uma poluição recente.

Figura 22: Diagrama de valores de Amônia das amostras de água para os meses de novembro de 2010 e fevereiro de 2011 na área de estudo.



Na área estudada, quantidades de amônia foram encontradas em todos os 12 poços analisados em pelo menos um período, principalmente no período chuvoso. Os valores obtidos são muito variáveis, desde 0 até 9,1 para novembro e desde 0 até 9,5 em fevereiro, com médias de 2 e 2,1 respectivamente. Como a Portaria n° 2914/11 do Ministério da Saúde estabelece um valor máximo de 1,5 mg/L de amônia para águas potáveis, 5 (cinco) dos poços analisados apresentaram valores maiores que esse, sendo provavelmente causados por contaminações locais. Os valores obtidos estão representados na figura 22.

Figura 23: Distribuição areal de Amônia para novembro (esquerda) e para fevereiro (direita) na área de estudo da Microbacia do Rio Maguariaçu, Ananindeua-PA.



Como amônia é um indicador de contaminação recente, as áreas mais avermelhadas do mapa, mostram os locais mais vulneráveis à contaminação na área de estudo da MRM. Vale destacar que o pico de concentração de amônia ficou marcado em uma única porção coincidente em ambos os mapas para os dois períodos. Além disso, se comparado com o mapa de fluxo (Figura 12), percebe-se uma tendência de maiores concentrações de amônia nas áreas onde ocorre a recarga de água.

7.1.5. Nitrato (NO^{-3}):

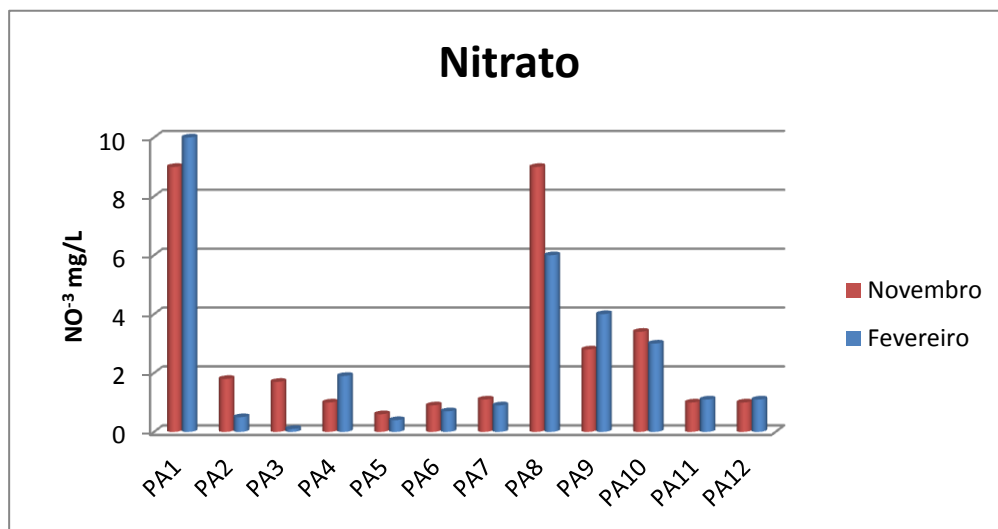
É a forma mais comum de nitrogênio encontrado nas águas. É atualmente um dos maiores indicativos de contaminação em função de que representa os estágios finais de decomposição da matéria orgânica.

Segundo Matta (2002), valores superiores a 5 mg/L em águas subterrâneas é sinal de uma possível contaminação causada por ação humana como fossas sépticas, depósito de lixo, resíduos animais, cemitérios, atividades agrícolas, etc.

Os valores de Nitrato (Figura 24) apresentaram variação de 0,6 a 9 mg/L no período de estiagem e de 0,1 a 10 mg/L no período chuvoso, com uma média de 2,7 e 2,4 mg/L, respectivamente. O padrão de potabilidade segundo a Portaria n° 2914/11 do Ministério da Saúde para Nitrato é de 10 mg NO^{-3} /L.

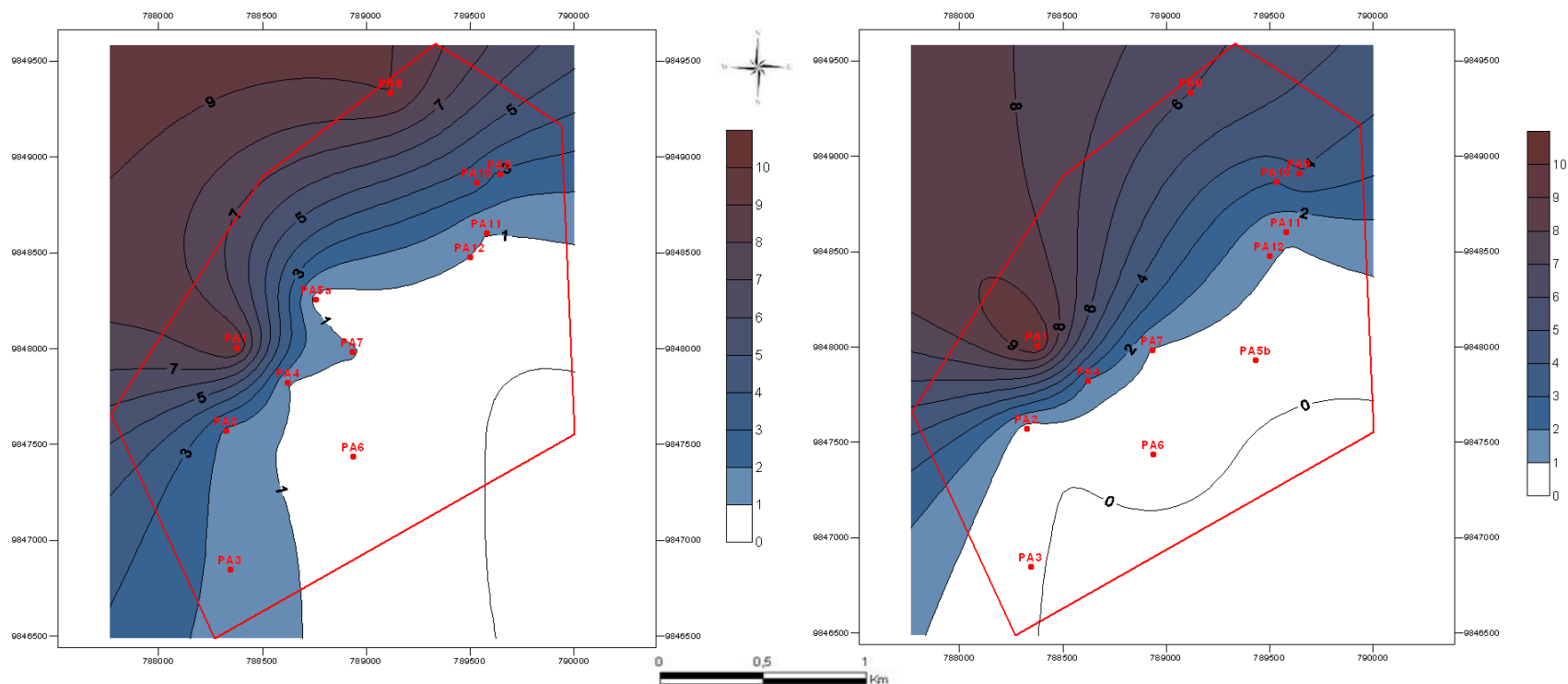
Assim, as águas com valores inferiores a 5 mg/L, no total 10 (dez) amostras, são, portanto, as amostras livres de contaminação; no entanto, as amostras PA1 e PA8 estão entre 5 e 10 mg/L, portanto, contaminadas, mas ainda própria para consumo. Assim sendo, as altas concentrações remetem à alta densidade demográfica que há principalmente no PA8.

Figura 24: Diagrama de valores de Nitrato das amostras de água para os meses de novembro de 2010 e fevereiro de 2011 na área de estudo.



Segundo Hill *et al*, (1973 apud MATTA, 2002), existem indícios de relação entre câncer gástrico e o consumo de águas com altos teores de nitrato.

Figura 25: Distribuição areal de Nitrato para novembro (esquerda) e para fevereiro (direita) na área de estudo da Microbacia do Rio Maguariçu, Ananindeua-PA.



O mapa de distribuição areal das curvas de nitrato (figura 25), se comparado ao de amônia, apresenta tendências bem similares entre os parâmetros analisados. Essa configuração mostra que a contaminação por nitrato é pouco antiga, provado pelo número de amostras contaminadas ser menor que às amostras contaminadas por amônia. Caso não seja tomada nenhuma providencia em relação aos teores de amônia na área, os índices de nitrato tendem a aumentar com o decorrer do tempo.

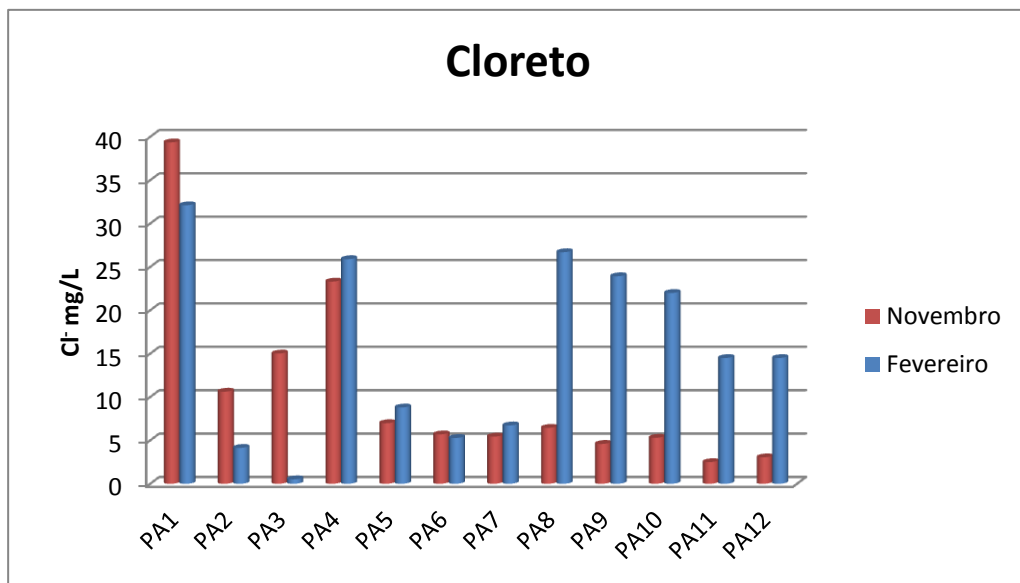
7.1.6. Cloreto (Cl⁻):

Altos teores de cloreto em águas subterrâneas são resultantes de ação antrópica como esgotos sanitários e resíduos industriais, uma vez que o contato que a água tem com as rochas não costuma influenciar nesse parâmetro (MATTA, 2002).

É um importante parâmetro a ser analisado em trabalhos de qualidade de água uma vez que influencia no sabor da água, torna-a mais dura e atrapalha o metabolismo de seres orgânicos. Além disso, gera corrosão de estruturas de metal e incrustação em tubos de revestimentos (MATTA, op.cit.).

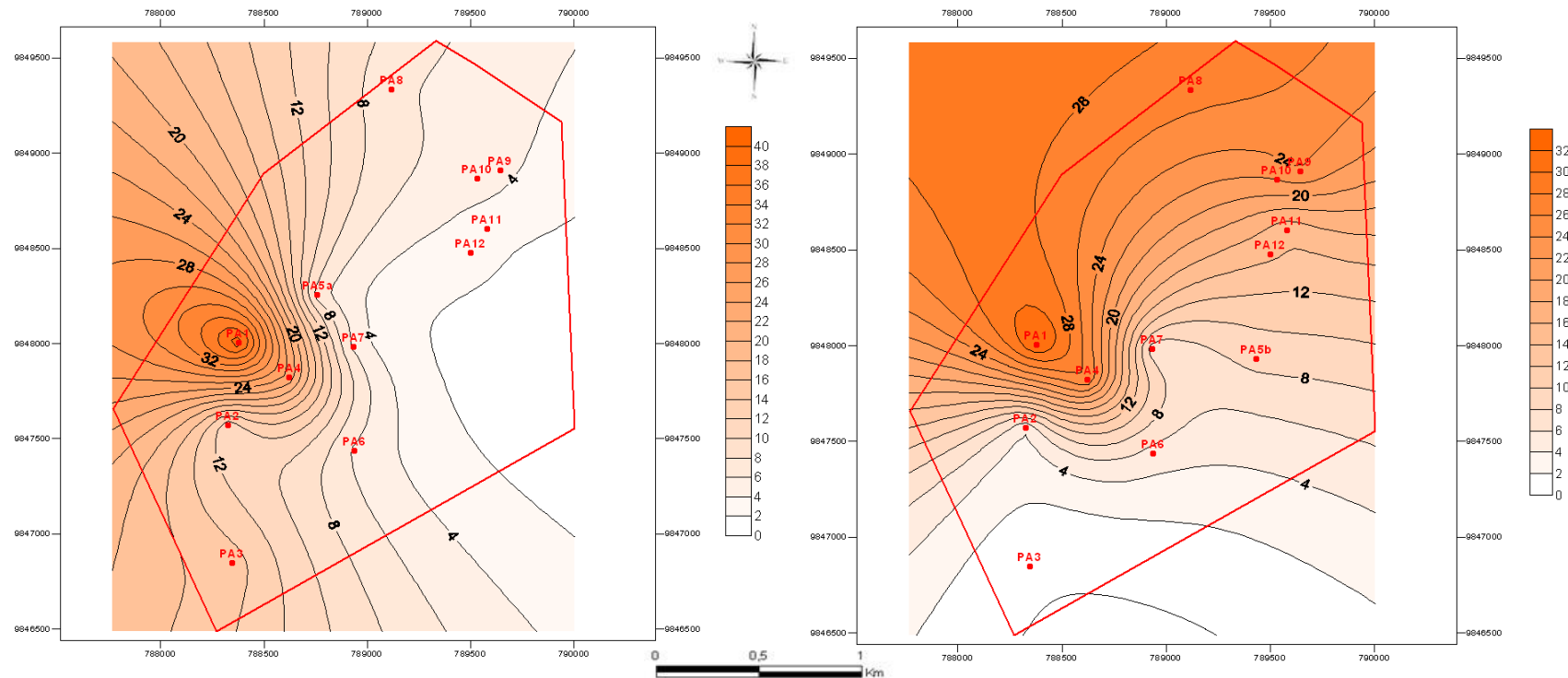
Segundo Santos (1997 apud MATTA, op.cit.), em águas subterrâneas, os teores de cloretos dificilmente ultrapassam 100mg/L. O valor máximo permitido pela Portaria n° 2914/11 do Ministério da Saúde para águas potáveis é de 250mg/L.

Figura 26: Diagrama de valores de Cloreto das amostras de água para os meses de novembro de 2010 e fevereiro de 2011 na área de estudo.



Os valores de cloreto (figura 26) das amostras variaram de 2,5 a 39,3 mg/L no período de estiagem e de 0,5 a 32,1 mg/L no período chuvoso, com média de 10,7 e 15,4 mg/L, respectivamente, apresentando valores dentro dos valores máximos permitidos (VMP) de potabilidade. A partir dos valores apresentados na figura 25 é possível constatar que para os valores de cloreto, no período chuvoso, há um aumento na maioria das amostras. A amostra PA1 apresenta novamente maior concentração localizada em uma escola próxima a uma fábrica de produtos alimentícios.

Figura 27: Distribuição areal de Cloreto para novembro (esquerda) e para fevereiro (direita) na área de estudo da Microbacia do Rio Maguariaçu, Ananindeua-PA.



Como nos resultados de amônia e nitrato, o maior valor de cloreto ficou por conta da amostra PA1, criando um pico de valor na porção central do mapa (Figura 27). No geral, os valores de cloreto aumentam para a porção noroeste da área.

O divisor de águas parece servir de barreira, concentrando o cloreto na porção oeste para o período de estiagem e na porção norte para o período chuvoso dos mapas, onde no período chuvoso as concentrações parecem sofrer influência da pluviosidade ou do fluxo subterrâneo. Mesmo assim, o valor máximo para o período chuvoso é um pouco menor em relação ao período de estiagem.

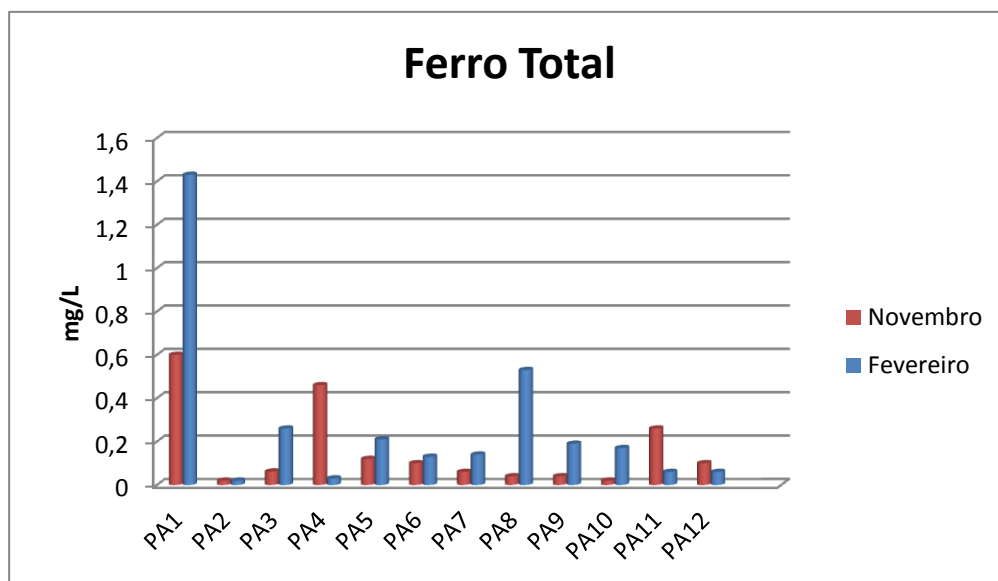
7.1.7. Ferro Total:

É um elemento quase sempre presente, particularmente, nas águas da região de Belém e Ananindeua, produzidas pelo sistema aquífero Barreiras. O alto teor de ferro nas águas de abastecimento público causa corrosão de tubulações, do revestimento e de filtros dos poços, afeta a saúde humana e oferece restrições para a utilização das águas na maioria das indústrias.

O valor limite da quantidade de ferro solúvel, segundo a Portaria nº 2914/11 do Ministério da Saúde é de 0,3 mg/L, em águas para consumo humano.

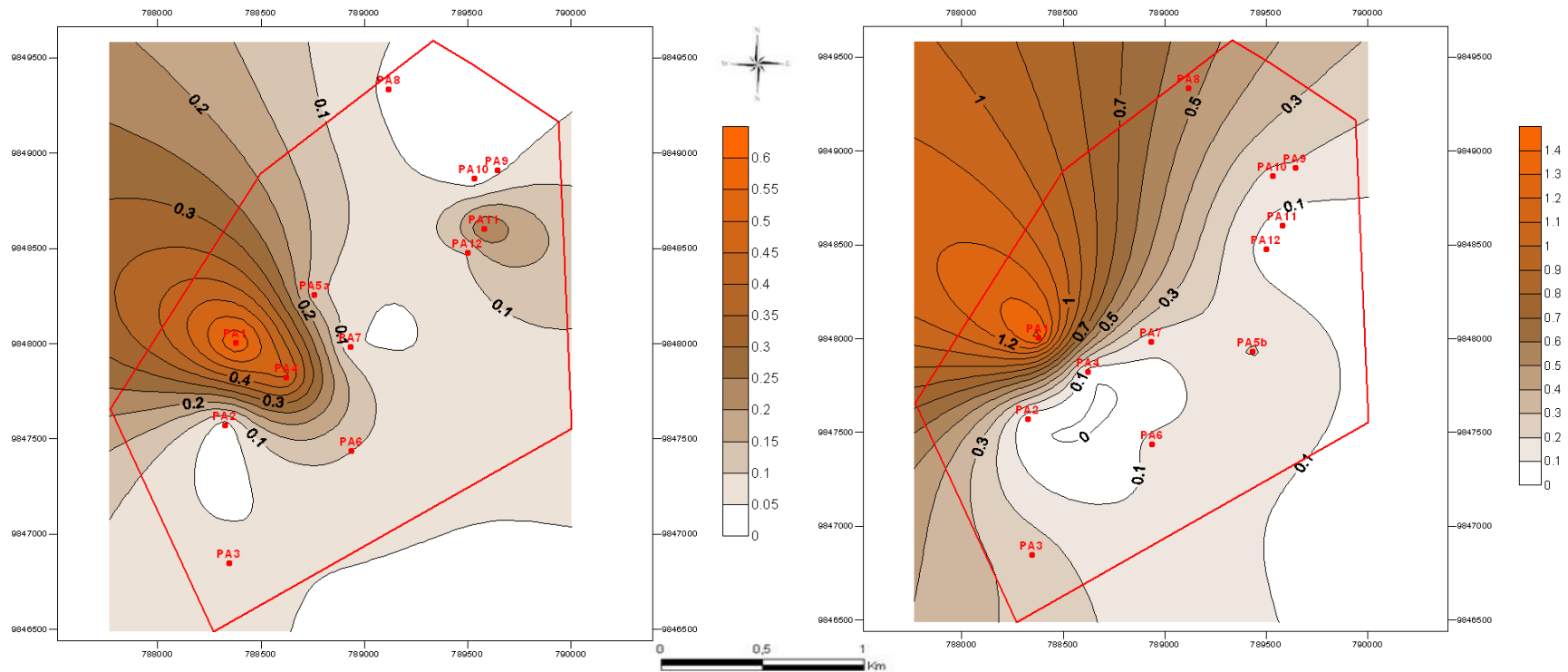
Os valores obtidos para as amostras (Figura 28) variaram desde 0,02 até 0,6 mg/L para novembro e desde 0,02 até 1,43 mg/L para fevereiro, com médias de 0,15 e 0,23 mg/L, respectivamente.

Figura 28: Diagrama de valores de Ferro Total das amostras de água para os meses de novembro de 2010 e fevereiro de 2011 na área de estudo.



Na área de estudo, a maioria das amostras mostraram valor menor frente ao valor máximo permitido. O maior valor obtido ficou por conta da amostra PA1, principalmente no período chuvoso, mais alto do que qualquer um dos outros pontos analisados, representando uma anomalia local.

Figura 29: Distribuição areal de Ferro Total para novembro (esquerda) e para fevereiro (direita) na área de estudo da Microbacia do Rio Maguariçu, Ananindeua-PA.



Analisando as isolinhas nos mapas, percebe-se que para o período de estiagem, o pico de ferro aparece localizado no PA1, enquanto para o período chuvoso, o pico de ferro dobra suas concentrações e a pluma se espalha mais a noroeste do mapa, como resultado da interação água-rocha que é maior no período chuvoso.

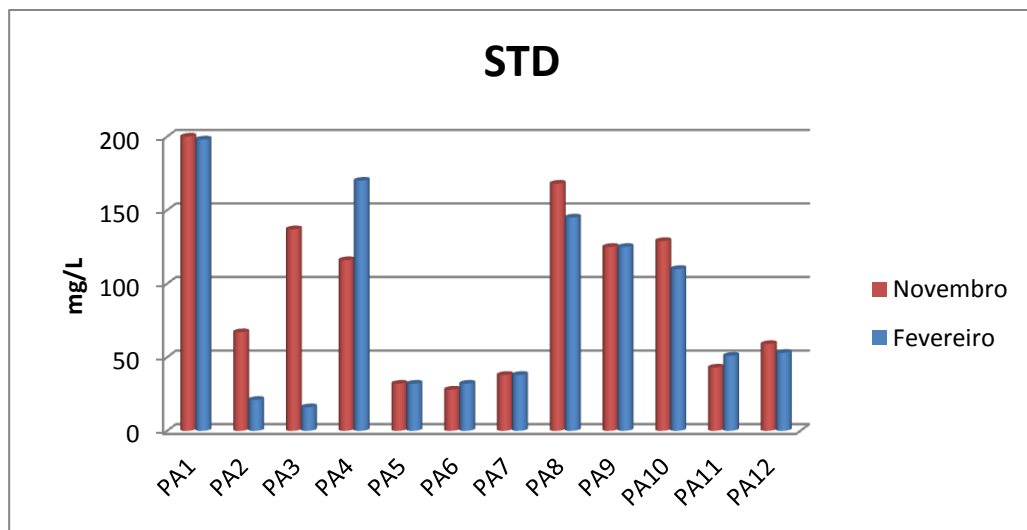
Esses teores altos de ferro parecem estar associados à variedade litológica das unidades aquíferas do sistema Barreiras e a ambientes redutores. Esse fato pode ser, inclusive, utilizado como critério prospectivo das águas do sistema Barreiras. Para as referidas camadas aquíferas se fará necessária a instalação de estações de tratamento de ferro (desferrização) para tornar as águas produzidas aptas ao consumo humano e industrial.

7.1.8. Sólidos Totais Dissolvidos (STD):

É a soma dos teores de todos os constituintes minerais presentes na água. A medida de Condutividade Elétrica, multiplicada por um fator que varia entre 0,55 e 0,75, fornece uma boa estimativa do STD de uma água subterrânea.

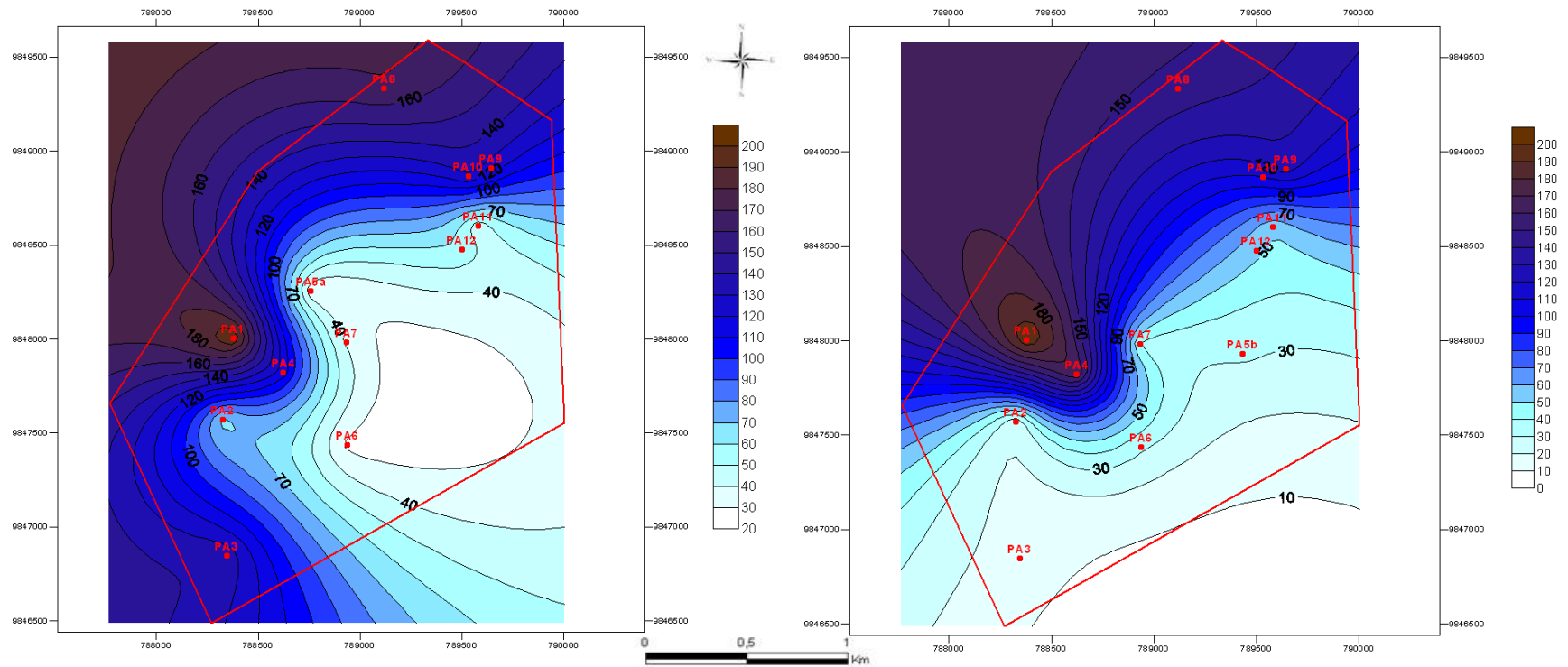
Os valores de STD obtidos (Figura 30) ficaram entre 28 e 200 mg/L para novembro e entre 16 e 198 mg/L para fevereiro, com médias de 95,1 e 82,5 mg/L, respectivamente.

Figura 30: Diagrama de valores de STD das amostras de água para os meses de novembro de 2010 e fevereiro de 2011 na área de estudo.



Como o valor máximo de STD admitido pela Portaria n°. 2914/11 do Ministério da Saúde em águas para consumo humano é de 1000 mg/L, e como todas as amostras têm valores inferiores a esse limite de potabilidade, não há restrição para o consumo humano dessas águas.

Figura 31: Distribuição areal de STD para novembro (esquerda) e para fevereiro (direita) na área de estudo da Microbacia do Rio Maguariaçu, Ananindeua-PA.



Novamente o período chuvoso faz a área de STD espalhar e o divisor de águas separa em duas áreas o mapa das curvas de isovalores. Mais ao norte a concentração aumenta até coincidir com o pico do período de estiagem, enquanto que mais ao sul a concentração diminui, tornando os mananciais e o lago da área concentrados em STD.

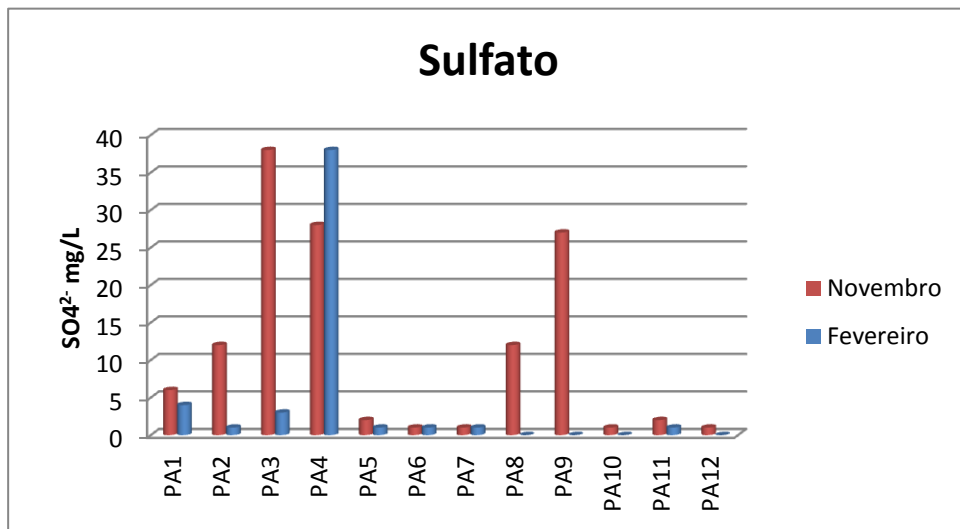
7.1.9. Sulfato (SO_4^{2-}):

Os íons sulfato são largamente distribuídos na natureza e “podem estar presentes em águas naturais e em minerais, tais como mirabilita, tenardita, barita entre outros” (APHA, 1985).

A presença de alto teor de sulfatos na água pode causar gosto amargo e provocar diarreia e desidratação tanto no homem quanto nos animais. Problemas de corrosão em encanamentos na rede coletora também são frequentes devido à presença de altos níveis de sulfatos na água.

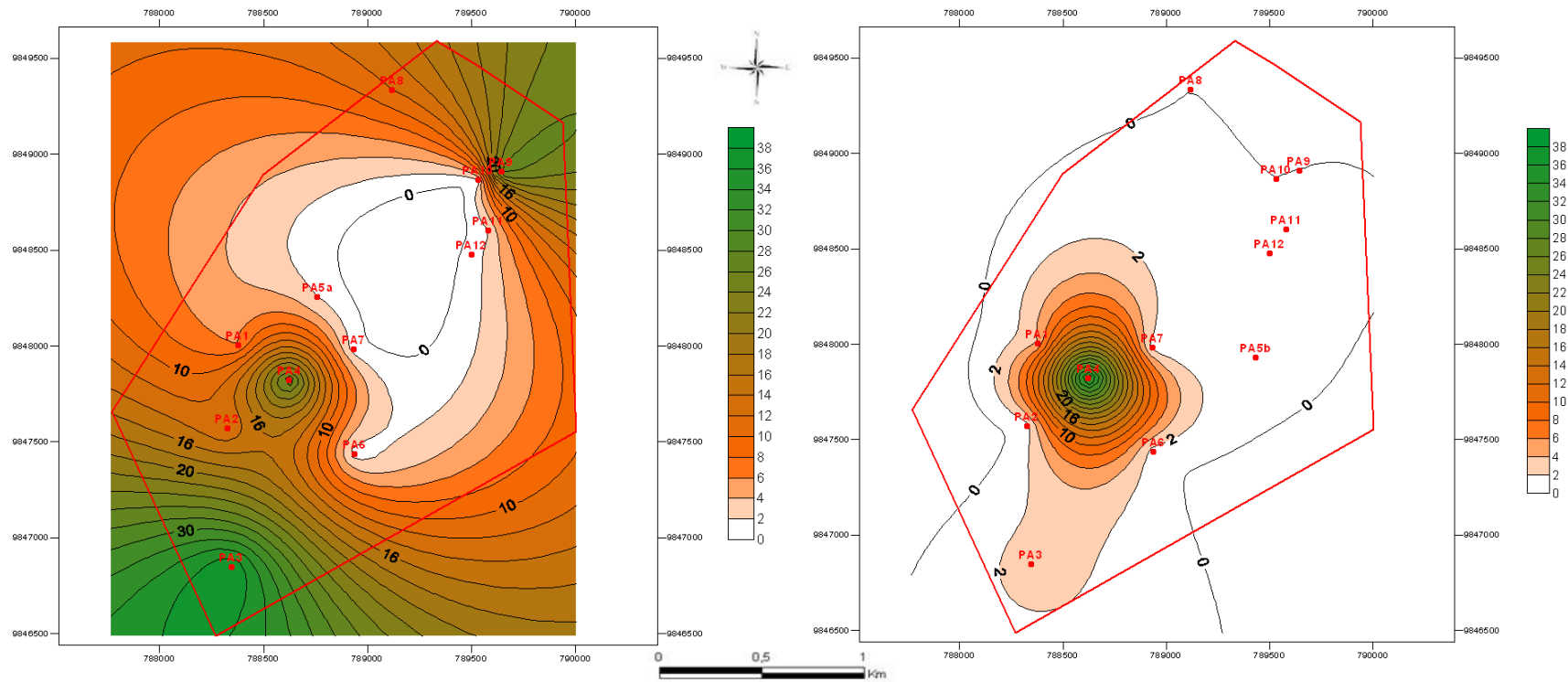
Os valores de sulfato obtidos (Figura 32) ficaram entre 1 e 38 mg/L para novembro e 0 e 38 mg/L para fevereiro, com médias de 10,9 e 4,1 mg/L, respectivamente.

Figura 32: Diagrama de valores de Sulfato das amostras de água para os meses de novembro de 2010 e fevereiro de 2011 na área de estudo.



Como o valor máximo para sulfato admitido pela Portaria n° 2914/11 do Ministério da Saúde em águas para consumo humano é de 250 mg/L, e como todas as amostras têm valores bem inferiores a esse limite de potabilidade, não há restrição para o consumo humano dessas águas. Destaque para a amostra PA4, principalmente no período chuvoso, onde ela apresenta uma anomalia contrária a todas as outras, localizado em um clube aquático.

Figura 33: Distribuição areal de Sulfato para novembro (esquerda) e para fevereiro (direita) na área de estudo da Microbacia do Rio Maguariaçu, Ananindeua-PA.



As maiores concentrações aparecem no período de estiagem como resultado da concentração por falta de fluxo subterrâneo que carree essa substancia. A fonte dos índices de sulfato na área parece vir do pico que é coincidente com o pico no período chuvoso, uma vez que para o período chuvoso, a porção central é a única fonte dessa substância.

7.1.10. Fósforo (PO_4^{3-}):

O teor de nutrientes inorgânicos dissolvidos na água é de grande importância, principalmente para o desenvolvimento do fitoplâncton (algas), porém em grande quantidade pode provocar a eutrofização do ambiente (proliferação de algas) prejudicando o ambiente (entrada de luz) e causando odor e gosto ruim na água devido a toxinas liberadas pelas algas que morrem.

A presença de fósforo na água indica que este ambiente recebe carga de esgoto doméstico, uma vez que o fósforo é encontrado em detergentes e sabão em pó.

Como a Portaria nº 2914/11 do Ministério da Saúde não diz respeito sobre o VMP para o fósforo, faz-se uso aqui da Resolução Conama nº 357/05 para águas de classe 2: as quais são destinadas ao abastecimento para consumo humano após tratamento convencional, a proteção das comunidades aquáticas, a recreação de contato primário, a atividade de pesca, a irrigação de hortaliças e plantas frutíferas que são consumidas cruas. O VMP para o fósforo é de 0,025 mg/L.

Os valores de Fósforo obtidos (Figura 34) ficaram entre 0 e 0,32 mg/L para novembro e 0,01 e 0,15 mg/L para fevereiro, com médias de 0,03 e 0,05 mg/L, respectivamente.

Figura 34: Diagrama de valores de Fósforo das amostras de água para os meses de novembro de 2010 e fevereiro de 2011 na área de estudo.

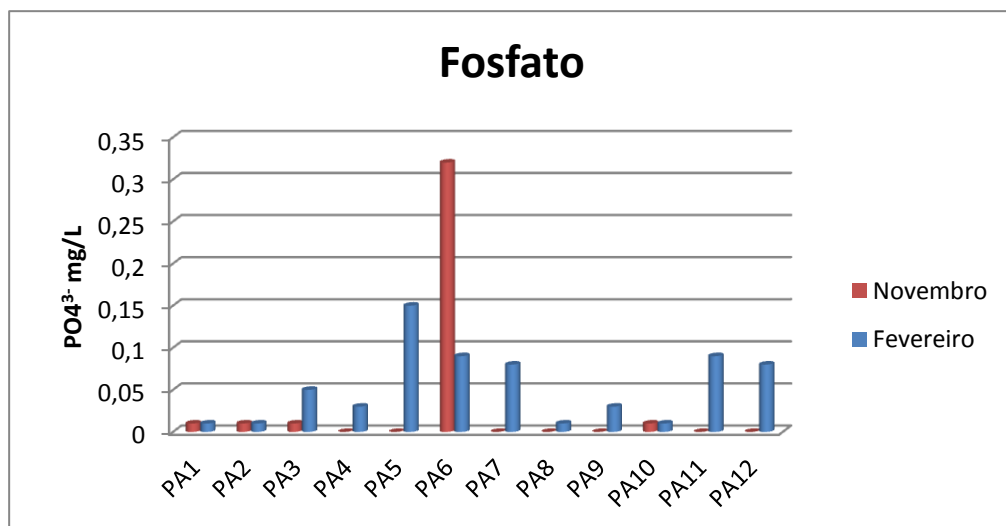
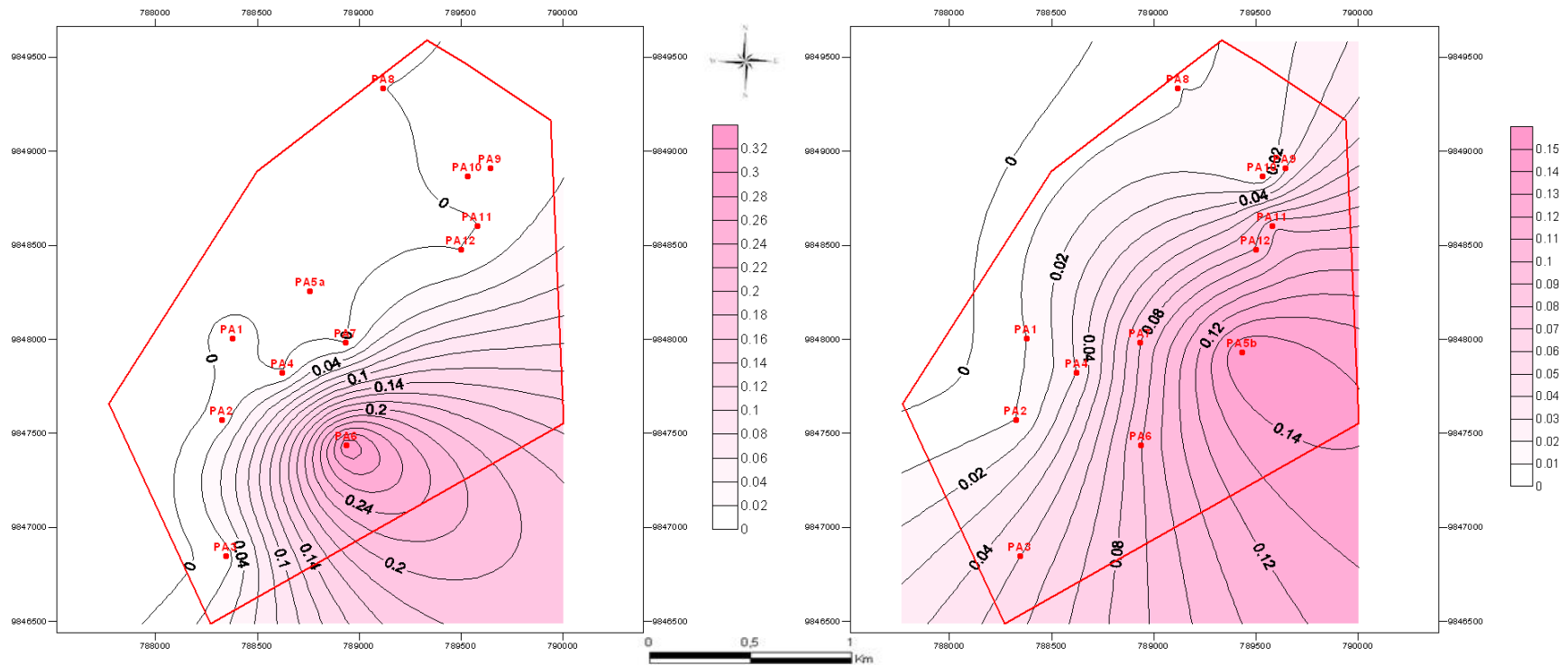


Figura 35: Distribuição areal de Fosfato para novembro (esquerda) e para fevereiro (direita) na área de estudo da Microbacia do Rio Maguariçu, Ananindeua-PA.



A distribuição areal do fosfato se comporta de maneira bem diferente em relação a todos os outros parâmetros analisados. As concentrações tendem a aumentar para sudeste do mapa e não têm nenhuma relação com os mananciais ou mesmo o lago existente na área. No entanto, as altas concentrações se dão no período de estiagem, o que vem sendo constatado na maioria dos parâmetros analisados.

7.1.11. Condutividade Elétrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$):

A condutividade elétrica é a facilidade da água de conduzir corrente elétrica. Está relacionado com a presença de cátions e ânions, provindo de sais dissolvidos na água. É um parâmetro importante na análise de águas subterrâneas, pois mede o grau de mineralização das águas que, por sua vez, está diretamente associado aos padrões de potabilidade ao consumo humano (MATTA, 2002).

Esse parâmetro tem uma relação direta com a temperatura, pois quanto maior a temperatura, mais alta será os valores de condutividade elétrica. Nesse trabalho se adotou os valores de condutividade correspondentes à temperatura ambiente (25°C).

Os valores obtidos são mostrados na figura 36 e mostram uma variação de 58 a 432 $\mu\text{S}/\text{cm}$ para novembro e de 34 a 426 $\mu\text{S}/\text{cm}$, com uma média de 204,3 e 172,5 $\mu\text{S}/\text{cm}$, respectivamente. Os valores mais altos ficam por conta dos poços PA1, PA4 e PA8, assim como em outros parâmetros. Por esses valores, pode-se relacionar a condutividade elétrica, na área estudada como diretamente relacionada com os íons amônia e cloreto.

Figura 36: Diagrama de valores de Condutividade Elétrica das amostras de água para os meses de novembro de 2010 e fevereiro de 2011 na área de estudo.

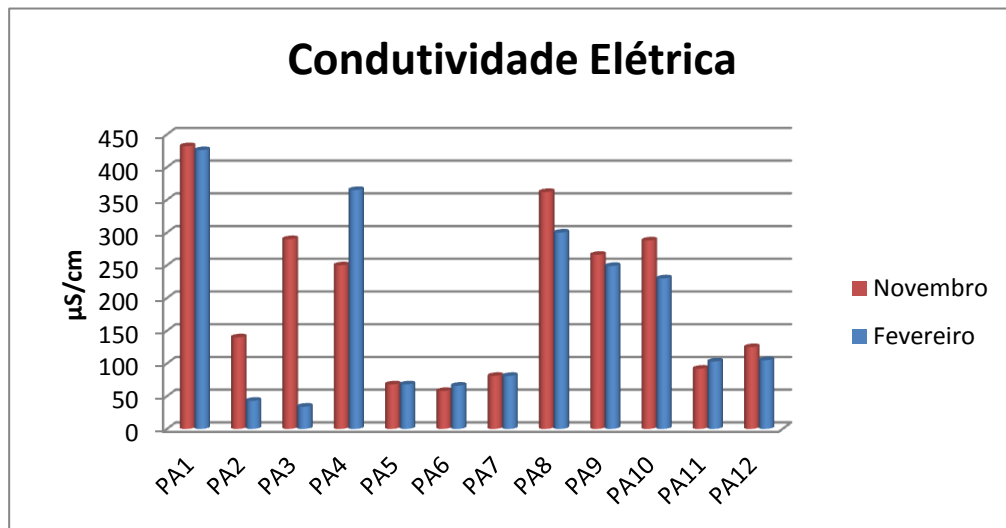
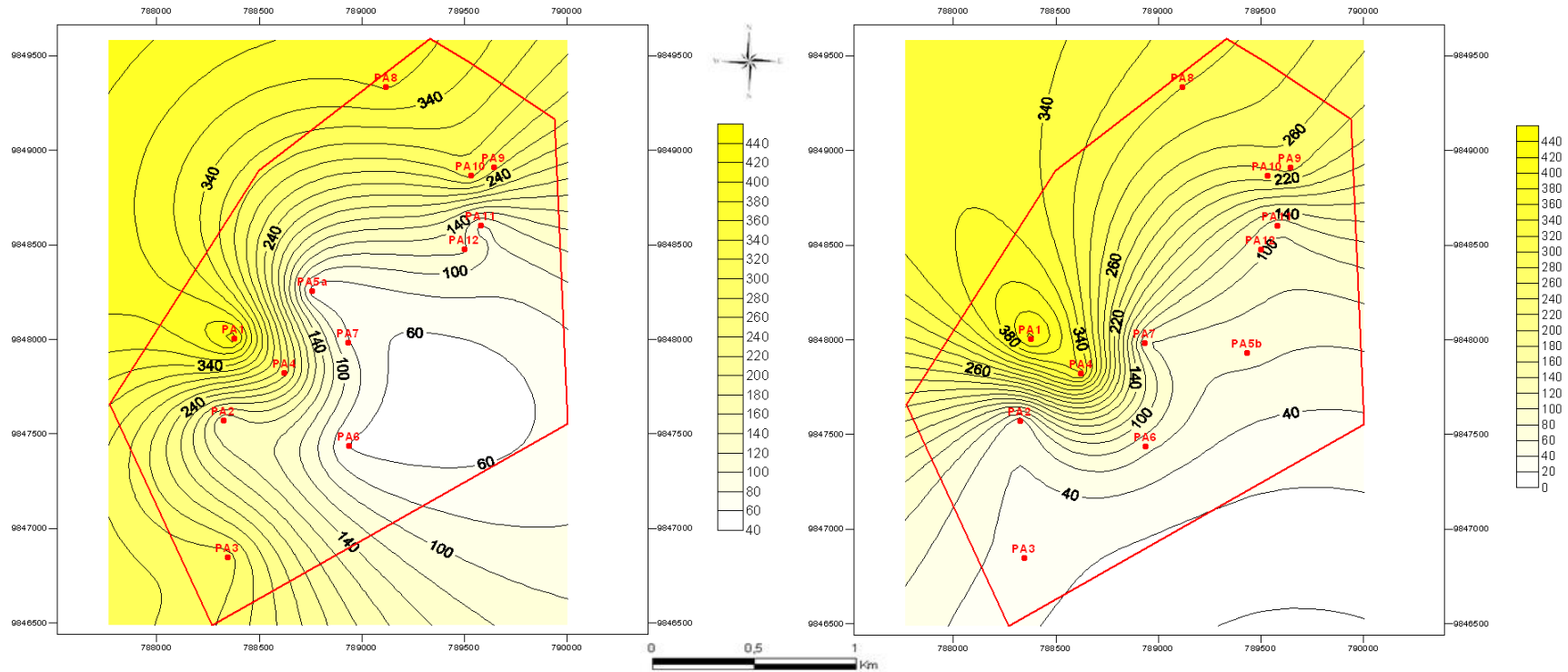


Figura 37: Distribuição areal de Condutividade Elétrica para novembro (esquerda) e fevereiro (direita) na área de estudo da Microbacia do Rio Maguariçu, Ananindeua-PA.



No entanto, ao se analisar o mapa de distribuição areal dos valores de condutividade, o mesmo apresenta certa semelhança no padrão com os demais parâmetros, apresentando apenas um pico de concentração. Como, no geral, os valores de condutividade aumentam para o noroeste da área, pode-se considerar uma tendência semelhante a do cloreto.

8. RESERVAS HÍDRICAS SUBTERRÂNEAS

Um dos fundamentos básicos mais importantes para a gestão integrada de recursos hídricos é a avaliação das reservas hídricas subterrâneas. Trata-se de uma abordagem controversa, em parte, pela discussão inerente às classificações dos tipos de reservas e suas diferentes nomenclaturas. Outra, pela diversidade de parâmetros que influenciam no cálculo das diferentes reservas – precipitação pluviométrica, área de ocorrência da recarga do aquífero, tipo de aquífero, características dimensionais e hidrodinâmicas do meio e qualidade das águas produzidas.

Por outro lado, o cálculo de reservas deve contemplar o uso integrado de recursos e sua associação com a ocupação do meio físico. O uso e proteção das águas devem ser também evidenciados.

De um modo geral, as reservas hídricas subterrâneas constituem as quantidades de água existentes nos sistemas aquíferos da área, que fazem parte de um ciclo hidrogeológico. No geral, reconhecem-se na literatura, os termos descritos a seguir para a terminologia relacionada às reservas hídricas subterrâneas.

8.1. DEFINIÇÕES

8.1.1. Reservas Renováveis:

O termo se refere à quantidade de água submetida à pressão atmosférica armazenada pelo aquífero, relacionada a uma recarga sazonal. É o volume de água dos aquíferos possível de variação sazonal no ciclo hidrogeológico, entre os níveis de flutuação máximos e mínimos, sendo também denominada de Reservas Reguladoras.

8.1.2. Reservas Permanentes:

Refere-se às quantidades de água existentes no aquífero que não variam em função das variações sazonais. Trata-se da água permanentemente presente no aquífero localizando-se na zona saturada, abaixo do nível mínimo de oscilação da superfície da água no aquífero livre.

8.1.3. **Reservas Totais:**

É o conjunto formado pela reserva permanente e reguladora. Representa a totalidade de água presente no aquífero.

8.1.4. **Reservas de Exploração:**

Refere-se à quantidade máxima de água que pode ser retirada de um aquífero sem causar qualquer prejuízo ao manancial. Constituem as reservas de exploração reservas reguladoras e uma parte das reservas permanentes.

8.1.5. **Potencialidade:**

Refere-se ao volume de água utilizável anualmente. Pode incluir uma parcela das reservas permanentes, desde que explorada durante um determinado período de tempo, com descarga constante.

8.1.6. **Disponibilidade:**

Refere-se ao volume de água que pode ser extraído de um aquífero, sem que se corra o risco da exaustão do sistema aquífero (CAVALCANTE, 1998).

Segundo Matta (2002) as mais utilizadas para as análises integradas dos recursos hídricos subterrâneos são as reservas renováveis (ou reguladoras) e as reservas permanentes.

O conceito de reservas permanentes envolve as águas dentro do aquífero sujeitas à movimentação gradual, desde as zonas de recarga até as zonas de descarga, conectadas pelas chamadas zonas de trânsito.

8.2. CÁLCULO DAS RESERVAS

Na área estudada os volumes de água acumulada nas unidades aquíferas representam as reservas e podem ser avaliadas de várias maneiras. Serão calculadas as reservas renováveis, permanentes, totais e os recursos exploráveis.

8.2.1. Reservas Renováveis (RR):

As reservas renováveis podem ser calculadas de várias maneiras, porém, como na região de Ananindeua não existem dados sobre fluxo de base e dados para a construção de hidrogramas de escoamento superficial para a rede de drenagem foi escolhido o método mais adequado aos dados disponíveis, a seguir:

- Cálculo através de método volumétrico, tomando-se por base a variação dos níveis de água nos aquíferos livres. É utilizada a expressão I.

$$\mathbf{RR = A \cdot \Delta h \cdot \eta_e, \text{ onde:}}$$

A= área de ocorrência do aquífero (L²);

Δh = variação do nível d'água (L);

η_e = porosidade efetiva (adimensional)

Expressão **I**

Esse método se amostrou mais apropriado para as características físicas do sistema aquífero da área estudada e será aqui utilizado. Em função das condições existentes, será aplicado somente para os sistemas aquíferos Barreiras, Pós-Barreiras e Aluviões.

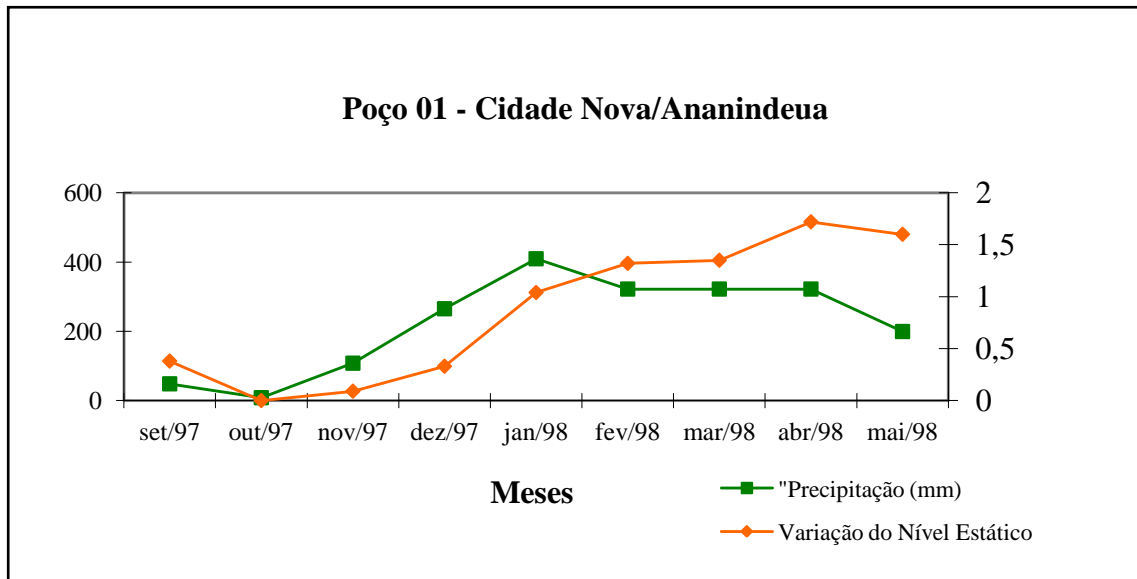
- Sistemas Barreiras – Pós-Barreiras – Aluviões

As unidades aquíferas supracitadas apresentam semelhanças hidráulicas e em razão disso serão aqui tratadas em conjunto. O aquífero Barreiras possui área de 28 km², o Pós-Barreiras de 255 km² e Aluviões de 112 km². A área total obtida foi de 395 km² segundo Matta (2002). A área de estudo possui apenas 4,13 km² e será a área utilizada para o cálculo de reserva.

Considerando-se uma precipitação pluviométrica média anual de 2.745 mm, o volume precipitado sobre a área do sistema Barreiras – Pós-Barreiras – Aluviões é de 1.085 milhões de m³/ano.

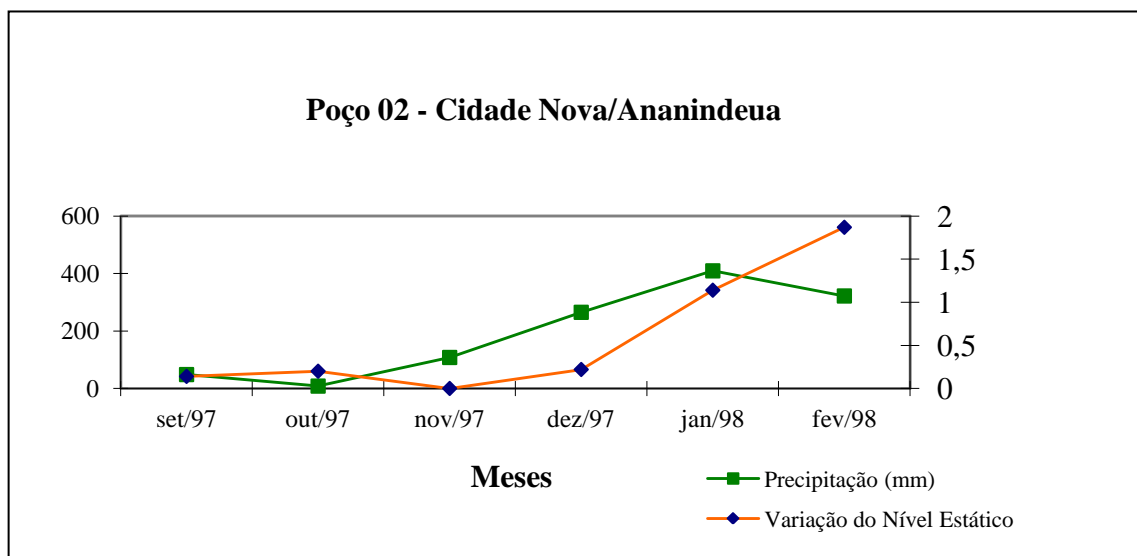
Segundo Matta (2002) a avaliação do valor médio da variação do nível d'água (Δh) foi realizada com os poços de monitoramento, dos quais dois servirão para esse trabalho, pois tiveram seus níveis de água medidos durante um período de tempo que variou entre 6 a 9 meses do ciclo hidrológico. As Figuras 38 e 39 mostram os gráficos para as variações dos níveis de água nos poços monitorados.

Figura 38: Variação nos níveis de água do poço 01.



Fonte: Matta (2002).

Figura 39: Variação nos níveis de água do poço 02.



Fonte: Matta (op.cit.).

A média de variação nos poços foi de 1,8 m, que será o valor a ser utilizado no cálculo da reserva renovável.

Com relação à porosidade efetiva, Fetter (1980) apresenta estimativas relativas aos clásticos, com as areias finas mostrando valores de 10 a 28% e as areias médias entre 15 e 32%.

Uma vez que os sedimentos arenosos deste sistema aquífero são impuros, resultado da drenagem de sedimentos clásticos amazônicos resolveu-se reduzir a porosidade efetiva para 10%, que será o valor utilizado para o cálculo das reservas.

Assim, utilizando a **Expressão I**, onde $A = 4,13 \text{ Km}^2$, $\Delta h = 1,8\text{m}$ e $\eta_e = 10\%$, obtém-se **uma reserva renovável de 0,74 milhões de m³/ano**.

8.2.2. Reservas Permanentes (RP):

Para o cálculo das reservas permanentes, o Sistema Pirabas foi considerado um aquífero confinado e o conjunto Barreiras – Pós-Barreiras – Aluviões foi considerado como aquífero livre.

➤ Sistema Barreiras – Pós-Barreiras – Aluviões

Para o aquífero livre calculou-se o Volume de Saturação (VS) pela **expressão II**:

VS = A. b. η_e , método volumétrico, onde:

A = Área de ocorrência do sistema aquífero (L^2)

b = espessura média saturada (L)

η_e = porosidade efetiva (adimensional)

Expressão II

A área de ocorrência dos sistemas aquíferos é a mesma utilizada para o cálculo das reservas renováveis, ou seja, $A = 4,13 \text{ Km}^2$.

Como esse sistema aquífero mostra variações nas espessuras de suas camadas arenosas procurou-se fazer uma somatória das espessuras das camadas arenosas e obteve-se uma média de espessura de 92m (MATTA, 2002). Esse valor encontra-se muito próximo de 100m, que é o valor utilizado pela CPRM (PEHRMB, 2001) para o mesmo sistema aquífero.

A espessura média saturada (b) foi, então, considerada 92m.

Considerou-se o mesmo valor de porosidade efetiva utilizado anteriormente, já que se trata da mesma unidade litológica: 10%.

Assim, utilizando-se a **expressão II**, onde $A = 4,13 \text{ Km}^2$; $b = 92\text{m}$; $\eta_e = 10\%$, obtém-se **VS = 38 milhões de m³/ano**.

Este volume de saturação corresponde ao volume de água que satura o meio poroso depois de retirada toda a água armazenada sob pressão, eliminando-se, também, o volume retido entre os grãos por força de adsorção.

➤ Sistema Aquífero Pirabas

Para o aquífero saturado, além do volume de saturação, necessita-se calcular o volume armazenado sob pressão (VP), através da **Expressão III**.

$$\mathbf{VP = A \cdot h \cdot S, \text{ onde:}}$$

A = área de confinamento do aquífero (L^2)

h = carga hidráulica média (L)

S = coeficiente de armazenamento (adimensional)

Expressão III

Para o Sistema Pirabas, utilizou-se a área de ocorrência de 4,13 Km², a carga hidráulica e o coeficiente de armazenamento de 280m e $1,01 \times 10^{-4}$, respectivamente (PEHRMB, 2001), resultando em um **VP = 0,12 milhões de m³/ano**.

Como não existem estimativas disponíveis para a porosidade efetiva do Sistema aquífero Pirabas, adotou-se, para efeito de cálculo, o valor de 8 %, representando uma redução de 20% em relação ao valor utilizado para o Sistema Aquífero Barreiras devido às condições hidrogeológicas do Sistema Aquífero Pirabas.

O Volume de Saturação (VS) para o Sistema Pirabas foi calculado utilizando-se a **expressão II**, onde $A = 4,13 \text{ Km}^2$; $b = 220\text{m}$ (PEHRMB, 2001); $\eta_e = 8 \%$, obtém-se **VS = 73 milhões de m³/ano**.

As Reservas Permanentes do Sistema Pirabas são obtidas pela soma **VS + VP = 73,12 milhões de m³/ano**.

As Reservas Permanentes totais dos sistemas aquíferos da área totalizam **111,12 milhões de m³/ano**, valor obtido pela soma das reservas do sistema livre (38 milhões de m³/ano) com o sistema confinado (73,12 milhões de m³/ano).

O Coeficiente de Realimentação constitui a relação entre a reserva reguladora e a reserva permanente. No caso estudado esse valor é de **$1,01 \times 10^{-2}$ ou 1,01%**. Esse número mostra o quanto a reserva permanente é superior à reserva reguladora que, por sua vez, realimenta os sistemas aquíferos da área.

8.2.3. Reservas Totais (RT):

As somatórias das Reservas Permanentes com as Renováveis de um sistema aquífero constituem suas Reservas Totais. Para a área estudada, as reservas totais são 111,12 milhões de m³/ano + 0,74 milhões de m³/ano = **111,86 milhões de m³/ano**.

8.2.4. Reservas Explotáveis (RE):

As técnicas de construção e bombeamento de poços influenciam na maneira de avaliar as reservas explotáveis, pois cada vez que uma técnica é aperfeiçoada faz-se necessária uma avaliação.

Duarte (1996 apud CAVALCANTE, 1998) define recursos explotáveis como “aqueles que estão disponíveis sem que haja comprometimento do aquífero nem do meio ambiente” e faz uma associação com as disponibilidades hídricas do sistema aquífero.

Em função das características socioeconômicas da área de Ananindeua, pode-se afirmar que a demanda hídrica está muito aquém do potencial de recurso explotável, mesmo considerando qualquer expectativa de crescimento populacional e de desenvolvimento econômico e social nesta área.

Somente a reserva reguladora, nas condições naturais atuais, se fosse totalmente captada, seria suficiente para abastecer toda a população atual na área de estudo mesmo extrapolando a sua área.

8.3. DISPONIBILIDADES HÍDRICAS

Segundo Ambroggi (1978 apud TANCREDI, 1996), mesmo que um sistema aquífero seja rebaixado continuamente durante um período de 10 anos, ou mais, sem recarga, o nível de água pode se recuperar completamente dentro de um ano, se o sistema receber a precipitação pluviométrica normal. Portanto, o conceito de que não se deve explotar as águas subterrâneas em volumes superiores à reserva renovável é, no mínimo, discutível.

9. PROPOSTA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA

Foi elaborada uma proposta de abastecimento de água para a Microbacia do Rio Maguariaçu levando em consideração todas as características dos sistemas aquíferos e a análise da qualidade das águas produzidas.

Com base nas características geológicas e hidrogeológicas dos sistemas aquíferos existentes na área de estudo, propõe-se um projeto alternativo de abastecimento de água, utilizando os mananciais subterrâneos a fim de suprir as necessidades da população envolvida.

Essa proposta tomou como referência o método do Projeto Estudos Hidrogeológicos da Região Metropolitana de Belém e Adjacências, executado pela Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais – CPRM (PEHRMB, 2001).

O objetivo principal da proposta alternativa é o abastecimento público, porém o mesmo procedimento pode ser utilizado para fins comerciais. Para tanto se devem levar em consideração dois aspectos principais: o ambiente hidrogeológico e a demanda de água necessária.

9.1. AMBIENTE HIDROGEOLÓGICO

No estudo hidrogeológico, observou-se as características geométricas dos principais sistemas aquíferos e sabe-se que os mesmos têm um grande potencial favorável ao armazenamento de água, constituindo um espesso pacote de sedimentos arenosos que possuem uma alta permeabilidade e que estão intercalados com pacotes argilosos.

Entre os sistemas estudados, o sistema hidrogeológico Pirabas Superior mostrou-se o mais adequado para a proposta de abastecimento. Suas águas são de melhores qualidades físico-químicas e vazões que superam consideravelmente o sistema Barreiras.

Segundo Matta (2002) o sistema Barreiras ainda apresenta teores excessivos de ferro em algumas camadas associados á altos teores de dureza e turbidez.

Apesar da unidade Barreiras se encontrar em menores profundidades, acarretando um custo menor na construção dos poços tubulares, aspectos qualitativos e quantitativos (vazão) da água devem prevalecer.

As melhores camadas produtoras de água no sistema Pirabas Superior se encontram no intervalo entre 80 a 180m, por isso a profundidade de cada poço deve ser da ordem de 150m.

9.2. DEMANDA DE ÁGUA

A captação subterrânea deve retirar do manancial quantidade suficiente de água a fim de atender o consumo, de forma racional e econômica, de acordo com as necessidades da população. Desse modo se faz necessário o conhecimento da vazão desejada que é função do consumo previsto.

Segundo os padrões de consumo estabelecidos pela ABNT, o consumo “per capita” médio de água é de 250 l/dia. Baseado no perfil sócio-econômico da população envolvida, considerado baixo, decidiu-se utilizar o consumo médio “per capita” de 200 l/dia.

Segundo IBGE (2006) a população atual na Microbacia do Rio Maguariçu está estimada em 48.392 habitantes para 2012. A taxa de crescimento populacional dessa microbacia é de 1,72 %/ano (Oliveira e Torres, 2011).

Como os poços tubulares têm vida útil em torno de 20 a 25 anos, a elaboração de um projeto de abastecimento para a área terá, necessariamente, que contemplar a população nela prevista para daqui a 25 anos, a qual, mantendo-se a taxa de crescimento atual, será em torno de 68.917 habitantes.

Assim, para uma população estimada em 68.917 habitantes, o consumo diário no âmbito da área estudada seria de:

População estimada: 68.917 habitantes	
Consumo per capita: 200 l/dia	
Consumo Diário de Água = 200 l/dia X 68.917	
	= 13.783.400 l/dia ou 13.783 m ³ /dia
+ 50% de Perda	= 13.783 + 6.891 = 20.674 m³/dia Expressão IV

Deve-se considerar ainda um percentual de perda na rede de distribuição, o qual no Brasil não é inferior a 50% (Geólogo Alexandre José Martins Figueiras¹).

¹ Informação verbal.

9.3. DADOS TÉCNICOS PARA A CONSTRUÇÃO DOS POÇOS TUBULARES

De acordo com as características geológicas e hidrogeológicas da área estudada e com base em trabalhos anteriores realizados no âmbito da Região Metropolitana de Belém, verifica-se que, para se conseguir a demanda de água necessária para suprir as necessidades diárias da população envolvida, seria necessária a construção de poços com as seguintes características:

- Profundidade = 270 m;
- Vazão média de 250 m³/h;
- Método de perfuração = rotativo com circulação direta de fluido de perfuração;
- O diâmetro da câmara de bombeamento = 14" com base localizada a 100m do solo;
- Revestimento = tubos de aço schedule e nas zonas com potenciais para a produção de água seriam utilizados filtros inoxidáveis.

Um poço, com as características descritas acima, construído por uma empresa especializada, custa no mercado de Belém R\$ 425.383,27 incluindo o sistema de bombeamento.

9.4. NÚMERO DE POÇOS NECESSÁRIOS PARA SUPRIR A DEMANDA DIÁRIA

Para suprir as necessidades diárias da população, partiu-se de um regime de bombeamento de 16 h/dia com uma produção estimada por poço de 250 m³/h. Neste cálculo, divide-se a demanda diária (20.674 m³/dia) pela produção diária do poço (250 m³/h x 16 h/dia), resultando em 5,17 poços.

Isso implica na construção de 5 poços profundos mais 1 poço extra, caso haja mal funcionamento com um dos 5 poços, no âmbito da área estudada. Assim, de acordo com o preço estimado no mercado de Belém, essa empreitada estaria orçada em torno de R\$ 2.552.299,60 como se demonstra a seguir:

$$Q = 250 \text{ m}^3/\text{h} \text{ (Vazão média por poço)}$$

Regime de Bombeamento: 16 h/dia

$$V = 250 \text{ m}^3/\text{dia} \times 16 \text{ h/dia} = \mathbf{4.000 \text{ m}^3/\text{dia}}, \text{ para um regime de bombeamento de 16h}$$

$$\text{Número de Poços} = 20.674 \text{ m}^3/\text{dia} \text{ (demanda diária)} / 4.000 \text{ m}^3/\text{dia} = 5,17 = \mathbf{5 \text{ poços}}$$

Valor Unitário Estimado = R\$ 425.383,27
Valor Total da Obra (5 poços + 1 extra) = R\$ 2.552.299,60
Expressão V

9.5. AVALIAÇÃO ECONÔMICA

Para a avaliação econômica, é necessário considerar alguns conceitos de matemática financeira que são aplicados em grandes e pequenos projetos, neste caso para construção de um poço.

Para a realização desse cálculo, foram levados em consideração alguns fatores que interferem no custo da captação subterrânea, como a aquisição do terreno, a construção do poço, a casa de bombas e equipamentos, aquisição de bombas, despesas com energia elétrica, despesas com produtos químicos, despesas de manutenção e despesas com pessoal.

Desse modo, R\$ 324.000,00 seria o custo aproximado de construção de um poço profundo em Ananindeua e o preço da bomba submersa, quadro elétrico de comando, cabo elétrico e mangueira edutora de R\$ 101.383,27 com uma vida útil de três anos (Geólogo Alexandre José Martins Figueiras ²) e um regime de bombeamento de 16 h/dia, sendo necessário, assim, 8 gerações de bombas para atender os 25 anos de vida útil do poço.

➤ Aquisição do terreno

Uma área de 50 m x 50 m será necessária para construção de um poço com profundidade de 200 m e que produza vazão, de pelo menos, 250 m³/h, construção do reservatório e de casa de bombas.

Segundo Koury (2006), para efeito de cálculo usaremos o preço médio de R\$ 400.000,00 como custo de um terreno com as características necessárias para a construção das instalações descritas na região de Ananindeua.

A conversão desse investimento em uma unidade equivalente é realizada através da expressão:

$Fa = i (1+i)^n / [(1+i)^n - 1], \quad \text{onde:}$
$Fa = \text{fator de anualização ou de reposição do capital}$

² Informação verbal

i = taxa de juro anual 5% - adotado pela Caixa Económica para os programas de abastecimento e saneamento.

n = vida útil provável de 25 anos (poço tubular profundo)

$$Fa = 0,05 (1+0,05)^{25} / [(1+0,05)^{25} - 1]$$

$$Fa = 0,07101$$

Expressão VI

O valor de amortização anual do capital para aquisição do terreno é:

$$At = R\$ 400.000,00 \times 0,07101 = R\$ 28.024,00$$

➤ Construção do poço

A construção do metro linear de um poço em rocha sedimentar e revestido com tubos de aço carbono e filtros de aço inox seria então de R\$ 1.200,00 (Geólogo Alexandre José Martins Figueiras³). Estão incluídas também nesse preço as despesas referentes à desinfecção, cimentação, laje de proteção, ensaios de vazão e perfilagens geofísicas.

Para efeito de apropriação de custo adotou-se um poço com profundidade de 270 m, para o qual teremos um custo estimado do poço de R\$ 324.000,00.

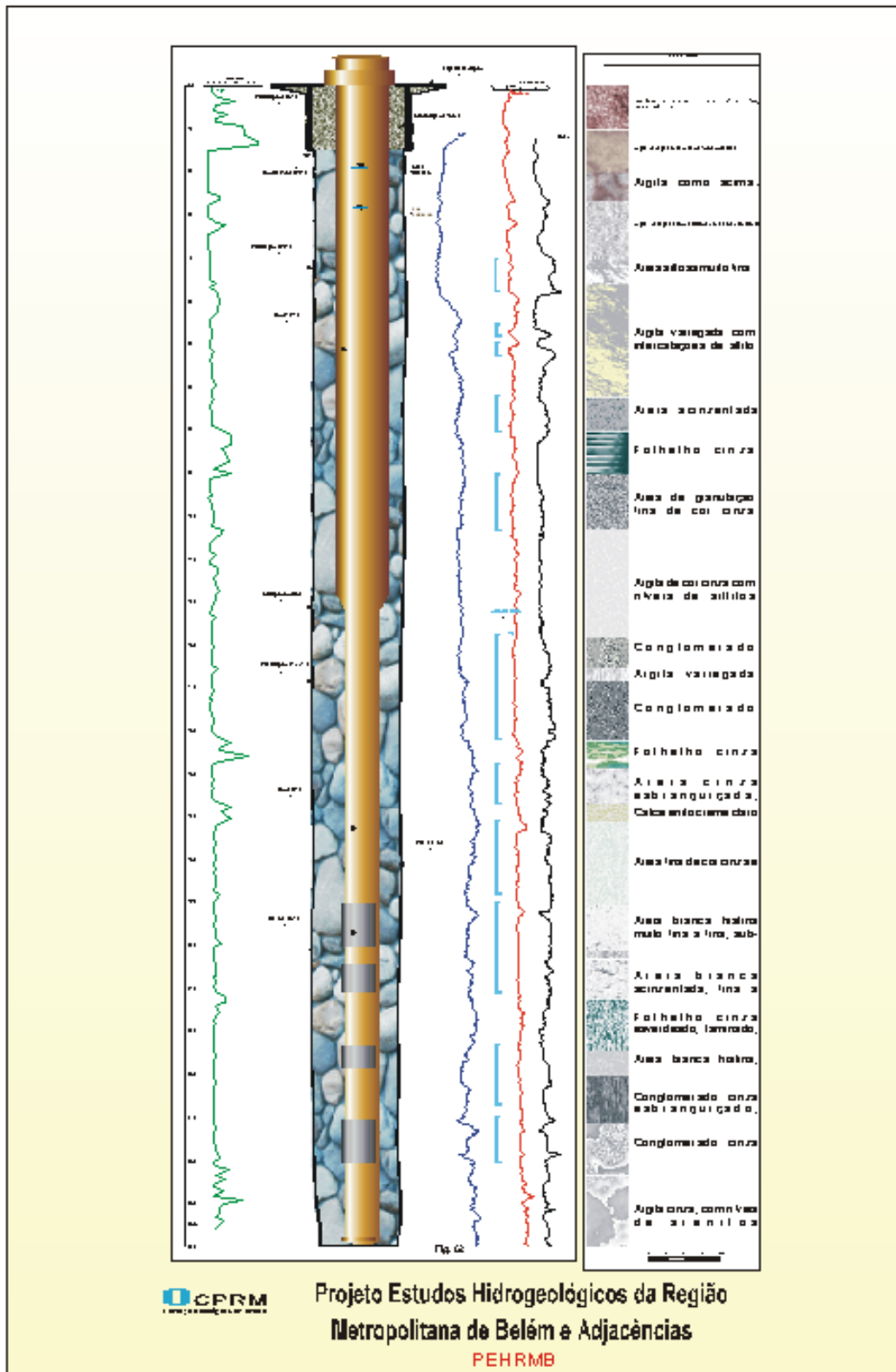
A taxa de anualização ou de reposição do capital é o mesmo da Expressão VI, portanto a amortização anual do capital para construção do poço é:

$$Ap = R\$ 324.000,00 \times 0,07101 = R\$ 23.007,24$$

A figura 40 apresenta um perfil de um poço construído em Icoaraci, distrito de Belém-PA que serve de modelo para os poços da proposta, mostrando a geologia da área, a profundidade, a locação dos filtros e os perfis geofísicos que ajudam na confecção de um poço desse porte.

³ Informação verbal

Figura 40: Perfil composto de um poço construído no conjunto habitacional Eduardo Angelim no distrito de Icoaraci, Belém-PA.



Fonte: PEHRMB (2001).

➤ **Casa de bombas e instalação de equipamentos**

Segundo Koury (2006) o custo é de:

Materiais = R\$ 42.814,74

Mão de obra = R\$ 16.851,00

Total = R\$ 59.665,74

A taxa de anualização ou de reposição do capital é o mesmo da Expressão VI, portanto a amortização anual é de:

$$\text{Acb} = \text{R\$ } 59.665,74 \times 0,07101 = \text{R\$ } 4.236,86$$

➤ **Bombas**

O custo inicial de uma bomba para produzir uma vazão de 250 m³/h e altura manométrica de 100 m é de R\$ 101.383,27 (Geólogo Alexandre José Martins Figueiras⁴), sendo destes, R\$ 37.136,21 para a bomba propriamente dita, R\$ 13.287,06 para o quadro de comando, R\$ 13.280,00 para o cabo elétrico (80m) e mais R\$ 37.680,00 para a mangueira edutora (70m). O cálculo do conjunto de bombas é realizado utilizando a seguinte fórmula:

$$\mathbf{R = P / (1+i)^n}, \text{ onde:}$$

R = Valor principal da geração de bombas

P = Custo inicial da bomba = R\$ 37.136,21

i = taxa de juro anual (12%)

n = período de duração em anos; n = 3 para a segunda bomba; n = 6 para a terceira; n = 9 para a quarta; n = 12 para a quinta; n = 15 para a sexta; n = 18 para a sétima; n = 21 para a oitava.

$$R_1 = \text{R\$ } 101.383,27 \quad (\text{primeira bomba} + \text{quadro de comando} + \text{cabo elétrico} + \text{mangueira edutora})$$

$$R_2 = \text{R\$ } 37.136,21 / (1+0,12)^3 \quad (\text{segunda bomba})$$

$$R_3 = \text{R\$ } 37.136,21 / (1+0,12)^6 \quad (\text{terceira bomba})$$

$$R_4 = \text{R\$ } 37.136,21 / (1+0,12)^9 \quad (\text{quarta bomba})$$

$$R_5 = \text{R\$ } 37.136,21 / (1+0,12)^{12} \quad (\text{quinta bomba})$$

$$R_6 = \text{R\$ } 37.136,21 / (1+0,12)^{15} \quad (\text{sexta bomba})$$

$$R_7 = \text{R\$ } 37.136,21 / (1+0,12)^{18} \quad (\text{sétima bomba})$$

$$R_8 = \text{R\$ } 37.136,21 / (1+0,12)^{21} \quad (\text{oitava bomba})$$

⁴ Informação verbal

Custo para o conjunto de bombas:

$$R_t = R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_5 + R_7 + R_8$$

$$R_t = 101.383,27 + 26.432,82 + 18.814,36 + 13.391,69 + 9.531,94 + 6.784,65 + 4.829,18 + 3.437,31$$

$$R_t = \text{R\$ } 184.605,22$$

Expressão VII

A taxa de anualização ou de reposição do capital é o mesmo da Expressão VI, portanto a amortização anual do capital para o conjunto de bombas é de:

$$A_b = \text{R\$ } 184.605,22 \times 0,07101 = \text{R\$ } 13.108,82$$

➤ Despesas com energia elétrica

Segundo Tancredi (1996) a expressão para o cálculo do custo anualizado da energia elétrica é dada pela expressão:

$$P = 15 Q \cdot H, \quad \text{onde:}$$

P = potência consumida em uma hora de bombeamento

H = altura manométrica da bomba

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

A potência de energia consumida em uma hora de bombeamento é:

$$P_{1h} = 15 \times 6,94 \times 10^{-2} \times 100 = 104,1 \text{ KW}$$

Como o regime de bombeamento adotado é de 16 horas por dia temos:

$$P_{16h} = 104,1 \times 16 = 1.665,6 \text{ KW}$$

Com tudo isso, podemos calcular o custo anual com energia elétrica para uma tarifa de R\$ 0,3699 por KW/h, incluindo os impostos (CELPA, 2011).

$$A_{e16h} = 1.665,6 \text{ KW} \times 0,3699 \times 365 \text{ dias}$$

$$A_{e16h} = \text{R\$ } 224.878,49$$

➤ Despesas com produtos químicos

Para o tratamento de água subterrânea faz-se uso da fluoretação. No cálculo adotou-se um regime de bombeamento de 16 horas por dia (TANCREDI, 1996).

O uso de $0,75 \text{ g/m}^3$ de fluorsilicato de sódio sob o regime imposto totaliza custo anual final com produto químico de **R\$ 2.896,27** (Koury, 2006).

➤ **Despesas com manutenção do poço e instalações**

Para o cálculo do custo de manutenção anual do poço e equipamento eletromecânico adotou-se 5% do preço de construção do poço (TANCREDI, 1996).

$$A_m = R\$ 324.000,00 \times 0,05 = R\$ 16.200,00$$

➤ **Despesas com funcionários**

Adotou-se para as despesas de execução dos serviços de gerenciamento e operação do sistema de captação, tratamento, reserva e distribuição de água subterrânea o valor de R\$ 93.600,00 por ano (Geólogo Alexandre José Martins Figueiras⁵).

$$A_f = R\$ 93.600,00$$

➤ **Produção anual de água**

O cálculo da produção anual de água em um regime de bombeamento de 16 horas por dia é dado pela expressão:

$$P_p = Q \cdot h, \quad \text{onde:}$$

P_p = produção anual prevista

Q = vazão da bomba (250 m³/h)

h = horas de funcionamento por ano (5.840 horas)

$$P_p = 250 \times 5.840 = 1.460.000 \text{ m}^3$$

➤ **Custo de produção**

O custo de produção do metro cúbico de água subterrânea é igual à somatória dos custos de amortização e despesas divididas pela produção anual do poço.

Para um regime de bombeamento de 16 horas por dia tem-se:

$$C_p = (A_t + A_p + A_{cb} + A_b + A_e + A_{pq} + A_m + A_f) / P_p$$

$$C_p = (28.404,00 + 23.007,24 + 4.236,86 + 13.108,82 + 224.878,49 + 2.896,27 + 16.200,00 + 93.600,00) / 1.460.000$$

$$C_p = R\$ 0,2783/\text{m}^3$$

Quando Koury (2006) realizou o cálculo de produção do m³ de água subterrânea, o valor encontrado foi de R\$ 0,1755. Com o aumento dos custos com material, pessoal e

⁵ Informação verbal

principalmente com energia, encargos tributários e demais tarifas, hoje o valor apresenta aumento de aproximadamente 58,5% em relação ao calculado para 2006.

Tabela 7: Composição do custo de produção do metro cúbico de água subterrânea para um regime de bombeamento de 16 horas por dia.

COMPONENTES	VALOR DESPESA ANUAL (R\$)	PARCELA (R\$)	%
AQUISIÇÃO DO TERRENO	28.404,00	0,0195	7,00
CONSTRUÇÃO DO POÇO	23.007,24	0,0158	5,68
CASA DE BOMBAS E EQUIPAMENTOS	4.236,86	0,0030	1,08
AQUISIÇÃO DAS BOMBAS	13.108,82	0,0089	3,20
DESPESAS COM ENERGIA ELÉTRICA	224.878,49	0,1540	55,34
DESPESAS COM PRODUTOS QUÍMICOS	2.896,27	0,0019	0,68
DESPESAS DE MANUTENÇÃO	16.200,00	0,0110	3,95
DESPESAS COM PESSOAL	93.600,00	0,0642	23,07
TOTAL	406.331,67	0,2783	100,00

➤ **Comparação de custo do m³ de água subterrânea e superficial na MRM:**

Para a relação de custo do m³ optou-se por usar a população estimada para 2013.

Sendo assim:

População = 49.213 (para 2013)

Demanda diária = 14.764 m³/ dia. Demanda anual = 5.388.860 m³/ ano (para 2013)

Custo do m³ de água subterrânea = R\$ 0,2783

Custo Anual (m³) Água Subterrânea = demanda anual x custo do m³

Custo Anual (m³) Água Subterrânea = 5.388.860 x 0,2474 = R\$ 1.333.203,96

Para o cálculo de custo do m³ de água superficial, levamos em consideração o preço cobrado pela concessionária pelo m³ de água como é apresentado na tabela 8. (COSANPA, 2011.)

Na comparação do preço cobrado pela concessionária que faz o abastecimento de água na cidade de Ananindeua e o preço calculado para a captação de água subterrânea, temos que levar em consideração a seguir:

Na concessionária, para o menor valor cobrado, temos apenas para a água (sem o esgoto) uma tarifa de R\$ 1,40. Logo:

Custo Anual (m³) Água Superficial = 5.388.860 x 1,40 = R\$ 7.544.404,00

Esse seria o menor valor de custo de água para residência. Para comércio e indústria as tarifas podem chegar a R\$ 8,35 e R\$ 10,69 o m³ de água, respectivamente (COSANPA, 2011).

Tabela 8: Tarifas de água e esgoto da concessionária COSANPA, vigentes desde julho de 2008.

CATEGORIA	FAIXA CONSUMO (M ³)	VALOR (R\$) por M ³	
		ÁGUA	ESGOTO
RESIDENCIAL	0-10	1,40	0,84
	11-20	2,00	1,20
	21-30	2,68	1,61
	31-40	3,02	1,81
	41-50	4,18	2,50
	> 50	5,43	3,26
COMERCIAL	0-10	4,18	2,50
	> 10	5,22	3,13
INDUSTRIAL	0-10	5,22	3,13
	> 10	6,68	4,01
PÚBLICA	0-10	4,18	2,50
	> 10	5,22	3,13

Fonte: COSANPA, op. cit.

Um sistema baseado na captação de água subterrânea como o proposto, mais a retirada do lucro, encargos e despesas com a quantidade de poços para atender a demanda ainda consegue ser em torno de 30% mais barato em comparação ao gasto com a água superficial.

10. DISCUSSÃO

O fluxo na MRM possui configuração bem característica na área e as águas são consideradas impróprias para o consumo humano, visto que, em todas as amostras, pelo menos um dos parâmetros obtidos está acima do permitido pela Portaria n° 2914 de 12 de dezembro de 2011 do Ministério da Saúde, indicando fontes de contaminação. Assim, com relação ao comportamento do fluxo subterrâneo, o grau de potabilidade das águas, o cálculo de reservas e a proposta alternativa de abastecimento pode-se estabelecer algumas considerações.

10.1. COMPORTAMENTO DO FLUXO SUBTERRÂNEO:

A área é limitada a sul pela rodovia BR-316 e a mesma foi construída preferencialmente sobre um divisor de águas natural que divide bacias hidrográficas. Na porção sul, o fluxo hídrico subterrâneo sofre influencia dos baixos níveis estáticos que acarretam em altos potenciais hidráulicos configurando a porção como áreas potenciais à recarga do aquífero mais superior apresentando uma configuração divergente dos vetores de fluxo na área.

À medida que se avança mais a norte na área, os vetores de fluxos tendem a convergir para onde estão situados os mananciais pertencentes ao clube recreativo CaixaPará e ao lago principal da área pertencente ao condomínio residencial Lago Azul, uma vez que apresentam uma configuração convergente dos vetores de fluxo da área (áreas de recarga).

10.2. GRAU DE POTABILIDADE:

Com relação ao pH, todas as amostras estão fora dos valores definidos pelo padrão de potabilidade. Os valores encontrados nessas águas, consideradas ácidas, estão relacionados à alta taxa de decomposição da matéria orgânica, típica da região amazônica.

Com relação aos parâmetros dureza, sólidos totais dissolvidos (STD), sulfatos e cloretos, todas as amostras apresentaram valores que estão enquadrados dentro dos VMP para os padrões de potabilidade.

Sobre o parâmetro condutividade elétrica, não existem valores definidos, segundo padrões de potabilidade, pois esse parâmetro não é causador de dano ao ser humano. No entanto, é diretamente relacionado a outros parâmetros (cátions e ânions), que por sua vez, são indicadores de potabilidade.

Com relação ao nitrato, as águas foram divididas em dois grupos: amostras livres de contaminação (10 amostras) e amostras com valor referentes à contaminação, mas ainda próprias para consumo (2 amostras). Isso indica contaminação, ainda baixa, por influência humana, associada às fossas sépticas e falta de saneamento básico.

Sobre o parâmetro amônia, foi detectado em todas as amostras analisadas. Dessas, cinco amostras (40%) apresentaram valores acima do estabelecido, estando, portanto, inadequadas para o consumo.

Em relação ao Ferro Total, como esperado, todas as amostras apresentaram ferro, no entanto apenas três amostras tiveram valores acima do VMP para este parâmetro, o que exige um tratamento prévio para o consumo humano dessa água.

O fosfato apresentou seis amostras com valores acima do VMP para água potável, principalmente no período chuvoso.

Um estudo de caráter bacteriológico daria caracterização mais completa da qualidade da água com relação às doenças de veiculação hídrica existentes na região.

10.2.1. Contaminantes:

A maioria dos parâmetros (pH, O.C., dureza, amônia, cloreto, ferro, STD, sulfato e condutividade elétrica) mostrou picos de valores em pelo menos uma das campanhas na porção mais a oeste da área. Segundo Oliveira & Torres (2011) essa área corresponde a uma porção com maior aglomeração de edificações entre casas e estabelecimentos comerciais, além de indústrias. Com a proximidade das casas e poços, menor é a distância entre os poços e as fossas negras e isso, constituindo uma fonte potencial de contaminação das águas subterrâneas das unidades aquíferas superiores. Essa contaminação é potencializada em função de que os níveis de água estão próximos da superfície.

Além disso, esses valores podem estar relacionados com a proximidade de uma zona de descarga do aquífero, visto que, a maioria dos parâmetros tende a concentrar na direção do fluxo, embora a zona tida como de maior descarga está localizada um pouco mais a norte.

Os valores de oxigênio consumido foram pouco influenciados nessa área, principalmente no período chuvoso onde o pico de concentração está na área do condomínio residencial Lago Azul.

Outro foco de pico de valor é na porção nordeste (O.C., dureza e fosfato). Nesse caso, os principais responsáveis pela contaminação dos sistemas hidrogeológicos podem estar

relacionados com o acúmulo que esses parâmetros apresentam no maior lago da área. A alta descarga desses elementos não é processada pelo lago, o que aumenta a concentração dos mesmos, principalmente de matéria orgânica. Postos de combustíveis e outras empresas que despejam quaisquer tipos de rejeito nas drenagens próximas às zonas de recarga dos sistemas hidrogeológicos caracterizam outras fontes potenciais de contaminação.

O parâmetro sulfato mostrou uma distribuição areal que contradiz totalmente a tendência para os demais parâmetros analisados, mostrando um aumento de valores para a porção sudeste da área, significando que se trata de uma contaminação local desse ânion.

Também a Baía do Guajará aparentemente não está influenciando na qualidade das águas, visto que, não se percebe um aumento nos valores de cloreto, sulfatos, ou outros parâmetros em direção ao Rio Maguariçu.

10.3. CÁLCULO DE RESERVA E PROPOSTA ALTERNATIVA DE ABASTECIMENTO:

Baseado em estudo realizado para o município de Ananindeua e calculado para a área, mesmo com o aumento populacional previsto para a área da MRM, a reserva de água que pode ser explorada do aquífero mais protegido e de onde a água é de ótima qualidade (Formação Pirabas) é exagerada frente à demanda atual da MRM, o que sem problema nenhum, garantiria o abastecimento daquela população por um período de pelo menos 20 anos.

A proposta de abastecimento seguiu os critérios mais atuais na construção de poços e confirmou estudos já realizados para alguns bairros de Belém como Sacramento, Nazaré e Tapanã em que são identificadas melhoria às necessidades da população envolvida em comparação ao sistema atual. Mesmo sabendo que o atual sistema de abastecimento apresenta falhas e a rede de distribuição se encontra em situação precária, entende-se que uma mudança radical no modelo de abastecimento seria inviável com todo o investimento que é realizado na rede atual. A opção pela água subterrânea, longe de impor uma nova política de abastecimento, vem tentar somar forças para minimizar os problemas que a população enfrenta em uma região que poderia faltar tudo menos água.

A conciliação de uma rede de abastecimento por água subterrânea pode ser realizado junto com a rede atual, até porque a adição de poços na rede de distribuição pode ser realizada de forma gradual e conjunta. Logo de início, os poços poderiam usar a atual rede de distribuição enquanto aos poucos uma nova rede de distribuição seria construída, bem menor e mais barata, já que cada poço atenderia uma área circunvizinha sem a necessidade de longas

redes de distribuição. O próprio custo do m³ de água subterrânea mostrou ser bem mais barato em comparação a água superficial e a água em si já seria de ótima qualidade não havendo necessidade de dispendiosas estações de tratamento.

Enfim, essa proposta alternativa de abastecimento foi elaborada pensando no bem estar da população e, mais uma vez, propõe as autoridades que adoção de um sistema integrado de abastecimento com água superficial e água subterrânea. Com certeza, isso seria um ganho para todos, principalmente para a população, que faz uso de um bem tão precioso como a água.

11. CONCLUSÕES

Os resultados obtidos vieram comprovar o que já era esperado. A falta total de saneamento básico e a precariedade com o sistema de abastecimento público na Microbacia do Rio Maguariaçu, Ananindeua-PA motiva os próprios moradores a construírem seus poços e fossas sépticas, quase sempre muito próximas. Esses poços são construídos de maneira indevida e retiram água das camadas aquíferas mais superiores, aflorantes a sub-aflorantes que não apresentam nenhuma proteção contra qualquer tipo de contaminação, já que são na maioria constituídos de associações areno-argilosas, muito permeáveis. Aliado a isso o despejo de todos os tipos de resíduos nos corpos superficiais de água que cortam a área, ou mesmo nas porções alagadas, potencializam o processo de contaminação desses aquíferos, que torna-se o principal responsável pela veiculação de doenças de diversas naturezas à população.

Uma possível solução para essa situação seria a integração do atual sistema de abastecimento com um sistema baseado a partir de poços profundos que extraíssem água do aquífero Pirabas, que apresenta, segundo Matta (2002), boa qualidade para o consumo humano.

Os cálculos só reafirmam o trabalho realizado por Koury (2006), dessa vez com os dados atualizados e corrigidos com base nos preços de mercado para 2012. De lá pra cá o custo do m³ da água subterrânea e superficial sofreram alterações consideráveis. Mesmo assim, captar água subterrânea ainda é a forma mais prática e barata de explorar esse bem mineral. Os resultados apresentados mostram que a instalação de um sistema baseado em água subterrânea custaria 17,67% do gasto total com a água superficial que a concessionária tem para a MRM.

Com tudo isso, a água subterrânea deve sim ser praticada como medida integrante ao modelo de abastecimento atual e não somente pensar em aumentar o sistema atual uma vez que os pequenos problemas serão maximizados na mesma proporção.

Os resultados do trabalho, apesar de relevantes para a área em questão, necessitam de continuidade, cobrindo áreas mais a norte da bacia, visto que a Bacia do Rio Maguariaçu é bastante extensa e integra ainda grande parte da cidade de Ananindeua.

REFERÊNCIAS

- AMBROGGI, R. P. Underground reservoirs to control the water cycle. **Ground Water**, 1978, v. 16, n. 3, p 158-166.
- AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (APHA). **Standart methods for the examination of water and wastewater**. 16ed. Washington: [s.n.], 1985. 1268p.
- BARBOSA, A. J. S.; SILVA, V. M. **Ocupação urbana e degradação ambiental: a problemática do lançamento de efluentes domésticos nas bacias hidrográficas no município de Belém – PA**. 2002. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Sanitária) - Centro Tecnológico, UFPA, Belém, 2002.
- BARRELLA, W. *et al.* As relações entre as matas ciliares os rios e os peixes. In: RODRIGUES, R.R.; LEITÃO FILHO; H.F. (Ed.) **Matas ciliares: conservação e recuperação**. 2.ed. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2001.
- BAUMGARTEN, M. G. Z.; POZZA, S. A. **Qualidade de águas: descrição de parâmetros químicos referidos na legislação ambiental**. Rio Grande : Ed. FURG, 2001. 166p.
- BRASIL. **Lei Federal nº 9.433** – Política Nacional dos Recursos Hídricos, de 08 jan. 1997. Disponível: <www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L9433.htm>. Acesso: 17. Abril. 2011.
- CAVALCANTE I. N. **Fundamentos hidrogeológicos para a gestão de recursos hídricos na região metropolitana de Fortaleza estado do Ceará**. 164f. Tese (doutorado) - Universidade de São Paulo, Instituto de Geociências, São Paulo, 1998.
- CENTRAIS ELÉTRICAS DO PARÁ (CELPA). Disponível: <<http://www.redenergia.com/concessionarias/celpa/residenciais/sobre-sua-conta/calcule-seu-consumo.aspx>>. Acesso: 15 dezembro de 2011.
- COMPANHIA DE SANEAMENTO DO PARÁ (COSANPA). Disponível: <http://www.cosanpa.pa.gov.br/index.php?option=com_content&view=article&id=77&Itemid=82>. Acesso: 10 janeiro de 2012.
- COSTA, J. P. R.; MARTINS, M. Determinação das alterações microclimáticas causadas por processo de ocupação urbana. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA. 9. 1996. Campos do Jordão-SP. **Anais**. Campos do Jordão. SP: CBMET, 1996. p. 1182-1184.
- DUARTE, U. ; DINIZ, H. N. Histórico do abaixamento dos níveis d'água dos poços do aeroporto internacional de Cumbica/São Paulo. **Revista Águas Subterrâneas**, v. I, n. I, p. 57-69, 1996.
- FETTER C. W. **Contaminant hydrogeology**. New York: Ed. Macmillan Publishing Company. 1980. 458p.
- HILL, M. J.; HAWKSWORTH, G.; TATTERSAL, G. **Bacteria nitrosamines and cancer of the stomach**. Br. J. Cancer. 1973. (Ed.28): 562-567.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Indicadores sócio-demográficos prospectivos para o Brasil 1991-2030**. Rio de Janeiro: Fundo de População das Nações Unidas – UNFPA, 2006.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Cidades**. Disponível: <<http://www.ibge.gov.br/cidadesat/topwindow.htm?1>>. Acesso: 15 agosto de 2011.

KOURY, F. S. M. **A viabilidade econômica e técnica da utilização de poços tubulares para o abastecimento de água na região de Belém e Ananindeua, Estado do Pará – Brasil**. 2006. 123f. (Mestrado). Centro de Geociências, Curso de Pós Graduação em Geologia e Geoquímica da UFPA/ 2006.

LIMA, F. B.; SANTOS, G. O. **Balanço hídrico-espacial da cultura para o uso e ocupação atual da bacia hidrográfica do ribeirão Santa Rita, noroeste do Estado de São Paulo**. 2009. 89 f. (Monografia). Fundação Educacional de Fernandópolis, Fernandópolis - SP, 2009.

MATTA, M. A. S. **Fundamentos hidrogeológicos para a gestão integrada dos recursos hídricos da região de Belém/Ananindeua – Pará, Brasil**. 2002. 292p. (Doutorado). Centro de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém/PA, 2002.

MENDES, R. L. R.; VERMA, O. P. Prospecção de água subterrânea na região de Belém - PA através de perfilagem geofísica de poço e eletrorresistividade. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 32, n. 01, p.87 – 94. 2002.

OLIVEIRA, G. J.; TORRES, N. R. **Mapeamento das principais atividades potencialmente poluidoras na nascente da microbacia do rio Maguariaçu – Ananindeua/Pa**. (Trabalho de Conclusão de Curso). Tecnologia em Saneamento Ambiental – IFPA, Brasil, 2011.

OLIVEIRA, M. C. F.; SOUZA, P. F. S. Estudo da Possíveis Variações e Mudanças Climáticas em Belém. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 10., 1997., Piracicaba. **Anais**. Piracicaba-SP, 1997. p. 410-412.

PEHRMB. **Projeto Estudos Hidrogeológicos da Região Metropolitana de Belém e Adjacências**. Belém: CPRM, 2001. 88p. (Relatório Final).

PORTO, M. F. A.; PORTO, R. L. L. **Gestão de bacias hidrográficas**. Estudos avançados, 2008.

RODRIGUES, R.R.; LEITÃO FILHO; H.F. **Matas ciliares: conservação e recuperação**. 2.ed. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2001.

SANTOS, A. C. Noções de hidroquímica. In: FEITOSA, F. A. C.; MANUEL FILHO, J. **Hidrogeologia: Conceitos e Aplicações**. CPRM, 1997. cap. 5. p.81–108.

TANCREDI, A. C. F. N. S. **Recursos hídricos subterrâneos de Santarém: Fundamentos para uso e proteção**. Belém – Pa. 1996. 153p. (Doutorado). Centro de Geociências. Universidade Federal do Pará. Belém/PA, 1996.

THORNTHWAITE, C.W.; MATHER, J.R. **The water balance**. Centerton, NJ: Drexel Institute of Technology - Laboratory of Climatology, 1955. 104p. (Publications in Climatology, vol. VIII, n.1)