



**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO CEARÁ
ESPECIALIZAÇÃO EM ELABORAÇÃO E GERENCIAMENTO DE PROJETOS
PARA A GESTÃO MUNICIPAL DE RECURSOS HÍDRICOS**

GIOVANNI CHAVES PENNER

**PROPOSTA DE PROGRAMA DE MONITORAMENTO DA QUALIDADE DA ÁGUA
SUBTERRÂNEA PARA O MUNICÍPIO DE BELÉM-PA**

FORTALEZA - CE

2018

GIOVANNI CHAVES PENNER

PROPOSTA DE PROGRAMA DE MONITORAMENTO DA QUALIDADE DA ÁGUA
SUBTERRÂNEA PARA O MUNICÍPIO DE BELÉM-PA

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) apresentado ao curso de Especialização em Elaboração e gerenciamento de projetos para a gestão municipal de recursos hídricos do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará – IFCE – *Campus* Fortaleza, como requisito parcial à obtenção do título de Especialista.

Orientadora: Profa. Dra. Mayara Carantino Costa

FORTALEZA - CE

2018

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação

Instituto Federal do Ceará - IFCE

Sistema de Bibliotecas - SIBI

Ficha catalográfica elaborada pelo SIBI/IFCE, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

P412p Penner, Giovanni Chaves.

PROPOSTA DE PROGRAMA DE MONITORAMENTO DA QUALIDADE DA ÁGUA
SUBTERRÂNEA PARA O MUNICÍPIO DE BELÉM-PA / Giovanni Chaves Penner. - 2018.

71 f. : il.

Trabalho de Conclusão de Curso (especialização) - Instituto Federal do Ceará,
Especialização em Elaboração e Gerenciamento de Projetos para Gestão Municipal de
Recursos Hídricos, Campus Fortaleza, 2018.

Orientação: Profa. Dra. Mayara Carantino Costa.

1. Monitoramento da qualidade da água. 2. Qualidade da água subterrânea. 3. Programa
de monitoramento. I. Título.

CDD 333.91

GIOVANNI CHAVES PENNER

PROPOSTA DE PROGRAMA DE MONITORAMENTO DA QUALIDADE DA ÁGUA
SUBTERRÂNEA PARA O MUNICÍPIO DE BELÉM-PA

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) apresentado ao curso de Especialização em Elaboração e gerenciamento de projetos para a gestão municipal de recursos hídricos do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará – IFCE – *Campus* Fortaleza, como requisito parcial à obtenção do título de Especialista.

Aprovada em: ___/___/_____.

BANCA EXAMINADORA

Profa. Dra. Mayara Carantino Costa (Orientadora)
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará - *Campus* Sobral

Prof. Msc. Francisco Rafael Sousa Freitas

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará - *Campus Sobral*

Prof. Prof. Dr. Neyson Martins Mendonça
Universidade Federal do Pará - Instituto de Tecnologia - Faculdade de Engenharia
Sanitária e Ambiental

À Deus, por mais uma oportunidade de
estudar.

AGRADECIMENTOS

À Deus, pela saúde e perseverança.

À Universidade Federal do Pará por permitir minha capacitação.

Ao Conselho Estadual de Recursos Hídricos do Estado do Pará por permitir minha participação em relevantes discussões.

À minha orientadora Mayara Costa pelas contribuições sempre positivas ao presente trabalho, mesmo com todas as dificuldades de se construir um trabalho a distância.

Aos professores Francisco Freitas e Neyson Mendonça por aceitarem em contribuir participando como membros da banca avaliadora.

“Todas as coisas complexas estão
condenadas à decadência”

(Buda)

RESUMO

O presente trabalho apresenta uma proposta de monitoramento qual-quantitativo dos aquíferos (Barreiras e Pirabas), os mais importantes em termos de qualidade e capacidade de produção, usados no abastecimento público municipal da cidade de Belém-PA que será apresentado a Agência Reguladora Municipal de Água e Esgoto de Belém. Para tanto foram identificados os poços usados no abastecimento público e as principais atividades poluidoras presentes na área. Ao final está sendo proposto o monitoramento trimestral de 10 poços usados no abastecimento público municipal em sistema isolados da Companhia de Saneamento do Estado do Pará, com a orientação de todos os critérios de coleta, armazenamento, transporte das amostras, parâmetros a serem analisados e forma de divulgação dos resultados. Vale ressaltar que se trata de uma proposta que pode ser adaptada e ampliada conforme a realidade financeira municipal. Todavia acredita-se ser de extrema relevância o acompanhamento evolutivo da exploração de tais aquíferos por se tratar de reserva estratégica para futuras ampliações no sistema de abastecimento público municipal.

Palavras-chave: Monitoramento da qualidade da água. Qualidade da água subterrânea. Programa de monitoramento.

ABSTRACT

This work presents a proposal for the quali-quantitative monitoring of aquifers (*Barreiras* and *Pirabas*), both extremely relevant in terms of quality and exploitation, used in the municipal public supply of *Belém-PA*, which will be presented to *Agência Reguladora Municipal de Água e Esgoto de Belém*. For this purpose, the wells used in the public supply and the main polluting activities in the city were identified. At the end, it is proposed the monitoring of 10 wells, used in the municipal public supply (called isolated systems) every three months. In addition, the criteria of collection, storage and transportation of the samples, parameters to be analyzed and final report revelation are presented. It is important to mention that this proposal can be adapted and expanded in accordance with the municipal budget. Furthermore, it is also relevant to evaluate the exploitation of both aquifers as a strategic water reserve for future expansions of the municipal public water supply system.

Keywords: Water quality monitoring. Groundwater quality. Monitoring program.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Classificação das Formações aquíferas quanto a porosidade.....	23
Figura 2 – Representação do arcabouço hidrogeológico e dinâmica de circulação da água subterrânea nos sistemas aquíferos da região de Belém e municípios adjacentes.....	23
Figura 3 – Esquema de poços e aquíferos.....	25
Figura 4 – Fluxograma do Sistema de Abastecimento de Água da RMB.....	41
Figura 5 – Mapa com os poços tubulares cadastrados na cidade de Belém.....	44
Figura 6 – Classificação das áreas com base no risco potencial de geração de contaminantes.	54
Figura 7 – Poços eleitos para a rede de monitoramento em Belém.....	58

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Comparativo das informações contidas nos levantamentos dos poços tubulares e escavados na RMB.....	42
Tabela 2 - Poços eleitos para a rede de monitoramento.....	57
Tabela 3 - Lista de parâmetros para análise em água subterrânea.....	61

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ADEPARÁ	Agência de Defesa Agropecuária do Estado do Pará
AMAE	Agência Reguladora Municipal de Água e Esgoto de Belém
ART	Anotação de Responsabilidade Técnica
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
COSANPA	Companhia de Saneamento do Pará
CPRM	Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
DNPM	Departamento Nacional de Produção Mineral
DQO	Demanda Química de Oxigênio
FIEPA	Federação de Indústrias do Pará
IFCE	Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará
ISO/IEC	International Organization of Standardization/International Electrotechnical Commission
NBR	Norma Brasileira
OD	Oxigênio Dissolvido
PNMA	Política Nacional do Meio Ambiente
PNRH	Política Nacional de Recursos Hídricos
POSH	<i>Pollutant Origin, Surcharge Hydraulically</i>
RIMAS	Projeto Rede Integrada de Monitoramento das Águas Subterrâneas
SEDAP	Secretaria de Desenvolvimento Agropecuário e da Pesca
SEMAS	Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Sustentabilidade

SESAN	Secretaria Municipal de Saneamento
SINGREH	Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos
SISNAMA	Sistema Nacional do Meio Ambiente
UFPA	Universidade Federal do Pará
VMP	Valor Máximo Permitido

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	14
2	REFERENCIAL TEÓRICO.....	19
2.1	Embasamento Legal.....	19
2.2	Origem e Movimento da Água Subterrânea.....	22
2.3	Qualidade da Água Subterrânea.....	26
2.4	Principais Atividades Poluidoras das Águas Subterrâneas.....	33
2.5	Exemplo de Programa de Monitoramento.....	37
3	MATERIAL E MÉTODOS.....	40
3.1	Descrição do Sistema de Abastecimento de Água de Belém.....	40
3.2	Caracterização dos Sistemas Isolados de abastecimento de água.....	42
3.3	Levantamento de Informações.....	43
3.4	Espacialização dos Dados.....	45
3.5	Cadastro de Atividades Poluidoras.....	45
3.6	Métodos de Coleta, Acondicionamento e Transporte de Amostras.....	48
3.7	Análises.....	50
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	51
4.1	Localização das Principais Atividades Poluidoras.....	51
4.1.1	Fontes Pontuais de Contaminação.....	51
4.1.2	Fontes Difusas de Contaminação.....	52
4.1.3	Avaliação do Potencial Contaminante.....	53
4.2	Poços a Serem Monitorados.....	55
4.3	Protocolo de Coleta, Acondicionamento e Transporte das Amostras.....	59
4.4	Parâmetros de Monitoramento em Água Subterrânea.....	60
4.5	Divulgação dos Resultados.....	62
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	63
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	64

1 INTRODUÇÃO

Do total da água doce prontamente disponível no planeta, as águas subterrâneas representam uma parcela de aproximadamente 30% do total. Quanto à utilização para fins de abastecimento público, uma parcela da população mundial é abastecida por águas provenientes de mananciais subterrâneos (FERREIRA *et al.*, 2007).

Quando da exploração de recursos subterrâneos, além da vazão a ser obtida, a qualidade da água deve atender ao uso proposto. Essa qualidade, por sua vez, depende do aquífero explorado e da dissolução dos minerais presentes nas rochas que o constituem. Outros fatores, que igualmente afetam as características das águas subterrâneas, resultam dos processos que ocorrem na zona não saturada. Esses, por sua vez, estão relacionados à qualidade e quantidade das águas de recarga, o tempo de contato água formação geológica, e poluição causada pelas atividades humanas no entorno dos poços. Há, também, os riscos atrelados ao uso das águas subterrâneas decorrentes da má escolha do local para implantação do poço, ou de perfurações inadequadas, sem embasamento técnico, falta de cuidados com as medidas sanitárias dos poços ou contaminação difusa sobre os mananciais ou nas áreas de recarga.

No município de Belém-PA, ao longo dos anos, a ocupação, como normalmente ocorre, fez com que as alterações naturais cedessem lugar às modificações antrópicas do ambiente. Acompanhando essa evolução, a demanda de recursos hídricos cresceu e se diversificou, e, da mesma forma, o lançamento de efluentes e demais efeitos poluidores são cada vez maiores.

Segundo a Prefeitura Municipal de Belém (2014), os mananciais subterrâneos são utilizados em 25 sistemas isolados, compostos por: poços tubulares, tratamento (em alguns sistemas), reservação e distribuição, atendendo comunidades menores e, normalmente, localizadas em áreas mais afastadas. De acordo com o documento, a vazão dos poços varia entre 60 e 360 m³/h, localizados na Formação Pirabas ou na Formação Barreiras em razão do maior volume de produção de água e de menor teor de ferro, quando comparadas às concentrações ferro encontradas nas águas superficiais da região.

Diversos trabalhos abordaram a questão do abastecimento de água na região metropolitana de Belém. Da Silva *et al.*, (2005) avaliaram quatro alternativas para a expansão do abastecimento da Região Metropolitana de Belém e os resultados indicaram a ampliação da captação superficial como a melhor alternativa. Araújo Júnior *et al.*, (2013) discutiram a questão da proteção dos mananciais superficiais sem mencionar os mananciais subterrâneos. Em contrapartida, a Prefeitura Municipal de Belém (2014) cita somente o uso da água subterrânea para a ampliação de sistemas isolados e para o atendimento de comunidades rurais.

Mesquita *et al.*, (2016) analisaram a qualidade da água de abastecimento na Ilha do Mosqueiro, onde são usados poços tubulares profundos, distrito de Belém, e concluíram que os resultados atenderam ao padrão de potabilidade do Ministério da Saúde e da Organização Mundial da Saúde.

Nas cidades as fontes de contaminação antropogênica em águas subterrâneas são em geral diretamente associadas a despejos domésticos (devido a reduzida cobertura de coleta e tratamento), industriais e ao lixiviado de áreas de descarte de resíduos que contaminam os aquíferos livres com matéria orgânica, microrganismos patogênicos e eventualmente substâncias específicas. Contribuindo ainda com a mobilização de metais naturalmente contidos no solo, como alumínio, ferro e manganês também são potenciais fontes de nitrato e substâncias orgânicas extremamente tóxicas ao homem e ao meio ambiente (DE FREITAS *et al.*, 2001).

Conforme o Serviço Geológico do Brasil (CPRM, 2002), o abastecimento de água é um dos mais cruciantes e graves problemas da Região Metropolitana de Belém (RMB), sendo necessárias medidas mitigadoras, por parte dos gestores municipais, para minimizar este lastimável quadro; nestas circunstâncias, uma alternativa é a utilização de água subterrânea, armazenada nos sistemas aquíferos mais profundos, conforme atestam os poços da Companhia de Saneamento do Estado do Pará (COSANPA) e do extinto Serviço Autônomo de Água e Esgoto de Belém (SAAEB), o SAAEB foi incorporado pela COSANPA, que possuem centenas de metros. Neste contexto o Aquífero Pirabas se constitui na principal opção para captação imediata de água subterrânea, com poços de profundidades de 220 m a 300 m, vazões em torno de 200 a 500 m³/h; e água de excelente qualidade, portanto, utilizável para quaisquer fins. O referido documento ainda cita, dentre outras conclusões, a necessidade de construção de banco de dados para o

mapeamento das atividades poluidoras e a necessidade de monitoramento da qualidade da água subterrânea.

Segundo o Atlas de Abastecimento de Água (ANA, 2010), aproximadamente 24% do abastecimento de água no município de Belém é efetuado usando água subterrânea 39 poços tubulares profundos. Isso desconsiderando a grande quantidade de condomínios que em geral também usam o manancial subterrâneo e sistemas residenciais individuais que também usam poços rasos.

Não há nenhum programa de controle e monitoramento periódico no âmbito municipal para o gerenciamento da qualidade da água subterrânea. Existe somente o monitoramento realizado pela CPRM referente ao projeto RIMAS - Rede Integrada de Monitoramento de Águas Subterrâneas, que monitora os principais aquíferos do país, sem nenhum relatório ou documento discutindo a evolução da qualidade da água subterrânea em Belém. Desta forma emerge a necessidade de se construir um Programa de Monitoramento da Qualidade da Água Subterrânea para ser discutido e sugerida a implementação junto a Agência Reguladora de Água e Esgoto (AMAE) do município de Belém.

No artigo 25 da Política Nacional de Recursos Hídricos, Lei 9.433/97, foi estabelecido: "O Sistema de Informações sobre Recursos Hídricos é um sistema de coleta, tratamento, armazenamento e recuperação de informações sobre recursos hídricos e fatores intervenientes em sua gestão". Para a efetiva aplicação há a necessidade de um Sistema de Informações sobre Recursos Hídricos que contenha informações quantitativas e qualitativas por bacia hidrográfica e por região em estudo. Tais informações servirão de base para municiar a gestão e a tomada de decisão. Dados de monitoramento, sobretudo, de qualidade da água, devido à pouca quantidade de dados desta natureza disponíveis no país, precisam ser divulgados e disponibilizados, de forma a colaborarem e/ou complementarem o Sistema de Informações sobre Recursos Hídricos.

Focado no monitoramento quantitativo e qualitativo das águas subterrâneas o Conselho Nacional de Recursos Hídricos – CNRH estabeleceu a Resolução nº 107, de 13 de abril de 2010, onde constam as diretrizes e critérios a serem adotados para planejamento, implantação e operação de Rede Nacional de Monitoramento Integrado Qualitativo e Quantitativo de Águas Subterrâneas.

Pelo exposto e como o intuito de fortalecer a gestão municipal dos recursos hídricos, o presente trabalho apresenta uma proposta de Programa de Monitoramento da Qualidade da Água Subterrânea para o município de Belém, no Estado do Pará.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Embasamento Legal

No Brasil, desde o Decreto N.º 24.643/1934 (BRASIL, 1934), conhecido como Código das Águas, que se considera o uso das águas subterrâneas. Todavia, pelo mesmo decreto, o dono do terreno poderia explorar por meio de poços, galerias, etc., a água subterrânea existente no seu território, desde que os aproveitamentos não prejudicassem o curso natural das águas públicas dominicais, públicas de uso comum ou particulares; como também não deveriam ser derivados nem desviados. Ainda neste documento também se classificava as águas em comuns, particulares e públicas.

No ano de 1981, passou a vigorar a Lei Federal Nº 6.938 que dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente (PNMA), que tem por objetivo a preservação, melhoria e recuperação da qualidade ambiental propícia à vida. Essa lei institui o Sistema Nacional do Meio Ambiente (SISNAMA) e define o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) como órgão superior da formulação de diretrizes da PNMA. Trata-se do marco legal para todas as políticas públicas a serem desenvolvidas pela federação, uma vez que, antes desta legislação, cada Estado ou Município era autônomo para selecionar suas diretrizes políticas em relação ao meio ambiente.

Em 1988, a Constituição Federal no seu Art. Nº 225 estabeleceu que o meio ambiente é “bem de uso comum do povo” e por isso não pode ser qualificado como um bem que pertença a uma pessoa física ou jurídica privada ou pública, mas sim como um bem pertencente a uma coletividade indeterminada (SOUZA, 2018).

Pelo Inciso III do Artigo 20, da Carta Magna: “são bens da união: os lagos, os rios e quaisquer correntes de água em terrenos de seu domínio, ou que banhe mais de um Estado, sirvam de limites com outros países, ou se estendam a territórios estrangeiros ou dele provenham, bem como os terrenos marginais e as praias pluviais” (BRASIL, 1988). O Rio Tocantins serve como exemplo de “bem da união”, visto que banha os Estados de Goiás, Tocantins, Maranhão e Pará.

A constituição também estabelece, no Artigo 26, que “incluem-se entre os bens dos Estados: as águas superficiais ou subterrâneas, fluentes, emergentes e em

depósito, ressalvadas neste caso, na forma da lei, as decorrentes de obras públicas da União”. Neste caso, serve como exemplo o Rio Guamá, onde sua bacia hidrográfica está inserida completamente no Estado do Pará; como também as águas subterrâneas que afloram na região.

Ao perceber que a água era fundamental para a economia deu-se a ela um valor econômico, desta forma a utilização econômica fez a água ser vista como recurso hídrico, tal como os recursos minerais muito utilizados economicamente (ALMEIDA, 2012).

Pelos múltiplos usos, a água pode ser vista como uma substância essencial para a manutenção da vida, e também como recurso hídrico, dotado de valor econômico. Daí vem a importância de se estabelecer e atualizar legislações, cada vez mais preocupadas em preservar e racionalizar o uso deste importante recurso. A lei Nº 9433/1997, conhecida como “Lei das Águas”, é considerada um avanço na gestão dos recursos hídricos nacionais, pois não se dispunha de legislação balizadora nesse sentido no âmbito nacional, tendo como objetivo promover o uso sustentável da água, garantindo o direito de uso e estabelecendo deveres e obrigações dos usuários. A referida lei instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) e criou o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SINGREH). Fundamenta-se que a água é um bem econômico, de domínio público, com uso prioritário para o consumo humano, o uso múltiplo, o gerenciamento por bacias hidrográficas e a gestão descentralizada. A Lei das Águas estabelece os instrumentos de gestão, e enfatiza que as águas subterrâneas estão sujeitas a outorga.

Dentre as principais resoluções, firmadas em nível federal, aplicadas às águas, e em particular às águas subterrâneas, estão as seguintes:

- Resolução CONAMA Nº 303/2002, que dispõe sobre os parâmetros, definições e limites de Áreas de Preservação Permanente, e também conceitua as nascentes como exutório de águas subterrâneas (BRASIL, 2002).
- Resolução CONAMA Nº 335/2003, que dispõe sobre o licenciamento ambiental de cemitérios (BRASIL, 2003).
- Resolução CONAMA Nº 357/2005, esta que foi uma resolução muito importante para a preservação dos corpos d’água, aprovada em 2005, que dispõe

sobre a classificação dos corpos de água superficial e diretrizes ambientais para enquadramento, bem como estabelece as condições padrões de lançamento de efluentes (BRASIL, 2005).

- Resolução CONAMA Nº 396/2008, de cunho exclusivo das águas subterrâneas, que dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas e dá outras providências (BRASIL, 2008).

- Resolução CNRH Nº 107/2010, a mais recente resolução relevante, que estabelece as diretrizes e critérios a serem adotados para o planejamento, a implantação e a operação de Rede Nacional de Monitoramento Integrado Qualitativo e Quantitativo de Águas Subterrâneas (BRASIL, 2010).

Relacionado à qualidade da água adequada para consumo humano, a obrigação em legislar está a cargo do Ministério da Saúde (MS). Relativo a esta matéria, está em vigor a Portaria de Consolidação Nº 5/2017 de 28 de setembro de 2017. O Anexo XX dessa portaria dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade (BRASIL, 2017).

Existe ainda um Guia Nacional de Coleta e Preservação de Amostras que orienta tal procedimento para os casos de monitoramento da qualidade da água. Este documento foi elaborado em parceria entre a Agência Nacional de Águas (ANA) e Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB) (ANA, 2011).

Pelo que se observa, houve um grande avanço nas legislações federativas que abordam a gestão de recursos hídricos, no entanto evidencia-se a necessidade de se avançar mais sobre a fiscalização da gestão e controle da exploração de águas subterrâneas, sua classificação e enquadramento; como também sobre controle de uso e ocupação do solo, para minimizar os riscos de contaminação dos mananciais subterrâneos. Tais assuntos poderiam ser tratados no âmbito estadual, em legislação específica sobre o tema, atualmente fica restrito a Política de Recursos Hídricos do Estado do Pará (PARÁ, 2001), que na Seção I, Dos Planos de Recursos Hídricos, no Art. 7º, inciso XVI - estudos de gestão de águas subterrâneas, compreendendo a pesquisa, o planejamento, o mapeamento da vulnerabilidade à poluição, a delimitação de áreas destinadas a sua proteção, o controle e o monitoramento.

2.2 Origem e Movimento da Água Subterrânea

Água subterrânea é água que ocorre natural ou artificialmente no subsolo, e é suscetível de extração e utilização pelo homem. Seu gerenciamento sustentável inclui a utilização equilibrada, tanto em qualidade como em quantidade, com base no conhecimento sobre os impactos potenciais de contaminantes antrópicos ou naturais e as taxas de recarga e de exploração, além das considerações sobre as propriedades do uso da água (IRITANI; EZAKI, 2008).

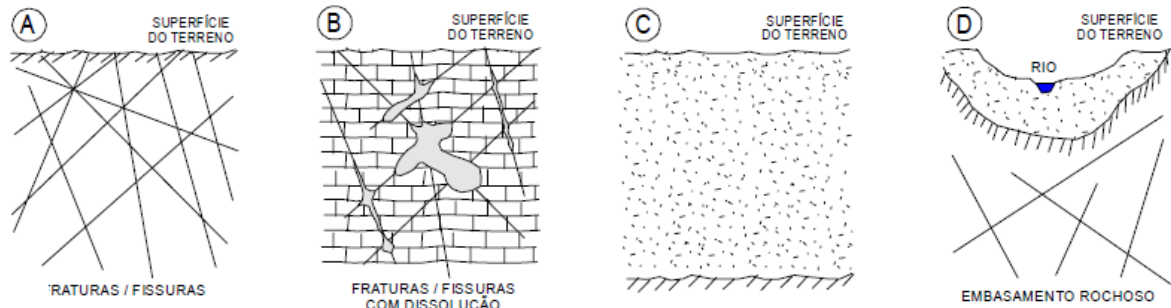
Captar água subterrânea para o consumo é uma arte muito antiga, podendo ser considerada milenar. Há informações históricas de uso da água subterrânea mais de cinco mil anos A.C. pela população chinesa, através da construção de poços rasos escavados. Civilizações antigas, entre elas os egípcios, árabes, assírios, babilônios, chineses e hindus, já usavam sistemas de irrigação com grande êxito, inclusive envolvendo as águas subterrâneas. Os egípcios, há 2.500 anos, tinham 400.000 hectares irrigados com águas vindas de aquíferos, por gravidade, através de túneis sub-horizontais (qanats) (HIRATA; VANIER, 1998). Chilton (1995) comenta que na região oeste dos desertos do Saara, ruínas históricas mostram áreas irrigadas com águas obtidas através de poços com mais de 200 metros de profundidade. Estas técnicas foram disseminadas em toda a região do Oriente Médio, chegando à Ásia e à Europa.

Para ser considerada aquífero uma formação geológica precisa armazenar e transmitir água. Com relação a porosidade da formação aquífera para obtenção de água subterrânea têm-se: (A) aquífero fissural, (B) cárstico-fissural (em rocha consolidada), (C) aquífero intersticial e (D) aluvial (em rochas sedimentar não consolidada). A diferença está na natureza desses dois tipos gerais de formação aquíferas o que influenciará no projeto de construção do poço (ver Figura 1) (CPRM, 1998).

Segundo Matta (2002), os principais sistemas aquíferos existentes na região metropolitana de Belém foram reconhecidos após análise dos relatórios de poços tubulares. Aluviões estão relacionadas à cobertura sedimentar mais recente; o Sistema Pós- Barreiras é relacionado aos sedimentos inconsolidados pertencentes à unidade estratigráfica homônima; o Sistema Barreiras relaciona-se aos sedimentos do Grupo Barreiras e os sistemas Pirabas Superior e Pirabas Inferior são constituídos por sedimentos arenosos e carbonosos da Formação Pirabas. Portanto

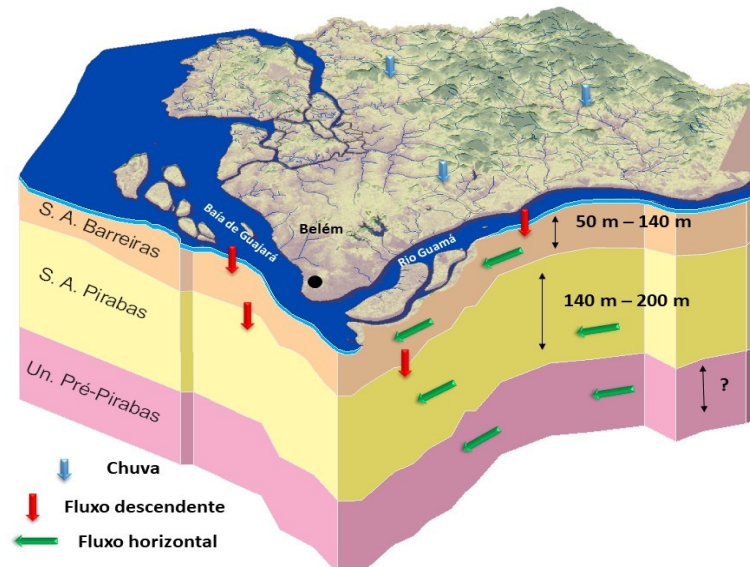
todos classificados como C ou D conforme Figura 1. Na Figura 2 é apresentado o arcabouço hidrogeológico e dinâmica de circulação da água subterrânea nos sistemas aquíferos da região de Belém e municípios adjacentes proposto por Profill Engenharia e Ambiente LTDA (2017).

Figura 1 – Classificação das Formações aquíferas quanto a porosidade.



Fonte: CPRM (1998).

Figura 2 – Representação do arcabouço hidrogeológico e dinâmica de circulação da água subterrânea nos sistemas aquíferos da região de Belém e municípios adjacentes.



Fonte: Profill Engenharia e Ambiente LTDA (2017).

Atualmente é comum a classificação quanto a profundidade em poços rasos (até 20 m de profundidade) ou profundos (acima de 20m de profundidade). O poço tubular ou poço profundo precisa de equipamentos para contenção de água, pois a mesma pode jorrar em aquíferos confinados. O aquífero confinado é aquele situado

entre duas camadas confinantes, contendo água com pressão suficiente para elevá-la acima do seu topo ou da superfície do solo (nesse caso jorrante ou artesiano) (FEITOSA *et al.*, 2008).

Quando um poço é perfurado numa formação de rocha consolidada, o furo geralmente é mantido em equilíbrio, sem necessidade de revestimento, enquanto que, numa formação de areia, argilas expansivas, pedregulho e outras formações não consolidadas, deverá ser sustentado por um revestimento, filtro para poço, a fim de evitar colapso ou fechamento do poço (FEITOSA *et al.*, 2008). A água nas formações consolidadas ocorre nas fraturas, fendas ou cavernas existentes nas rochas ou nos poros do arenito, enquanto que nas areias e pedregulhos, está presente nos vazios formados entre partículas adjacentes.

Com frequência o poço semi-artesiano, na expressão popular, é o poço cuja obtenção de água necessita de equipamentos, e suas águas não jorram até a superfície do solo. Para o recalque da água são utilizadas bombas submersíveis, bombas injetoras, bombas manuais, bombas de eixo prolongado dentre outras.

As nomenclaturas poço raso, cisterna, cacimba ou caipira são todos que caracterizam poços cuja captação de água é feita do aquífero não confinado, ou seja, são depósitos de águas subterrâneas em pequena profundidade. A água obtida nesse tipo de captação está sujeita a contaminações difusas ou pontuais, como a água da chuva ou efluentes industriais e domésticos (fossas e sumidouros, comuns na cidade de Belém) que podem levar substâncias químicas tóxicas ou doenças patógenas ao homem e seu volume armazenado pode ser reduzido em épocas de estiagem.

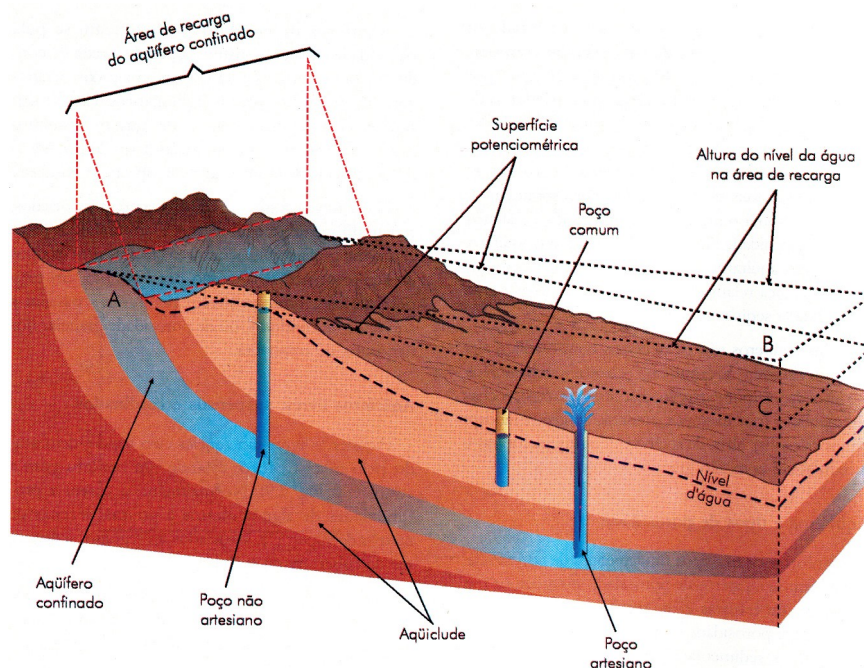
Partindo da Hidrologia, o ciclo natural da água subterrânea pode ser dividido em três etapas: (i) recarga, (ii) circulação de água no subsolo e (iii) descarga. A recarga (entrada de água no sistema hidrogeológico) dá-se principalmente a partir do excedente da precipitação, ou seja, a alimentação é feita pela água que não é evaporada, evapotranspirada ou sujeita ao escoamento superficial. Por outro lado, a entrada de água também pode ser proveniente de rios ou de lagos que alimentam o aquífero ou da injeção direta em furos (recarga artificial). A maior parte das águas subterrâneas origina-se de água da chuva, a qual se infiltra através da zona não saturada do solo, Figura 3. Sendo que uma parcela da água infiltrada se acumula no aquífero livre e outra parcela percola para camadas inferiores alimentando os aquíferos mais profundos. Durante este processo, a composição da água é

constantemente modificada pelas interações com os constituintes minerais do solo e das rochas (TEIXEIRA *et al.*, 2000).

Segundo Tundisi (2003), os constituintes químicos das águas subterrâneas podem ser influenciados por quatro fatores: deposição atmosférica, processos químicos de dissolução e/ou hidrólise no aquífero, mistura com esgoto ou outras atividades humana e/ou animal e águas salinas por intrusão.

A água subterrânea cada vez mais aparece como alternativa mais viável para o consumo humano, por não precisar de extensas adutoras e pelo custo de tratamento inferior ao da água superficial, na maioria dos casos. Todavia, sem a gestão adequada, existe o risco cada vez maior de contaminação em decorrência da urbanização, do desenvolvimento industrial, das atividades agrícolas e das atividades de mineração. É certo que os aquíferos, embora possuam grande capacidade de armazenamento de água, muitas vezes não respondem com elevadas vazões pontuais instantâneas, limitando a produção final de sistemas de extração para alguns usos de grande demanda.

Figura 3 – Esquema de poços e aquíferos.



Fonte: Teixeira *et al.* (2000).

2.3 Qualidade da Água Subterrânea

A qualidade da água subterrânea dependerá das características de seu ciclo natural da água em conjunto com qualquer mudança que ocorra, como um resultado da atividade humana ou animal. Além disso, as análises química, física, biológica e os dados geomorfológicos são responsáveis por delinear quantitativa e qualitativamente sua finalidade de uso.

As propriedades físicas, químicas e biológicas da água são usadas como parâmetros para saber se o manancial está prontamente disponível para ser usado no abastecimento humano mediante algum nível de tratamento.

Adicionalmente, as propriedades físicas são características de ordem estética, não caracterizando riscos à saúde pelo consumo, entretanto elevados valores de algumas destas propriedades, podem causar certa repugnância a consumidores mais exigentes. As águas subterrâneas dificilmente são portadoras de características perceptíveis, exceto o sabor decorrente de sais dissolvidos em quantidade excessiva e cor pela presença de óxidos de ferro. Enquadram-se nas características de 37 propriedades físicas os seguintes aspectos: temperatura, cor, odor, sabor, turbidez e sólidos em suspensão (FEITOSA *et al.*, 2008).

Cor - Está relacionada com as substâncias dissolvidas em água. Se a água subterrânea apresentar uma coloração azulada pode se encontrar límpida, se conferir uma cor arroxeadada pode conter ferro dissolvido, negra rica em manganês e amarelada conter ácidos húmicos.

A cor é esteticamente indesejável, visto que água de cor elevada causa rejeição por parte de consumidor. O padrão de potabilidade estabelece para cor aparente o Valor Máximo Permitido (VMP) de 15 uH como padrão de aceitação para consumo humano (BRASIL, 2017).

Odor e Sabor - Dependem do teor e tipo de sais dissolvidos.

Turbidez - A turbidez da água é devido à presença de materiais sólidos em suspensão, que reduzem a sua transparência. Pode ser provocada também pela presença de algas, plâncton, matéria orgânica e muitas outras substâncias como o zinco, ferro, manganês e partículas de solo, resultantes do processo de erosão ou de despejos domésticos e industriais (FUNASA, 2009).

Importante no processo de tratamento de água, a água com sua turbidez elevada, e dependendo de sua natureza, forma flocos pesados que decantam mais

rapidamente comparado com a água de baixa turbidez. Entretanto, possui suas desvantagens, como no caso da desinfecção. Água com presença de sólidos em suspensão dificultam o contato direto dos microrganismos. Funciona como um indicador sanitário e de aceitação da água para consumo humano. O VMP pelo padrão de potabilidade é de 5,0 uT (BRASIL, 2017).

Sólidos Totais - Substâncias sólida em suspensão que pode ser separada por filtração simples. A maioria dos poços não apresenta alteração nesta característica, caso possuam pode ser decorrente do desenvolvimento ineficiente e do mau dimensionamento de filtro, pré-filtro ou da centralização do filtro.

As características químicas da água subterrânea refletem os meios porosos percorridos, guardando uma relação com os tipos de rochas permeado e com eventuais produtos das atividades humanas adquiridas ao longo de seu trajeto.

Condutividade elétrica - Facilidade de condução de corrente elétrica, está diretamente relacionada ao teor de sais dissolvidos, podendo ser natural advinda da rocha ou solo permeado, ou antrópica comum em efluentes e rejeitos de diversas atividades. Funciona com um bom indicador de alteração da qualidade da água pela fácil e rápida medição (GADOTTI, 1997).

Dureza total - É uma característica da qualidade da água de consumo humano e de insumo industrial. Águas com dureza elevada pode causar incrustação nas tubulações e a elevação do consumo de sabão.

A dureza total da água compõe-se em duas partes: dureza temporária, chamada de dureza de carbonatos é causada pela presença de bicarbonatos de cálcio e magnésio que pode ser eliminada com a ebulição e dureza permanente, chamada de dureza de não carbonato é devido a presença de sulfatos, cloretos e nitratos de cálcio e magnésio, não produzem incrustações por conter sais muito solúveis, não decompondo sob ação de calor (BASTOS, 2013).

Assim, a dureza total é a soma da dureza de carbonato e dureza de não carbonato. As águas podem ser classificadas de acordo com sua dureza, numa escala de branda a muito dura.

O padrão de potabilidade da água para consumo humano estabelece limites altos de dureza, até 500 (mg/L) (BRASIL, 2017). Todavia, Von Sperling (1996) cita que águas de elevada dureza possui efeitos laxativos e sabor desagradável.

Por outro lado, quando enquadradas na classe de água dura, esta representa restrições industriais, tendo então a necessidade de remoção Ca^{2+} e Mg^{2+} , técnica conhecida como abrandamento.

Metais - De acordo com Gadotti (1997), a importância dos metais está relacionada com a função potencialmente inibidora que podem transmitir para o processo de digestão anaeróbia. Outro aspecto relevante é que seu monitoramento, juntamente com outros parâmetros, contribui decisivamente para se verificar a influência que os líquidos percolados sobre a qualidade da água subterrânea.

Apresenta-se a seguir algumas considerações sobre a solubilidade de alguns metais mais comuns:

Alumínio - é o metal mais comum na crosta terrestre. O alumínio é um metal que não se encontra livre na natureza e sua principal fonte é a bauxita (APHA, 2017). Sua presença em água pode afetar a qualidade organoléptica e isso depende do pH, da temperatura e da presença dos íons fluoreto, sulfato, além da matéria orgânica. Sua solubilidade é baixa em pH entre 5,5 e 6,0; em locais profundos onde ocorre anaerobiose e pH mais baixo, sua concentração pode tornar-se elevada (CETESB, 2010). A distribuição entre as diferentes espécies do alumínio (processo chamado especiação) é essencial para a compreensão da toxicidade, biodisponibilidade e dos mecanismos de transporte desse elemento químico no ambiente natural.

Ferro - é o segundo metal mais comum na crosta terrestre, apenas em menor quantidade que o alumínio. Suas fontes são minerais escuros (máficos) como: magnetita, biotita, pirita, piroxênios, anfibólios e no ambiente natural, a origem desse elemento pode estar relacionada a depósitos orgânicos, detritos de plantas, podendo associar-se a colóides ou húmus, o que acarreta uma cor amarelada à água (FEITOSA *et al.*, 2008).

Apesar de o organismo necessitar diariamente de 19 mg de ferro, a Portaria de Consolidação Nº 5/2017 de 28 de setembro de 2017, que no seu Anexo XX dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade exige que a água de abastecimento público não ultrapasse 0,3 mg/L. Esse limite é estabelecido devido aos problemas estéticos relacionado a presença do ferro em água e do sabor que o ferro lhes confere.

No corpo humano, o ferro atua na formação da hemoglobina (pigmento do glóbulo vermelho que transporta oxigênio dos pulmões para os tecidos). A sua carência pode causar anemia e seu excesso pode aumentar a incidência de problemas cardíacos e diabetes (FEITOSA *et al.*, 2008).

Zinco - forma precipitados solúveis com os íons CO_2^{-3} , SO_3 , Si e PO_3^{-4} . O Zn é fortemente adsorvido nas trocas que acontecem no solo, sendo citado como nutriente essencial para as plantas e funções fisiológicas dos seres humanos. Entretanto, quando presente em altas concentrações no organismo, pode causar sérios problemas no esôfago e estômago, além de eventuais problemas nos pulmões e ser corrosivo à pele.

Cobre - Forma complexos com a matéria orgânica, que podem ser móveis e pouco solúveis. A formação de hidróxidos de Fe e Mn pode também controlar a imobilização do Cu.

O cobre é um nutriente indispensável às plantas e aos seres humanos quando em baixas concentrações, mas adquire propriedades tóxicas quando em concentrações elevadas. A ingestão de doses excessivamente altas pode acarretar irritação e corrosão da mucosa, danos capilares, problemas hepáticos e renais e irritação do sistema nervoso central, seguida de depressão. A intoxicação por cobre é muito rara apesar do metal ser bioacumulativo (acumula-se nos seres vivos, inclusive no homem), podendo acarretar problemas em invertebrados e algumas espécies de peixe.

Níquel - é fortemente adsorvido por óxidos de Fe e Mn presentes no solo. É considerado de baixa toxicidade, embora sua ingestão possa causar asfixia e sua inalação provocar câncer. Tem sido considerado como muito tóxico para plantas e vida aquática.

Cromo - na forma hexavalente, são elementos tóxicos, podendo causar lesões na pele e câncer no pulmão.

Cádmio - é elemento de elevado potencial tóxico, sendo irritante gastrointestinal e, na forma de sais solúveis, pode causar intoxicação aguda e crônica em seres humanos.

Chumbo - apresenta alta toxidez, tem efeito cumulativo e pode levar à intoxicação crônica, que pode ser fatal.

Arsênio - A grande maioria dos estudos registrados sobre o As na literatura especializada, são focados sobre áreas com algum tipo de problema conhecido,

desse modo, os limites registrados são frequentemente extremos e não representativos das águas naturais.

Geralmente os valores das concentrações de As em água subterrânea são na grande maioria das vezes inferiores a 10 g/L, segundo Welch *et al.*, (2000). No entanto, são registrados inúmeros casos em que foram encontradas concentrações cujos valores variaram entre <0,5 até 5.000 g/L, (SMEDLEY e KINNIMBURG, 2002). As altas concentrações aparecem em aquíferos em condições de pH alto, em aquíferos com condições redutoras, aquíferos com circulação de fluxos geotermiais, aquíferos afetados por atividades de mineração ou relacionados a depósitos minerais e por fim, aquíferos relacionados a atividades industriais, centros urbanos ou atividades agrícolas. Contudo, a maior parte dos aquíferos que apresentam altos teores de As, tem sua origem ligada a processos geoquímicos naturais.

A diferença das contaminações de As de origem antropogênica para as de ocorrência natural é que a primeira é de caráter local e a segunda afeta grandes áreas, são de caráter regional.

São identificadas em todo mundo, um grande número de localidades, que apresentam, concentrações de As superior a 50 g/L. Estes numerosos casos de contaminação, estão relacionados com ambientes geológicos dos mais diversos tipos: metassedimentos com filões mineralizados, formações vulcânicas, formações vulcano - sedimentares, sistemas hidrotermais, baciais aluviais terciárias e quaternárias, (SMEDLEY; KINNIMBURG, 2002).

Os problemas de contaminação por As em água subterrânea são relatados em diversos lugares do mundo: Chile, Argentina, Estados Unidos, Ghana, Índia, México, Taiwan, Bangladesh, Nepal, China, Hungria, França, etc. (GONÇALVES, 2013).

Cloretos - Podem estar presentes naturalmente em água salobra ou como resultado de poluição por efluentes industriais ou domésticos, constituindo, portanto, indicador auxiliar de poluição ou contaminação. Em águas para consumo humano, a concentração de cloretos está diretamente associada à alteração de sabor e à aceitação para consumo. Os cloretos presentes na água que alteram sabor são, principalmente, os de sódio, potássio e cálcio, em concentrações superiores a 200 – 300 mg/L. No padrão de potabilidade brasileiro, o valor máximo permitido é o de 250 mg/L (BRASIL, 2017).

Amônia - A amônia é considerada um poluente por apresentar efeitos tóxicos. A sua forma dissolvida mais simples pode ser encontrada na água como amônia livre ou ionizada. Pode ser produzida, ou formada naturalmente pelas atividades dos microrganismos, plantas e animais através do ciclo do nitrogênio.

A água subterrânea não tem, normalmente, concentrações elevadas de amônia, contudo caso ocorram é um indício de eventuais processos de contaminação orgânica, de origem humana ou industrial. No caso da água potável, o limite da concentração de amônia é 1,5 mg/L (BRASIL, 2017).

Nitrato - O nitrato e o nitrito são substâncias químicas derivadas do nitrogênio e são encontrados de forma natural em água e no solo em baixas concentrações. A deposição de matéria orgânica no solo, como acontece quando se utiliza fossas e sumidouros, contribui significativamente para o aumento da quantidade de nitrogênio. Esse nitrogênio é biotransformado e muda para a substância inorgânica nitrato que possui grande mobilidade no solo, podendo alcançar o manancial subterrâneo e ali se depositar. O nitrato por possuir essas características, se torna um ótimo indicativo para avaliar se um dado manancial subterrâneo está sendo contaminado pela atividade antrópica sobre ele exercida.

Em elevadas concentrações, o nitrato é associado à doença da metahemoglobinemia ou síndrome do bebê azul, que dificulta o transporte de oxigênio na corrente sanguínea de bebês podendo acarretar a asfixia. Em adultos, a atividade metabólica interna impede a conversão do nitrato em nitrito, que é o agente responsável por essa enfermidade (COSTA *et al.*, 2016).

Águas utilizadas para abastecimento, contaminadas com nitrato, têm causado problemas, tanto para animais como para o homem. As crianças com idade inferior a três meses são mais sensíveis a íons nitrato por consumirem, relativamente, mais água que os adultos quando se compara seu peso corporal. Além disso, o pH do estômago de crianças é mais favorável ao desenvolvimento de bactérias que agem reduzindo íons de nitrato a íons de nitrito, o que não ocorre normalmente no adulto (DANIEL, 2008).

Concentrações maiores que 10 mg/L de nitrato, expresso como nitrogênio (N-NO₃), podem ser fatais para crianças com idades inferiores a seis meses e causar problemas de saúde em animais. Assim, a fim de se evitar esses distúrbios, estabeleceu-se um limite máximo de 10 mg/L N-NO₃ em água potável (BRASIL, 2017).

pH - O pH da água subterrânea natural varia geralmente entre 5,5 e 8,5. Os principais fatores que determinam o pH da água são o gás carbônico dissolvido e a alcalinidade.

Conforme Feitosa *et al.* (2008), as águas subterrâneas tendem ao neutro (solução-tampão) mas, alto pH deve-se ao CO_3^{2-} e baixo pH ao SO_4^{2-} , normalmente.

Alcalinidade – Está associada principalmente à presença de bicarbonatos, carbonatos e hidróxidos.

A alcalinidade das águas não representa risco potencial à saúde pública, no entanto provoca alteração no paladar e a rejeição da água em concentrações inferiores às que eventualmente pudessem trazer prejuízos mais sérios. A alcalinidade não se constitui em padrão de potabilidade.

Demanda Química de Oxigênio (DQO) – Indica a quantidade de matéria orgânica presente em uma amostra que pode ser oxidada quimicamente. O aumento da concentração de DQO num corpo d'água se deve principalmente a despejos de origem industrial e líquido percolado de aterro sanitário.

Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) - É a medida da quantidade de oxigênio necessária para consumir a matéria orgânica contida em água, mediante processos biológicos aeróbicos. É um indicador importante do potencial contaminação orgânico da água. Refere-se a um tempo de referência, normalmente de cinco dias.

Oxigênio Dissolvido (OD) - É outro bom indicador dos efeitos da poluição das águas decorrentes de despejos orgânicos.

A presença de OD em água subterrânea é desejável para prevenir a formação de substâncias com odores desagradáveis que comprometem os diversos usos da água, como por exemplo, consumo humano.

Segundo Feitosa *et al.* (2008), os valores normalmente encontrados em águas subterrâneas giram em torno de 5 mg/L.

Coliformes - são microrganismos que habitam no intestino de animais de sangue quente, entre eles o homem, e estão presentes em suas excretas. Em contato com a água, as fezes humanas e até mesmo as de outros animais podem encontrar outro hospedeiro. A análise bacteriológica reforça e constata a poluição do aquífero freático por fossas sépticas e negras.

O grupo coliforme é normalmente usado como indicador da ausência ou da precariedade de um sistema de saneamento (VIEIRA e OLIVEIRA, 2001). Os coliformes não provocam doenças; sua presença na água apenas indica que a ingestão do líquido poderá provocar patologias por outros grupos de microrganismos, já que no trato gastrointestinal, junto dos coliformes, podem ser liberadas também várias classes de organismos patogênicos, assim como solitárias, lombrigas e giárdias.

De acordo com a Portaria de Consolidação Nº 5/2017, que no seu Anexo XX dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade (BRASIL, 2017), uma amostra de 100 mL de água deveria apresentar ausência de bactérias do grupo coliformes, e as bactérias heterotróficas não deveriam ultrapassar 500 UFC/100 mL.

Atualmente a espécie **Escherichia coli** é considerada o melhor indicador de contaminação fecal humana, visto que algumas espécies de bactérias pertencente ao grupo coliformes fecais podem ser encontradas em outras fontes que não fezes de animais de sangue quente (ZOBY, 2008).

Existe uma infinidade de compostos orgânicos voláteis presentes em combustíveis e em diversas atividades industriais que podem comprometer a qualidade da água de abastecimento, todavia os mesmos não serão considerados neste trabalho por dois motivos: o primeiro é que só serão considerados poços profundos usados para abastecimento pela concessionária de água que atua no município de Belém, e o segundo é que o procedimento de coleta de amostras que será proposto é a amostragem direta na saída do poço, neste caso, como a água foi bombeada e conseqüentemente agitada no processo de bombeamento, eventuais compostos orgânicos voláteis migrarão para a fase de vapor, portanto não sendo detectados em água.

2.4 Principais Atividades Poluidoras das Águas Subterrâneas

O conceito de água poluída depende do ponto de vista do qual se encara o problema, ou seja, uma água pode ser considerada poluída para um determinado fim e não para outro. Água contaminada é a que possui organismos patogênicos, substâncias tóxicas e/ou radioativas, em teores prejudiciais à saúde do homem. Assim, toda água contaminada é poluída, mas nem toda água poluída é

contaminada (BRANCO, 1986). O risco de contaminação das águas subterrâneas define-se como a probabilidade de um aquífero sofrer impactos negativos decorrentes de determinada atividade antrópica a ponto de se tornar imprópria para o uso que se pretende fazer.

Foster e Hirata (1993) referem-se à necessidade de se dar maior atenção à carga contaminante no subsolo, gerada por atividades humanas em superfície, observando que mesmo havendo uma grande variedade somente algumas delas são responsáveis pelo risco máximo de contaminação das águas subterrâneas. Os autores citam que as fontes de poluição podem ser de dois tipos: pontual ou difusa. As contaminações pontuais dão origem a concentrações elevadas, localizadas em plumas que podem permanecer estratificadas em um aquífero. As fontes difusas tendem a criar uma estratificação regionalizada. Sendo que as águas superficiais e subterrâneas podem acabar recebendo com o passar do tempo uma contaminação em proporções crescentes.

Segundo Foster *et al.* (1987), para cada atividade é necessário estabelecerem-se quatro características semi-independentes de carga contaminante no subsolo: classe de contaminante envolvido; intensidade da contaminação; forma de disposição no subsolo e o tempo de aplicação da carga contaminante.

Continuando com Foster *et al.* (1987), a classe de contaminante em uma dada atividade pode ser definida por sua tendência à degradação ou transformação *in situ*, resultante da atividade bacteriológica ou reação química; e da sua tendência para o retardamento em relação ao fluxo da água subterrânea, como resultado de processos de troca catiônica, sorção etc.

O modo de disposição do contaminante no subsolo é definido pela carga hidráulica associada, incluindo a infiltração natural da precipitação; e pela superfície em que o efluente é disposto ou onde a lixiviação de resíduos sólidos ocorre. Para o tempo de aplicação da carga contaminante deve-se considerar também o período durante o qual se aplica a mesma, que mostrará uma alta variação de horas a décadas.

Com base em Foster e Hirata (1993), cada uma destas características interage com um diferente componente da vulnerabilidade de contaminação do aquífero, determinando o grau de risco de contaminação das águas subterrâneas.

No caso das indústrias, a dificuldade está em se estabelecer como são dispostos os seus efluentes. Em relação às áreas agrícolas e saneamento, em solos permeáveis, eventualmente fica difícil coletar amostras de infiltração para análise de lixiviados. Com respeito à classe de contaminante, o retardamento físico e a transformação química de contaminantes orgânicos são citados somente para solos nitidamente férteis, alcalinos e aeróbios.

Os perfis naturais de solo atenuam vários, mas não todos os poluentes em água. Isso tem sido reconhecido como um sistema potencialmente efetivo para a disposição de excretas humanas e águas residuais domésticas. Os processos de atenuação prosseguem, em menor grau, com o aumento da profundidade, principalmente em locais de sedimentos não consolidados.

Baseado em Meira (2008), na Região Amazônica, devido ao grande volume de água dos corpos hídricos, o lançamento de efluentes para fins de diluição é comum, comprometendo a sua potabilidade ao longo do tempo. Soares (2003) comenta que apesar da periculosidade deste efluente líquido é comum o lançamento destes *in natura* nos corpos d'água, devido ao alto custo de implantação de sistemas de esgotamento sanitário (SES), o que resulta em prejuízos à população e ao meio ambiente.

Segundo Foster *et al.* (1987), a dispersão hidrodinâmica, provocada pelo escoamento da água subterrânea, acarreta a diluição dos poluentes persistentes e móveis também na zona não saturada dos aquíferos. Nos poços em produção haverá mistura e uma diluição mais pronunciada, uma vez que interceptam ou induzem fluxo de água de diversas profundidades e direções, que nem sempre acusará significativa alteração da qualidade da água. Todavia, nem todos os perfis de solos e nem todas as condições hidrogeológicas são efetivos para a atenuação dos poluentes. Como consequência o grau de atenuação variará amplamente segundo os tipos e disposição dos contaminantes.

O meio mais sensível a poluição da água subterrânea são aos aquíferos não confinados, sobretudo em locais onde a zona não saturada é pouco espessa e o nível freático é raso, como no caso nos sedimentos Tércio-Quaternários das formações Pós-Barreiras e Barreiras. De acordo com as correlações de perfis dos poços cadastrados efetuados por Cabral (2007), o Aquífero Barreiras em Belém é do tipo raso, livre a semiconfinado. Sua espessura mínima é em torno de 5,0 metros e a

máxima de 16 metros, enquanto que o nível estático varia de 1,5 a até 11 metros.

Geralmente, os aquíferos mais profundos e altamente confinados estão protegidos da poluição a partir da superfície, à exceção do caso de poluentes muito persistentes e de longos períodos de tempo envolvidos.

Foster *et al.* (1987) comentam que os maiores e mais sérios riscos de contaminação das águas subterrâneas estão relacionados aos sistemas de saneamento sem coleta e tratamento de esgotos, às atividades agrícolas, à infiltração de águas contaminadas provenientes de rios e a várias atividades industriais, especialmente, aquelas com disposição de efluentes líquidos. As ameaças mais sérias no tocante à orientação da Organização Mundial da Saúde (OMS), no que se refere à qualidade da água potável, relacionam-se às concentrações de nitratos que se incrementam em grandes proporções e, mais ainda, a episódios cada vez mais frequentes de contaminação causada por hidrocarbonetos halogenados voláteis.

Com base em visualizações do dia a dia e informações dos órgãos do governo municipal, via sítios da Internet, gerou-se um banco de dados relativo às atividades mais observadas no município.

Tais atividades consideradas como potencialmente contaminantes foram divididas em dois grandes grupos (FOSTER *et al.*, 2002), considerando a distribuição espacial e a maneira como podem provocar as contaminações às águas subterrâneas, em:

Fontes Pontuais de Contaminação: geralmente, produzem plumas claramente definidas e mais concentradas, facilitando sua identificação e, possivelmente, seu controle, caso não sejam pequenas e múltiplas (adquirem nesse caso um exemplo de contaminação difusa). Nesse caso estão contempladas as indústrias, postos de combustíveis, lagoas de efluentes, despejo de resíduos sólidos, mineradoras, entre outros (FOSTER *et al.*, 2002).

Fontes Difusas de Contaminação: fontes que não geram plumas claramente definidas, porém, afetam uma área/volume muito maior do aquífero, como por exemplo, as áreas urbanas com esgotos in situ e fertilizantes e agroquímicos no solo (FOSTER *et al.*, 2002).

2.5 Exemplo de Programa de Monitoramento

Segundo CPRM (2009) A delimitação de um programa de monitoramento envolve decidir o que monitorar, onde e quando. As respostas a essas questões dependem do propósito do monitoramento que está condicionado principalmente à abrangência do programa de monitoramento, se nacional, regional ou local (MARTINEZ, 2004).

Os programas nacionais compreendem a coleta de dados a respeito das condições naturais e alteradas das águas subterrâneas, tanto em quantidade quanto em qualidade, nos principais sistemas aquíferos de um país. Devem ser delineados para atender a política nacional de proteção e conservação das águas subterrâneas e precisam, invariavelmente, considerar o uso da água subterrânea como fonte de abastecimento, sua função ambiental e as características de vulnerabilidade dos aquíferos (CPRM, 2009).

De acordo com Martinez (2004), um programa regional de monitoramento deve ser flexível e capaz de servir a diferentes propósitos. No entanto, deve ter como objetivo principal a aquisição de dados estatisticamente representativos e significativos sobre a água subterrânea de modo a subsidiar os planos regionais de gestão, as políticas regionais e estratégias de proteção e conservação. Ressalta-se que os programas nacional e regional devem se complementar e ser implantados e operados de forma padronizada de modo a permitir a análise e interpretação integrada dos dados.

Os programas locais são estabelecidos visando o atendimento dos seguintes objetivos (MARTINEZ, 2004): i) identificação de fontes ou atividades potenciais de degradação qualitativa e quantitativa das águas subterrâneas; ii) observação e controle do avanço de plumas de contaminação bem como avaliação dos efeitos de medidas de remediação. Esses programas são operados de forma independente aos de âmbito nacional e regional.

Segundo Muskar (2002, *apud* MARTINEZ, 2004) o monitoramento deve ser considerado como um procedimento sistêmico que envolve a execução de várias atividades de modo ordenado e metódico. A sequência de atividades previstas é:

- Delimitação da área de monitoramento;
- Análise da estrutura geológica, do sistema de fluxo subterrâneo e qualidade das águas subterrâneas;

- Desenho da rede de monitoramento;
- Definição e implementação de métodos de coleta e investigação de campo e procedimentos analíticos laboratoriais;
- Determinação da frequência de amostragem e seleção de variáveis a serem analisadas e adoção de processos que assegurem a qualidade dos dados obtidos;
- Análise, processamento e interpretação dos dados.

A estrutura e a operação do monitoramento de água subterrânea devem ser estabelecidas de acordo com (CPRM, 2009):

- A função do corpo de água subterrânea;
- As características dos corpos de água subterrânea;
- O nível de conhecimento existente (incluindo o nível de confiança nos modelos conceituais) de um sistema aquífero;
- O tipo, extensão e variação das pressões no corpo ou grupo de corpos de água subterrânea;
- A avaliação de risco a partir das pressões sobre o corpo ou grupo de corpos de água subterrânea.

Um exemplo de monitoramento da água subterrânea no âmbito nacional é o Projeto Rede Integrada de Monitoramento das Águas Subterrâneas, RIMAS, sob a responsabilidade do Serviço Geológico do Brasil-CPRM. Diante da necessidade de ampliação do conhecimento hidrogeológico para os principais aquíferos do país planejou e está atualmente implantando e operando a rede integrada de monitoramento das águas subterrâneas.

A rede de monitoramento é de natureza fundamentalmente quantitativa, ou seja, tem o propósito de registrar as variações de nível d'água (NA). Instrumentos que permitem o registro automático do NA estão sendo instalados nos poços de observação e trimestralmente é feita a coleta dos dados armazenados os quais, posteriormente, são submetidos aos processos de consistência e tratamento. Porém, ainda que a rede não tenha como objetivo específico a avaliação qualitativa da água subterrânea foi concebido um sistema de alerta e controle de qualidade com medições semestrais da condutividade elétrica, pH, potencial de oxi-redução além de parâmetros mínimos fixados pela resolução CONAMA 396/08 para o

monitoramento. Na instalação do poço de observação e a cada cinco anos, ou ainda em casos em que se verifique, a partir dos parâmetros indicadores, variação significativa na química da água, serão feitas coletas para análises físico-químicas completas (relação mínima de 43 parâmetros inorgânicos) com inclusão de orgânicos voláteis e semi-voláteis conforme as condições de uso e ocupação dos terrenos nas imediações da estação.

Outro exemplo de monitoramento é relatado por Moraes *et al.* (2006) que visando a suprir a necessidade pelo expressivo incremento da utilização de águas subterrâneas no Distrito Federal, assim como atender a nova legislação ambiental vigente, a CAESB – Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal – implantou um programa de monitoramento sistemático, qualitativo e quantitativo, dos aquíferos de seu interesse. Os primeiros resultados deste monitoramento permitiram estabelecer a classificação geoquímica desses aquíferos, assim como estabelecer correlações entre os parâmetros analisados. Os dados de monitoramento dos níveis dos aquíferos já permitiram identificar as variações sazonais destes e servirão para melhor definir as vazões exploráveis de segurança a serem adotadas em sintonia com as restrições ambientais dos órgãos fiscalizadores, além de fornecer instrumentos para a reavaliação permanente das condições operacionais.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Descrição do Sistema de Abastecimento de Água de Belém

A Região Metropolitana de Belém é formada por 7 municípios (Ananindeua, Belém, Benevides, Castanhal, Marituba, Santa Bárbara do Pará e Santa Izabel do Pará) com área de 3.569,222 km², altitude média pouco superior a 10 metros acima do nível do mar, população 2.441.761 habitantes, baseado na estimativa realizada pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística do ano 2017.

Segundo Prefeitura Municipal de Belém (2014a) e Companhia de Saneamento do Estado do Pará (2012), a área da Região Metropolitana de Belém é dividida em zona central e em zona de expansão. A primeira, totalmente localizada no município de Belém, recebe a água proveniente das Estações de Tratamento de Água (ETAs): Bolonha, Utinga - São Brás e Utinga - 5º Setor, enquanto a outra corresponde à algumas áreas mais periféricas do município de Belém e às áreas dos demais municípios da RMB. A zona de expansão é atendida pela ETA Bolonha e por sistemas isolados (usando poços profundos). Na Figura 3 é apresentado o fluxograma do sistema de abastecimento de água da região metropolitana de Belém.

A COSANPA abastece com água a cidade de Belém, o Distrito de Mosqueiro, e mais as cidades de Ananindeua e Marituba. Para atender a demanda são captados 25.740.10 m³/h, distribuídos através de 1.964.337,00 m de rede alimentada por 10.250,00 m de adutoras de água bruta e mais 56.000 m de adutoras e subadutoras de água tratada, abastece 266.403 ligações domiciliares, comerciais públicas e industriais e registra um Índice de micromedição de 69,60% (NETO, 2003).

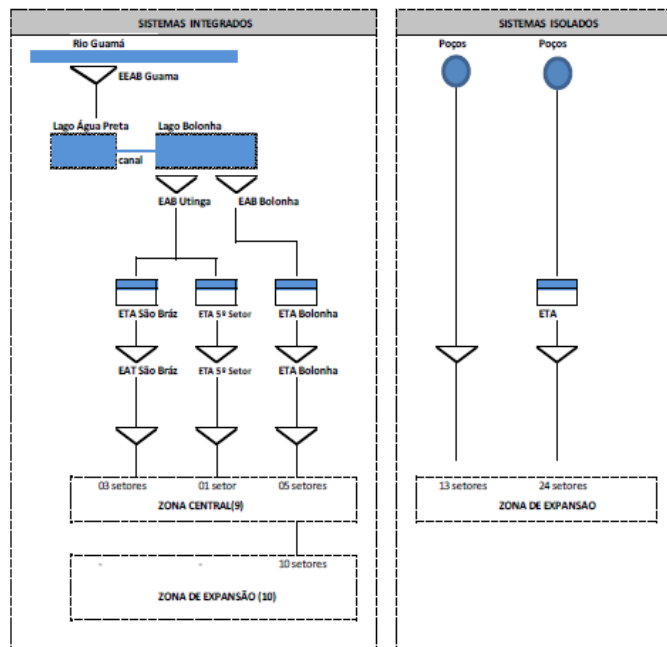
Veloso (2006) afirma que no ano de 2004, a Companhia de Saneamento do Pará (COSANPA) produziu 203.955.065 m³ em volume de água, mas só faturou o equivalente a 53.313.248 m³ desse total, porque 150.641.817 m³ foram desperdiçados. Boa parte dessa água se perde entre as estações de tratamento e a torneira do consumidor final, por problemas do sistema de abastecimento de água, como erros de medição, fraudes nos hidrômetros e ligações clandestinas (perdas aparentes); mas também por vazamentos, além de perdas operacionais (perdas reais ou físicas). No computo final do trabalho de Veloso (2006) chegou-se ao valor

de 75% de perdas, apontando para a insustentabilidade da companhia.

Baseado em notícias veiculadas na imprensa, por exemplo, conforme: Ministério Público recebe denúncias contra a COSANPA (2017), rotineiramente consumidores reclamam da interrupção do fornecimento ou pela péssima qualidade da água que é disponibilizado pela companhia. Também são frequentes os vazamentos noticiados pela mídia.

Vale acrescentar que é comum a baixa qualidade operacional das companhias de abastecimento de água da região norte do país, que além dos impactos negativos que as perdas hídricas provocam nos custos operacionais, ampliando a necessidade de investimento em novas instalações de produção e tratamento, elas também causam danos à natureza (pelo aumento da demanda. Se compararmos com outras regiões do Brasil como a Nordeste, onde há escassez de recursos hídricos, e também do Sudeste, que concentra a maior parte da população, essas perdas elevadas passam a ser até revoltantes.

Figura 4 – Fluxograma do Sistema de Abastecimento de Água da RMB.



Fonte: Prefeitura Municipal de Belém (2014b).

Segundo Prefeitura Municipal de Belém (2014b), o índice de atendimento urbano e rural de abastecimento de água é 61,8%, para o município de Belém, referente ao ano de 2012. O restante da população, 38,2%, faz uso de poços

tubulares ou escavados (poço raso, cacimba, cisterna e amazonas).

Conforme dados ainda não publicados de Profill Engenharia e Ambiente LTDA (2017) foi feito um levantamento de poços não cadastrados usados para abastecimento humana na Região Metropolitana de Belém, (Tabela 1). Tais poços foram separados em tubulares e escavados, referente ao diâmetro e método construtivo. Também foram buscadas outras informações, como dados de qualidade da água, teste de vazão, método de perfuração e etc.

Item	Quantidade	Porcentagem
Dados Gerais	478	100%
Dados de Exploração	437	91%
Dados de Perfuração	52	11%
Dados de Aquíferos	6	1%
Dados de Teste de Vazão	7	1%
Dados de Amostras de	38	8%
Água		
Tubular	458	96%
Escavado	20	4%

Fonte: Profill Engenharia e Ambiente LTDA (2017).

Os poços arrolados na Tabela 1, na grande maioria, são usados para o abastecimento individualizado em condomínios, clubes e residências e pela quantidade de informações disponíveis não atendem os critérios mínimos para serem usados como alternativa ao abastecimento deficitário da COSANPA.

Há ainda um atendimento pontual em muitas localidades ribeirinhas e em comunidades rurais afastadas com o aproveitamento da água de chuva (armazenada em cisterna ou outras formas).

3.2 Caracterização dos Sistemas Isolados de abastecimento de água

No abastecimento da água da cidade de Belém, a COSANPA denomina de sistemas isolados aqueles abastecidos exclusivamente por águas subterrâneas exploradas por meio de poços tubulares.

Segundo Profill Engenharia e Ambiente LTDA (2018) o sistema isolado mantido pela COSANPA consta de 39 poços tubulares profundos com uma vazão

conjunta (soma da produção de todos os poços) de 1,81 m³/s. Tal valor representa 24% da demanda de água do município de Belém.

Na Figura 5 estão indicados todos os poços tubulares cadastrados localizados na cidade de Belém, com destaque para os poços outorgado para a COSANPA.

3.3 Levantamento de Informações

O método de levantamento de dados de poços no âmbito deste estudo consiste da consulta a bancos de dados secundários, isto é, aos bancos de dados de instituições competentes no âmbito da fiscalização, regulamentação e cadastramento de poços, entre as quais se destacam CPRM, DNPM, SEMAS, COSANPA e prefeitura municipal de Belém, para checagem dos poços e nascentes que constam como cadastrados por esses órgãos.

O levantamento dos dados secundários foi realizado através do contato direto com o pessoal responsável dentro de cada uma das instituições supracitadas que são participantes do projeto "*Estudos Hidrogeológicos para a Definição de Estratégias de Gestão das Águas Subterrâneas da Cidade de Belém/PA e Municípios Adjacentes*", financiado pela Agência Nacional de Águas (ANA). A consulta aos bancos de dados forneceu uma malha a partir da qual os poços já cadastrados pudessem ser visualizados em mapa, evitando-se, assim, o registro duplicado de um mesmo poço. As informações contidas nos diferentes bancos de dados nem sempre têm correspondência entre si, gerando diversas lacunas na compilação geral. Essas informações faltantes estão relacionadas sempre ou ao padrão de como os bancos de dados são alimentados, ou seja, como as fichas de cadastramento são preenchidas, ou à indisponibilidade de determinadas informações, que correspondem às deficiências individualmente para cada poço. Assim, a compilação e uniformização dos bancos de dados vem passando por uma revisão desses padrões e peculiaridades, ao passo que vão sendo alimentados pela aquisição de novas informações.

Figura 5 – Mapa com os poços tubulares cadastrados na cidade de Belém.

Figura entrará no formato A3.

Nesse contexto, destaca-se: a compilação dos dados de outorga, nos arquivos internos da SEMAS, motivada pela ausência das profundidades dos poços no banco de dados obtido junto ao órgão; incremento das informações de coordenadas dos poços contidos no banco de dados da COSANPA, no qual observou-se carência dessa informação em grande parte dos poços; consulta aos poços do cadastro SIAGAS (CPRM) que estão elencados na rede de monitoramento da qualidade das águas do projeto RIMAS (Projeto Rede Integrada de Monitoramento das Águas Subterrâneas). Vale ressaltar ainda, que o cadastro (SIAGAS) sofre atualizações periódicas, nas quais poços que ainda não haviam sido cadastrados são inseridos e poços constatados como inexistentes são retirados.

3.4 Espacialização dos Dados

Todos os poços cadastrados na etapa de Levantamento de Informações foram organizados na forma de um banco de dados no software ArcGis, versão 10.3 (*filegeodatabase*), apto a permitir a consulta das informações e a geração de novos mapas e atualização de informações. A compilação de dados de poços e informações relativas às licenças de perfuração de poços e outorga de uso de águas subterrâneas, disponibilizados pela SEMAS, além do banco de dados do SIAGAS, fornecido pela CPRM, entre outros bancos de dados fornecidos por outras entidades (COSANPA, DNPM e prefeitura) foram incluídos nesse mesmo banco de dados.

3.5 Cadastro de Atividades Poluidoras

O risco de contaminação da água subterrânea pode ser definido como a probabilidade de um aquífero sofrer alteração da qualidade da água decorrente de determinada atividade antrópica a ponto de se tornar imprópria para consumo, segundo os valores padrões estabelecidos pela Portaria de Consolidação Nº 5/2017.

O cadastramento das fontes potenciais de carga contaminante de subsolo do município de Belém deu-se com a pesquisa de dados secundários disponíveis.

Não existe no Estado do Pará um cadastramento de áreas contaminadas ou de atividades poluidoras de forma sistematizada e digital. Tais dados encontram-se

de forma diversa, muitas não catalogados. Para tanto, o primeiro levantamento deu-se com uma busca por cadastros de licenciamentos juntos a SEMAS, à Secretaria de Meio Ambiente do Município e demais órgãos de gestão do território e entidades representativas de alguns setores econômicos e empresas privadas, como a ADEPARÁ, a COSANPA, a Federação de Indústrias do Pará (FIEPA), a Secretaria de Desenvolvimento Agropecuário e da Pesca (SEDAP), a Secretaria Municipal de Saneamento (SESAN), a Agência Reguladora Municipal de Água e Esgoto de Belém (AMAE) e a UFPA.

Ao todo segundo consulta à SEMAS informação de processos referentes a 743 dados de poços outorgados em Belém. Os demais processos de licenciamento de atividades do município não estão disponíveis em meio digital, sendo necessário um levantamento físico dos processos arquivados nas dependências do próprio órgão. Adicionalmente foram contempladas as informações não publicadas do projeto “Estudos Hidrogeológicos para a Definição de Estratégias de Gestão das Águas Subterrâneas da Cidade de Belém/PA e Municípios Adjacentes”, financiado pela Agência Nacional de Águas e executado pela empresa PROFILL.

As informações sobre as estações de tratamento de efluentes (ETE) e sobre os corpos receptores do esgoto doméstico foram obtidas junto ao “Atlas de Despoluição”, disponibilizado em ANA (2016).

De forma complementar, por meio de pesquisas e visualização de mapas em sítios da Internet, gerou-se um banco de dados relativo às atividades: sistemas de saneamento, industriais, postos de combustíveis, oficinas mecânicas, lava-jatos, hospitais, cemitérios, resíduos sólidos, lagoas de estabilização e áreas rurais (rebanhos, matadouros, criação de animais, uso de fertilizantes/agroquímicos, áreas agrícolas, entre outros).

Essas atividades consideradas como potencialmente contaminantes foram divididas em dois grandes grupos com base no modelo sugerido no Guia do Banco Mundial (FOSTER *et al.*, 2002), considerando a distribuição espacial e a maneira como podem provocar a contaminação em água subterrânea, como:

Fontes Pontuais de Contaminação: geralmente, produzem plumas claramente definidas e mais concentradas, facilitando sua identificação e, possivelmente, seu controle, caso não sejam pequenas e múltiplas (adquirem nesse caso um exemplo de contaminação difusa). Nesse caso estão contempladas as

indústrias, postos de combustíveis, lagoas de efluentes, despejo de resíduos sólidos, mineradoras, entre outros. Segundo Bandeira e Abreu (2009), em estudo apresentado para o Município de Castanhal, cerca de 75 quilômetros de Belém, foi observado que as comunidades existentes na área percebem questões acerca do aspecto de saneamento básico e também dos efluentes derivados da mistura de fezes de gado e cavalo aliados à precipitação. Somados, esses efluentes podem atingir o aquífero livre, contaminando-o. Ainda segundo os autores, os poços do tipo amazonas são perfurados manualmente sem atenções especiais aos cuidados com a proteção dos aquíferos rasos, expostos nesses casos, sendo também considerado um risco potencial na condução das cargas poluentes até as camadas aquíferas. De maneira similar, registra-se o potencial poluidor de poços tubulares sem o devido tratamento no que diz respeito ao seu perímetro de proteção sanitária.

Fontes Difusas de Contaminação: fontes que não geram plumas claramente definidas, porém, afetam uma área/volume muito maior do aquífero, como por exemplo, as áreas urbanas com esgotos *in natura* e fertilizantes e agroquímicos no solo. Segundo Bandeira e Abreu (2009), são fontes que contaminam áreas extensas, sendo, normalmente poluentes transportados por correntes aéreas, aquáticas e/ou relacionadas às chuvas. No Município de Castanhal, já mencionado, os autores reportam que é possível observar fazendas com grandes plantações que utilizam agrotóxicos e fertilizantes. Essas fontes, normalmente, são difíceis de mapear, e estão relacionadas a uma alta dispersão de poluentes.

As fontes pontuais de contaminação cadastradas totalizam 1.584 empreendimentos cadastrados, dos quais 73 são do cadastro de Grandes Geradores de Resíduos Sólidos, disponibilizados pela SEMA/Belém, 250 da pesquisa por atividades elaborada pela PROFILL Engenharia e Ambiente Ltda. e 1.261 atividades industriais extraídas do Guia Industrial do Pará. As fontes difusas de contaminação estão descritas e não foram tabeladas por falta de dados precisos de localização e áreas de abrangência provindos dos órgãos oficiais.

Depois de consistido o cadastro, objetivando-se a diferenciação das fontes, procedeu-se com a classificação das atividades cadastradas em relação ao seu potencial contaminante com base em duas características (FOSTER *et al.*, 2002),

conforme sugerido na versão simplificada do sistema POSH (*Pollutant Origin, Surcharge Hydraulically*):

1. A probabilidade da presença de contaminantes, que, segundo se sabe ou se espera, são persistentes e móveis no subsolo;
2. A existência de uma carga hidráulica associada (sobrecarga) capaz de gerar o transporte advectivo dos contaminantes para os sistemas aquíferos.

A simplificação do sistema POSH, segundo Foster *et al.* (2002), adaptado da versão completa do sistema definido por Foster e Hirata (1988), determina a classificação das fontes de contaminação em três níveis qualitativos de “potencial para gerar uma carga contaminante no subsolo”: **reduzido, moderado e elevado.**

3.6 Métodos de Coleta, Acondicionamento e Transporte de Amostras

Todos os poços que constituirão a rede de monitoramento de níveis e qualidade da água deverão ser nivelados utilizando-se GPS geodésico, que requer um processo estático ou estático rápido (para distâncias inferiores a 10 (dez) km entre bases).

Para garantir uma precisão centimétrica serão rastreados pontos de RN (Referência de Nível) do IBGE cujas altitudes são conhecidas com precisão centimétrica. Estes pontos servirão como pontos-base na determinação das altitudes dos demais vértices.

É fundamental que o ponto a ser nivelado no poço constitua um referencial permanente e que não seja facilmente alterado com o tempo. Recomenda-se o *datum* de referência para o nivelamento topográfico e para as coordenadas dos poços é SIRGAS 2000 (planimétrico) e Imbituba (altimétrico), adotado pelo IBGE como *datum* do Sistema Geodésico Brasileiro.

Para a rede de monitoramento serão priorizados os poços usados pela concessionária de Abastecimento de Água de Belém, COSANPA, e preferencialmente que pertençam ao banco SIAGAS, mais completo e prontamente acessível por todos.

No primeiro monitoramento recomenda-se contemplar os 10 poços de

abastecimento utilizados pela COSANPA.

Previamente as datas das coletas os sensores que serão usados para monitoramento de parâmetros em campo deverão ser calibrados e se houver desvios de leitura ou valores anômalos que o processo de calibração seja repetido. Recomenda-se que seja seguida as orientações do fabricante do equipamento utilizado, que processo de calibração seja sempre documentado e que os registros sejam guardados. A calibração busca a exatidão das medidas por parte dos equipamentos.

Em cada coleta de amostra deve ser verificado se o sistema está em operação e qual nível dinâmico do poço (usando um medidor de nível d'água padrão). Na saída de cada poço devem ser monitorados os parâmetros de campo: temperatura, turbidez, pH, Eh (potencial de oxirredução), condutividade elétrica (CE) e sólidos totais dissolvidos (STD).

As coletas deverão ser realizadas nas saídas de água entre o poço e, nas caixas d'água ou cisternas. Ao iniciar a etapa de coleta em campo deve ser realizado preenchimento da ficha de coleta e cadeia de custódia com os dados da amostragem, data da coleta, horário, responsável, localização da coleta, número do poço, profundidade do poço, aquífero explorado e observações gerais. Em seguida a primeira alíquota toma deve ser realizada a medida dos parâmetros de campo, e em seguida são feitas as coletas de água nos frascos apropriados fornecidos pelo laboratório responsável pela análise, que podem ou não conter fluido preservante, dependendo da análise, sendo filtradas ou não conforme o parâmetro a ser analisado.

Após a coleta as amostras precisarão ser armazenadas em caixa térmica ou isopor e refrigeradas em temperatura 4 ± 2 °C até que sua chegada ao laboratório responsável pela análise. Dependendo da análise, as amostras acidificadas poderão ficar armazenadas a temperatura ambiente.

Para controle de todo o procedimento de coleta deve ser realizada a documentação fotográfica e georreferenciados nos locais através do uso de GPS. Adicionalmente devem ser tomadas amostras em branco para controle de qualidade do processo.

3.7 Análises

Seguindo os pressupostos encontrados na resolução CONAMA 396/2008, recomenda-se serem monitorados no mínimo os seguintes parâmetros:

Em campo: Sólidos Totais Dissolvidos, pH, Eh, Turbidez, Temperatura e condutividade elétrica.

Em laboratório: Série nitrogenada, coliformes termotolerantes ou *Escherichia coli*, Ferro e DQO.

Os parâmetros indicados acima são o mínimo e nada tem a ver com o monitoramento periódico do padrão de potabilidade exigido pela Portaria de Consolidação Nº 5/2017 (BRASIL, 2017). Todavia, devido aos custos, se houver a possibilidade de ser adotado um escopo mais amplo, baseado na Portaria de Consolidação Nº 5/2017, o mesmo é contribuirá com a possibilidade de discussão mais ampla.

Sugere-se que inicialmente o monitoramento seja bimensal. Após um ano de monitoramento, se a variação observada entre os monitoramentos for considerada irrelevante estatisticamente, que seja mudada a frequência para trimestral ou semestral, sempre considerando a sazonalidade local.

Vale afirmar que a situação ideal envolveria a construção de poços com função exclusivamente voltada para a finalidade do monitoramento, sem bombeamento, e que esse monitoramento acontecesse de maneira contínua, mas o custo pode ser inviável. Todavia poços íntegros e que não sejam mais usados pela COSANPA podem ser usados para o monitoramento contínuo utilizando-se de sensores dedicados e com envio de resultados *on line* para uma central de controle e na constatação de valores anômalos, não sendo defeito no sensor, aí seria realizada uma coleta e análise completa.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

O plano de monitoramento qualitativo é representado por um programa sistemático de obtenção de dados de níveis de água (como indicativo da variação no armazenamento e superexploração de vazões) e das características hidroquímicas dos aquíferos usados no abastecimento público do município de Belém.

A análise do comportamento das oscilações do nível de água dos aquíferos é importante para subsidiar a gestão dos recursos hídricos e a tomada de decisões. Variações de armazenamento dos aquíferos resultam da diferença entre suprimento (recarga) e retirada de água, fazendo com que os níveis variem em tempos de poucos minutos a muitos anos. O período e a frequência em que as oscilações ocorrem são indicativos dos processos que afetam os aquíferos.

Pelo exposto, está sendo proposto uma rede de monitoramento de 10 (dez) poços, os quais são usados no abastecimento público municipal onde dever ser realizadas medições dos níveis de águas e coleta de amostras para análise química, e microbiológica. Esta proposta de programa de monitoramento considera 10 poços devido aos custos implantação, todavia o número de poços pode ser ampliado conforme a conveniência e necessidade de maior detalhamento.

4.1 Localização das Principais Atividades Poluidoras

4.1.1 Fontes Pontuais de Contaminação

Com base no levantamento realizado por Profill Engenharia e Ambiente LTDA (2017) e separados neste trabalho exclusivamente para a cidade de Belém foram identificados os quantitativos:

- a) Grandes geradores de resíduos: 73 empreendimentos;
- b) Diversas (cemitérios, lava-jato, oficina mecânica, postos de combustíveis e unidades de saúde): 13 cemitérios, 25 lava-jatos, 31 oficinas mecânicas e 100 postos de combustíveis e 55 unidades de saúde.
- c) Indústrias: 50 Alojamento e Alimentação, 27 Agricultura, pecuária, produção florestal, pesca e aquicultura, 15 Comércio e reparação de

veículos automotores e motocicletas, 3 Construção, 4 Eletricidade e gás, 15 Extrativista e 686 Transformação, 11 Água, esgoto, atividades de gestão de resíduos e descontaminação, totalizando 811 empreendimentos cadastrados no Guia da Indústria do Estado do Pará referente ao ano de 2013. Vale ressaltar que não há um detalhamento específico das atividades no referido documento.

- d) Curtumes: dois curtumes, ambos no Bairro Maracacuera, no Distrito Industrial de Icoaraci, Curtume Ideal e Curtume Couro do Norte.
- e) Estações de tratamento de efluentes: 10 unidades.
- f) Central de triagem de material reciclável: um Centro Municipal de Triagem de Materiais Recicláveis de Belém.

4.1.2 Fontes Difusas de Contaminação

Quanto as fontes difusas de contaminação FOSTER *et al.* (2002) classifica em duas possibilidades de contaminação: o saneamento *in situ* e as práticas agrícolas. A primeira fonte de contaminação está relacionada com os contaminantes, como o nitrato, os contaminantes microbiológicos e, eventualmente, compostos químicos orgânicos sintéticos. Os contaminantes associados às práticas agrícolas incluem o nitrato e os compostos agroquímicos. Vale ressaltar que a atividade agrícola no município de Belém pode ser considerada insignificante.

Segundo a metodologia POSH a caracterização das fontes difusas de poluição está, intimamente, relacionada às condições de uso e ocupação do solo, na qual é possível definir as áreas como no mapa da carga contaminante potencial do subsolo. Assim, os potenciais poluidores estão relacionados às áreas com atividades antrópicas mais intensivas, sejam relacionados ao meio urbano, ou rural.

A cidade de Belém é classificada em grande parte, nas áreas em vermelho, com potencial elevado de gerar carga contaminante no subsolo em razão da baixa cobertura de rede de esgoto (20,46% de coleta e 10,69% do esgoto coletado e tratado, ANA, 2017) aliada a uma elevada densidade populacional (PROFILL ENGENHARIA E AMBIENTE LTDA, 2017).

4.1.3 Avaliação do Potencial Contaminante

Adaptando o levantamento realizado por Profill Engenharia e Ambiente LTDA (2018) o método para avaliação e representação, em mapa, do potencial de geração de contaminantes com base na classificação proposta por POSH considerou dois pontos principais: a densidade de empreendimentos e a classe do contaminante.

Desta forma a densidade define a quantidade de empreendimentos por km² e permite distinguir áreas com maior ou menor concentração relativa. Neste caso, áreas com maior concentração de empreendimentos são consideradas de maior risco potencial para contaminação do que áreas com empreendimentos dispersos.

Já a classe do contaminante determina o risco potencial relativo do empreendimento poluir o solo e as águas subterrâneas. Assim, fica evidente que áreas com concentração de empreendimentos de elevado risco potencial são mais preocupantes do que áreas com concentração de empreendimentos de menor risco potencial.

Seguindo os procedimentos adotados por Profill Engenharia e Ambiente LTDA (2018) a elaboração do mapa de distribuição das áreas de risco relativo de contaminação no município de Belém procedeu-se:

- a) Elaboração de mapa de densidade de empreendimentos potencialmente poluentes, no formato *raster*, com auxílio da ferramenta *Point Density* do módulo *Spatial Analyst* do programa ArcGis10.1; esta ferramenta calcula a magnitude, por área, dos empreendimentos situados nas vizinhanças num determinado raio de busca;
- b) Os critérios utilizados para elaboração do mapa de densidade foram: “population field” igual à classe de risco potencial, variando de 1 para risco reduzido, 2 para risco moderado e 3 para risco elevado; e raio de busca definido em 1 km.
- c) Os valores adotados para classificação do potencial de contaminação, com base nos resultados obtidos foram: Reduzido 0,5 a 5, Moderado 5 a 15 e Elevado maior do que 15. Na Figura 6 é mostrado o mapa com a distribuição das áreas de riscos potenciais de contaminação.

Figura 6 – Classificação das áreas com base no risco potencial de geração de contaminantes.

Figura entrará no formato A3.

A classe de potencial reduzido representa mais de 23,84% (252,621 km²) da área potencial de contaminação estimada (1.059,458 km²); a classe de potencial moderado representa 9,5% (100,658 km²) e a classe de potencial elevado cobre apenas 3,09% (32,786 km²) dessa área.

4.2 Poços a Serem Monitorados

A fim de melhorar o acompanhamento das respostas da água subterrânea à sua utilização, é proposta uma rede de monitoramento, a partir de 10 (dez) poços, selecionados em função do uso no abastecimento municipal de Belém. Essa seleção deu-se através da posição geográfica próxima a atividades poluidoras e importância do aquífero para abastecimento.

O Conselho Nacional de Recursos Hídricos – CNRH estabeleceu por meio da Resolução nº 107/2010, diretrizes e critérios a serem adotados para planejamento, implantação e operação de Rede Nacional de Monitoramento Integrado Qualitativo e Quantitativo de Águas Subterrâneas.

A Resolução nº 107/2010 levou em consideração a necessidade da formulação de diretrizes para o planejamento e operação da rede nacional de monitoramento de águas subterrâneas proposta pelo Programa Nacional de Águas Subterrâneas – PNAS integrante do Plano Nacional de Recursos Hídricos – PNRH, conforme Resolução CNRH nº 99, de 26 de março de 2009, estabelecendo que o monitoramento de águas subterrâneas é essencial para definir a referência de sua qualidade. Embora não mencionado no caput da Resolução nº 107, o monitoramento dos níveis de água fornece informações sobre as variações no armazenamento dos aquíferos e permite avaliar o comportamento da relação recarga/descarga.

A seleção de poços para integrar a proposta de rede de monitoramento quali-quantitativa da área de estudo considerou o conjunto formado por 10 poços tubulares profundos, escolhidos para compor a rede de amostragem de avaliação da qualidade da água dos aquíferos. A eleição dos poços da rede de amostragem procurou atender, na medida do possível, as seguintes condições:

Distribuição representativa na área;

Existência de perfis construtivos e litológicos e, preferencialmente, dados hidrodinâmicos e hidroquímicos;

Serem poços produtores;
Captarem, prioritariamente, um único sistema aquífero;
Possuírem coordenadas e altitude de referência.

Além disso, a escolha dos pontos de monitoramento considerou outras informações, quais sejam: o uso e ocupação do solo, a caracterização hidrogeológica, o risco de poluição das águas subterrâneas e as áreas potencialmente contaminadas.

Como na rede de monitoramento nacional já constituída pela CPRM em escala nacional tomou-se como referência o Projeto Rede Integrada de Monitoramento das Águas Subterrâneas (RIMAS).

Esta rede monitoramento utiliza-se da base legal existente, e apoia-se na proposta técnica do RIMAS, da CPRM (http://rimasweb.cprm.gov.br/layout/pdf/proposta_monitoramento_CPRM_2009.pdf, acesso em 30/05/2018), fazendo com que se utilize, além da resolução supracitada, os seguintes instrumentos legais.

Lei 9433/97: Política Nacional de Recursos Hídricos, na qual o monitoramento não é tratado de forma expressa, mas sua aplicação é condição básica para a efetividade dos instrumentos e alcance dos objetivos;

Resolução CNRH nº 22/2002: monitoramento como parte integrante dos planos de recursos hídricos, tanto no que diz respeito à proposta de rede quanto ao plano de monitoramento;

Resolução CONAMA 396/2008: ao estabelecer as bases para classificação das águas subterrâneas, dispõe que os órgãos competentes deverão monitorar os parâmetros necessários ao acompanhamento da condição de qualidade.

No âmbito do Programa Nacional de Águas Subterrâneas (PNAS), contido no Plano Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), são previstos, dentre as diretrizes estabelecidas, a concepção, o planejamento, a proposição e a aplicação de rede básica de monitoramento quali-quantitativo de águas subterrâneas, em estreita articulação com os órgãos gestores estaduais de recursos hídricos e **companhias de saneamento**.

Pelo exposto, nesta sugestão de rede considerou-se um cruzamento entre as condições hidrogeológicas, uso e ocupação dos terrenos e em associação ao mapeamento de fontes potenciais de contaminação.

Desta forma foram selecionados 10 poços para integrar a rede de monitoramento quali-quantitativa da área de estudo. A seleção desses poços é apresentada na Tabela 2, e foi balizada pelos seguintes critérios:

- Conhecimento das características construtivas e hidrogeológicas;
- Existência de cimentação e laje de proteção sanitária;
- Pertencer a um dos sistemas isolados da COSANPA.

Poço	Aquífero	UTM X (m)	UTM Y (m)	Prof. (m)
5º Setor	Pirabas Inferior	783094	9842093	188
SAAEB - ICO - SOUZA FRANCO -CPRM	Pirabas Inferior	780614	9855736	252,05
Loteamento CDP	Barreiras	782850	9838430	100
Estação Elevatória UMA	Barreiras	779530	9844809	98
Val de Cans	Pirabas Superior	780471	9844603	117,5
Prosanear n. 3	Pirabas Inferior	784628	9847779	300
N. 4	Pirabas Superior	782160	9850600	101
P 2	Pirabas Inferior	780424	9847719	250
Satélite	Barreiras	784760	9851450	88
Reduto (Ano 1982)	Barreiras	779107	9842669	91

Fonte: o autor.

Na Figura 7 são mostrados os poços sugeridos para integrar a rede de monitoramento da qualidade da água subterrânea na cidade de Belém-PA.

Figura 7 – Poços eleitos para a rede de monitoramento em Belém.

Figura entrará no formato A3.

4.3 Protocolo de Coleta, Acondicionamento e Transporte das Amostras

A amostragem de água subterrânea deverá ser realizada por equipe capacitada (comprovada por certificação ou ART ou experiência prática) e seguirá os procedimentos descritos na norma ABNT NBR 15847/2010 “Amostragem de água subterrânea em poços de monitoramento – Métodos de purga”, mesmo não se tratando de poços de monitoramento, e as orientações descritas no “Guia Nacional de Coleta e Preservação de Amostras” (ANA, 2011).

Só serão considerados na coleta os poços equipados com bomba para que seja possível a amostragem em superfície. Todas as amostras devem ser tomadas diretamente nos frascos fornecidos pelo laboratório, somente sendo usado recipiente de apoio para a determinação dos parâmetros em campo. O método de coleta das amostras de água subterrânea nos poços deve seguir o seguinte procedimento:

1 - Medir o nível dinâmico – deve ser feita com medidor de nível d’água eletrônico usando o tubo guia do poço.

2 - Coletar de amostras – coletar uma primeira alíquota de água para:

a. Medição dos parâmetros físico-químicos em campo: pH, Condutividade Elétrica, Oxigênio Dissolvido (servindo só como referência devido ao bombeamento), Potencial de Oxirredução e, se possível, Turbidez. Anotar os valores obtidos na Ficha de Campo específica.

b. Descartar a água em local apropriado.

3 - Preenchimento dos frascos - para o preenchimento dos frascos que serão encaminhados ao laboratório deverá ser obedecida a seguinte ordem:

I. Âmbares;

II. Frascos plásticos.

a. Os frascos não devem conter espaços vazios (bolhas).

b. Filtrar apenas as amostras de metais dissolvidos.

c. Não filtrar as amostras de metais totais.

4 – Acondicionamento - Após o preenchimento dos frascos, transferi-los para uma caixa térmica com gelo reutilizável, no intuito de preservar as amostras na temperatura de 4 ± 2 °C, até a chegada ao laboratório.

5 - Descontaminação - Descontaminar todos os equipamentos que serão reutilizados nas amostragens com detergente não fosfatado (diluído em uma proporção de 1:10 com água deionizada). Descartar os materiais descartáveis em local apropriado, isto é, como resíduo.

6 - Brancos – Fazer um branco de campo e um branco de equipamento ao início da amostragem. Fazer um branco de viagem ao final da amostragem. Os parâmetros a serem analisados nos brancos deverão ser os mesmos selecionados para os poços de monitoramento.

7 – Transporte: Uma vez coletadas, as amostras devem ser transportadas até o laboratório, garantindo sua integridade e preservação, e no tempo necessário para que sua análise ocorra dentro do prazo de validade da preservação. Os seguintes procedimentos são recomendados ao preparar as amostras para o transporte:

a) colocar os frascos na caixa de tal modo que fiquem firmes durante o transporte;

b) optar pelo uso de gelo reutilizável (gelo gel ou outros). Nos casos em que se usar gelo para preservação, cuidar para que os frascos, ao final do transporte, não fiquem imersos na água acumulada pela sua fusão, o que aumentaria muito o risco de contaminação cruzada;

c) cobrir a caixa de modo que sua tampa exerça leve pressão sobre a tampa dos frascos, impedindo que se destaquem durante o transporte;

d) evitar a colocação de frascos de uma mesma amostra em caixas diferentes.

4.4 Parâmetros de Monitoramento em Água Subterrânea

As amostras de água subterrânea serão analisadas por laboratório devidamente acreditado pela ISO/IEC nº 17.025/2005, ou que possua comprovada credibilidade, visando à determinação das concentrações dos parâmetros de interesse ambiental: Parâmetros Orgânicos, Inorgânicos e Microbiológicos. Não foram considerados compostos orgânicos voláteis e semi-voláteis, pois caso consigam adentrar aos poços são passíveis de volatilização ou estarão em

concentrações não detectáveis; os pesticidas foram desconsiderados também por não estarem identificados nas atividades poluidoras observadas.

Os parâmetros físico-químicos a serem analisados, bem como os métodos analíticos empregados em tais ensaios são descritos na Tabela 3.

Parâmetro	Unidade	Grupo de Análise	Metodologia de Referência
DBO	mg/L	DBO	SMEWW - 23nd Ed. 2017 - 5210B
DQO	mg/L	DQO	SMEWW - 23nd Ed. 2017 - 5220D
Cloreto Total	µg/L	Ânions	USEPA 9056A:2007
Sólidos Suspensos Totais	mg/L	Sólidos Suspensos Totais	SMEWW - 23nd Ed. 2017 - 2540B/C/D/E
Sólidos Totais	mg/L	Sólidos Totais	SMEWW - 23nd Ed. 2017 - 2540B
Sólidos Dissolvidos Totais	mg/L	Sólidos Dissolvidos Totais	SMEWW - 23nd Ed. 2017 - 2540B/C/D/E
Sódio Total	µg/L	Metais Totais	USEPA 6010C:2007
Fósforo Total	µg/L	Metais Totais*	USEPA 6010C:2007
Cálcio Total	µg/L	Metais Totais	USEPA 6010C:2007
Magnésio Total	µg/L	Metais Totais	USEPA 6010C:2007
Potássio Total	µg/L	Metais Totais*	USEPA 6010C:2007
Coliformes Termotolerantes	UFC/100mL	Coliformes Termotolerantes Quantitativo*	SMEWW - 23nd Ed. 2017 - 9213 E
Nitrato (como N)	µg/L	Ânions	USEPA 9056A:2007
Nitrito (como N)	µg/L	Ânions	USEPA 9056A:2007
Nitrogênio Amoniacal	µg/L	Nitrogênio Amoniacal	SMEWW - 23nd Ed. 2017 - 4500 NH3A
Nitrogênio Total	µg/L	Nitrogênio Total	SMEWW - 23nd Ed. 2017 4500-N C
Metais CONAMA 396/2008	µg/L	Metais Totais	USEPA 6010C:2007

* Termo padrão adotado por laboratório de análises químicas.

Fonte: o autor.

Recomenda-se o monitoramento trimestral dos parâmetros acima listados na Tabela 3. Sempre considerando o monitoramento dos níveis d'água nos poços no momento da coleta.

Anualmente, recomenda-se para todos os poços uma análise completa com os parâmetros indicados no padrão de potabilidade da Portaria de Consolidação Nº 5/2017 (BRASIL, 2017).

Cabe salientar que a situação ideal envolveria a construção de poços com

finalidade exclusivamente direcionada para o monitoramento hidroquímico e de níveis de água dos aquíferos, mas os custos envolvidos inviabilizam tal iniciativa. Todavia poços inativos da COSANPA podem ser usados com poços de monitoramento, lembrando que neste caso, o procedimento de coleta de ser mudado para o método a baixa vazão, ou outro previsto na norma ABNT NBR 15847/2010.

4.5 Divulgação dos Resultados

Após a emissão do laudo analítico de cada campanha deverá ser elaborado um relatório resumido relatando eventuais anomalias e tendências da qualidade da água subterrânea.

Os resultados obtidos ao longo de cada ano deverão ser apresentados e discutidos em Relatório Anual, como parte do programa de monitoramento. O referido relatório conterá os seguintes itens:

- Identificação da área e sua localização;
- Dados históricos dos monitoramentos realizados;
- Registro fotográfico das atividades realizadas;
- Registro de informações pluviométricas;
- Avaliação temporal da hidrogeologia, por meio de mapas potenciométricos, mostrando as principais linhas de fluxo e suas deformações, devidamente justificadas;
- Relato de problemas identificados e das soluções adotadas ou necessárias, no tocante aos poços monitorados;
- Programação de ações previstas de monitoramento para o próximo ano;
- Comentários, conclusões e recomendações.
- Anexos: Procedimentos de Amostragem, Fichas de Campo, Cadeias de Custódia, Laudos Analíticos e ART – Anotação de Responsabilidade Técnica.

Recomenda-se que seja encaminhada cópia do relatório final para a Vigilância Sanitária de Belém, Secretaria Municipal de Saúde, Agência Reguladora Municipal de Água e Esgoto de Belém e disponibilizado via internet mediante solicitação.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho visou a elaboração de documento orientativo como sugestão a Agência Reguladora Municipal de Água e Esgoto de Belém para aplicação numa proposta inicial de monitoramento qual-quantitativo dos aquíferos (Barreiras e Pirabas), os mais importantes em termos de qualidade e capacidade de produção, usados no abastecimento público municipal.

Vale ressaltar que se trata de uma proposta que pode ser adaptada e ampliada conforme a realidade financeira municipal. Todavia acredita-se ser de extrema relevância o acompanhamento evolutivo da exploração de tais aquíferos por se tratar de reserva estratégica para futuras ampliações no sistema de abastecimento público municipal.

A intensa urbanização do município de Belém somado a diversas atividades poluidoras direciona para um cenário de atenção, onde deve-se focar o controle das atividades com maior potencial de contaminação da água subterrânea. Atenção também deve ser dada a grande quantidade de poços abandonados e construídos sem acompanhamento técnico de profissional habilitado que podem virar uma via de ingresso para contaminantes, comprometendo a qualidade água subterrânea.

Por fim, com o presente trabalho espera-se estar contribuindo para um maior controle do uso do manancial subterrâneo, que sendo gerido adequadamente, poderá continuar sendo explorado, inclusive com o potencial de ser ampliado o seu uso.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Guia nacional de coleta e preservação de amostras: água, sedimento, comunidades aquáticas e efluentes líquidos**/Companhia Ambiental do Estado de São Paulo; Brasília: ANA, 325p. 2011.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Atlas Brasil de Despoluição de Bacias Hidrográficas**. Disponível em: <<http://atlasegotos.ana.gov.br/>>. Acesso em: junho de 2018.

ALMEIDA, ROSA SANTANA DE. **Índice de Qualidade de Uso da Água Subterrânea (E-IQUAS): uma metodologia de modelagem numérica flexível**. Tese (Doutorado em Energia e Ambiente) – Centro Interdisciplinar em Energia e Ambiente, Universidade Federal da Bahia (UFBA, BA), Salvador, 2012.

APHA. **Standard Methods for the examination of water and wastewater**. American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environmental Federation, 23th ed. Washington, 2017.

ARAÚJO JÚNIOR, A. C. R.; AZEVEDO, A. K. A.; OLIVEIRA, I. S. **Problemática da água na Região Metropolitana de Belém (RMB) - Pará: aspectos histórico-geográficos**. Acta Geográfica (UFRR), p. 117-131, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14724**: informação e documentação: trabalhos acadêmicos: apresentação. 3.ed. Rio de Janeiro, 2011.

_____. **NBR 15847**: Amostragem de água subterrânea em poços de monitoramento–Métodos de purga, 2010.

BANDEIRA, I.C.N; ABREU, F.A.M. **Principais Áreas de Recarga do Sistema Hidrogeológico Livre, da Folha SA-23-V-C-I-1-SO e suas Implicações Ambientais**. In: Congresso Internacional de Meio Ambiente Subterrâneo, 2009, São Paulo. Resumos... São Paulo: ABAS, 2009.

BASTOS, M.L. **Caracterização da Qualidade da Água Subterrânea – Estudo de Caso no Município de Cruz das Almas – Bahia**. Monografia (Graduação) – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas. 75 p. 2013.

BRANCO, SAMUEL MURGEL. **Hidrobiologia Aplicada a Engenharia Sanitária**. São Paulo: CETESB/ASCETESB. 616 p. 1986.

BRASIL. Ministério da Agricultura. **Decreta o Código de Águas**. Decreto Nº 24.643. Diário Oficial da União 1934.

_____. Lei nº. 6.938 de 31 de agosto de 1981. **Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências**. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 2 de setembro de 1981.

_____. **Constituição da República Federativa do Brasil**. Brasília, DF, Senado, 1988.

_____. Ministério do Meio Ambiente dos Recursos Hídricos e da Amazônia Legal. Lei nº. 9.433: **Política Nacional de Recursos Hídricos**. Brasília: Secretaria de Recursos Hídricos, 1997. 72p.

_____. Ministério do Meio Ambiente, Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Resolução nº 303/2002 - **Dispõe sobre os parâmetros, definições e limites de Áreas de Preservação Permanente, e também conceitua as nascentes como exutório de águas subterrâneas**. Diário Oficial da União 2002.

_____. Ministério do Meio Ambiente, Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Resolução nº 396, DE 03 DE ABRIL DE 2008 - **Dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas e dá outras providências**. Diário Oficial da União 2008; 03 de abril.

_____. Ministério do Meio Ambiente, Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH). Resolução n.º99. **Aprova o Detalhamento Operativo dos Programas VIII, X, XI e XII do Plano Nacional de Recursos Hídricos**. Brasília: Conselho Nacional de Recursos Hídricos. 2009.

_____. Ministério do Meio Ambiente, Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH). Resolução n.º107. **Estabelece as diretrizes e critérios a serem adotados para o planejamento, a implantação e a operação de Rede Nacional de Monitoramento Integrado Qualitativo e Quantitativo de Águas Subterrâneas**. Brasília: Conselho Nacional de Recursos Hídricos. 2010.

_____. Ministério da Saúde. Portaria de Consolidação nº 5. **Consolidação das normas sobre as ações e os serviços de saúde do Sistema Único de Saúde**. Anexo XX: do Controle e da Vigilância da Qualidade da Água para Consumo Humano e seu Padrão de Potabilidade, 2017.

CABRAL, N.M.T. **Teores de Nitrato (NO_3^-) e Amônio (NH_4^+) nas águas do Aquífero Barreiras nos Bairros do Reduto, Nazaré e Umarizal – Belém/PA**. Química Nova, v. 30. N. 8, pp. 1804-1808, 2007.

CHILTON, P.J. **Groundwater for small-scale irrigation: experience and prospects. Groundwater and agriculture: the inter-relationship**. BGS Tec. Report, WD/95/26: 17-25. 1995.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Relatório de qualidade das águas subterrâneas do Estado de São Paulo**. CETESB. São Paulo: CETESB, 298p+anexos. 2010.

COMPANHIA DE SANEAMENTO DO ESTADO DO PARÁ. **Relatório de Informações Gerenciais 2012**. Belém, 2012.

COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINEIRAIS. Serviço Geológico do Brasil. **Noções Básicas sobre poços tubulares: cartilha informativa**. p.22, 1998.

_____. Serviço Geológico do Brasil. **Noções Básicas sobre poços tubulares: cartilha informativa.** p.22, 1998.

_____. Serviço Geológico do Brasil. **Projeto “Implantação de Rede Integrada de Monitoramento das Águas Subterrâneas”.** 2009.

_____. Serviço Geológico do Brasil. **Projeto estudos hidrogeológicos da Região Metropolitana de Belém e adjacências.** CPRM: Belém, 2002.

CUSTODIO, EMILIO; LLAMAS, MANUEL RAMON. **Hidrologia Subterranea.** 2ed. Barcelona: Omega. p. 274. 2001.

COSTA D.D.; KEMPKA A.P.; SKORONSKI E. **A Contaminação de Mananciais de Abastecimento pelo Nitrato: o Panorama do Problema no Brasil, suas Consequências e as Soluções Potenciais.** REDE – Revista Eletrônica do PRODEMA Fortaleza, Brasil, v. 10, n. 2, p. 49-61, jul. 2008.

DANIEL, MARIELY HELENA BARBOSA. **Caracterização do perfil do nitrato na água para consumo humano do município de Natal-RN no ano de 2007.** Monografia (especialização) -Universidade de Brasília. 2008.

DA SILVA, JAQUELINE MARIA SOARES; MENDES, FREDERICO DA CUNHA; PEREIRA, JOSÉ ALMIR RODRIGUES; CONDURÚ, MARISE TELES; VALENTE, MARY LUCY MENDES GUIMARÃES; DA SILVA, VALDINEI MENDES. **Soluções para o Sistema de Abastecimento de Água para a Região Metropolitana de Belém-PA.** In: V Congreso de la IV Región de la Asociación Interamericana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental - AIDIS, ASUNCIÓN – PARAGUAY, 2005.

DE FREITAS, M.B.; BRILHANTE, O.M.; DE ALMEIDA, L. M. **Importância da análise de água para a saúde pública em duas regiões do Estado do Rio de Janeiro: enfoque para coliformes fecais, nitrato e alumínio.** Cad. Saúde Pública, Rio de Janeiro, 17(3):651-660, mai-jun, 2001.

FEITOSA, F.A.C; MANOEL FILHO, J. (Coord.). **Hidrogeologia: conceitos e aplicações**. 2ª Ed. Fortaleza: CPRM/REFO, LABHID-UFPE, 2008.

FERREIRA, ADRIANA N. P.; LIMA, CLAUDIA F.; CARDOSO, FABRÍCIO B. F.; KETTELHUT, JÚLIO T. **Águas Subterrâneas um recurso a ser conhecido e protegido**. Brasília, 2007.

FOSTER, S.S.D.; VENTURA, M.; HIRATA, R. **Contaminacion de las aguas subterranas: un enfoque ejecutivo de la situación en América Latina y el Caribe en relación com el suministro de agua potable**. Lima: OMS/OPS-HPE/CEPIS, 1987. 42 p.

FOSTER, S.S.D.; HIRATA, R. **Determinação do Risco de Contaminação das Águas Subterrâneas: um Método Baseado em Dados Existentes**. São Paulo: Instituto Geológico, n. 10, v. 1. 92 p. 1993.

FOSTER, S.S.D.; HIRATA, R.C.A.; GOMES, D.; D'ELIA, M.; PARIS, M. **Underground Water Quality Protection: a Guide for Water Utilities, Municipal Authorities and Environment Agencies**. Washington DC, USA: World Bank Publication, 2002.

FUNDAÇÃO NACIONAL DE SAÚDE. **Manual Prático de Análise de Água**. Brasília: Funasa, 2009.

GADOTTI, R.F. **Avaliação da contaminação das águas superficiais e subterrâneas adjacentes ao Lixão da cidade de São Carlos**. São Carlos. 150p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil-Área Hidráulica e Saneamento) – Universidade de São Paulo, 1997.

GONÇALVES, J.A.C. **A Contaminação Natural por Arsênio em Solos e Águas Subterrâneas na Área Urbana de Ouro Preto (MG)**. Ouro Preto. 120p. Tese (Programa de Pós-Graduação em Evolução Crustal e Recursos Naturais) – Universidade Federal de Ouro Preto, 2011.

HIRATA, R.C.A.; VANIER, C. **Águas Subterrâneas e Agronegócios**. In: X Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas. 17p. 1998.

IRITANI M.A., EZAKI S. **As Águas Subterrâneas do Estado de São Paulo**, Caderno de Educação Ambiental, Instituto Geológico, 104 p. 2008.

MARTINEZ, N.O.V. **Monitoreo de Águas Subterrâneas**. Bogotá: IDEAM – Instituto de Hidrologia, Meteorologia y Estudios Ambientales. 2004. Disponível em:<<http://www.ideam.gov.co/temas/guiaagua/index4.htm>>. Acesso em: 08 ago. 2008.

MATTA, M. A. DA S. **Fundamentos Hidrogeológicos para a Gestão Integrada dos Recursos Hídricos da Região de Belém/Ananindeua – Pará, Brasil**. Belém, Universidade Federal do Pará. Centro de Geociências. 292p. (Tese de Doutorado). 2002.

MEIRA, R.C.D.S. **Avaliação comparativa entre a estimativa do impacto gerado por efluentes domésticos de assentamentos espontâneos e de ocupação formal na bacia do Tucunduba em Belém-Pará**. Dissertação (Mestrado) Universidade Federal do Pará. 2008.

MESQUITA, K.F.C.; SANTOS, M. DE L.S.; PEREIRA, J.A.R.; DA SILVA, M.A.M. Avaliação da concentração de metais na água subterrânea consumida em comunidades amazônicas brasileiras. **Ciência & Engenharia**, v. 25, p. 91-96, 2016.

DE MORAIS, L.L.; DOS SANTOS, R.M.M.; DE SOUZA, M.M. **Monitoramento das Águas Subterrâneas como Instrumento de Gestão - O caso da CAESB, DF**. XIV Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, p. 16, 2006.

NETO, M.E.S. **Estimativa de Perdas Físicas de Água e Faturamento na Região Metropolitana de Belém**. 75p. Belém, 2003.

PREFEITURA MUNICIPAL DE BELÉM – PA. **Plano Municipal de Saneamento Básico de Abastecimento de Água e Esgotamento Sanitário de Belém - Pará.** 1v. 175 p. 2014a.

PREFEITURA MUNICIPAL DE BELÉM – PA. **Plano Municipal de Saneamento Básico de Abastecimento de Água e Esgotamento Sanitário de Belém - Pará.** 2v. 125 p. 2014b.

PROFILL ENGENHARIA E AMBIENTE LTDA. **Estudos Hidrogeológicos para a Definição de Estratégias de Gestão das Águas Subterrâneas da Cidade de Belém/PA e Municípios Adjacentes.** Relatório Parcial RP 03. Porto Alegre, abril de 2017.

_____. **Estudos Hidrogeológicos para a Definição de Estratégias de Gestão das Águas Subterrâneas da Cidade de Belém/PA e Municípios Adjacentes.** Relatório Parcial RP 07. Porto Alegre, janeiro de 2018.

SMEDLEY P. L.; KINNIBURGH, D. G. **A review of the source, behaviour and distribution of arsenic in natural waters.** Applied Geochemistry, 17:517–568. 2002.

SOARES, J. **Importância do traçado da rede coletora de esgoto sanitário no custo de construção.** Belém, 2003. 152 p. Dissertação (Mestrado) Universidade Federal do Pará. 2003.

SOUZA, MÁRCIA MARIA DOS SANTOS. **A dominialidade das águas e a questão das fontes situadas em propriedade privada.** Disponível em: < http://www.ambito-juridico.com.br/site/index.php?n_link=revista_artigos_leitura&artigo_id=5926> Acesso em 27 de março de 2018.

TEIXEIRA, W.; FAIRCHILD, T.R.; TOLEDO, M.C.; TAIOLI, F. **Decifrando a Terra.** São Paulo, Oficina de Textos. p.167-180. 2000.

TUNDISI, J.G. **Água no século XXI: Enfrentando a escassez.** Rima e IEE. 247p.

2003.

VELOSO, T. P. (2006). **Avaliação de perdas de água do sistema de abastecimento de água da COSANPA, na região metropolitana de Belém-PA.** Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Pará, Belém-PA. 228p.

VIEIRA, R.H.S.F.; OLIVEIRA, R.A. **Avaliação do grau de contaminação fecal da água e do camarão sossego (*Macrobrachium jelskii*), na Lagoa Parangaba (Fortaleza, Ceará).** Higiene Alimentar, v. 15, n. 85, p. 61-64, 2001.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos.** Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Minas Gerais. 1996.

WELCH A.H.; WESTJOHN D.B.; HELSEL D.R.; WANTY R.B. **Arsenic in ground water of the United States: Occurrence and geochemistry.** Ground Water, 38(4) 589-604. 2000.

ZOBY, J. L. G. **Panorama da Qualidade das Águas Subterrâneas no Brasil.** XV Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, Natal-RN. 2008.