



**GOVERNO FEDERAL
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

**ÍNDICES DE QUALIDADE DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DE ABASTECIMENTO
PÚBLICO DA ILHA DO MOSQUEIRO, MUNICÍPIO DE BELÉM - PA**

RAYNNER MENEZES LOPES

BELÉM 2015

RAYNNER MENEZES LOPES

**ÍNDICES DE QUALIDADE DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DE ABASTECIMENTO
PÚBLICO DA ILHA DO MOSQUEIRO, MUNICÍPIO DE BELÉM - PA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil, pelo Instituto Tecnológico da Universidade Federal do Pará. Linha de pesquisa: Recursos Hídricos e Saneamento. Área de concentração: Saneamento.

Orientadora: Prof^a. Dr^a Maria de Lourdes
Souza Santos

BELÉM 2015

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)
Sistema de Bibliotecas da UFPA

Lopes, Raynner Menezes, 1989-
Índices de qualidade das águas subterrâneas de
abastecimento público da ilha do Mosqueiro, município de
Belém - PA / Raynner Menezes Lopes. - 2015.

Orientador: Maria de Lourdes Souza Santos.
Dissertação (Mestrado) - Universidade
Federal do Pará, Instituto de Tecnologia,
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil,
Belém, 2015.

1. Águas subterrâneas - Mosqueiro (PA). 2.
Recursos hídricos. 3. Saneamento - Aspectos
ambientais - Mosqueiro (PA). I. Título.

CDD 23. ed. 551.49098115



**ÍNDICES DE QUALIDADE DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DE
ABASTECIMENTO PÚBLICO DA ILHA DO MOSQUEIRO,
MUNICÍPIO DE BELÉM - PA**

AUTOR:

RAYNNER MENEZES LOPES

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA À BANCA EXAMINADORA
APROVADA PELO COLEGIADO DO PROGRAMA DE
PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL DO INSTI-
TUTO DE TECNOLOGIA DA UNIVERSIDADE FEDERAL
DO PARÁ, COMO REQUISITO PARA OBTENÇÃO DO
GRAU DE MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL NA ÁREA
DE CONCENTRAÇÃO EM RECURSOS HÍDRICOS E
SANEAMENTO AMBIENTAL.

APROVADO EM: 09/02/2015

BANCA EXAMINADORA:

Maria de Lourdes Souza Santos

Prof.^a Dr.^a Maria de Lourdes Souza Santos
Orientadora (UFPA)

Luiza Carla Girard Mendes Teixeira

Prof.^a Dr.^a Luiza Carla Girard Mendes Teixeira
Membro Interno (UFPA)

André Luis de Lima Saraiva

Prof. Dr. André Luis de Lima Saraiva
Membro Externo (Faculdade Maurício de Nassau)

Alex Costa da Silva

Prof. Dr. Alex Costa da Silva
Membro Externo (UFPE)

Visto:

Claudio Jose Cavalcante Blanco

Prof. CLAUDIO JOSÉ CAVALCANTE BLANCO, Ph.D.
Coordenador do PPGEC / ITEC / UFPA

DEDICATÓRIA

A minha mãe Solange Cecília Menezes e ao meu irmão Raydan Menezes. Que Deus nos conceda a graça de estarmos sempre juntos.

AGRADECIMENTOS

A minha mãe Solange Cecília Poça Menezes por toda dedicação e apoio ao longo de minha vida.

Ao meu irmão Raydan Menezes Shiozaki, Chunhada Shirley Yuri Shiozaki e Sobrinha Laura Rayumi Shiozaki pelos momentos de união.

A Thaise Daniele Teixeira por resistir, junto a mim, a mais esta etapa.

Ao Gilson Castro, Liane Tavares, Lindomar Rodrigues, Eduardo Siqueira e Jason Santana pela amizade e momentos de descontração.

Ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil (PPGEC) da UFPA, por possibilitar aos profissionais do Saneamento do Pará a consolidação na carreira acadêmica.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo financiamento.

À Prof. Dra. Maria de Lourdes pela orientação, ajuda e principalmente, pela motivação em minha jornada acadêmica.

A Karina Ferreira Castro Mesquita, por ceder informações primordiais ao desenvolvimento desta pesquisa.

A Engenheira do Serviço Autônomo de Água e Esgoto de Belém, Odicleia Trindade Neves, pelo apoio na obtenção de informações do abastecimento de água e esgotamento sanitário da Ilha do Mosqueiro.

Ao Engenheiro José Maria de Matos Junior pela ajuda na obtenção de informações sobre coleta de resíduos sólidos urbanos na ilha do Mosqueiro.

Ao Grupo de Pesquisa Hidráulica e Saneamento (GPHS) e ao Laboratório de Eficiência Energética e Hidráulica em Saneamento (LENHS) pela estrutura fornecida e pelos momentos de aprendizado.

A todos aqueles, que em algum momento de minha vida contribuíram diretamente ou indiretamente, para a realização deste trabalho.

“Não importa o que faça, cada pessoa na Terra está sempre representando o papel principal da História do Mundo....”

O Alquimista

SUMÁRIO

RESUMO

LISTA DE FIGURAS

LISTA DE GRÁFICOS

LISTA DE SIGLAS

LISTA DE TABELAS

1	INTRODUÇÃO.....	13
2	OBJETIVOS.....	16
2.1	GERAL.....	16
2.2	ESPECÍFICOS.....	16
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	17
3.1	CILO HIDROLÓGICO.....	17
3.2	ÁGUA POTÁVEL E LEGISLAÇÃO.....	18
3.3	ÍNDICES DE QUALIDADE DA ÁGUA.....	19
3.3.1	Índice de Qualidade Natural de Água Subterrânea (IQNAS).....	20
3.3.2	Índice de Qualidade da Água Subterrânea Bruta (IQASB).....	23
3.3.3	Índice de Qualidade da Água Subterrânea (IQAS).....	26
3.3.4	Índice Relativo de Qualidade (IRQ).....	27
3.3.5	Índice de Qualidade da Água para Consumo Humano (IQAS _{CH}).....	29
4	MATERIAL E MÉTODOS.....	31
4.1	LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA REGIÃO DE ESTUDOS.....	31
4.1.1	Características Socioeconômicas.....	32
4.1.2	Clima.....	32
4.1.3	Relevo.....	33
4.1.4	Vegetação.....	33
4.1.5	Hidrogeologia.....	33
4.2	DESCRIÇÃO DA PESQUISA.....	35
4.2.1	Levantamento de informações do SAA, SES e CRSU.....	37

4.2.2	Campanhas de amostragem na ilha do Mosqueiro	37
4.2.3	Determinação dos Índices de Qualidade da Água Subterrânea (IQAS, IQNAS e IRQ)	40
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	44
5.1	ABASTECIMENTO DE ÁGUA (SAA)	44
5.1.1	Abastecimento individual	44
5.1.2	Abastecimento Público	49
5.2	SISTEMA DE ESGOTAMENTO SANITÁRIO (SES)	55
5.3	COLETA DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS (CRSU)	59
5.4	ÍNDICES DE QUALIDADE DA ÁGUA	61
5.5	IQNAS	62
5.6	IQAS	65
5.7	IRQ	67
6	CONCLUSÃO	70
7	REFERÊNCIAS	71

RESUMO

A pesquisa buscou avaliar a qualidade da água subterrânea utilizada para o abastecimento público da ilha do Mosqueiro, município de Belém – PA. Para tanto, foram aplicados três Índices de Qualidade da Água, no caso, Índice de Qualidade Natural de Águas Subterrâneas (IQNAS), Índice de Qualidade da Água Subterrânea (IQAS) e Índice Relativo de Qualidade (IRQ). Além disso, foi realizado o levantamento das condições dos sistemas de abastecimento de água, esgotamento sanitário e coleta de resíduos sólidos urbanos na ilha, a fim de determinar, juntamente com os resultados dos índices, se estes sistemas tem atendido a população da ilha de modo a evitar a escavação artesanal de poços (poços tubulares rasos e poços do tipo amazonas) e a destinação imprópria dos esgotos domésticos e resíduos sólidos por parte dos moradores locais. Nos resultados da aplicação do IQNAS e IQAS, foi observada variação da qualidade da água ao longo dos bairros da ilha, mostrando-se inferior nos bairros mais urbanizados. Na aplicação do IRQ a água foi classificada com excelente qualidade em todos os bairros estudados, reforçando a característica de índice pouco restritivo. Dos três sistemas de saneamento estudados na ilha, somente a coleta de resíduos sólidos urbanos tem se mostrado satisfatória, não oferecendo riscos significativos à qualidade da água subterrânea e à população da ilha do Mosqueiro.

Palavras chave: água subterrânea, IQA, saneamento.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Ciclo Hidrológico.	17
Figura 2 - Curvas de Qualidade versus Concentração do Parâmetro Físico-Químico.	22
Figura 3 - Curvas de qualidade dos parâmetros.	25
Figura 4 – Divisão politico-administrativa do município de Belém.....	31
Figura 5 – Localização da ilha do Mosqueiro.	32
Figura 6–Limite dos bairros da ilha do Mosqueiro.....	36
Figura 7 – Desenvolvimento da pesquisa.	36
Figura 8 – Trabalho de campo.	38
Figura 9 - Pontos de Coleta de 1 a 9.....	39
Figura 10 - Pontos de Coleta de 10 a 15.....	39
Figura 11 - Pontos de Coleta de 16 a 24.....	40
Figura 12 – Perfil litológico de um poço raso escavado no bairro Caruara.	45
Figura 13 – Captação individual de água em poço tipo amazonas.	47
Figura 14 – Poço tubular profundo escavado em 2008 no bairro da Mangueira.	48
Figura 15 - Áreas atendidas por concessionárias na RMB.	49
Figura 16 – Zonas de abastecimento da RMB.	50
Figura 17 – Localização dos SAAs na ilha do Mosqueiro.	51
Figura 18 – Arranjo do SAA gerenciado pela COSANPA.....	52
Figura 19 – Arranjos dos SAAs gerenciados pelo SAAEB.	53
Figura 20 – Localização das unidades do SES.....	55
Figura 21 – Registro fotográfico das unidades do SES.....	56
Figura 22 – Rua da Pedreira, com Av. Camilo Salgado, bairro do Aeroporto.	58
Figura 23 – Praça da vila.	59
Figura 24 – Bairro Caruara.....	60
Figura 25 – Bairro do Paraíso.	61
Figura 26 – Valores dos IQAs obtidos nas águas subterrâneas.....	62
Figura 27 – IQNAS das águas subterrâneas dos bairros estudados.....	64
Figura 28 – IQAS das águas subterrâneas dos bairros.....	67
Figura 29 - IRQ das águas subterrâneas dos bairros estudados.	68

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Variação dos valores IQNAS nos bairros.....	62
Gráfico 2 – Variação dos valores IQAS nos bairros da ilha do Mosqueiro.	65
Gráfico 3 – Variação dos valores IRQ nos bairros da ilha do Mosqueiro.	68

LISTA DE SIGLAS

AMAE	Agência Reguladora Municipal de Água e Esgoto de Belém
CETESB	Companhia de Tecnologia em Saneamento Ambiental - SP
CMB	Conjunto motor e bomba
CPRM	Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais
CRSU	Coleta de Resíduos Sólidos Urbanos
COSANPA	Companhia de Saneamento do Pará
DAMOS	Distrito Administrativo do Mosqueiro
EEE	Estação Elevatória de Esgoto
ETA	Estação de Tratamento de Água
ETE	Estação de Tratamento de Esgoto
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IQA	Índice de Qualidade da Água
IQAS	Índice de Qualidade da Água Subterrânea
IQNAS	Índice de Qualidade Natural da Água Subterrânea
IRQ	Índice Relativo de Qualidade da Água
MS	Ministério da Saúde
PDSAA	Plano Diretor de Sistema de Abastecimento de Água
PDSES	Plano Diretor de Sistema de Esgotamento Sanitário
RAP	Reservatório Apoiado
REL	Reservatório Elevado
RMB	Região Metropolitana de Belém
SAA	Sistema de Abastecimento de Água
SAEEB	Serviço Autônomo de Água e Esgoto de Belém
SES	Sistema de Esgotamento Sanitário
SIAGAS	Sistema de Informações de Águas Subterrâneas

LISTA DE TABELA

Tabela 1– Concentrações máximas permitidas de parâmetros para água potável. ...	18
Tabela 2– Equações matemáticas para a obtenção do INQAS.	21
Tabela 3 – Pesos dos parâmetros do IQNAS.....	23
Tabela 4 – Faixas escalares de variação do IQNAS.	23
Tabela 5 – Parâmetros selecionados e os respectivos pesos para o IQASB.....	24
Tabela 6 - Faixas escalares de variação do IRQ para caracterização do potencial qualitativo das águas subterrâneas para consumo humano.	29
Tabela 7 – Parâmetros utilizados no IQAS _{CH}	30
Tabela 8 – Redistribuição dos pesos dos parâmetros do IQNAS.....	42
Tabela 9 – Descrição das unidades componentes dos SAAs da Ilha do Mosqueiro.	54
Tabela 10 - Descrição das unidades componentes SES da Ilha do Mosqueiro.	57

1 INTRODUÇÃO

A intensificação da poluição dos mananciais superficiais nos últimos anos vem tornando a água subterrânea uma opção alternativa para muitos países, não sendo mais restrita a países desprovidos de águas superficiais. Grandes exemplos dessa utilização podem ser vistos na República das Honduras, Mediterrâneo e países asiáticos. Na República das Honduras, pelo menos 30% do abastecimento vêm de poços, chegando a 100% em determinadas zonas (VARGAS; VARGAS; BADILHA *et al.*, 2012). No mediterrâneo, a água subterrânea é utilizada em larga escala, principalmente na irrigação (LATINOPOULOS; THEODOSSINOU; LATINOPOULOS, 2011). Na Índia, China, Bangladesh, Tailândia, Indonésia e Vietnã, mais de 50 % do abastecimento de água potável é fornecido a partir de águas subterrâneas (WORLD HEALTH ORGANIZATION, 2006).

Proporcionalmente à utilização, as pesquisas sobre água subterrânea aumentaram significativamente e mostraram que sua característica pode ser modificada por uma série de fatores, nos quais se incluem os antrópicos e a hidrogeologia do aquífero (LOURENCETTI; PEREIRA; MARCHI, 2007).

A dinâmica e complexidade dos fatores que influenciam na qualidade da água subterrânea e também superficial remetem ao estudo de elementos que sintetizem de modo eficiente os laudos de caracterização da água potável. O uso dos Índices de Qualidade da Água (IQAs) como instrumentos complementares na avaliação da qualidade tem se mostrado satisfatório, pois facilitam a comunicação entre os profissionais e a compreensão da população interessada no assunto (ALMEIDA; OLIVEIRA, 2010).

Desde o surgimento do primeiro IQA, desenvolvido em 1965 pelo alemão R. Horton, foi observado que na seleção dos parâmetros para o cálculo do índice, devem ser consideradas a origem e o tipo de uso para o qual a água será destinada, não se mostrando apropriado o uso de um único índice para águas de diversas finalidades. Por conta desses usos diversos, novos índices surgiram, como o IQA_{NFS} (*National Sanitation Foundation*), de 1970, que no Brasil, foi modificado pela

CETESB. Nessa década, os mesmos pesquisadores propuseram o Índice de Toxidez (IT), em complemento ao IQA_{NFS} (SANTOS, 2009).

Para águas subterrâneas, também surgiram índices, como o Índice de Qualidade da Água Subterrânea Bruta (IQASB) e o Índice de Qualidade de Água Subterrânea para Consumo Humano (IQAS_{CH}), desenvolvido para aplicação em aquíferos de uso agrícola (SANTOS, 2009). Alguns índices, por exemplo, como o Índice de Qualidade da Água Subterrânea (IQAS), Índice Relativo de Qualidade da Água (IRQ) e Índice de Qualidade Natural de Água Subterrânea (IQNAS), têm sido citados e utilizados nos estudos de Coutinho et al. (2013), Almeida e Oliveira (2010) e Santos (2009). O IQAS, proposto por Melloul e Collin (1998) relaciona qualidade da água com vulnerabilidade dos aquíferos, quando associado ao método DRASTIC, tendo apresentado resultados satisfatórios em sua aplicação, enquanto que o e IRQ, proposto por Fernandes e Loureiro (2006) tem sido questionado e caracterizado como pouco restritivo (COUTINHO *et al.*, 2013). Ambos os índices relacionam as concentrações máximas permitidas por resoluções, portarias e normas com as obtidas em campo, enquanto que o IQNAS adota o critério de distribuição de pesos e utiliza um intervalo de validade para cada parâmetro, a fim de selecionar a formulação matemática mais apropriada para a obtenção do IQA final (OLIVEIRA; NEGRÃO; SILVA, 2007). O IQNAS, apesar de levar em conta a qualidade natural da água subterrânea, não considera os elementos químicos potencialmente tóxicos já citados, que podem estar presentes naturalmente em função da hidrogeoquímica do aquífero.

Para aquíferos impactados por atividade humana, a validade das informações é finita, pois novas substâncias ou novas informações sobre substâncias prejudiciais surgem a todo o momento, seja por novas pesquisas ou pela colocação de novos produtos no mercado (ALMEIDA; OLIVEIRA, 2010). Aquíferos nessas condições são comumente encontrados em áreas com deficiências de saneamento básico, onde há pouca ou nenhuma preocupação com a integridade dos mananciais superficiais ou subterrâneos.

Nas comunidades rurais da Amazônia onde se inclui, também, as comunidades de várzea, nota-se que são raríssimos os poços executados dentro

dos critérios técnicos adequados, com coletas e ensaios de materiais, onde seja feita a caracterização fiel da sondagem realizada. A falta desses elementos traz como consequência o desconhecimento dos aspectos construtivos do poço e da litologia do local, podendo comprometer a qualidade da água (AZEVEDO, 2006).

Na ilha do Mosqueiro, Região Metropolitana de Belém, estado do Pará, onde o abastecimento público é feito por água subterrânea, as soluções individuais, intensamente utilizadas em áreas não abastecidas, na maior parte dos casos, são executadas de maneira inadequada pelos próprios moradores (MESQUITA, 2012). Os poços são perfurados ou escavados sem os critérios técnicos adequados e geralmente captam água dos aquíferos freáticos.

A vulnerabilidade desses aquíferos, associada às deficiências na manutenção adequada nos sistema de abastecimento público e especialmente, na coleta do esgoto, põe em risco a saúde de moradores, que consomem a água sem qualquer tipo de tratamento. Com isso esta pesquisa objetiva inferir sobre a poluição dos aquíferos utilizados no abastecimento público da ilha do Mosqueiro por meio da aplicação do IQAS, classificar a qualidade da água subterrânea consumida pelos moradores, por meio do IQNAS, e avaliar a eficácia de aplicação do IRQ, uma vez que este índice tem sido questionado em estudos semelhantes.

2 OBJETIVOS

2.1 GERAL

Aplicar índices de qualidade da água subterrânea na ilha do Mosqueiro, a fim de verificar a poluição dos aquíferos utilizados pela comunidade.

2.2 ESPECÍFICOS

Realizar levantamento de informações sobre os sistemas de abastecimento água (SAA), sistemas de esgotamento sanitário (SES) e coleta de resíduos sólidos urbanos (CRSU);

Aplicar o Índice de Qualidade de Águas Subterrâneas (IQAS) e o Índice de Qualidade Natural de Águas Subterrâneas (IQNAS), para obter informações da qualidade da água utilizada pela comunidade local;

Calcular o Índice Relativo de Qualidade (IRQ) da água subterrânea, a fim de verificar a eficácia da aplicabilidade desse índice na região.

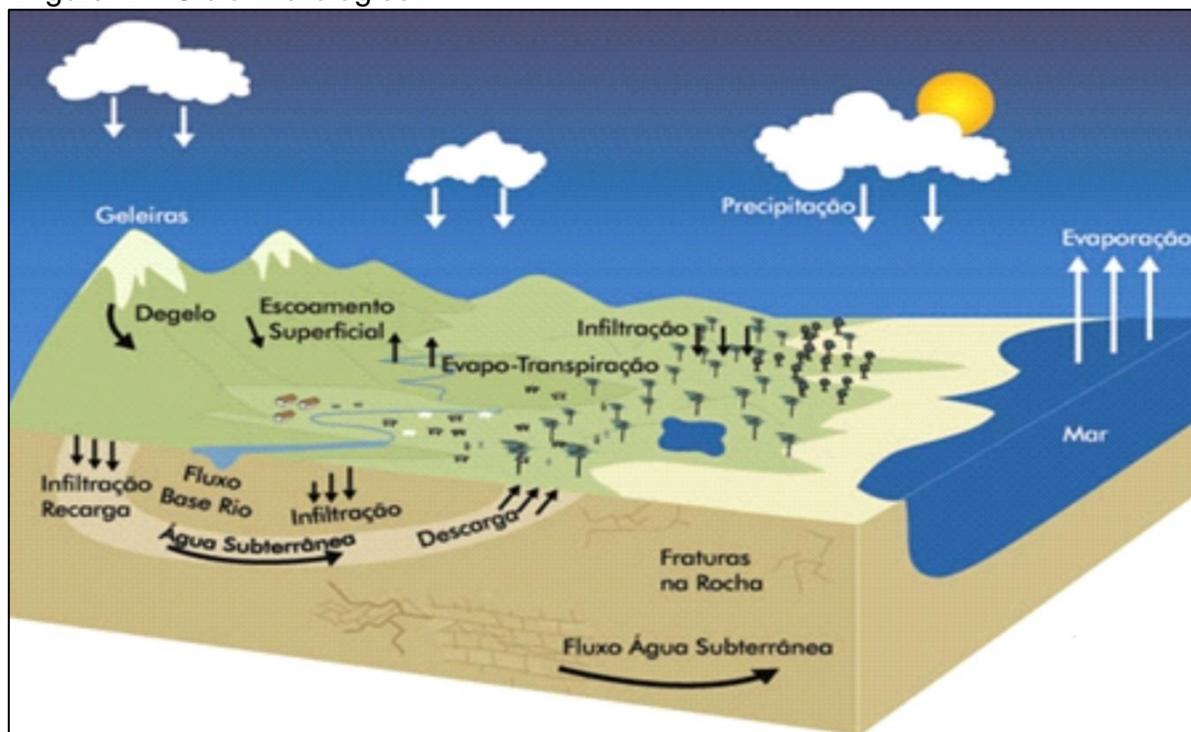
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 CILO HIDROLÓGICO

O ciclo hidrológico é o fenômeno global de circulação fechada da água entre a superfície terrestre e a atmosfera, impulsionado basicamente pela energia solar associada à gravidade e à rotação terrestre.

Pode-se descrever o ciclo hidrológico como tendo início na evaporação das águas oceânicas. Esse vapor gerado é movido pelas massas de ar e condensado, formando nuvens que resultam em precipitação. A precipitação, por sua vez, é dispersa sobre a terra de várias formas, sendo que a maior parte fica temporariamente retida no solo próximo de onde caiu e finalmente retorna à atmosfera por evaporação e transpiração das plantas. Uma parte da água restante escoam sobre a superfície do solo (infiltração) ou através do solo para os rios (escoamento sub-superficial), enquanto que a outra parte penetra profundamente no solo, indo suprir o lençol d'água subterrâneo (BALBINOT *et al.*, 2008). Na Figura 1 pode ser observado o ciclo hidrológico.

Figura 1 – Ciclo Hidrológico.



Fonte: Brasil (2015).

3.2 ÁGUA POTÁVEL E LEGISLAÇÃO

A legislação é fundamental para a gestão e qualidade da água de um país, especialmente naqueles onde há grande deficiência no saneamento básico, constantes casos de poluição e/ou contaminação dos mananciais e utilização inadequada dos recursos hídricos. No Brasil a qualidade da água é adequada conforme a portaria nº 2.914 do Ministério da Saúde (BRASIL, 2011).

A portaria 2.914 dispõe sobre os procedimentos de controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade (BRASIL, 2011). Na Tabela 1 podem ser observadas as concentrações de alguns parâmetros de qualidade da água.

Tabela 1– Concentrações máximas permitidas de parâmetros para água potável.

Parâmetro	Unidade	VMP ⁽¹⁾
Cor Aparente	uH ⁽²⁾	15
Turbidez	uT ⁽³⁾	5
Cloreto	mg.L ⁻¹	250
Sólidos Dissolvidos Totais	mg.L ⁻¹	200
Coliformes Totais	-	Ausência em 100 ml
Escherichia coli	-	Ausência em 100 ml
Dureza Total	mg.L ⁻¹	500
Nitrito	mg.L ⁻¹	1
Nitrato	mg.L ⁻¹	10
Ferro	mg.L ⁻¹	0,3
Manganês	mg.L ⁻¹	0,1

Fonte: Brasil (2011).

Notas: (1) Valor máximo permitido.

(2) Unidade Hazen (mg Pt–Co/L).

(3) Unidade de turbidez.

3.3 ÍNDICES DE QUALIDADE DA ÁGUA

São ferramentas matemáticas utilizadas na sintetização de vários parâmetros em uma única grandeza, que represente o nível de qualidade da água para um determinado uso.

Os resultados satisfatórios nas aplicações dos IQAs culminaram na consolidação desses índices, havendo como consequência, o crescimento no desenvolvimento dessa ferramenta para diferentes finalidades.

No Brasil, a literatura referente à aplicação e desenvolvimento de índices qualidade específicos para água subterrânea ainda são escassos. Com destaque para: (i) Índice de Qualidade da Água Subterrânea Bruta (IQASB); (ii) Índice de Qualidade de Água Subterrânea para Consumo Humano (IQAS_{CH}), desenvolvido para aplicação em aquíferos de uso agrícola; (iii) Índice Relativo de Qualidade da Água (IRQ); e (iv) Índice de Qualidade Natural de Água Subterrânea (IQNAS), os quais foram citados nos estudos de Coutinho *et al.* (2013), Almeida e Oliveira (2010), Santos (2009) e Oliveira, Negrão e Silva (2010).

Fora do Brasil, outros índices foram desenvolvidos para águas subterrâneas. Como por exemplo, o índice de Qualidade da Água Subterrânea (IQAS), proposto Melloul e Collin (1998) para caso da região de Sharon em Israel. Há também o GWQI (*groundwater quality index*) que foi desenvolvido por Stigter, Ribeiro e Carvalho Dill (2006) para monitorar a potabilidade da água que sofre influências de substâncias químicas da agricultura nas regiões da Campina de Faro e Campina da Luz, ao sul de Portugal.

De modo geral, a aplicação de um índice específico ou mais está estritamente relacionada à finalidade de uso da água.

3.3.1 Índice de Qualidade Natural de Água Subterrânea (IQNAS)

Este índice foi concebido pelos critérios normalmente adotados para a construção de índices de qualidade, ou seja: (1) o número de variáveis incorporadas ao índice é limitado, a fim de garantir a praticidade; (2) as variáveis utilizadas são parâmetros químicos mais significativos para se avaliar a qualidade natural das águas subterrâneas em estudo; (3) as variáveis escolhidas estão dentro da disponibilidade de dados (mais frequentemente utilizado). O procedimento utilizado na elaboração do índice compreendeu as seguintes etapas: a escolha do modelo matemático; a escolha dos parâmetros químicos; a construção da curva da nota de qualidade versus concentração ou magnitude do parâmetro; e determinação dos pesos (OLIVEIRA NEGRÃO; SILVA, 2007).

A formulação matemática selecionada para o IQNAS foi utilizada para o IQA da CETESB, ou seja, um produto dos valores de qualidade da água subterrânea para cada parâmetro químico escolhido (Q_i), elevado ao peso atribuído a cada variável (w_i) (OLIVEIRA NEGRÃO; SILVA, 2007), como pode ser observado na Equação 1.

$$\text{INQAS} = \text{produto}(Q_i^{w_i}) = Q_1^{w_1} \times Q_2^{w_2} \times Q_3^{w_3} \times \dots \times Q_n^{w_n} \quad \text{Equação 1}$$

As equações matemáticas utilizadas nos parâmetros para a aplicação na Equação 1 podem ser observados na Tabela 2.

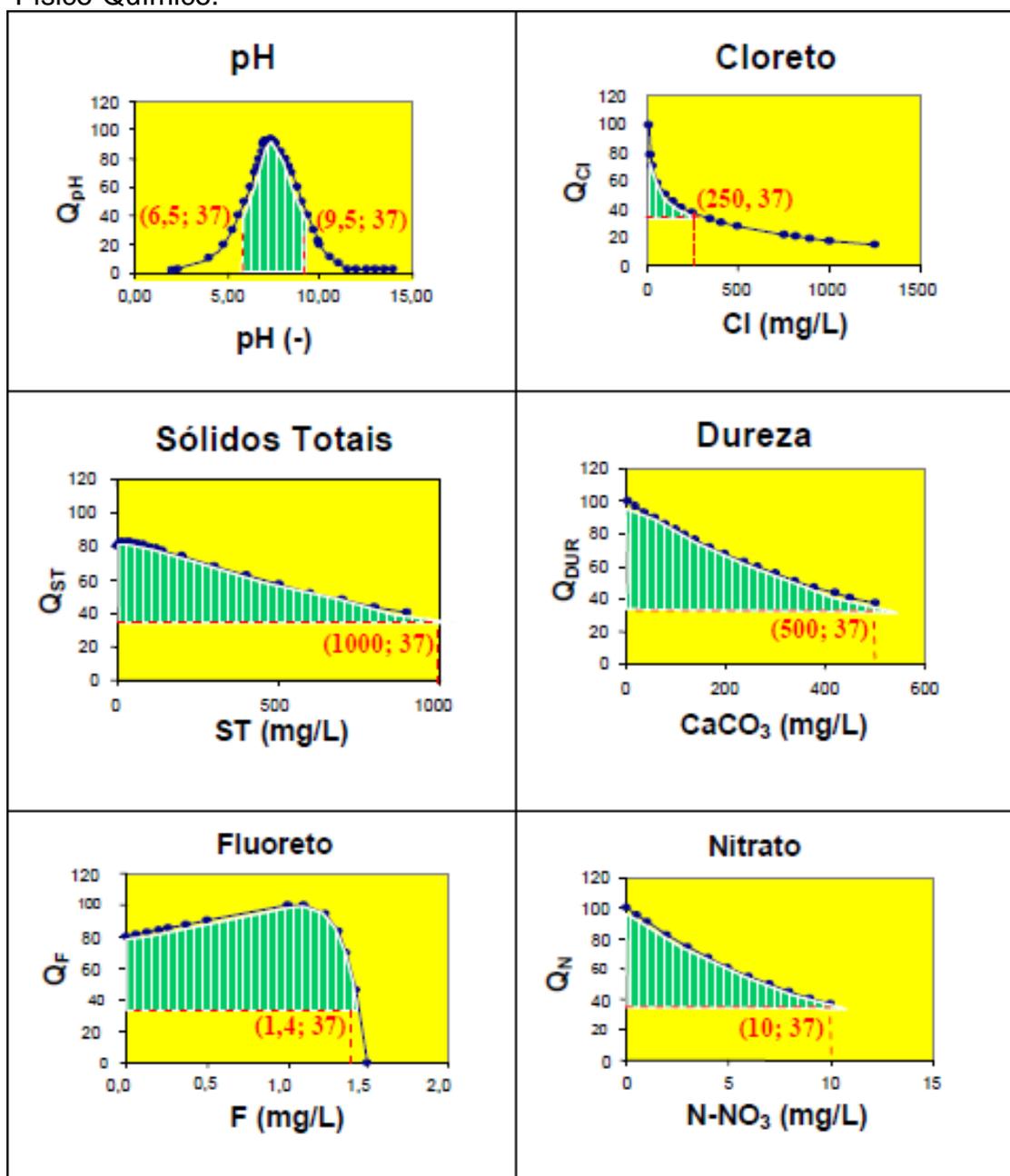
Tabela 2– Equações matemáticas para a obtenção do INQAS.

Parâmetros e Unidades	Equações Matemáticas	Intervalos de Validade
pH	$Q_{pH} = 1,7354 \times (pH^2)$	$[2 \leq pH \leq 7,34]$
(-)	$Q_{pH} = 16405 \times [(pH)^{-2,5}] - 17$	$[pH \geq 7,35]$
Cloreto (Cl, mg.L ⁻¹)	$Q_{Cl} = 100$	$[Cl < 4,86]$
	$Q_{Cl} = 138,9 \times (Cl)^{-0,19561} - (Cl)^{0,42}$	$[4,86 \leq Cl \leq 3000]$
	$Q_{Cl} = 0,0$	$[Cl > 3000]$
Sólidos Totais (ST, mg. L ⁻¹)	$Q_{ST} = 79 - 0,16728 \times ST + EXP[(ST)^{0,228}]$	$[0 \leq ST \leq 1630]$
	$Q_{ST} = 27,7$	$[ST > 1630]$
Dureza (DUR, mg.L ⁻¹)	$Q_{DUR} = 100$	$[DUR < 5,4]$
	$Q_{DUR} = 101,1 \times EXP(-0,00212 \times DUR)$	$[DUR \geq 5,4]$
Fluoreto (F, mg.L ⁻¹)	$Q_F = 80 + 21 \times F - (F)^{11,6263}$	$[0 \leq F \leq 1,5]$
	$Q_F = 0,0$	$[F > 1,5]$
Nitrato (N-NO ₃ ,mg.L ⁻¹)	$Q_N = 100 \times EXP(-0,0994 \times N)$	$[N \geq 0,0]$

Fonte: Oliveira; Negrão; Silva (2007).

Na Figura 2 pode ser observada a construção das curvas de qualidade versus concentração. Para construção das curvas, foi necessário determinar-se os pontos iniciais associados às qualidades ótima, aceitável e imprópria (OLIVEIRA; NEGRÃO; SILVA, 2007).

Figura 2 - Curvas de Qualidade versus Concentração do Parâmetro Físico-Químico.



Fonte: Oliveira; Negrão; Silva (2007).

De acordo com Oliveira, Negrão e Silva (2007), a escolha dos pesos (w_i) que ponderam a influência de cada parâmetro na formulação do IQNAS se baseou, em primeiro plano, na experiência de especialistas em hidrogeologia. Os valores de w_i foram testados pelas equações da Tabela 2, sendo os resultados submetidos a refinamentos por meio de reuniões com especialistas. O resultado final dos pesos pode ser observado na Tabela 3.

Tabela 3 – Pesos dos parâmetros do IQNAS.

Parâmetros (Qn)	Pesos originais (Wi)
pH	0,05
Cloreto (mg.L ⁻¹)	0,26
Sólidos totais (mg.L ⁻¹)	0,22
Dureza (mg.L ⁻¹)	0,16
Fluoreto (mg.L ⁻¹)	0,16
Nitrato (mg.L ⁻¹ de N-NO ₃ ⁻)	0,15
Soma dos pesos	1

Fonte: Oliveira; Negrão; Silva (2007).

O resultado final do IQNAS gera um valor adimensional, que varia de 0 a 100. Com base nesse valor é atribuída a classificação da qualidade da água, que pode ser Ótima, Boa, Aceitável ou Imprópria, conforme observado na Tabela 4.

Tabela 4 – Faixas escalares de variação do IQNAS.

Variação IQNAS	Caracterização Geral
80 a 100	Ótima
52 a 79	Boa
37 a 51	Aceitável
0 a 36	Imprópria

Fonte: Oliveira; Negrão; Silva (2007).

3.3.2 Índice de Qualidade da Água Subterrânea Bruta (IQASB)

Este índice de qualidade surgiu em função das limitações observadas no primeiro índice de qualidade para água subterrânea desenvolvido no Brasil, no caso, o IQNAS, que embora útil, não incorpora a presença de elementos tóxicos, a exemplo dos compostos BTEX (benzeno, tolueno, etilbenzeno e xilenos) e do mercúrio, normalmente associados a atividades industriais e de serviços, que cada vez mais vêm alterando a qualidade natural das águas subterrâneas. Assim, no âmbito nacional, existem lacunas quanto ao estabelecimento de índices de

qualidade dos mananciais subterrâneos, sobretudo para aqueles localizados em áreas com atividades humanas poluidoras (NEGRÃO; OLIVEIRA, 2010).

A construção do índice se baseou no já conhecido método Delphi para a seleção dos parâmetros e atribuição de seus respectivos pesos, sendo mostrado na Tabela 5 o resultado obtido na aplicação desse método.

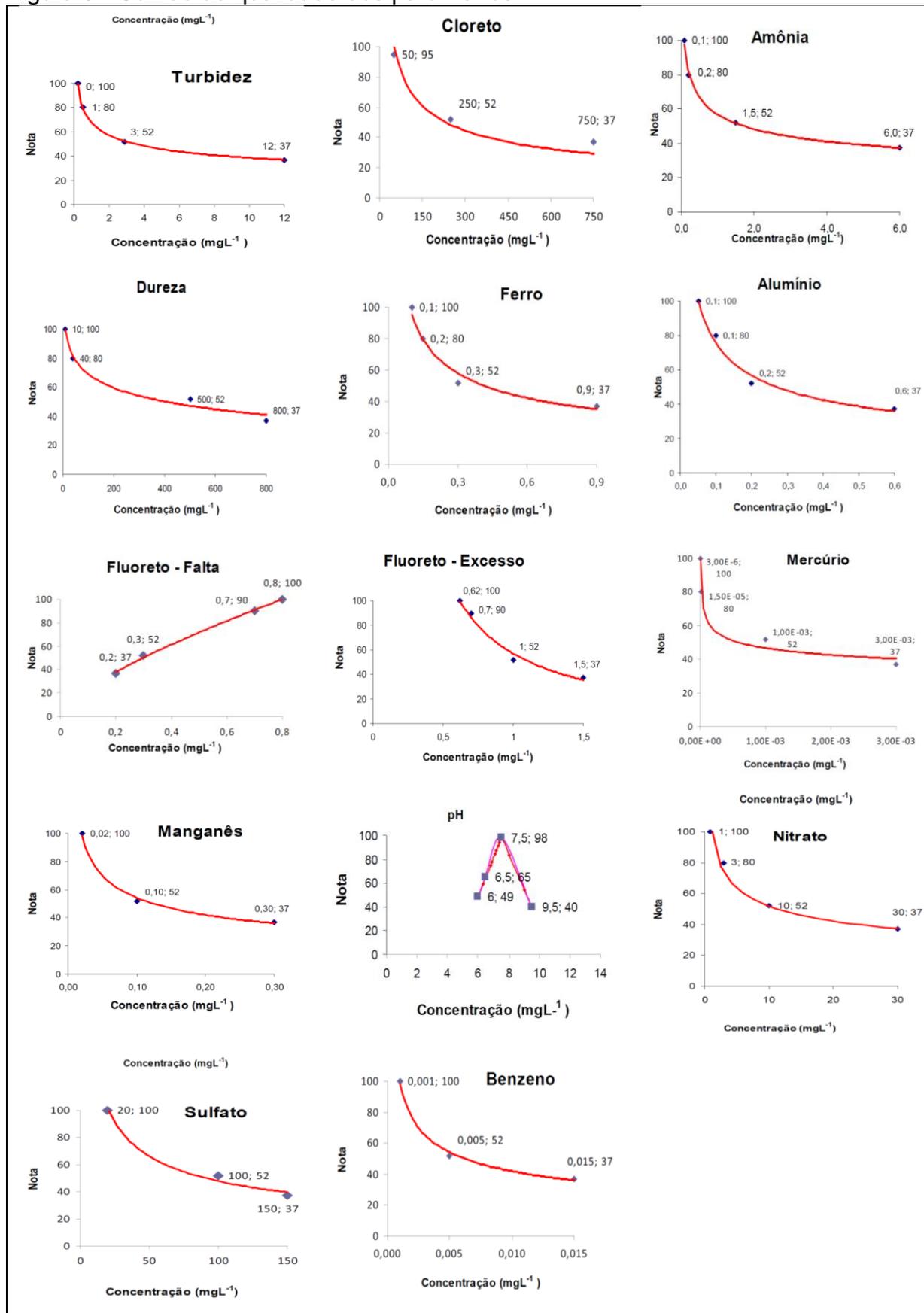
Tabela 5 – Parâmetros selecionados e os respectivos pesos para o IQASB.

Índice	Alteração	Parâmetros	Peso
IBIO	Microrganismos	Coliformes Termotolerantes	1,00
IFEMN	Ferro e Manganês	Ferro	0,50
		Manganês	0,50
		Cloreto	0,30
IMS	Mineralização - Salinidade	Dureza	0,30
		Fluoreto	0,10
		pH	0,10
IPS	Partículas em Suspensão	Sulfatos	0,20
		Turbidez	1,00
INIT	Nitratos	Nitrato	1,00
IAMO	Nitrogenados (fora Nitrato)	(Amônia)	1,00
IMIN	Micropoluentes Minerais	Mercúrio Total	1,00
IORG	Micropoluentes Orgânicos	Benzeno	1,00

Fonte: Negrão e Oliveira (2010).

As curvas de qualidade, nota versus concentração para os doze parâmetros escolhidos no Painel, para uso preponderante no abastecimento humano, estão apresentadas na Figura 3.

Figura 3 - Curvas de qualidade dos parâmetros.



Fonte: Fonte: Negrão e Oliveira (2010).

Na construção do índice, dois grupos de alterações, “Ferro e Manganês” e “Mineralização e Salinidade”, tiveram mais de um parâmetro, o que os obriga a uma agregação intermediária. Tanto a agregação dos subíndices intermediários, quanto a agregação final do índice utilizaram o método de agregação multiplicativa (NEGRÃO; OLIVEIRA, 2010).

O Índice Alteração Ferro e Manganês (IFEMN) é obtido pela Equação 2.

$$I_{FEMN} = Q_{FE}^{0,5} \times Q_{MN}^{0,5} \quad \text{Equação 2}$$

O índice Alteração Mineração e Salinidade (IMS) é obtido pela Equação 3.

$$IMS = Q_{\text{cloreto}}^{0,3} \times Q_{\text{dureza}}^{0,3} \times Q_{\text{Fluoreto}}^{0,1} \times Q_{\text{pH}}^{0,1} \times Q_{\text{Sulfato}}^{0,2} \quad \text{Equação 3}$$

Onde:

Q = subíndice, valor obtido na curva de qualidade.

Calculo final do IQASB pode ser obtido pela Equação 4.

$$IQASB = Q_{BIO}^{0,19} \times Q_{FEMN}^{0,06} \times Q_{MS}^{0,19} \times Q_{PS}^{0,06} \times Q_{NIT}^{0,19} \times Q_{AMO}^{0,06} \times Q_{MIN}^{0,06} \times Q_{ORG}^{0,19} \quad \text{Equação 4}$$

Da aplicação da equação final do IQASB resulta um número adimensional da faixa de 0 a 100. Assim como no IQNAS, a esse valor é atribuída a classificação de qualidade da água que pode variar, sendo Ótima, Boa, Regular, Ruim ou Péssima.

3.3.3 Índice de Qualidade da Água Subterrânea (IQAS)

O IQAS é uma formulação matemática desenvolvida para a avaliação empírica da qualidade da água subterrânea regional, utilizando simultaneamente dados de uma série de parâmetros químicos de caracterização de salinidade e poluição. Com isso, pode-se inferir sobre possíveis contaminações e/ou intrusão

salina no aquífero (MELLOUL e COLLIN, 1998). O IQAS pode ter seus resultados associados ao método DRASTIC, quando disponíveis informações sobre as características hidrogeológicas, morfológicas e físicas do aquífero, podendo determinar sua vulnerabilidade.

A aplicação do IQAS se deu originalmente com a utilização do Cloreto e Nitrato, onde os pesos desses parâmetros estavam previamente definidos, no entanto, quanto maior o número de parâmetros utilizados, mais representativo será o mapeamento do estado da qualidade das águas subterrâneas.

Para o cálculo do IQAS foi utilizada a Equação 5, proposta por Melloul e Collin (1998).

$$IQAS = (C/n) \times \left[\sum_{i=1}^n \left(\frac{W_i \times Y_i}{W_{max} \times Y_{max}} \right) \right] \quad \text{Equação 5}$$

Onde: C é uma constante, n é o número de parâmetros químicos utilizados no cálculo, W_i é o peso de cada parâmetro que varia com sua importância na pesquisa; W_{max} é o peso máximo fornecido e Y_{max} , é o máximo atribuído ao parâmetro que é 3,5 vezes maior ou igual ao seu valor padrão de qualidade (AMORIM *et al.* 2011).

Pela Equação 6 pode ser obtido o valor de y_i .

$$y_i = -0,712 \times (P_{ij}/P_{id})^2 + 5,228 \times (P_{ij}/P_{id}) + 0,484 \quad \text{Equação 6}$$

Onde: P_{ij} é o valor da concentração do parâmetro medido em campo, e P_{id} é o valor padrão estabelecido por resoluções e portarias que regulam a qualidade da água para determinada finalidade.

3.3.4 Índice Relativo de Qualidade (IRQ)

O IRQ caracteriza e hierarquiza o potencial de qualidade de água subterrânea. Nesse índice, mesmo sendo utilizados geralmente os parâmetros sólidos totais dissolvidos, nitrato e cloreto, que estão associados à interferência

antrópica, nada impede que a referida metodologia seja aplicada para caracterizar as variações de outros parâmetros de natureza antropogênica, como também para caracterizar alterações naturais da qualidade, desde que sejam previamente reconhecidos os valores de referência (*background*) para o sistema hidrogeológico avaliado (FERNANDES; LOUREIRO, 2006).

A metodologia de avaliação da água pelo IRQ esta voltada, preferencialmente, para diagnosticar as possíveis variações de qualidade provocadas, no sistema hidrogeológico, por interferências antrópicas. Neste sentido, os parâmetros originalmente utilizados são o nitrato (NO_3^-), Cloretos (Cl^-) e Sólidos Totais Dissolvidos (STD). Tais parâmetros foram escolhidos porque, comumente, respondem com variações significativas no meio hidrogeológico, principalmente se este for relacionado a um ambiente sendo excelentes indicadores de possíveis fontes de poluição/contaminação das águas subterrâneas (FERNANDES; LOUREIRO, 2006).

O cálculo do IRQ se dá pela média aritmética dos $\text{IRQ}_{\text{médio}}$ de cada parâmetro, que é descrito pela Equação 7.

$$\text{IRQ}_{\text{médio}} = V_i / \text{VMP}_i \quad \text{Equação 7}$$

A Equação 8 é utilizada para a obtenção do IRQ final.

$$\text{IRQ} = \text{IRQ}_{\text{médio}} / n \quad \text{Equação 8}$$

Onde: V_i é o valor médio resultante das análises do parâmetro i ; VMP_i é o valor máximo permitido pela portaria ou norma que se está usando para o parâmetro i ; e n é o número de parâmetros utilizados no cálculo.

A classificação do IRQ para a água subterrânea pode ser observado na Tabela 6.

Tabela 6 - Faixas escalares de variação do IRQ para caracterização do potencial qualitativo das águas subterrâneas para consumo humano.

Varição IRQ	Qualidade para Consumo Humano	Caracterização Geral
$0,0 \leq \text{IRQ} \leq 0,3$	Excelente	Águas subterrâneas sem indicativo de perda de qualidade por parte de qualquer dos parâmetros considerados. Neste caso, sem recomendação de tratamento prévio, mas com indicação de monitoramento periódico.
$0,3 \leq \text{IRQ} \leq 0,6$	Boa	Águas subterrâneas sem problemas de perda de qualidade, mas podendo apresentar um indicativo disso em função dos valores medidos estarem se aproximando do valor máximo permitido para potabilidade das águas, segundo os parâmetros de interesse. Neste caso, sem recomendação de tratamento prévio para utilização, mas chama-se a atenção para a necessidade de manter um monitoramento constante.
$0,6 \leq \text{IRQ} \leq 0,9$	Razoável	Águas subterrâneas, em princípio, sem problemas sérios mas com forte indicativo de perda de qualidade, dados os valores medidos muito próximos do valor máximo permitido para potabilidade das águas, segundo os parâmetros de interesse. Neste caso, comumente um dos parâmetros pode se apresentar com valor medido pouco acima do máximo permitido. Caso isto ocorra, recomenda-se o tratamento prévio para utilização. Caso isto não ocorra, chama-se a atenção para a necessidade de se manter o monitoramento constante.
$0,9 \leq \text{IRQ} \leq 1,2$	Ruim	Águas subterrâneas com qualidade comprometida (perda de qualidade) em função de um ou mais parâmetros analisados. Neste caso, constata-se que os valores medidos comumente são pouco superiores ao valor máximo permitido para potabilidade das águas, segundo os parâmetros de interesse. Dessa maneira, recomenda-se o tratamento prévio para utilização e a continuação do monitoramento constante.
$\text{IRQ} > 1,2$	Péssima	Águas subterrâneas com qualidade comprometida (perda de qualidade) em função de um ou mais parâmetros analisados. Neste caso, constata-se que os valores medidos comumente são muito superiores ao valor máximo permitido para potabilidade das águas, segundo os parâmetros de interesse. Dessa maneira, recomenda-se o tratamento prévio para utilização e a continuação do monitoramento constante.

Fonte: Fernandes e Loureiro (2006).

3.3.5 Índice de Qualidade da Água para Consumo Humano (IQAS_{CH})

Desenvolvido por Santos (2009), o Índice de Qualidade de Água Subterrânea para Consumo Humano (IQAS_{CH}) foi construído tomando como área piloto a Bacia Hidrográfica do Rio São Domingos (BHRSD) – Noroeste do RJ.

A construção do IQAS_{CH} foi realizada em duas etapas independentes, mas complementares. Na primeira, foram considerados apenas parâmetros que nas concentrações que naturalmente são observadas, não oferecem riscos a saúde humana e aos animais domésticos, sendo considerados como não tóxicos (CE,

Dureza, pH, Turbidez, NO_3^- , Coliformes Termotolerantes, Fe e Mn^{+2}). Na segunda etapa do índice são considerados parâmetros tóxicos (As, Ba, F, Pesticidas e Σ Pesticidas), cuja presença pode comprometer a saúde (SANTOS, 2009). Na Tabela 7 são observados os parâmetros utilizados no IQAS_{CH} .

Tabela 7 – Parâmetros utilizados no IQAS_{CH} .

Parâmetros	Consumo Humano	
	VG	VMP ou VME
Parâmetros da Primeira Etapa - Não Tóxicos		
Coliformes Termotolerantes (N/100 ml)	0	0
Condutividade Elétrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$ à 20° C)	400	1470
Dureza (mg/L CaCO_3)	80 e 400	<80 ou > 400
Ferro (mg/L)	0,05	0,3
Manganês (mg/L)	0,02	0,1
Nitrato (mg/L)	5	10
pH	6,5 e 8,50	<6 ou >9,50
Turbidez (NTU)	1	5
Sólidos em Suspensão (mg/L)	2	5
Parâmetros da Segunda Etapa - Tóxicos		
Arsênio (mg/L)		0,01
Bário (mg/L)		0,7
Fluoreto (mg/L)		1,5
Pesticidas (μL)		
Altrin		0,03
Clorpirifós		30
Diazinon		3
Diclorvós		1
Endossulfan (α e β)		≤ 20
Fenitrotion		≤ 10
Fentoato		
Lindano		2
Malation		190
Metilparation		100
Metolclochloro		10
Pesticidas		0,1
Σ Pesticidas		0,5

VG: Valor Guia; VMP: Valor Máximo Permitido; VME: Valor Mínimo Exigido. Santos (2009).

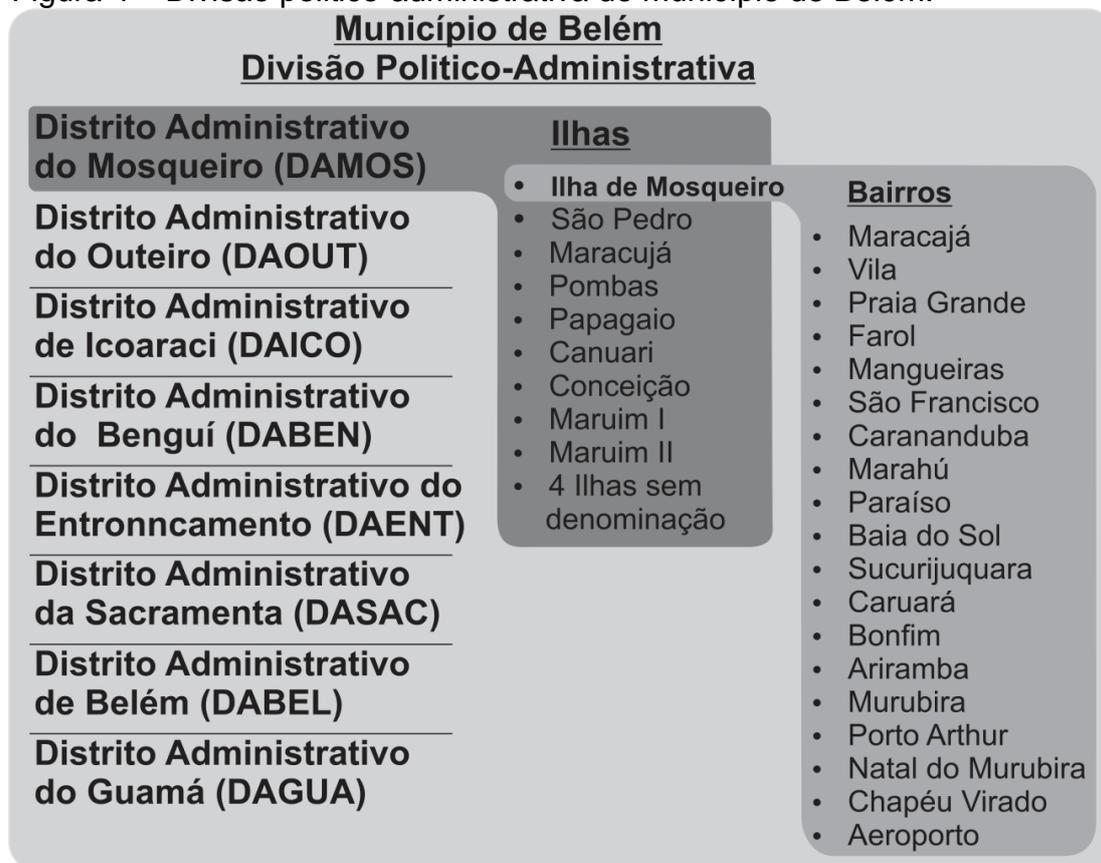
Para facilitar o cálculo com o IQAS_{CH} , foi desenvolvido um programa interativo, concebido no Visual Basic, para plataforma de Microsoft Excel. O objetivo foi facilitar os cálculos da aplicação do mesmo índice e divulgar o IQAS_{CH} , podendo subsidiar o monitoramento das águas subterrâneas na BHRSD e a avaliação da qualidade das águas subterrâneas em áreas similares, por comitês de bacias hidrográficas, prefeituras e órgãos ambientais (SANTOS, 2009).

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA REGIÃO DE ESTUDOS

A pesquisa foi realizada em Mosqueiro, que é a maior dentre as ilhas que integram o Distrito Administrativo do Mosqueiro (DAMOS) pertencente ao município de Belém. A divisão político-administrativa que engloba a ilha do Mosqueiro pode ser observada na Figura 4.

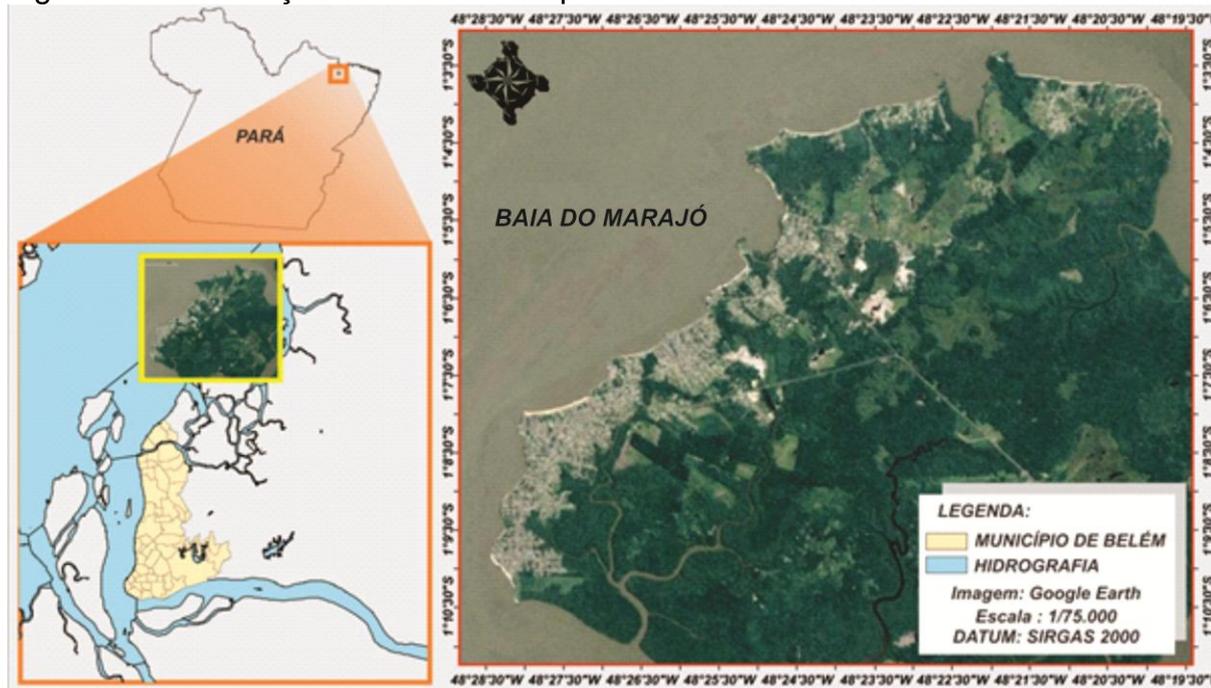
Figura 4 – Divisão político-administrativa do município de Belém.



Fonte: Belém (2012).

A ilha do Mosqueiro se caracteriza por ser fluvial, da costa oriental do rio Pará, no braço sul do rio Amazonas, localizada em frente à baía do Marajó. Sua área é de aproximadamente 212 km², com localização a 70 km do centro da capital Belém. Possui 17 km de praias de água doce associada ao regime de maré (BELÉM, 2013). Sua localização pode ser observada na Figura 5.

Figura 5 – Localização da ilha do Mosqueiro.



4.1.1 Características Socioeconômicas

A ilha do Mosqueiro apresenta-se como ponto turístico do município de Belém, recebendo visitantes de outros municípios paraenses, principalmente os municípios próximos, que integram a Região Metropolitana de Belém (RMB).

O fluxo mais intenso de pessoas na ilha se dá no verão amazônico, mais especificamente no mês de julho, período das férias escolares.

A ilha também apresenta áreas voltadas à moradia da população local, à produção agropecuária e à preservação (FERREIRA, 2010). Com número de habitantes residentes nas áreas urbana e rural de 31.394 e 1.838 respectivamente, totaliza população de 33.232 habitantes (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2010) em seus 19 bairros, e equivale a 2 % da população total residente no município de Belém.

4.1.2 Clima

O clima na ilha do Mosqueiro é tropical, super-úmido e quente com média de 26°C ao ano (PARÁ, 2005 *apud* VASCONCELOS; SOUZA, 2011). A precipitação

pluviométrica média anual é de 2.800 mm, com período chuvoso de dezembro a junho e um período de estiagem de julho a novembro. A umidade relativa do ar média é de 90% no período chuvoso e 80% no período de estiagem (MASCARENHAS *et al.* 2009).

4.1.3 Relevo

Na ilha o relevo é plano com cotas máximas de 38 m e mínimas de 2 m correspondendo a pequenas ondulações no relevo e nas planícies. Estudos feitos nas praias identificam o solo como: hidromórficos apresentam um horizonte B latossólico em perfil profundo onde o teor de argila cresce geralmente em profundidade (SANTOS, 2004).

4.1.4 Vegetação

Para Costa e Pietrobom (2007), a cobertura vegetal natural da ilha do mosqueiro é constituída predominantemente por floresta ombrófila densa. A vegetação compõe-se, mais especificamente de:

- floresta de terra firme densa;
- floresta de terra firme aberta, floresta de várzea;
- floresta de igapó;
- manguezal.

Destaca-se, ainda, a presença de floresta secundária ou ‘capoeira’ que, no ano de 1995, este tipo de vegetação já ocupava aproximadamente 24% da área total da ilha (VENTURIERI *et al.*, 1998 *apud* COSTA E PIETROBOM, 2007).

4.1.5 Hidrogeologia

Segundo Matta (2002) a RMB na qual está incluída a ilha do Mosqueiro, é formada por aquíferos aluviões, Pós-Barreiras, Barreiras, Pirabas Superior e Pirabas Inferior.

a) Aluviões

São aquíferos livres formados pela deposição de sedimentos fluviais e materiais erodidos, predominantemente arenosos e conglomeráticos, e se constituem, normalmente, em bons aquíferos (ANDRADE, 2010). Ocorrem no intervalo de 0 a 10 m de profundidade e apresentam vazões médias de 10 m³/h sua recarga se dá por precipitação pluviométrica e a descarga por meio dos rios, fontes, evapotranspiração e poços (PALHETA, 2008).

b) Barreiras

É um aquífero livre a semi-confinado com espessura variável, sendo constituído predominantemente por camadas arenosas com intercalações de sedimentos argilosos. Em poços perfurados no aquífero Barreiras de produtividade moderada, foram observadas profundidades variando de 12 a 100 metros, com vazão média de 23 m³/h e capacidade específica, também média, em torno de 4 m³/h/m. Os poços de aquíferos Barreiras com baixa produtividade apresentaram profundidades variando de 25 a 78 metros, com vazão média de 5 m³/h e capacidade específica inferior a 1m³/h/m podendo, localmente, ocorrer vazões abaixo ou acima dos limites estabelecidos para a classe. Suas águas geralmente apresenta boa qualidade química, mas com teor de Fe total frequentemente elevado (COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS, 2007).

c) Pós-Barreiras

São aquíferos livres ou localmente semiconfinados formados por materiais arenosos, intercalados com sedimentos argiloarenosos. Este conjunto apresenta espessura total de aproximadamente 30 m e vazões de 1 a 3m³/h. Em alguns casos são recobertos por alúvios e colúvios. Podem apresentar teores excessivos de ferro e são recarregados basicamente por precipitações pluviométricas e suas descargas ocorrem por meio dos rios, fontes, evapotranspiração e poços (PALHETA, 2008).

d) Pirabas Superior

São aquíferos de natureza confinados com sucessivas camadas de arenitos calcíferos/calcários que se alternam com siltitos e argilitos. Geralmente ocorrem geralmente a partir de 80m de profundidade, e prolongam-se até 180 m. As vazões podem variar de 100 a 200 m³/h. São separados do Aquífero Pirabas inferior por argilitos e siltitos esverdeados (PALHETA, 2008).

e) Pirabas Inferior

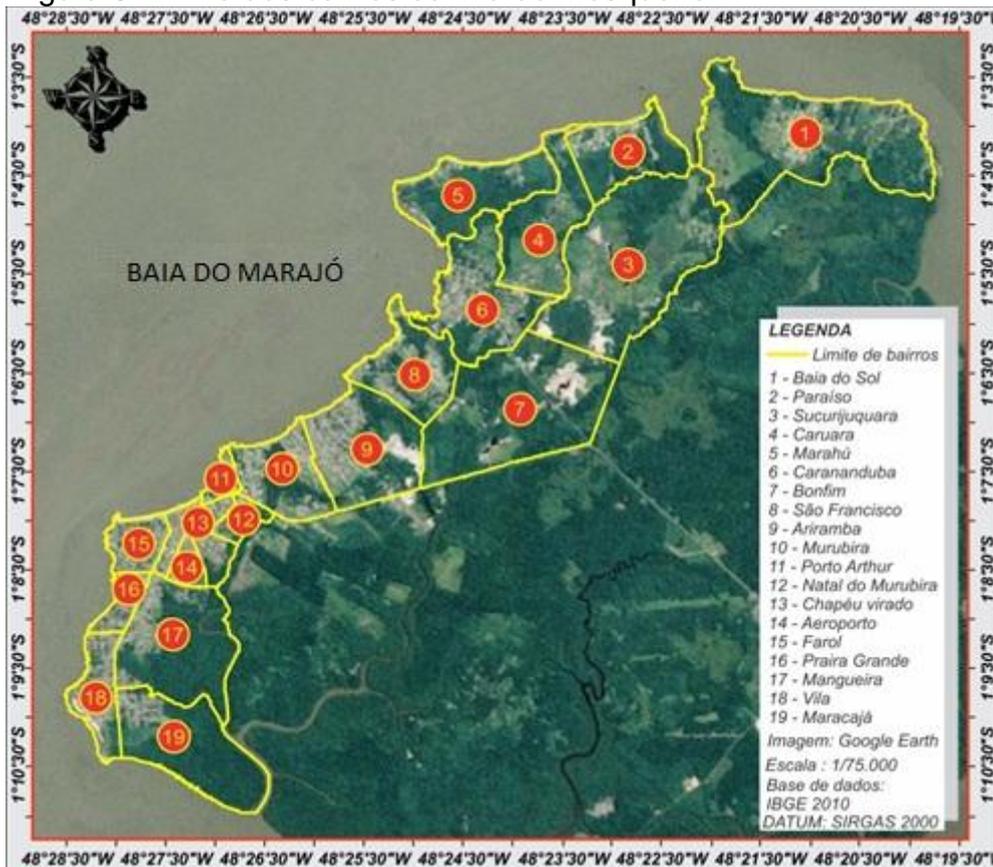
De acordo com Palheta (2008), são aquíferos confinados compostos por repetidas camadas de arenitos de coloração cinza-esbranquiçada com granulação fina e conglomerática.

Geralmente ocorrem a partir dos 180 m de profundidade. Estes arenitos estão intercalados com níveis de argilitos e siltitos esverdeados, de espessuras maiores. Possuem as melhores vazões da região, em torno de 300 m³/h ou maiores.

4.2 DESCRIÇÃO DA PESQUISA

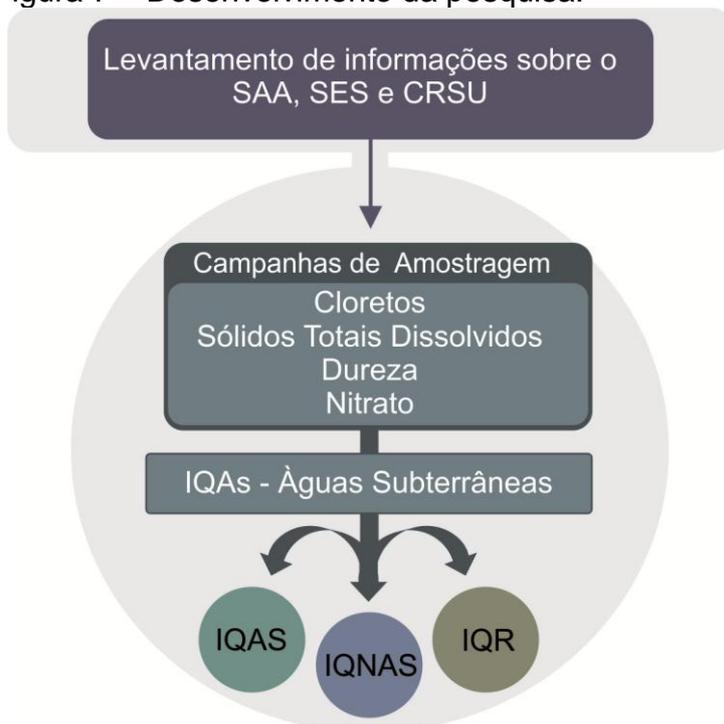
Para avaliar a qualidade da água consumida pela população da ilha do Mosqueiro, foram levantadas as condições de saneamento, utilizados parâmetros de qualidade da água subterrânea de abastecimento público e calculados os índices de qualidade da água subterrânea nos bairros de Caruara, Chapéu Virado, Farol, Marahú, Murubira, Paraíso, Porto Arthur, Praia Grande e Vila. Na Figura 6 os bairros da ilha do Mosqueiro podem ser observados.

Figura 6—Limite dos bairros da ilha do Mosqueiro.



Na Figura 7 pode ser observado o resumo do desenvolvimento da pesquisa.

Figura 7 – Desenvolvimento da pesquisa.



4.2.1 Levantamento de informações do SAA, SES e CRSU

O levantamento das condições dos SAA, SES e CRSU foi realizado por meio de visitas de campo e consultas (documentais e entrevistas com técnicos do setor) nas concessionárias responsáveis pelos respectivos sistemas. O objetivo do levantamento de informações foi verificar se as atuais condições dos sistemas permitem que estes desempenhem sua função com eficácia, abastecendo toda a população da ilha com água dentro dos padrões de potabilidade e efetue coleta dos esgotos e resíduos sólidos da população, evitando que estes busquem soluções alternativas que possam vir a contaminar os aquíferos da ilha.

4.2.2 Campanhas de amostragem na ilha do Mosqueiro

Os pontos de amostragem (3 pontos de coleta para cada bairro selecionado) foram definidos após visita de reconhecimento na área de estudo em agosto de 2010. A seleção dos pontos ocorreu de acordo com a intensidade de ocupação populacional da ilha, cobertura com sistema de abastecimento de água e a colaboração dos moradores locais. Devido esses fatores, a distribuição dos pontos selecionados se deu ao longo dos bairros mais populosos (onde se localizam as praias), no sentido crescente de urbanização da ilha e de maneira não uniforme. As coletas foram realizadas em dois períodos sazonais, chuvoso e menos chuvoso. A coleta no período menos chuvoso foi realizada em outubro de 2010, e no chuvoso, foi realizada em março de 2011. Figura 8 pode ser observado o registro fotográfico do trabalho de campo realizado na ilha do Mosqueiro.

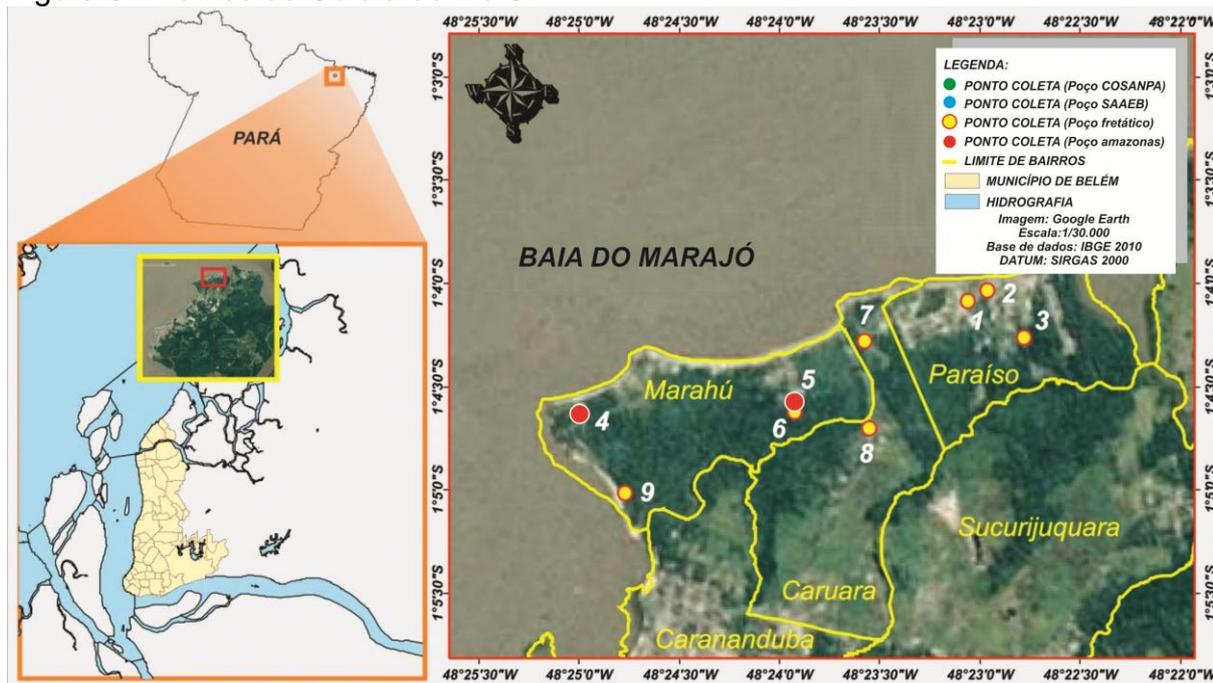
Figura 8 – Trabalho de campo.



a) Registro das coordenadas dos pontos de amostragem no GPS, b) Preparação para a coleta, c) e d) Coleta em residência no bairro Porto Arthur, e) e f) Coleta em residência no bairro Vila, g) Acondicionamento e preservação das amostras em caixa isotérmica.

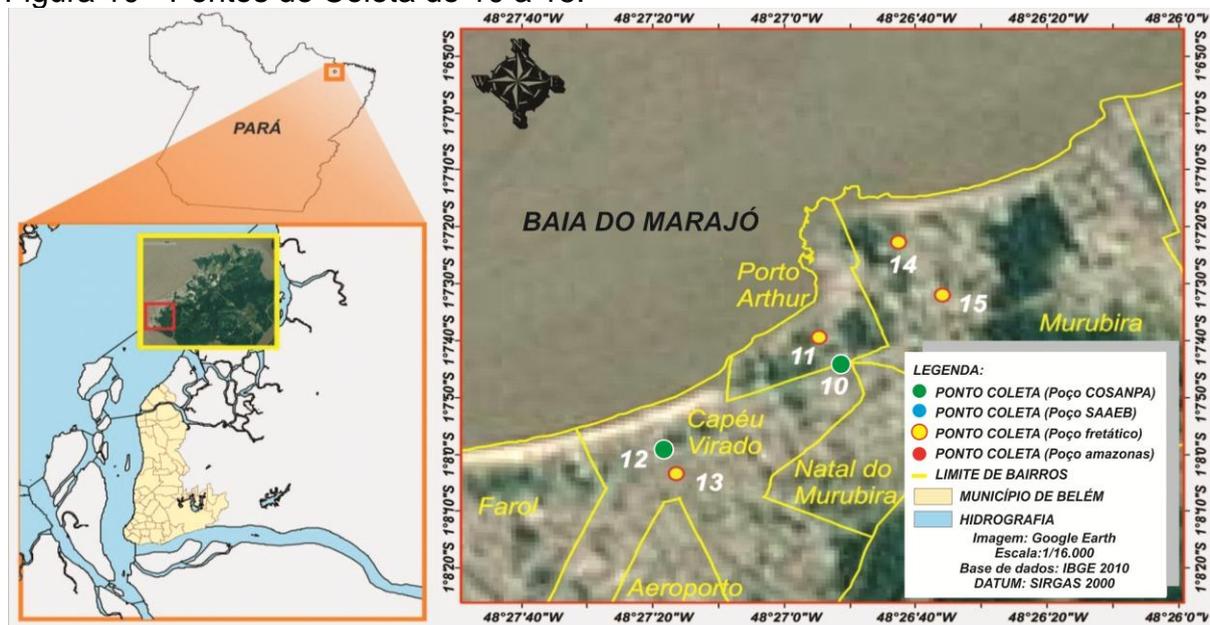
Na Figura 9, podem ser observadas as localizações dos primeiros pontos de coleta, de 1 a 9, e foram obtidos nos bairros do Paraíso, Caruara, e Marahú, os menos populosos da ilha do Mosqueiro.

Figura 9 - Pontos de Coleta de 1 a 9.



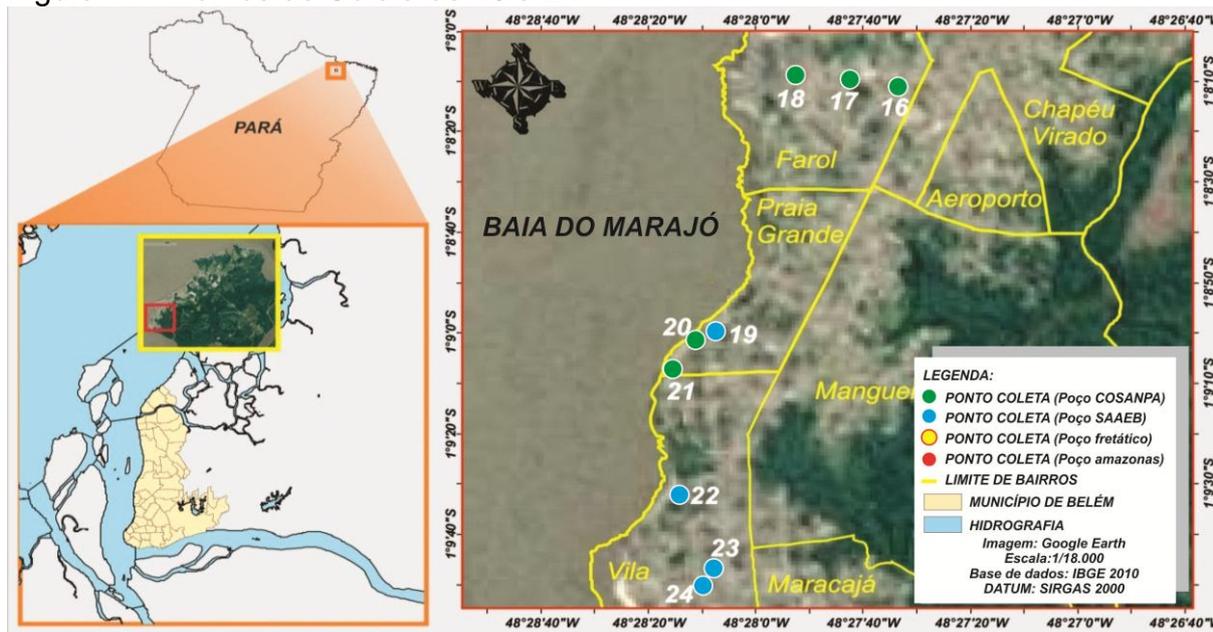
As coletas dos pontos de 10 a 15 foram realizadas nos bairros do Murubira, Porto Arthur, Chapéu e Virado, como pode ser observado na Figura 10.

Figura 10 - Pontos de Coleta de 10 a 15.



Na Figura 11 são observados os pontos de 16 a 24, que foram obtidos nos bairros do Farol, Praia Grande e Vila.

Figura 11 - Pontos de Coleta de 16 a 24.



As amostras foram acondicionadas em frascos de polietileno de 1 litro e armazenadas em caixa isotérmica com gelo, para a conservação até o momento da análise que foi realizada no laboratório de química ambiental da Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA).

Os cálculos dos IQAs foram realizados a partir dos dados de cloreto, sólidos totais dissolvidos, dureza e nitrato obtidos em Mesquita (2012).

4.2.3 Determinação dos Índices de Qualidade da Água Subterrânea (IQAS, IQNAS e IRQ)

4.2.3.1 Índice de Qualidade Natural de Água Subterrânea (IQNAS)

A formulação matemática utilizada na obtenção deste índice foi a Equação 1.

$$INQAS = \text{produto}(Q_i^{wi}) = Q_1^{w1} \times Q_2^{w2} \times Q_3^{w3} \times \dots \times Q_n^{wn} \quad \text{Equação 1}$$

Os valores de Q_i foram obtidos pelas equações mostradas na Tabela 2.

Tabela 2 – Equações matemáticas para a obtenção do INQAS.

Parâmetros e Unidades	Equações Matemáticas	Intervalos de Validade
pH	$Q_{pH} = 1,7354 \times (pH)^2$	$[2 \leq pH \leq 7,34]$
(-)	$Q_{pH} = 16405 \times [(pH)^{-2,5}] - 17$	$[pH \geq 7,35]$
Cloroeto (Cl, mg.L ⁻¹)	$Q_{Cl} = 100$	$[Cl < 4,86]$
	$Q_{Cl} = 138,9 \times (Cl)^{-0,19561} - (Cl)^{0,42}$	$[4,86 \leq Cl \leq 3000]$
	$Q_{Cl} = 0,0$	$[Cl > 3000]$
Sólidos Totais (ST, mg. L ⁻¹)	$Q_{ST} = 79 - 0,16728 \times ST + EXP[(ST)^{0,228}]$	$[0 \leq ST \leq 1630]$
	$Q_{ST} = 27,7$	$[ST > 1630]$
Dureza (DUR, mg.L ⁻¹)	$Q_{DUR} = 100$	$[DUR < 5,4]$
	$Q_{DUR} = 101,1 \times EXP(-0,00212 \times DUR)$	$[DUR \geq 5,4]$
Fluoreto (F, mg.L ⁻¹)	$Q_F = 80 + 21 \times F - (F)^{11,6263}$	$[0 \leq F \leq 1,5]$
	$Q_F = 0,0$	$[F > 1,5]$
Nitrato (N-NO ₃ ,mg.L ⁻¹)	$Q_N = 100 \times EXP(-0,0994 \times N)$	$[N \geq 0,0]$

Fonte: Oliveira; Negrão; Silva (2007).

Com relação aos pesos dos parâmetros (w_i), houve a necessidade de uma redistribuição, pela falta de dados das variáveis pH e fluoreto, que não foram analisadas. Essa redistribuição foi baseada em Coutinho et. al. (2013) que aplicaram esse índice sem as informações de fluoreto e de sólidos totais, e descreveram que no trabalho de Oliveira et. al (2007) não há informações sobre os critérios utilizados para determinação do intervalo de classes de qualidade. Para não modificar os pesos das demais variáveis (cloroeto, dureza e nitrato) foi remanejado o peso do pH para sólidos totais, conforme a Tabela 8.

Tabela 8 – Redistribuição dos pesos dos parâmetros do IQNAS.

Parâmetros (Qn)	Pesos originais	Pesos redistribuídos (Wn)
pH	0,05	-
Cloreto (mg.L ⁻¹)	0,26	0,419
Sólidos totais (mg.L ⁻¹)	0,22	0,081
Dureza (mg.L ⁻¹)	0,16	0,258
Fluoreto (mg.L ⁻¹)	0,16	-
Nitrato (mg.L ⁻¹ de N-NO ₃ ⁻)	0,15	0,242
Soma dos pesos	1	1

Fonte: Oliveira; Negrão; Silva (2007).

4.2.3.2 Índice de Qualidade da Água Subterrânea (IQAS)

Para o cálculo deste índice, foram utilizados os mesmos parâmetros adotados em sua aplicação original, no caso, o cloreto e o Nitrato, que são parâmetros indicadores de poluição e salinidade.

Na primeira etapa da determinação do IQAS foi utilizada a Equação 6.

$$y_i = -0,712 \times (P_{ij}/P_{id})^2 + 5,228 \times (P_{ij}/P_{id}) + 0,484 \quad \text{Equação 6}$$

Para a aplicação da Equação 6, foi adotado um valor de P_{id} igual 10 para o parâmetro nitrato e 250 para o parâmetro cloreto. Estes são os valores máximos permitidos na água potável pela portaria 2.914 do Ministério da Saúde. Tais valores padrões foram adotados porque a aplicação das coletas se deu na água consumida pela população local.

A obtenção efetiva do índice foi realizada pela aplicação da Equação 5.

$$IQAS = (C/n) \times \left[\sum_{i=1}^n \left(\frac{W_i \times Y_i}{W_{max} \times Y_{max}} \right) \right] \quad \text{Equação 5}$$

Na aplicação da Equação 5, foi adotado valor de C igual a 10. Os pesos atribuídos ao cloreto e nitrato (W_i), foram 1 e 2, respectivamente, sendo o valor de

$Y_{\text{máx}}$ igual a 10. Estes valores foram propostos por Melloul e Collin (1998). Foi utilizado valor de n igual a 2, pois este é o número de parâmetros utilizado neste cálculo.

4.2.3.3 Índice Relativo de Qualidade da Água (IRQ)

Na determinação deste índice, foi primeiramente calculado o $IRQ_{\text{médio}}$ de cada parâmetro, obtido pela Equação 7.

$$IRQ_{\text{médio}} = V_i/VMP_i \quad \text{Equação 7}$$

O $IRQ_{\text{médio}}$ foi obtido para os parâmetros nitrogênio, cloreto e sólidos totais dissolvidos, sendo utilizados os valores padrões da portaria 2.914 do Ministério da Saúde como referência.

Com os valores de $IRQ_{\text{médio}}$, foi calculado o IRQ final pela Equação 8.

$$IRQ = IRQ_{\text{médio}}/n \quad \text{Equação 8}$$

Na Equação 8 foi adotado o valor 3 para a variável n , já que foram utilizados três parâmetros de qualidade da água no cálculo deste índice.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

No levantamento realizado, foi observada a carência de informações sobre a área de estudo. O isolamento geográfico do DAMOS em relação ao município de Belém é um dos fatores que tem dificultado a manutenção e o avanço do saneamento básico e das condições socioeconômicas nessa área.

5.1 ABASTECIMENTO DE ÁGUA (SAA)

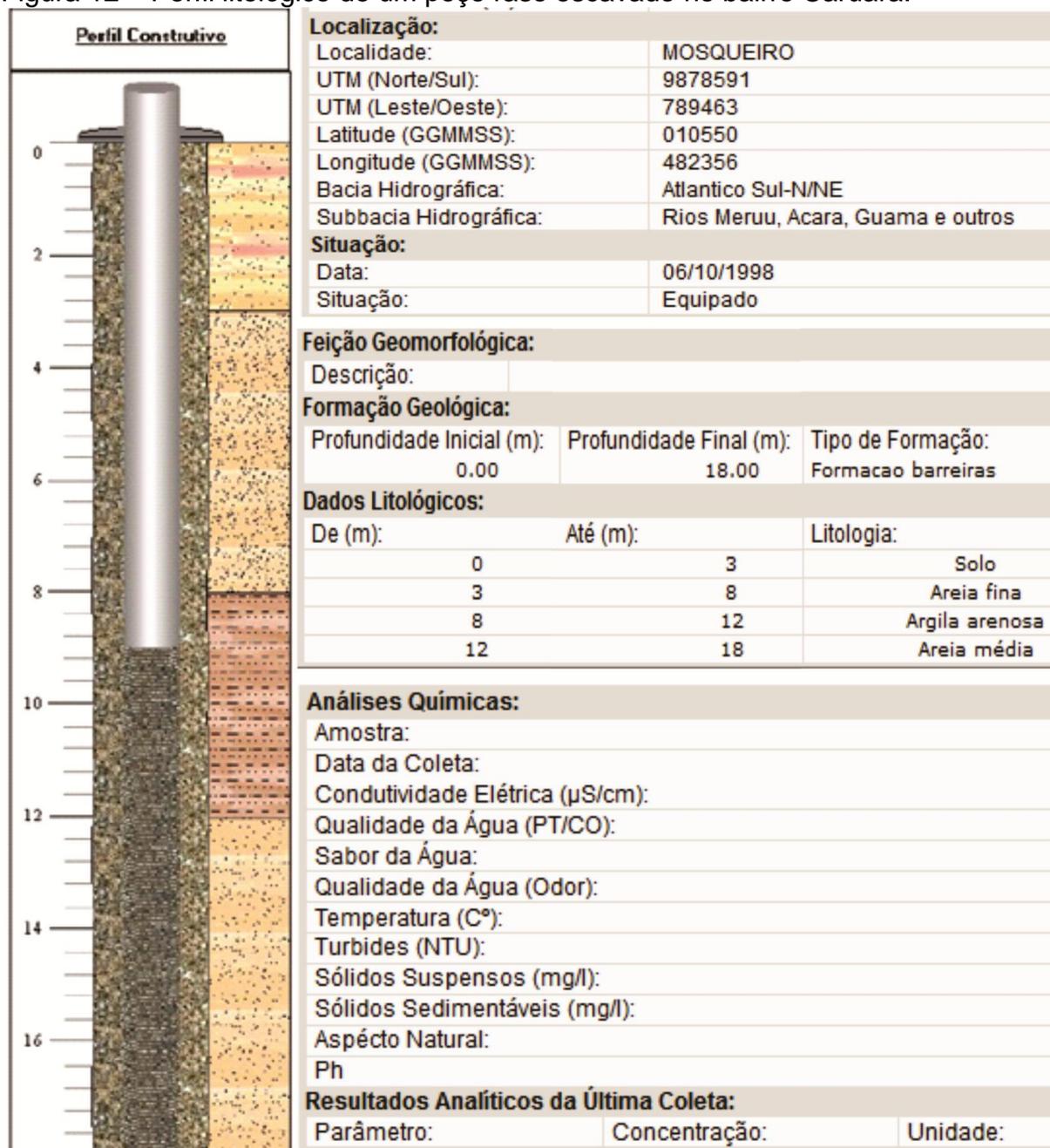
Realizado por manancial subterrâneo, a água é utilizada pelo sistema público de abastecimento, e pelos sistemas individuais utilizados por escolas, indústrias, comércio em geral e por muitos moradores não atendidos com sistemas públicos de abastecimento de água.

5.1.1 Abastecimento individual

De acordo com a Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (2015), no Sistema de Informações de Águas Subterrâneas (SIAGAS), na ilha estão atualmente cadastrados 393 poços, sendo que a maior parte é constituída por poços tubulares rasos, de propriedade particular. Desses poços, quase sua totalidade foram perfurados antes do ano 2000. Alguns poços rasos registrados foram perfurados da década de 70, inclusive de propriedade das concessionárias de abastecimento público atuantes na ilha. Esses poços estão na situação de equipados ou abandonados.

Na Figura 12 pode ser observado o perfil litológico de um poço raso particular escavado no bairro Caruara e registrado em 1998.

Figura 12 – Perfil litológico de um poço raso escavado no bairro Caruara.



Fonte: Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (2015).

As profundidades desses poços geralmente variam de 10 a 25 metros, captando água, na maioria das vezes de aquíferos livres (Aluviões), recarregados por rios, lagos, precipitações pluviométricas e poços de bombeamento próximos à água superficial (DEMÉTRIO *et al.*, 2013). Esses aquíferos, por serem livres e sofrerem influência de diversos fatores, sendo conseqüentemente vulneráveis as contaminações, não são, em primeiro plano, recomendados para o abastecimento doméstico. Um exemplo desse fator é observado na pesquisa elaborada por Rocha

et al. (2011), em que foi detectada a presença de coliformes termotolerantes em poços rasos nos bairros do cajueiro, município de Santa Viçosa, Bahia. Os fatores que mais influenciaram para contaminação da água foram a falta do distanciamento mínimo, entre o córrego e os poços, a não vedação da tampa dos poços e sua pequena profundidade.

Em sua maioria, os poços tubulares rasos, são perfurados manualmente e com raras exceções, são construídos sem critérios técnicos e de higiene. Esse fator resulta na falta de dados técnicos, o que impede a determinação de parâmetros hidráulicos do poço e as características físico-químicas da água (MATTA, 2002).

Outro tipo de obra de captação de água muito observada na ilha do Mosqueiro, é o poço tipo amazonas, construído por meio de escavação realizada sem critérios técnicos pelos próprios moradores das comunidades. Esses poços obviamente não estão registrados e são extremamente vulneráveis a contaminação tanto pela infiltração de poluentes no solo como pela exposição a céu aberto. Sua profundidade pode variar de 2 a 10 metros, com diâmetro de aproximadamente 1,50 metros. De acordo com Matta (2002), valores entre 2,5 e 7,8 metros foram medidos nos outros distritos administrativos de Belém. A captação de água nesses poços geralmente é realizada por bombas hidráulicas, no entanto, o baixo poder aquisitivo de alguns moradores faz com que realizem captação de forma rudimentar, com a utilização de recipientes (baldes) presos a cordas.

Na Figura 13 pode ser observada a captação de água de poço tipo amazonas por meio do uso de bombas hidráulicas.

Figura 13 – Captação individual de água em poço tipo amazonas.



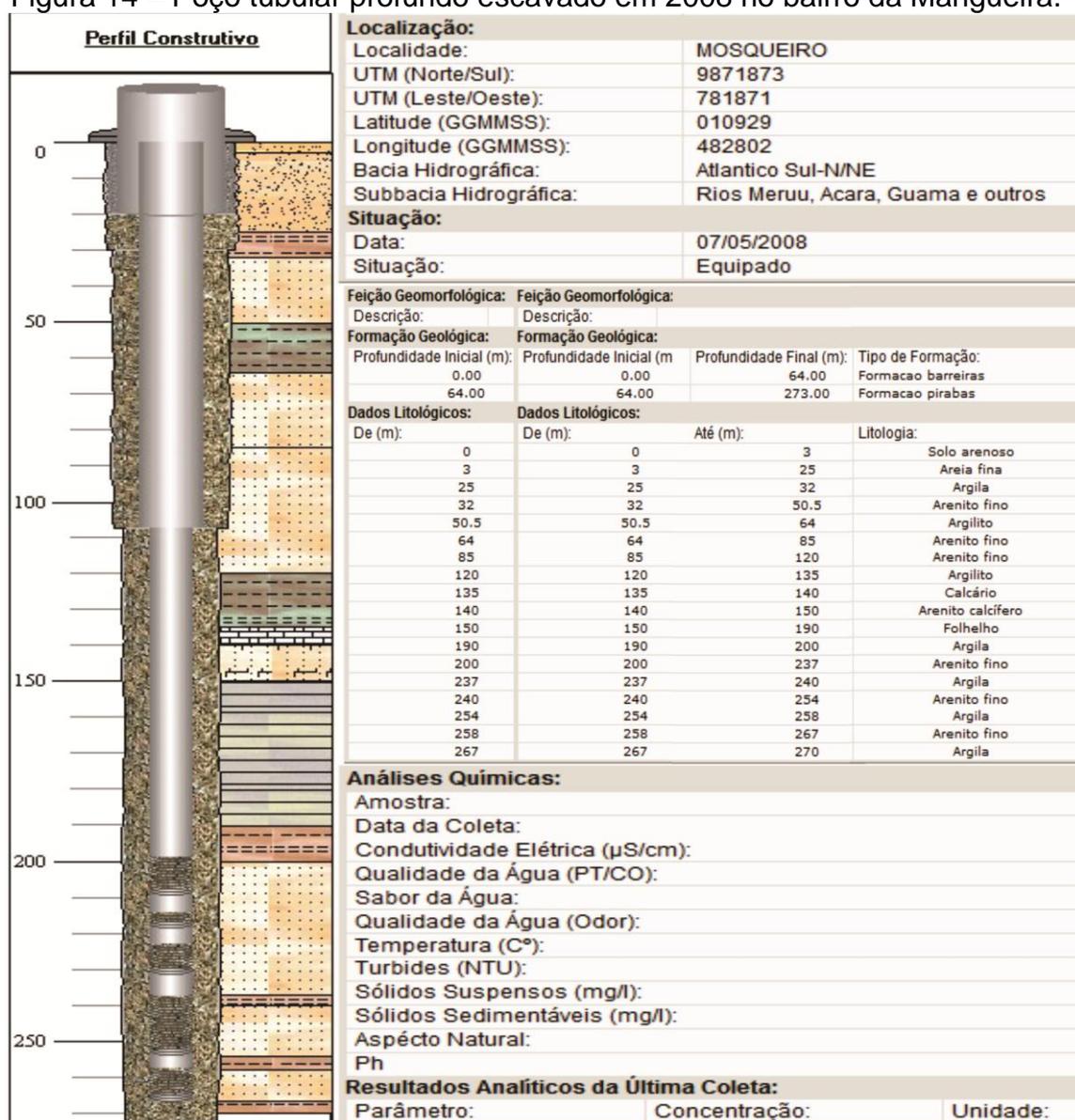
a) residência no bairro Porto Artur; b) residência no bairro Caranduba; c) residência no bairro do Paraíso.

Os poços perfurados na ilha do Mosqueiro, depois do ano 2000 e registrados pelo SIAGAS foram poucos, e em sua maioria, profundos e de propriedade das concessionárias de abastecimento público de água, indústrias e comércios em geral.

Os poços com finalidade para o abastecimento público e industrial obedecem a critérios estabelecidos por normas técnicas, já que o poder aquisitivo lhes permite a escavação de poços tubulares profundos por serviço especializado, constituindo obras de engenharia hidrogeológica. Essas obras, no caso da ilha do Mosqueiro, podem alcançar as formações Barreiras e Pirabas, que são aquíferos confinados de melhor qualidade da água e maior capacidade hidráulica.

Na Figura 14 pode ser observado o poço tubular profundo de propriedade de uma empresa privada, escavado no bairro da Mangueira.

Figura 14 – Poço tubular profundo escavado em 2008 no bairro da Mangueira.

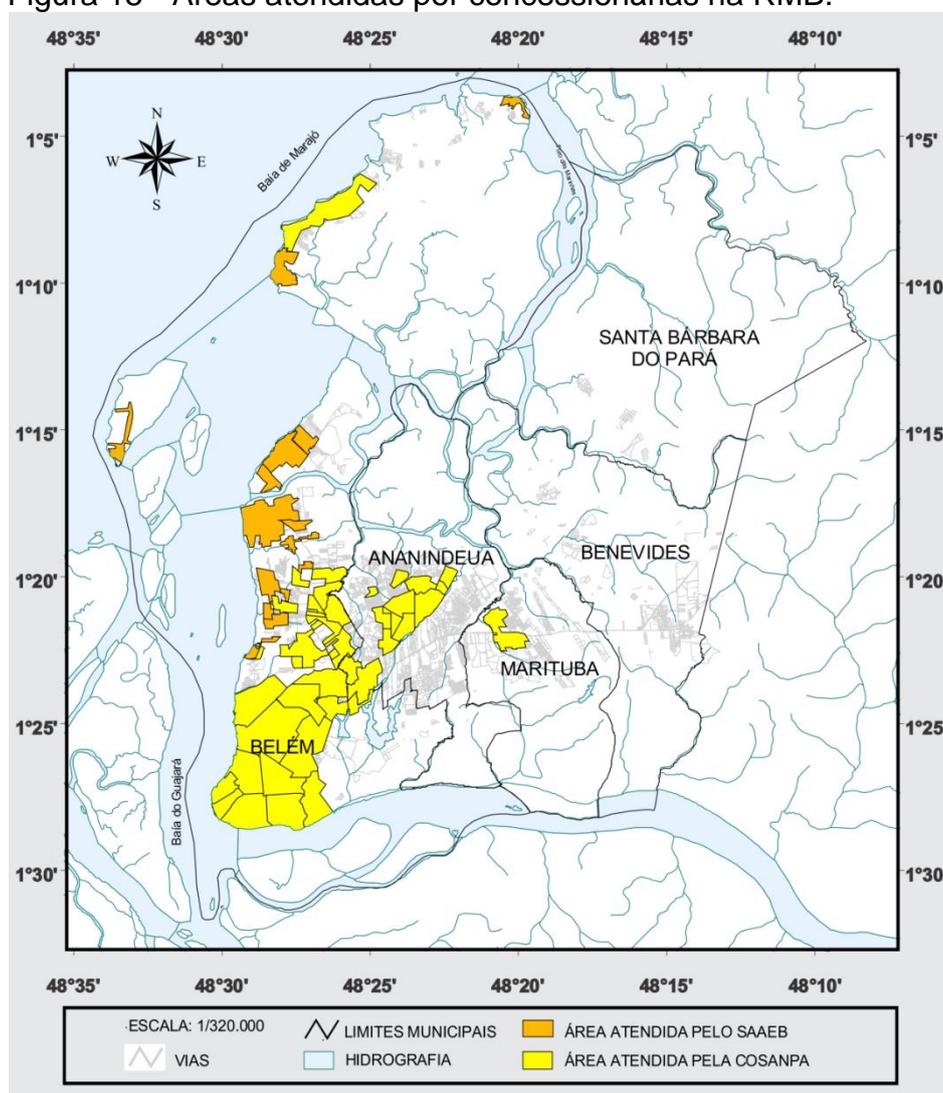


Fonte: Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (2015).

5.1.2 Abastecimento Público

Atualmente, o abastecimento de água na ilha do Mosqueiro é realizado por dois órgãos: Companhia de Saneamento do Pará (COSANPA), responsável pelo gerenciamento e operação dos sistemas de abastecimento de água que atendem a maior parte do da RMB e outros municípios do estado; e o Serviço Autônomo de Água e Esgoto de Belém (SAEEB). Na Figura 15 podem ser observadas as áreas atendidas pela COSANPA e SAAEB na RMB.

Figura 15 - Áreas atendidas por concessionárias na RMB.



Fonte: Pará (2006).

Apesar da existência do SAAEB, de acordo com Belém (2014a), em audiência pública, ocorrida no dia 21 de novembro de 2014, às 11:30 horas, o diretor presidente da Agência Reguladora Municipal de Água e Esgoto de Belém (AMAE)

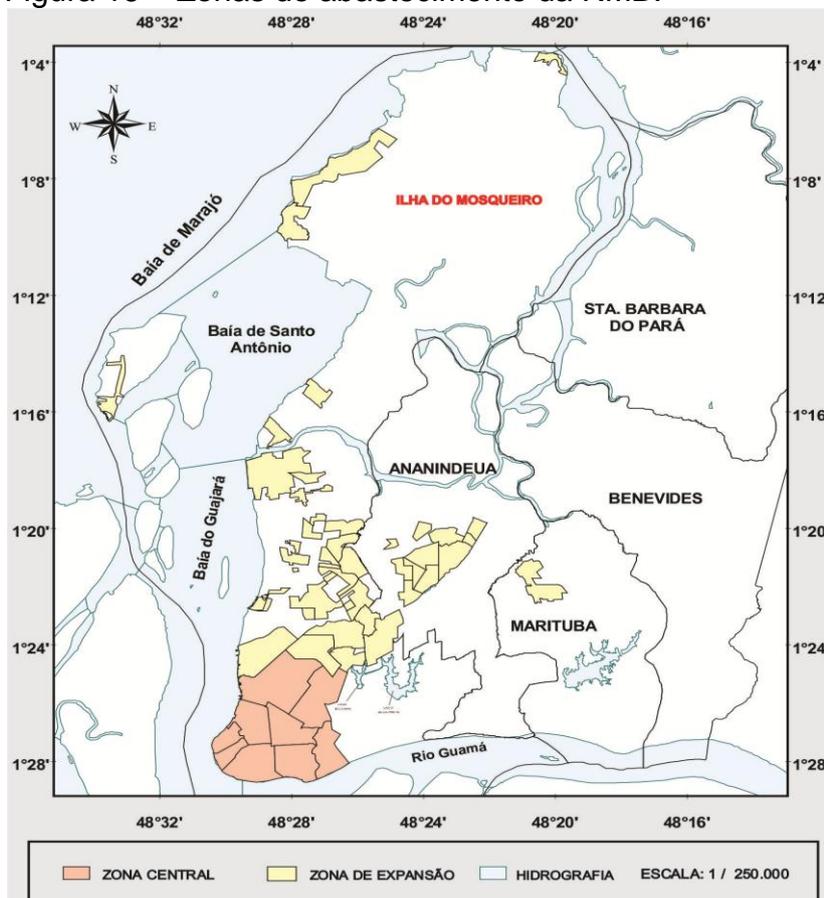
expôs contrato de programa a ser firmado entre a Prefeitura Municipal de Belém (PMB) e a COSANPA, cujo objeto é a prestação dos serviços de abastecimento de água e esgotamento sanitário no município de Belém. No contrato, está prevista transferência dos sistemas gerenciados pelo SAAEB para a COSANPA.

a) Zonas de Abastecimento

De acordo com Serviço Autônomo de Água e Esgoto de Belém (2014) a RMB é dividida em duas zonas de abastecimento de água: a Zona Central e a Zona de Expansão. Somando as duas zonas, existem 39 setores de abastecimento na RMB, sendo 9 localizados na Zona Central e 30 localizados na a Zona de Expansão (BELÉM, 2014b).

Na Zona de Expansão, existem mais 12 setores isolados operados pelo SAAEB. A Ilha de Mosqueiro está localizada nessa zona (Figura 16), que também é abastecida pela COSANPA.

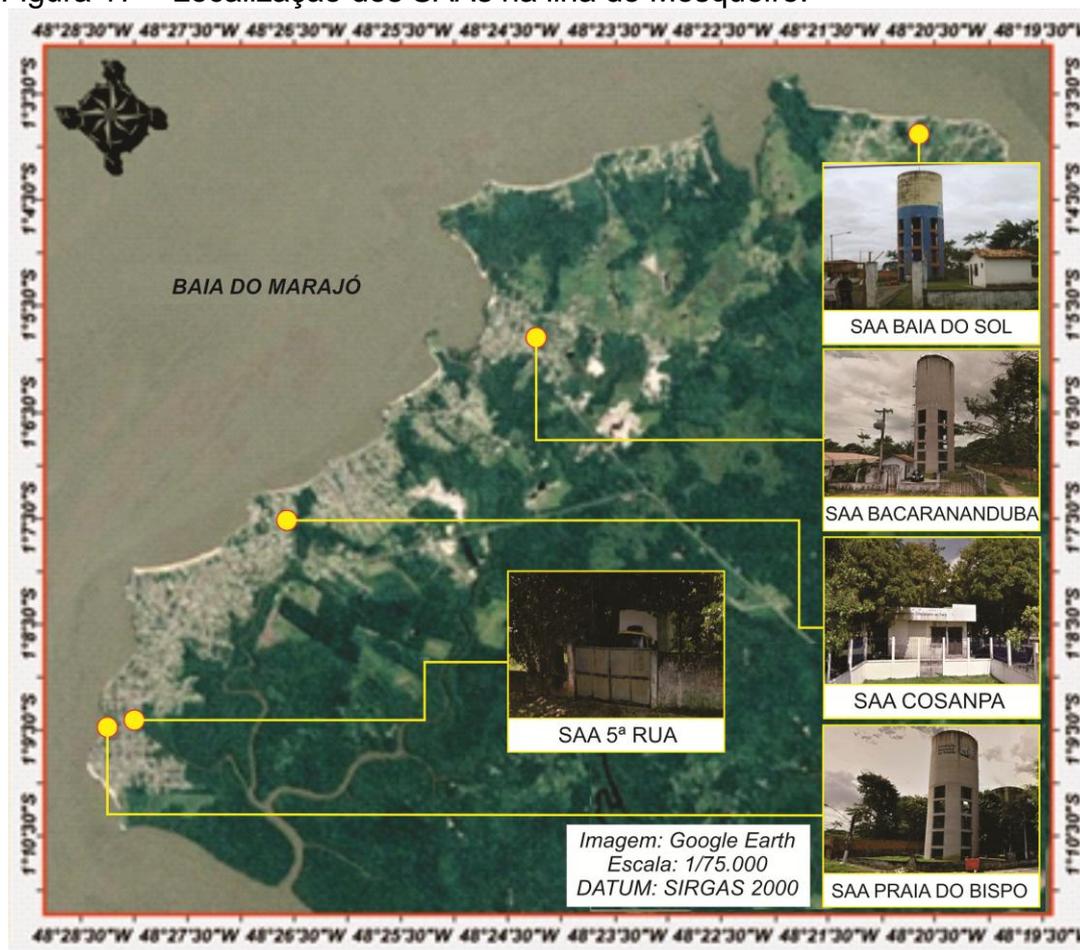
Figura 16 – Zonas de abastecimento da RMB.



Fonte: Belém (2014b).

Na ilha do Mosqueiro existem atualmente cinco sistemas de abastecimento, sendo um operado pela COSANPA e outros quatro (SAA Praia do Bispo, SAA 5ª Rua, SAA Carananduba e SAA Baia do Sol) gerenciados pelo SAAEB. As localizações dos sistemas de abastecimento são observadas na Figura 17.

Figura 17 – Localização dos SAAs na ilha do Mosqueiro.



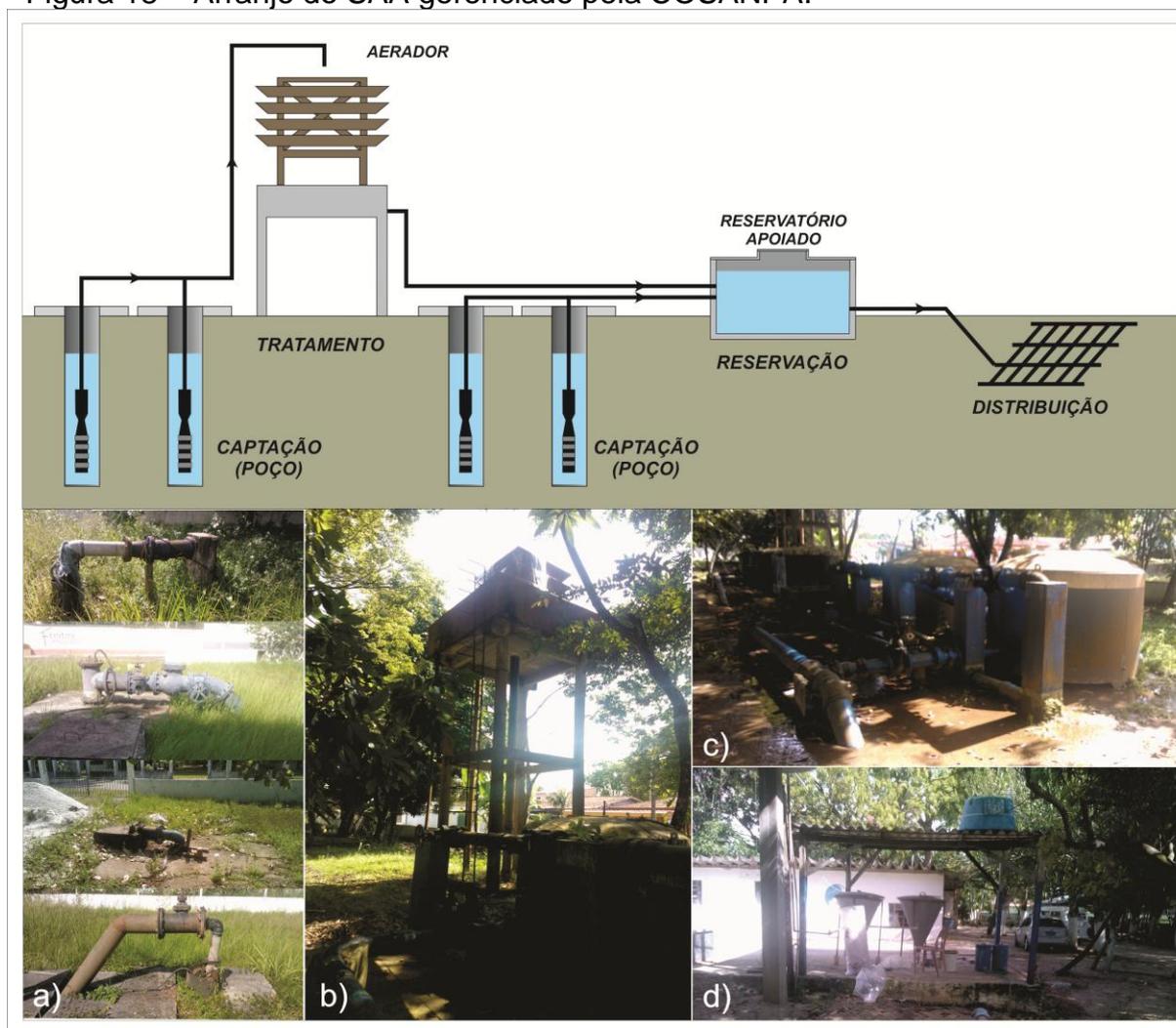
Nota-se localização bem distribuída dos sistemas de abastecimento em relação à ocupação da ilha. No entanto, as visitas realizadas aos sistemas possibilitaram a identificação de diversos problemas na infraestrutura dos SAA's, muitos dos quais estão relacionados à gestão do abastecimento de água.

A ausência de unidade de tratamento, a falta de conservação das instalações e o volume perdido de água estão entre os principais problemas constatados nas unidades de abastecimento.

No sistema COSANPA, apesar de conter unidade de tratamento, a água tratada (aerada para reduzir as concentrações de ferro) é misturada à água bruta nos reservatórios apoiados. Além desse fator, não há controle laboratorial com dosagem adequada do produto químico utilizado na desinfecção.

A Figura 18 mostra o arranjo e os registros fotográficos do SAA gerenciado pela COSANPA.

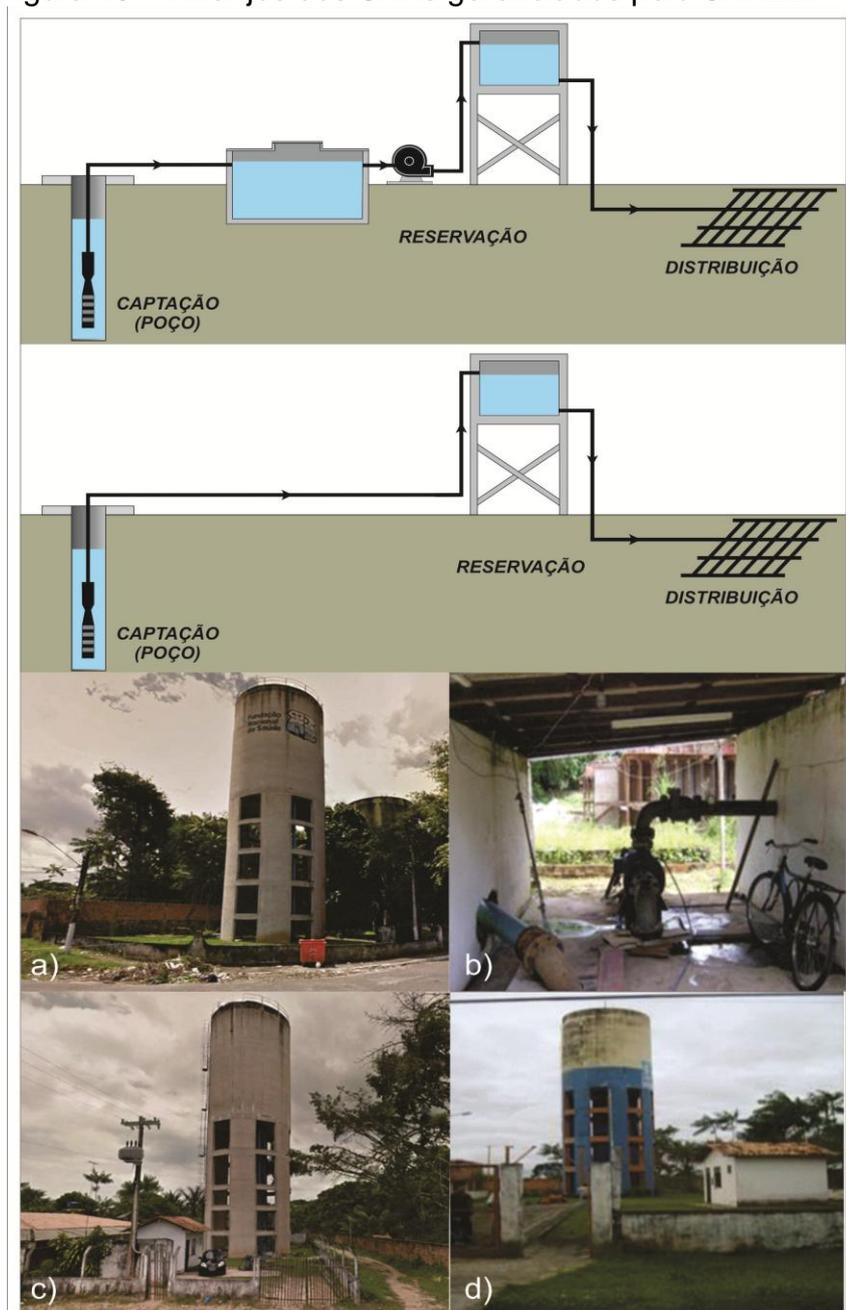
Figura 18 – Arranjo do SAA gerenciado pela COSANPA.



a) Captação de água nos poços; b) Unidade de tratamento (Aerador para remoção de ferro); c) Reservatórios apoiados e d) cloração.

Os arranjos e registros fotográficos dos sistemas operados pelo SAAEB podem ser observados na Figura 19.

Figura 19 – Arranjos dos SAAs gerenciados pelo SAAEB.



a) SAA Praia do Bispo; b) Unidade de elevação do SAA 5ª Rua¹; c) SAA Carananduba; d) Unidade Baía do Sol¹.

1 - Fonte: Serviço Autônomo de Água e Esgoto de Belém (2014).

Foi observada também a falta de cadastro técnico atualizado, Centro de Controle Operacional e das informações operacionais e comerciais. A consequência desse fator é o número elevado ligações domiciliares não hidrometradas e a grande quantidade de ligações clandestinas.

Na Tabela 9 podem ser observadas as unidades componentes dos SAA existentes na ilha do Mosqueiro, bem como o número de ligações domiciliares.

Tabela 9 – Descrição das unidades componentes dos SAAs da Ilha do Mosqueiro.

SAA	Unidades componentes do sistema	Quantidade	Bairros atendidos	Ligações Domiciliares	
				Totais	Hidrometradas
COSANPA (vazão: 555 m³/h)	Poço Tubular Profundo	4,00	Aeroporto, chapéu virado, Farol, São Francisco, Porto Arthur, Murubira, Ariramba e parte do bairro Carananduba	Não disponível	Não disponível
	RAP	4,00			
	ETA de desferrização por aeração	1,00			
	Desinfecção por hipoclorito de cálcio	1,00			
	Rede de distribuição	65934,25 m			
5ª Rua	Poço tubular profundo (90 m de profundidade/formação Pirabas/vazão: 95 m³/h)	1,00	Vila, Aeroporto e Praia Grande	1.500,00	750,00
	Poço tubular profundo (270 m de profundidade/formação Pirabas/vazão 220 m³/h)	1,00			
	CMB submerso (Modelo: S45-07; 760/025/2238TR/LEÃO/25cv)	1,00			
	CMB submerso (Modelo: S45-06; 710/022/2238TR/LEÃO/22,5cv)	1,00			
	Reservatório semielevado de 700 m³	1,00			
	Rede de distribuição	18.214,00 m			
Baia do Sol (vazão máxima: 350 m³/h)	Poço tubular profundo (270 m de profundidade/formação Pirabas)	1,00	Baia do Sol	497,00	Não disponível
	CMB submerso (Modelo: S85-05; 403/050/2238TR/LEÃO/50cv)	1,00			
	REL (12,60 m de altura e capacidade para 50 m³)	1,00			
	Reservatório semielevado de 700 m³	1,00			
	Rede de distribuição	9.494,00 m			
Caranduba (vazão máxima: 350 m³/h)	Poço tubular profundo (270 m de profundidade/formação Pirabas)	1,00	Carananduba	1497,00	Não disponível
	CMB Submerso (Modelo: BHS – 1015-03; Mi8S/EBARA/115cv)	1,00			
	REL (12,50 m de altura e capacidade para 660m³)	1,00			
	Rede de distribuição	15589 m			
Praia do Bispo (vazão máxima: 350 m³/h)	Poço tubular profundo (270 m de profundidade/formação Pirabas)	1,00	Praia Grande	1050,00	2966,00
	CMB submerso (Modelo: S45-04; 710/014/2238TR/LEÃO/14cv)	1,00			
	REL (15 m de altura e capacidade para 500m³)	1,00			
	REL (14 m de altura e capacidade para 540m³)	1,00			
	Rede de distribuição	21.490 m			

Fonte: Serviço Autônomo de Água e Esgoto de Belém (2014); Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (2015).

A pesar dos SAAS existentes, as deficiências estruturais e operacionais identificadas têm contribuído para o intenso uso de soluções individuais alternativas de abastecimento, no caso, poços tubulares rasos ou do tipo amazonas. Esse tipo de abastecimento foi muito observado nos bairros menos urbanizados e sem cobertura com SAA, como Baía do Sol, Paraíso, Sucurijuquara, Marahú, Bonfin, São Francisco e Caruará.

5.2 SISTEMA DE ESGOTAMENTO SANITÁRIO (SES)

As obras para implantação do SES da ilha do Mosqueiro foram iniciadas no ano de 2003 (COMPANHIA DE SANEAMENTO DO PARÁ, 2007). O SES existente na área é operado pelo SAAEB, sendo composto de duas Estações de Tratamento de Esgoto (ETE) no caso, ETE Vila e ETE Aeroporto (ambas localizadas nos bairros com seus respectivos nomes), e mais sete Estações Elevatórias de Esgoto (EEE), das quais duas estão localizadas nas ETEs.

Na Figura 20 pode ser observada a localização das unidades do SES e na Figura 21 é observado registro fotográfico dessas unidades.

Figura 20 – Localização das unidades do SES existentes.

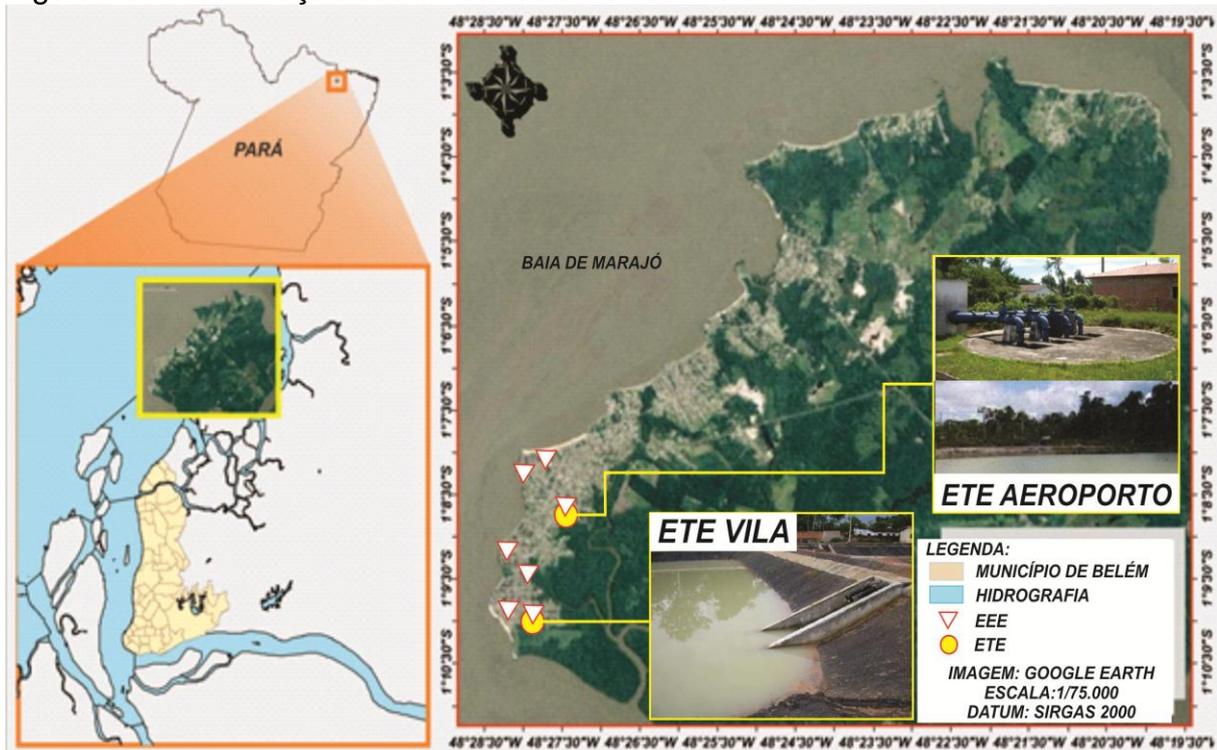


Figura 21 – Registro fotográfico das unidades do SES.



a) ETE Vila (1 – entrada, 2- lagoa de estabilização, 3 - EEE-B1); b) EEE - B1A; c) EEE – B2; d) ETE Aeroporto (1 – lagoa de estabilização, 2- EEE-B4); e) EEE- B5; f) EEE – B6.

Fonte: Serviço Autônomo de Água e Esgoto de Belém (2014).

É possível observar pela Figura 20, que o SES existente contempla somente uma parcela da população urbanizada da Ilha, e apesar da estrutura (Tabela 10), de acordo com Serviço Autônomo de Água e Esgoto de Belém (2014), somente a ETE Vila tem operado, e com capacidade de tratamento em torno de 55%. Dentre os motivos da falta de operação está a defasagem dos equipamentos, falta de peças e rede obstruída, com trechos inutilizáveis. Esses fatores, especialmente o comprometimento da rede coletora, e das unidades de acumulação de esgoto (poço de sucção) aumentam os riscos de contaminação dos aquíferos livres por conta dos vazamentos e infiltração do esgoto no solo.

Tabela 10 - Descrição das unidades componentes SES da Ilha do Mosqueiro.

Unidades	Localização	Área (m ²)	Unidades	Quantidade
ETE Vila (EEE – B1)	Início da Travessa Francisco Xavier Cardoso (6ª Rua)	17.017,00	Lagoa de Estabilização com 1600 m ² (32,00m x 50,00m)	1,00
			Lagoa de Estabilização com 1560 m ² (31,20m x 50,00m)	1,00
			Lagoa de Estabilização com 1514 m ² (47,30m x 32,00m)	1,00
			CMB de modelo CP3126LT/5cv com 45m ³ /h de vazão de operação	1,00
			Poço de Sucção de 973 m ³ (6 m de diâmetro e 5 m de profundidade)	1,00
EEE – B1A	Rua Siqueira Mendes, entre Rua Coronel José do Ó e Rua 15 de Novembro	201,00	CMB de modelo CP3101 LT/5cv com 45 m ³ /h de vazão de operação	1,00
			Poço de Sucção de 25 m ³ (3 m de diâmetro e 3,5 m de profundidade)	1,00
EEE - B2	Rua Padre Manuel Raiol	388,00	CMB de modelo CP3101 LT/5cv com 45 m ³ /h de vazão de operação	1,00
			Poço de Sucção de 98 m ³ (5 m de diâmetro e 5 m de profundidade)	1,00
ETE Aeroporto (EEE – B4)	Rua Jardim Rosaris	19.487,00	Lagoa de Estabilização com 2.843 m ² (41,50m x 68,50m)	2,00
			Lagoa de Estabilização com 2.808,50 (41,00 m x 68,50 m)	1,00
			CMB de modelo CP3126 LT/9,5cv com 70m ³ /h de vazão de operação	1,00
			Poço de Sucção	1,00
EEE – B5	Travessa 15 de Novembro	156,00	CMB de modelo CP3101 LT/5cv com 45 m ³ /h de vazão de operação	1,00
			Poço de Sucção de 50 m ³ (4 m de diâmetro e 4 m de profundidade)	1,00
EEE – B6	Alameda Jairo Barata	392,00	CMB de modelo CP3126 LT/9,5cv com 70m ³ /h de vazão de operação	1,00
			Poço de Sucção de 98 m ³ (5 m de diâmetro e 5 m de profundidade)	1,00

Fonte: Serviço Autônomo de Água e Esgoto de Belém (2014).

A ausência de contribuição de esgoto nas ETEs também tem sido um problema, já que em alguns bairros, mesmo contemplados com sistema de tratamento de esgoto, não estão completamente atendidos com rede, sendo que muitos moradores atendidos com esse serviço não ligam seus ramais de esgoto à rede. Em outros casos, nos quais a rede está rompida, ocorre a entrada de grande quantidade de água pluvial, inviabilizando a operação do sistema de tratamento. A ETE aeroporto é um exemplo dessa problemática, já que não opera por falta de carga e devido a contribuição pluvial na rede de esgoto, que tem sido elevada. No bairro Aeroporto, algumas áreas próximas à ETE não receberam sequer a pavimentação asfáltica (Figura 22).

Figura 22 – Rua da Pedreira, com Av. Camilo Salgado, bairro do Aeroporto.



Para o ano de 2015, é estimada produção média de 115 L/s de esgoto na ilha do Mosqueiro, chegando a 146 L/s no final de plano (2030). Tendo em vista a incapacidade do atual SES, foi previsto no estudo de Concepção do Plano Diretor do Sistema de Esgotamento Sanitário (PDSES) da RMB, ano de 2010, a ampliação do SES para 54,4 Km de rede coletora e 18,74 Km de Interceptores, para transportar o esgoto coletado até a ETE Vila com capacidade ampliada para 143,34 L/s. Este sistema atenderia o bairro Maracajá, Vila, Mangueira, Praia Grande, Farol, Aeroporto, Chapéu Virado, Natal do Murubira, Porto Arthur, Murubira, Ariramba, São Francisco, Bonfim, São Francisco, Carananduba, Marahú, Caruara e Paraíso. (COMPANHIA DE SANEAMENTO DO PARÁ, 2010)

Além dessa alternativa, a construção de outra unidade de tratamento, no caso, a ETE Paraíso, foi proposta, para coletar os esgotos do bairro Baia do Sol e Sucurijuquara.

5.3 COLETA DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS (CRSU)

A CRSU na ilha do Mosqueiro é realizada em cinco roteiros, sendo um diário (de domingo a domingo), realizado nas áreas mais movimentadas, no caso, beira-mar (praias), Avenida 16 de novembro, praça da vila, mercado central e duas feiras (Informação verbal¹). Na Figura 23 pode ser observada área da Praça da Vila, próxima a beira mar, na Rua Nossa Senhora do Ó.

Figura 23 – Praça da vila.



Os outros quatro roteiros ocorrem em dias alternados, sendo dois roteiros realizados na segunda, quarta e sexta feira, e mais dois realizados na terça, quinta e sábado.

¹ José Maria de Matos Junior. Engenheiro do setor de Resíduos Sólidos da empresa responsável pela CRSU na ilha do Mosqueiro. Entrevista concedida a Raynner Menezes Lopes. Belém, 17 de Janeiro de 2015.

Os veículos utilizados na coleta de resíduos sólidos na ilha são caminhões modelo Mercedes Benz 1718, com compactador acoplado. Esses compactadores são do modelo PLANALTO ou USIMECA e tem capacidade para 10 toneladas.

Em uma semana é coletada na ilha do Mosqueiro, uma média de 130 toneladas de resíduos sólidos urbanos, com exceção dos entulhos, que são coletados por caçambas. Nos períodos de férias e feriados prolongados, o volume de resíduos é maior, havendo necessidade de aumento na frota de caminhões compactadores. Todos os resíduos coletados na ilha do Mosqueiro são encaminhados ao lixão do Aurá, localizado no município de Belém (informação verbal²).

De modo geral foi observado que a coleta de resíduos sólidos na ilha tem sido eficaz, até mesmo nas áreas menos urbanizadas, com é o caso do bairro do Caruara (Figura 24).

Figura 24 – Bairro Caruara.



² José Maria de Matos Junior. Engenheiro do setor de Resíduos Sólidos da empresa responsável pela CRSU na ilha do Mosqueiro. Entrevista concedida a Raynner Menezes Lopes. Belém, 17 de Janeiro de 2015.

Não foram observadas grandes quantidades de lixo orgânico acumulado por períodos prolongados nas áreas visitadas. Mesmo em áreas de difícil acesso para os caminhões compactadores, como algumas ruas do Bairro do Paraíso (Figura 25). De acordo com Mesquita (2012), em 75% das residências estudadas, o RSU é coletado pelo serviço público, e em 25%, os resíduos são queimados.

Os moradores das ruas transversais àquelas pelas quais os caminhões passam, costumam levar os resíduos até a margem da pista para serem recolhidos.

Figura 25 – Bairro do Paraíso.



A necessidade de se manter essa área turística em bom estado visual tem sido a principal causa da efetividade do sistema de coleta, que encaminha seus resíduos para o lixão do Aurá, localizado no município de Belém. Este fator exime essa área dos riscos significativos de contaminação dos aquíferos por resíduos sólidos urbanos.

5.4 ÍNDICES DE QUALIDADE DA ÁGUA

Com a utilização dos parâmetros de qualidade da água subterrânea, obtiveram-se os resultados dos IQAs observados na Figura 26.

Figura 26 – Valores dos IQAs obtidos nas águas subterrâneas.

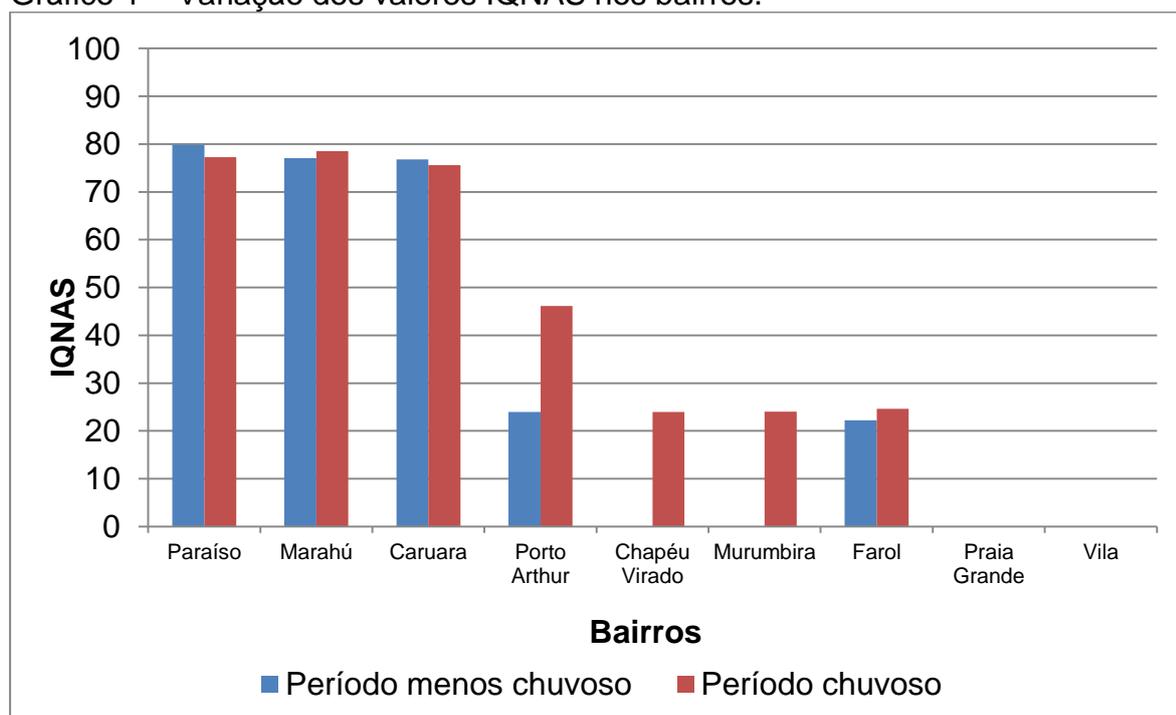
Bairros	IQAS		IRQ		IQNAS	
	Menos chuvoso	Chuvoso	Menos chuvoso	Chuvoso	Menos chuvoso	Chuvoso
Paraíso	2,42	2,65	0,062	0,078	79,84	77,28
Marahú	2,57	2,33	0,079	0,062	77,05	78,55
Caruara	2,60	2,96	0,083	0,092	76,75	75,57
Porto Arthur	3,93	4,07	0,188	0,202	23,93	46,12
Chapéu Virado	3,63	4,09	0,185	0,185	2,30	23,99
Murubira	2,63	3,55	0,191	0,194	0,00	24,05
Farol	3,71	4,00	0,214	0,184	22,19	24,65
Praia Grande	3,75	3,84	0,199	0,213	0,00	0,00
Vila	2,79	3,82	0,204	0,210	0,00	0,00

5.5 IQNAS

As faixas de valores de IQNAS calculados mostraram redução significativa de qualidade da água subterrânea nos bairros do Murubira, Porto Arthur, Chapéu Virado, Farol, Praia Grande e Vila, onde a urbanização é mais intensa, especialmente no mês de julho, período de férias escolares onde há significativo aumento de pessoas nessa área.

No Gráfico 1 pode ser observada a variação dos valores de IQNAS ao longo dos bairros estudados na ilha do Mosqueiro.

Gráfico 1 – Variação dos valores IQNAS nos bairros.

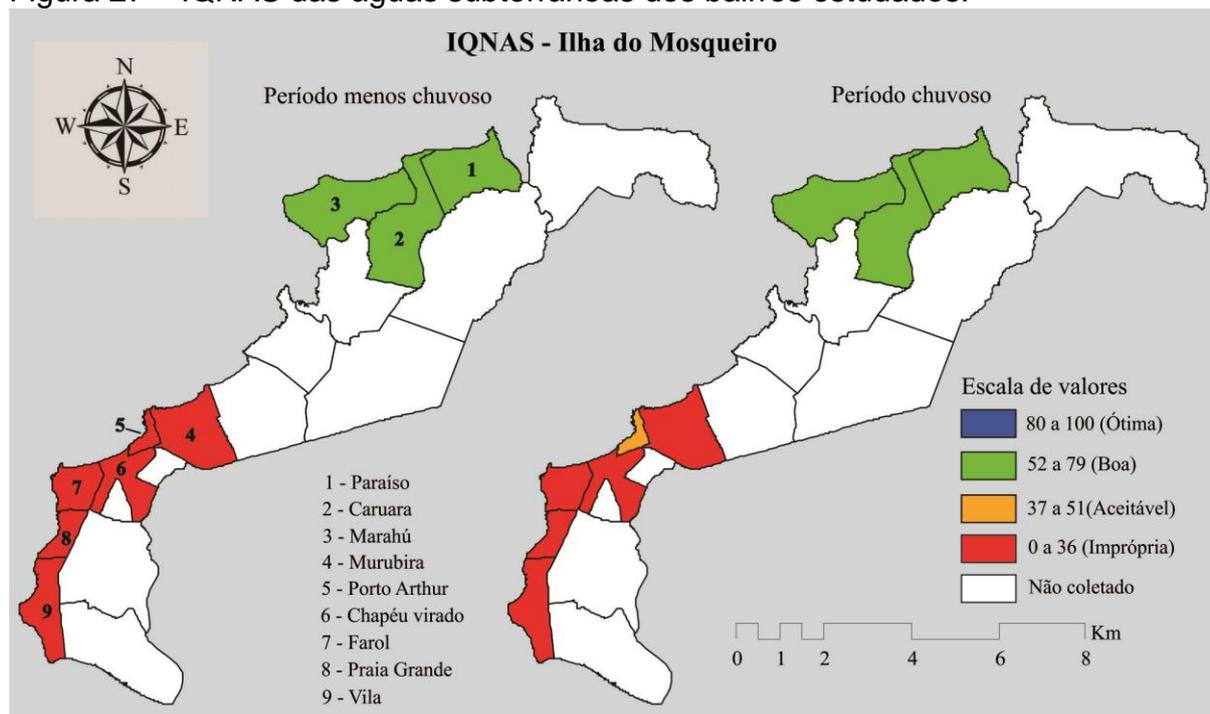


Nesses bairros, além dos sistemas de esgotamento sanitário inoperantes, distribuídos em vários pontos, e que podem eventualmente estar acumulando esgotos não bombeados nos poços de sucção e nas lagoas de estabilização não operadas, há também um cemitério ativo, localizado mais especificamente entre os bairros da Vila e Maracajá, a uma esquina da unidade EEE-B1A, operada pelo SAAEB. Em análises físico-químicas realizadas por Neira *et al.* (2008), no cemitério de Santa Inês, município de Vila Velha, estado do Espírito Santo, foi constatada a presença de compostos nitrogenados em índices elevados, inclusive nos valores encontrados para amônia, que indica poluição recente e refere-se ao primeiro estágio de decomposição da matéria orgânica. Este estudo evidencia que a presença de cemitérios caracteriza a área como tendo risco em potencial para a integridade dos aquíferos.

Apesar da existência de SAA e SES na área de estudo, fica evidente que os impactos ocasionados pela urbanização e falta de operação e manutenção desses sistemas vem contribuindo para a degradação da qualidade da água de abastecimento da ilha. A falta de manutenção adequada da rede de distribuição de água associada às grandes quantidades de ligações clandestinas é um dos fatores de comprometimento da qualidade da água de abastecimento, já que as pressões negativas na rede danificada podem importar as contaminações para o interior da rede, levando-as aos consumidores. De acordo com Mesquita (2012) em 100% dos valores positivos para coliformes totais detectados na água de abastecimento na ilha do Mosqueiro, 36,36% foram na água abastecida pelas concessionárias.

Na Figura 27 pode ser observada a distribuição dos bairros na Ilha do Mosqueiro e seus respectivos conceitos de qualidade da água pelo IQNAS, nos períodos menos chuvoso e chuvoso.

Figura 27 – IQNAS das águas subterrâneas dos bairros estudados.



Os bairros do Paraíso, Caruara e Marahú, que têm menor ocupação urbana, apresentaram considerável aumento de qualidade. Essa diferença também pode ser observada na sazonalidade, já que o bairro Porto Arthur, apresentou qualidade imprópria para consumo no período menos chuvoso, e qualidade boa no período chuvoso. Esse fator sugere um processo de diluição pontual, ocasionado pelas intensas precipitações pluviométricas nessa região. Vale ressaltar que no bairro Porto Arthur, um dos pontos de coleta foi de água proveniente de poço tubular raso, muito propenso à influência da chuva.

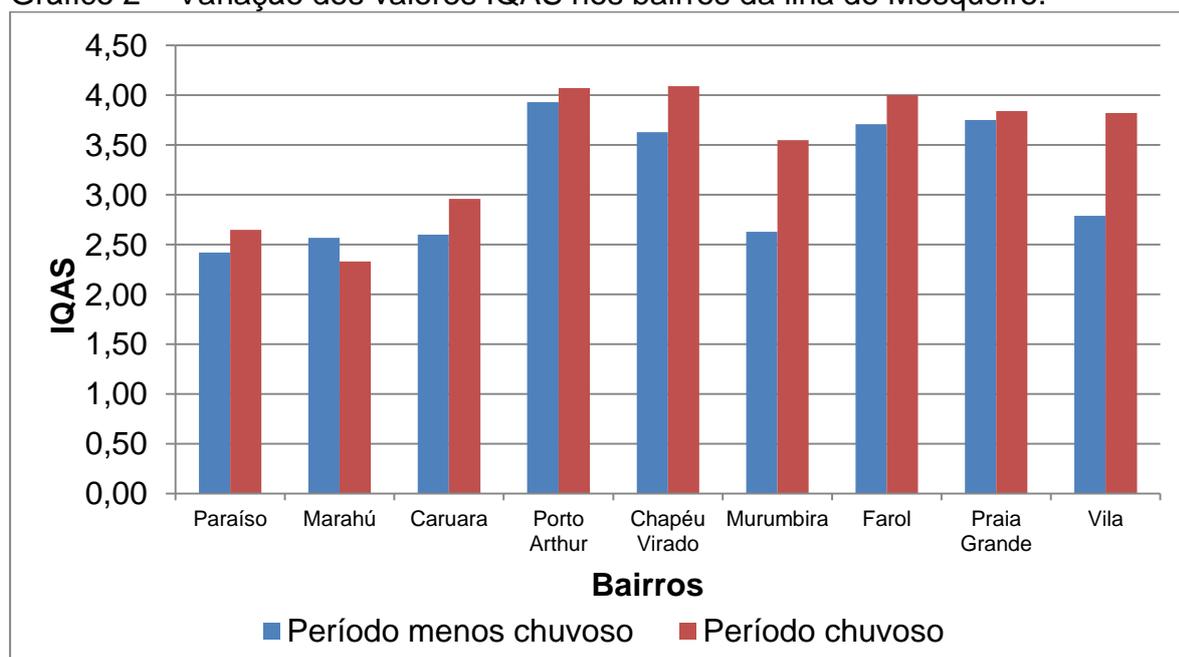
Mesmo com os resultados contundentes e condizentes com a realidade da área de estudo, é importante salientar que no cálculo do IQNAS, não foram utilizados os parâmetros fluoreto e pH, além disso, o próprio índice, embora útil, apresenta limitações, já que não considera parâmetros de importância acentuada, como os biológicos, que indicam poluição fecal da água subterrânea. No caso da região em estudo, Mesquita (2012) constatou que 54,17% dos dados das análises bacteriológicas da água de abastecimento (individual e pública) foram positivos para coliformes totais.

Outros parâmetros não considerados por este índice são os organolépticos e especialmente os químicos potencialmente tóxicos, que são resultantes das características hidrogeoquímicas locais, atividades industriais e de serviços, a exemplo dos compostos BTEX (benzeno, tolueno, etilbenzeno e xilenos) e do mercúrio, que cada vez mais vêm alterando a qualidade natural das águas subterrâneas (ALMEIDA; OLIVEIRA, 2010). Assim, no âmbito nacional, as lacunas quanto ao estabelecimento de índices de qualidade dos mananciais subterrâneos os tornam ferramentas complementares de avaliação da qualidade da água, sobretudo para os mananciais localizados em áreas com atividades humanas poluidoras como é o caso da ilha do Mosqueiro.

5.6 IQAS

Na determinação do IQAS, foi observado que os maiores valores se concentraram nos bairros já citados como os mais urbanizados da ilha, no caso, Porto Arthur, Chapéu Virado, Murumbira, Farol, Praia Grande e Vila. De acordo com Melloul e Collin (1998), os valores do IQAS aumentam com o potencial de poluição do aquífero, sendo que neste estudo, todos os valores de IQAS estiveram acima de 1, confirmando, para este índice, a potencialidade de poluição para finalidade de consumo humano. A variação nos valores do IQAS podem ser observados no Gráfico 2.

Gráfico 2 – Variação dos valores IQAS nos bairros da ilha do Mosqueiro.

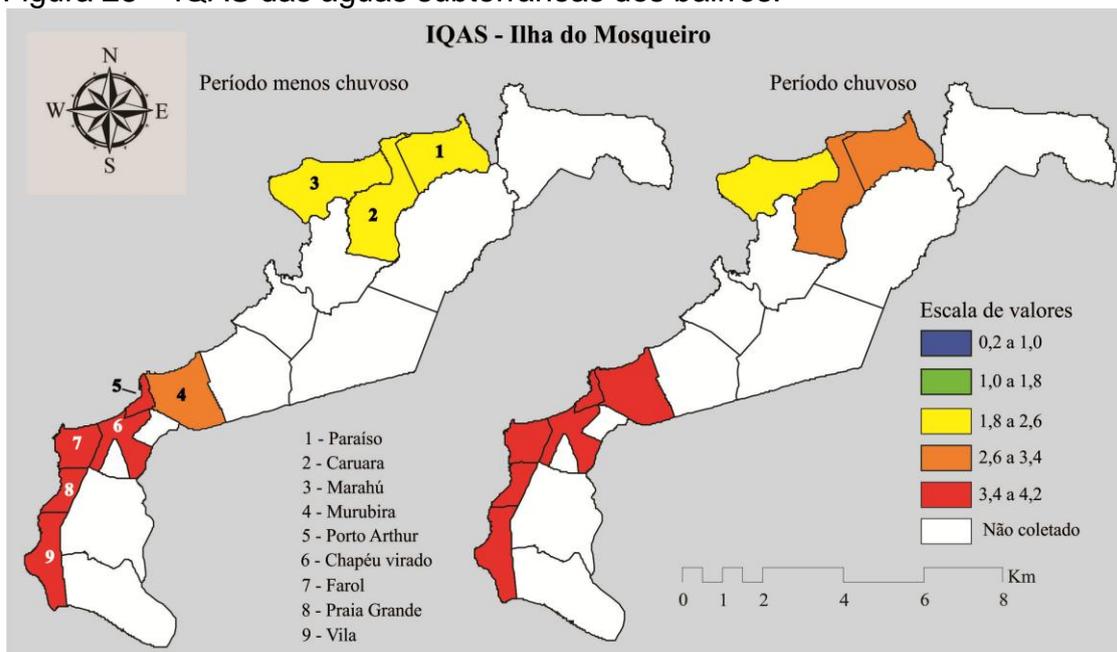


É importante ressaltar que os valores de cloreto e nitrato, utilizados no cálculo do IQAS, estão dentro dos padrões estabelecidos pela portaria nº 2.914 do Ministério da Saúde.

Em análise dos parâmetros utilizados no cálculo do IQAS, foi observada maior influência do cloreto em relação aos valores de nitrato. A presença de cloretos em águas subterrâneas poderia estar relacionada com intrusão marinha (COUTINHO *et al.* 2013), outros fatores naturais (CONCEIÇÃO *et al.* 2009 *apud* CAPP, 2012), ou fatores antrópicos. Para Viana (2009), o cloreto indica ocorrência de contaminação por resíduos domiciliares ou industriais, que pode ser ocasionada pela ausência de proteção dos poços, pequena distância entre o poço e fossa ou a deposição de águas servidas a céu aberto, que podem infiltrar. Nascimento e Barbosa (2005) detectaram elevadas concentrações de cloretos no aquífero freático de uma área da bacia do rio Lucaia na Bahia, onde havia grande quantidade de lixo. A maior fonte de contaminação do aquífero identificada foram os efluentes domésticos oriundos dos esgotos sanitários e fossas sépticas.

No caso da área de estudo, a maior parte das residências estudadas é composta de fossa rudimentar para armazenar os esgotos domésticos. Muitas dessas fossas foram construídas há vários anos e de acordo com os moradores, não passam por qualquer processo de manutenção. Alguns moradores citaram também casos de transbordamento da fossa em momentos de chuva, o que aumenta os volumes de esgoto infiltrados no solo, e podem eventualmente contaminar os aquíferos. Esse fator pode explicar a breve diferença entre os valores de IQAS no período menos chuvoso e chuvoso, que podem ser observados no Gráfico 2 e na Figura 28.

Figura 28 – IQAS das águas subterrâneas dos bairros.

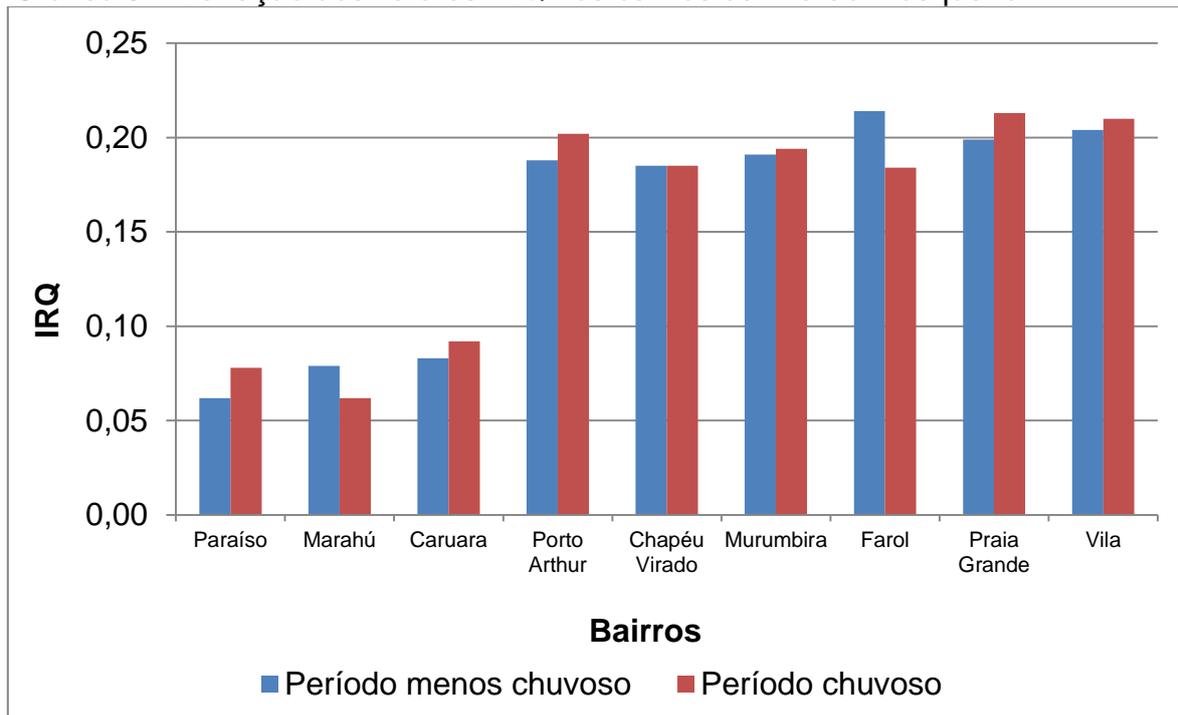


Desse modo, apesar de a Baía do Marajó, na qual se localiza a área de estudo ser área estuarina (CORRÊA, 2005), e conseqüentemente sofrer influências oceânicas (salinidade), a forma pela qual se distribuem as concentrações de cloreto nos bairros estudados da ilha, e a própria situação do saneamento básico na área, sugere que no período chuvoso, o processo de diluição e eventual aumento do volume do esgoto doméstico, que infiltra no solo por vazamentos ou transbordamento nas fossas, pode estar comprometendo a qualidade da água em alguns bairros nesse período sazonal.

5.7 IRQ

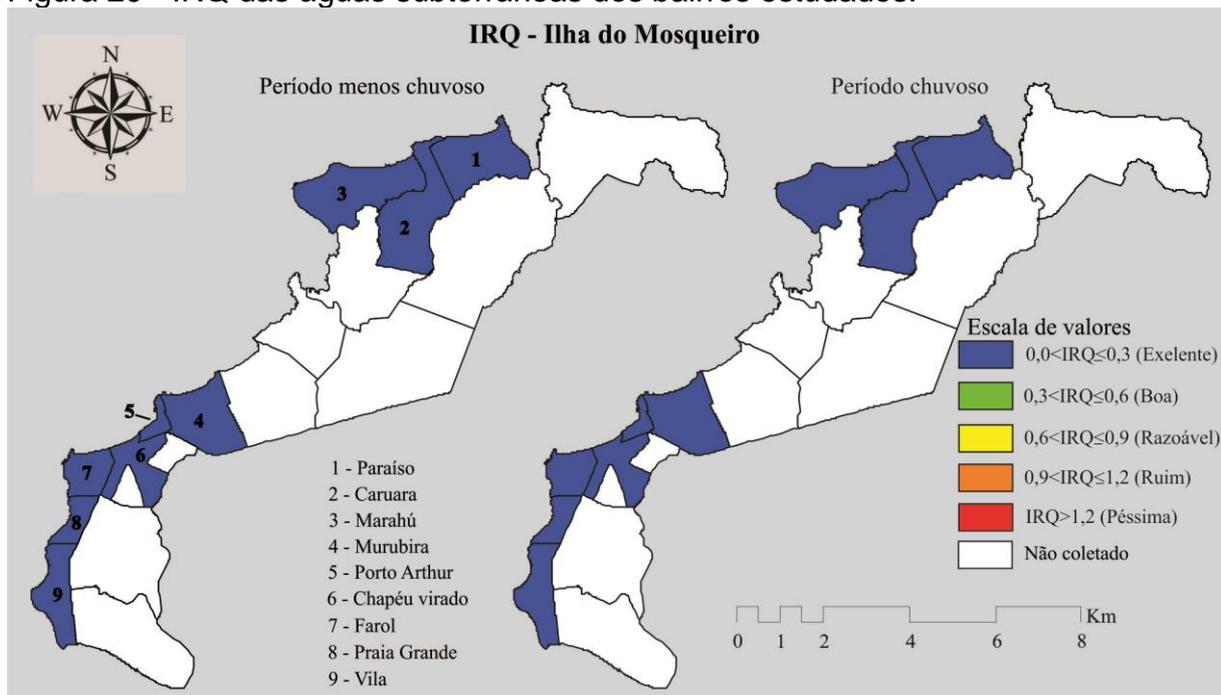
Considerando que os valores do IRQ crescem com a diminuição da qualidade da água, na aplicação desse índice, foi observada, assim como no IQNAS e IQAS, que os três bairros menos populosos da ilha, no caso Paraíso, Marahú e Caruara apresentaram valores de IRQ inferiores em relação aos bairros mais populosos, sendo que a variabilidade dos dados foi menos acentuada nesse índice se comparado aos outros. Essa característica pode ser observada nas colunas do Gráfico 3.

Gráfico 3 – Variação dos valores IRQ nos bairros da ilha do Mosqueiro.



Apesar da variabilidade existente nos valores do IRQ, seus intervalos de classificação podem ser considerados relativamente extensos, já que nesse índice, todos os bairros da área de estudo apresentaram excelente qualidade, como pode ser observado na Figura 29.

Figura 29 - IRQ das águas subterrâneas dos bairros estudados.



No estudo de aplicação do IRQ no aquífero livre da bacia hidrográfica do rio Gramame, no litoral Sul do estado da Paraíba, revelou que mais de 85% das amostras de água do aquífero foram classificadas como de qualidade excelente, sendo os outros poços, que no monitoramento qualitativo apresentaram problemas com relação ao nitrato, tiveram sua água classificada como de qualidade boa. Essa discordância entre classificações caracterizou o IRQ como pouco restritivo, já que qualificou como boas as amostras d'água com concentrações altas de nitrato (COUTINHO *et al.*, 2013).

Na análise também pode ser observado que a variabilidade nos resultados do IRQ se aproximou do IQAS em virtude da maior influência do cloreto, que juntamente com o nitrato, foram parâmetros comuns nos cálculos desses índices, que adotaram igualmente nesta pesquisa, os valores de referência da portaria nº 2914 do Ministério da Saúde (BRASIL, 2011). Como o IQNAS se baseia exclusivamente nos critérios de peso, várias formulações matemáticas específicas e maior quantidade de parâmetros em seu cálculo, mostrando-se um índice mais segregativo, a variabilidade de seus resultados nesta pesquisa foi mais acentuada.

É importante ressaltar que os parâmetros utilizados no cálculo do IQNAS, IQAS e IRQ, atendem os padrões da portaria nº 2914 do Ministério da Saúde (MESQUITA, 2012). No entanto, sua utilização no IQAS gerou resultados de água de baixa qualidade para tal finalidade. Esse fator evidencia a importância dos índices como ferramentas complementares de análise, já que torna os laudos de qualidade da água mais consistentes.

6 CONCLUSÃO

De acordo com os resultados obtidos, foi observado que o SAA público e o SES da ilha do Mosqueiro, não estão em condições adequadas para o atendimento da população em sua totalidade. Os problemas de gestão, nos quais estão inclusos a falta de informações técnicas e de controle operacional tem desencadeado uma série de impactos que se iniciam na estrutura física dos sistemas, e resultam por atingir significativamente os moradores locais, que recorrendo a soluções alternativas individuais de saneamento, utilizam água de poços a céu aberto, cujo aquífero está poluído pelos próprios dejetos. Tal fator foi comprovado pela aplicação do IQNAS e IQAS, onde a classificação da água subterrânea observada na maior parte dos bairros da área de estudo se mostrou compatível com a urbanização e condições de saneamento básico.

Para o IQNAS, os bairros do Paraíso, Marahú e Caruará, menos urbanizado, cujas amostras de água analisadas são provenientes de poços tubulares rasos e tipo amazonas, a água foi classificada como Boa no período menos chuvoso e chuvoso, estando, no IQAS, acima de 1 nos dois períodos sazonais, confirmando, para este índice, a potencialidade de poluição para finalidade de consumo humano. No IRQ, a água desses bairros foi classificada como de excelente qualidade.

Nos bairros do Chapéu Virado, Murubira, Farol, Praia Grande e Vila, a classificação da água subterrânea para o IQNAS foi de imprópria no período menos chuvoso e chuvoso, sendo que no Bairro de Porto Arthur, a qualidade da água manteve-se aceitável no período chuvoso, e imprópria no período menos chuvoso. Para o IQAS, os valores se mantiveram superiores a 2,50, evidenciando maior potencial de poluição em relação às áreas menos urbanizadas, enquanto que no IQR a água desses bairros se manteve com excelente qualidade, evidenciando a característica de índice pouco restritivo, já comentada por outros autores.

O levantamento das condições de saneamento básico associado aos índices de qualidade da água subterrânea serve para subsidiar as autoridades no planejamento estratégico para melhoria da qualidade de vida local.

7 REFERÊNCIAS

ALMEIDA, R. A. S. OLIVEIRA, I. B. Índice de qualidade da água subterrânea bruta (IQASB) utilizada na produção de água potável. **Revista Águas Subterrâneas**. v.24, p. 31-45, 2010.

AMORIM, H. J. C. A. L.; LOPES, M. B. L.; OLIVEIRA, R. K. S.; NOBRE, R.C.M.N. **Mapeamento da qualidade das águas subterrâneas em Maceió – AL**. XIX simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Maceió, 2011.

ANDRADE, T. S. **Variabilidade espacial e temporal de atributos hidrológicos para gerenciamento de recursos hídricos em aluvião no semiárido sob uso agrícola**. 2010. 94 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2010.

AZEVEDO, R. P. Uso de água subterrânea em sistema de abastecimento público de comunidades na várzea da Amazônia central. **Acta Amazônica**. v. 36, n.3, p. 313 – 320, 2006.

BALBINOT, R.; OLIVEIRA, M. K. ; VANZETTO, S. C.; PEDROSO, K.; VALERIO, A.F. O papel da floresta no ciclo hidrológico em bacias hidrográficas. **Revista Ambiência Guarapuava**. v.4, n.1, p.131-149, Janeiro/Abril. 2008.

BELÉM. **Anuário Estatístico do Município de Belém** 2011. v. 16. Secretaria Municipal de Coordenação Geral do Planejamento e Gestão, 2012. Disponível em <http://www.belem.pa.gov.br/app/ANUARIO_2011/ANUARIO%202011%20COMPLETO.pdf>. Acesso em: 15 Dez. 2014.

BELÉM. **Relatório da consulta e Audiência Pública referente ao Plano Municipal de Saneamento Básico de Abastecimento de Água e Esgotamento Sanitário de Belém-Pará e a minuta do contrato de programa que será firmado entre a Prefeitura Municipal de Belém e a Companhia de Saneamento do Pará-COSANPA**. Agência Reguladora Municipal de Água e Esgoto de Belém – AMAE/BELÉM, 2014a. Disponível em: <http://ww3.belem.pa.gov.br/www/?page_id=22501>. Acesso em: 16 Dez. 2014.

BELÉM. Disponível em: <<http://www.jusbrasil.com.br/politica/4027128/duciomarcosta-inaugura-novosreservatorios-de-agua-em-mosqueiro-pa>>. Acesso em 04 Dez. 2013.

BELÉM. **Plano Municipal de Saneamento Básico de Abastecimento de Água e Esgotamento Sanitário de Belém – Pará: Concepção Técnica e Proposições**, 1 v. Belém: Prefeitura Municipal. 183 p, 2014b. Disponível em: <http://ww3.belem.pa.gov.br/www/?page_id=22501>. Acesso em: 12 Dez. 2014.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Portaria nº 2.914 de 12 de dezembro de 2011**. Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Diário Oficial da União, Brasília. 14 de dezembro. 2011.

CAPP, N.; AYACH, L. R.; SANTOS, T. M. B. S.; GUIMARÃES, S. T. L. Qualidade da água e fatores de contaminação de poços rasos na área urbana de Anastácio (MS). **Geografia Ensino & Pesquisa**. v. 16, n. 3, 2012.

COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINEIRAIS. **Sistema Informações de Águas Subterrâneas (SIAGAS)**. 2015. Disponível em: <http://siagasweb.cprm.gov.br/layout/pesquisa_complexa.php>. Acesso em 19 jan. 2015.

COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS. **Projeto Mapa Hidrogeológico do Brasil em Ambiente SIG**. 2007. Disponível em: <http://www.cprm.gov.br/publique/media/mapa_be.pdf>. Acesso em: 12 Dez. 2013.

COMPANHIA DE SANEAMENTO DO PARÁ. **Plano Diretor do Sistema de Esgotamento Sanitário da Região Metropolitana de Belém: Análise dos Sistemas Existentes de Esgoto, Água e Drenagem Urbana da RMB - Relatório Técnico 1**. José Almir Rodrigues Pereira, Coordenador. Belém, Universidade Federal do Pará. Grupo de Pesquisa Hidráulica e Saneamento, Companhia de Saneamento do Pará. 91 p, 2007.

COMPANHIA DE SANEAMENTO DO PARÁ. **Plano Diretor do Sistema de Esgotamento Sanitário da Região Metropolitana de Belém: Concepção do Sistema de Esgotamento Sanitário da RMB: Detalhamento da Alternativa Escolhida - Relatório Técnico 6**. José Almir Rodrigues Pereira, Coordenador. Belém, Universidade Federal do Pará. Grupo de Pesquisa Hidráulica e Saneamento, Companhia de Saneamento do Pará. 324 p, 2010.

CORRÊA, I. C. S. Aplicação do Diagrama de Pjrup na Interpretação da Sedimentação e da Dinâmica do Estuário da Baía de Marajó – PA. **Pesquisa em Geociências**. p.109 – 118, Junho. 2005.

COSTA, J. M.; PIETROBOM, M. R. Pteridófitas (*Lycophyta* e *Monilophyta*) da Ilha de Mosqueiro, município de Belém, estado do Pará, Brasil. Bol. Mus. Para. Emílio Goeldi. **Ciências Naturais**. Belém. v. 2, n. 3, p. 45-55, setembro/dezembro. 2007.

COUTINHO, J. V.; ALMEIDA, C. N.;GADELHA, C. L. M.; TARGINO, D.F.; LINHARES, F. M.; COELHO, V.H. R. . Avaliação Integrada da Qualidade da Água Subterrânea em uma Bacia Hidrográfica Representativa do Litoral da Região Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. v. 18, n.4, p.197-212,outubro/dezembro. 2013.

DEMÉTRIO, J. G. A.; PAIVA, A. L. R.; FREITAS, D. A.; BATISTA, A. G. S.; CABRAL, J. J. S. P. Características hidrogeológicas das Aluviões do Rio Beberibe na área da bateria de poços no bairro de caixa d'água, Olinda-PE. **Revista Brasileira de Águas Subterrâneas**. v. 27, p. 111-126, dezembro. 2013.

FERNANDES, R. A; LOUREIRO, C. O. **Índice relativo de qualidade (IRQ): um método para caracterização e hierarquização do potencial qualitativo das águas subterrâneas**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 14, 2006, Curitiba. Editora: Associação Brasileira de Águas Subterrâneas. 2006, 14p.

FERREIRA, H. L. D. **Expansão urbana e periferização em áreas de interesse turístico: o caso da ilha do Mosqueiro (Belém – Pará)**. 2010.154 p. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente Urbano) – Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente Urbano da Universidade da Amazônia, Belém, 2010.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Sistema IBGE de Recuperação Automática**. 2010. Disponível em:<<http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/tabela/protabl.asp?c=1378&z=t&o=25&i=P>>. Data do acesso: 7 nov. 2013.

LATINOPOULOS, D.; THEODOSSINO, N.; LATINOPOULOS, P. Combined use of groundwater simulation and multi-criteria analysis within a spatial decision-making framework for optimal allocation of irrigation water. **Spanish Journal of Agricultural Research**. v. 9, p. 1105-1119, 2011.

LOURENCETTI, M. L. R. C.; PEREIRA, S. Y.; MARCHI, M.R.R. Contaminação de Águas Subterrâneas por Pesticidas: Avaliação Preliminar. **Química Nova**. v. 27, p. 688-694, janeiro. 2007.

MASCARENHAS, B. M.; GUIMARÃES, M. S.; PINTO, C. S.; GOMES NETO, H. A.; PEREIRA, J. D. B.. Estudo de anofelinos antropofílicos peridomiciliares da Praia da Saudade na Ilha de Cotijuba: uma área endêmica de malária em Belém, Pará. **Acta Amazonica**. v. 39(2), p 453 – 458. 2009.

MATTA, M. A. S. **Fundamentos hidrogeológicos para a gestão integrada dos recursos hídricos da região de Belém/Ananindeua – Pará, Brasil**.2002. 292p. Tese (Doutorado em Geologia e Geoquímica) – Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica da Universidade Federal do Pará, Belém, 2002.

MELLOUL, A. J.; COLLIN, M. A proposed index for aquifer waterquality assessment: the case of Israel's Sharon region. **Journal of Environmental Management**. v.54, p. 131–142, March.1998.

MESQUITA, K. F. **Qualidade da água de consumo da Ilha do Mosqueiro/PA**. 2012. 76p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Pará, Belém, 2012.

NASCIMENTO, S.; BARBOSA, J. Qualidade da água do aquífero freático no alto cristalino de Salvador, Bacia do rio Lucaia, Salvador, Bahia. **Revista Brasileira de Geociências**. v.35, n 4, p.543-550, Dezembro. 2005.

NEIRA, D. F.; TERRA, V. R; SANTOS, R. P.; BARBIÉRI, R. S. Impactos do necrochorume nas águas subterrâneas do cemitério de Santa Inês, Espírito Santo, Brasil. **Natureza Online**. v.6, p 36-41, 2008.

OLIVEIRA, I. B.; NEGRÃO, F. N.; SILVA, A.G.L.S. Mapeamento dos aquíferos do estado da Bahia utilizando o Índice de Qualidade Natural das Águas Subterrâneas – IQNAS. **Revista Águas Subterrâneas**. v.21, n.1, p.123-137, 2007.

PALHETA, E. S. M. **Estudo da compartimentalização e arcabouço neotectônico da Ilha do Mosqueiro – Pará empregado na prospecção hídrica Subterrânea**. 2008. Tese (Doutorado em Geologia e Geoquímica) - Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica da Universidade Federal do Pará, Belém, 2008. Orientação de Francisco de Assis Matos de Abreu.

ROCHA, A. G. L.; ROCHA, A. L. R.; SOUZA, R. S.; FORTUNA, J. L. Avaliação microbiológica da água de poços rasos próximos a um córrego. **Revista Ciências do Ambiente**. v. 7, p. 28-54, julho. 2011.

SANTOS, J.M.M. **Índice de qualidade de água subterrânea aplicado em área de aquíferos cristalinos com uso agrícola: bacia do rio são domingos – RJ**. 2009.140 p. Tese (Doutorado em Geologia) – Programa de Pós-Graduação em Geologia da Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2009.

SANTOS, Y. Q. C. **Educação Ambiental**: uma forma de olhar a comunidade tradicional sucujuba na Ilha de Mosqueiro. 2004. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização em Educação Ambiental) – Núcleo de Meio Ambiente, Universidade Federal do Pará, Belém, 2004.

SERVIÇO AUTÔNOMO DE ÁGUA E ESGOTO DE BELÉM. **Relatório dos Sistemas de Abastecimento de Água e Esgotamento Sanitário**. Belém, 2014.

STIGTER, T. Y.; RIBEIRO, L.; CARVALHO DILL, A.M.M. Application of a groundwater quality index as na assessment and communication tool in agro-environmental policies – Two Portuguese case studies. **Journal of Hydrology**. v. 327, p. 578 – 591, August. 2006.

VIANA, E. P. T. GALDINO, P. O.; FERREIRA, R. C.; DANTAS, R. T.; ARAUJO, K. D. Poluição do riacho Acon em Catolé do Rocha – PB. **Revista Verde de agroecologia e desenvolvimento sustentável**. v.4,n.3, p.77 – 84, Julho/Setembro. 2009.

VARGAS, T C.; VARGAS, I; BADILA, E. Propriedades hidrogeoquímicas e isotópicas del agua subterrânea em la parte media de la cuenca del río Tulián, Puerto Cortés, Honduras. **Revista Geológica de América Central**. v. 46, p.179-188, Junho. 2012.

VASCONCELOS, V. M. M. V.; SOUZA, C. F. Cacterização dos parâmetros de qualidade da água do manancial Utinga, Belém, PA, Brasil. **Revista Ambiente & Água – An Interdisciplinary Journal of Applied Science**: v. 6, n. 2, 2011.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Protecting groundwater for health – Managing the quality fo drinking water sources**. p. 1-155, 2006.