



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

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO Nº

**QUALIDADE HIDROAMBIENTAL DO AQUIFERO PIRABAS NAS CIDADES DE
CURUÇÁ E MARAPANIM, NE DO PARÁ, COMO SUBSÍDIO PARA A GESTÃO
SUSTENTÁVEL**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado por:

ISMAYLA MACIEL CARNEIRO

Orientador: Prof. Dr. FRANCISCO DE ASSIS MATOS DE ABREU (UFPA)

**BELÉM - PARÁ
2019**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) de acordo com ISBD
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Pará

Gerada automaticamente pelo módulo Ficat, mediante os dados fornecidos
pelo(a) autor(a)

C289e Carneiro, Ismayla Maciel
Qualidade hidroambiental do aquífero
pirabas nas cidades de Curuçá e Marapanim, NE
do Pará, como subsídio para a gestão
sustentável / Ismayla Maciel Carneiro. — 2019.

xiii, 61 f. : il. color.

Orientador(a): Prof. Dr. Francisco de Assis
Matos de Abreu

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação)
- Faculdade de Geologia, Instituto de
Geociências, Universidade Federal do Pará,
Belém, 2019.

1. Aquífero Pirabas. 2. Águas Subterrâneas. 3.
Hidroquímica. 4. Hidrogeologia. I. Título.

CDD 551.49098115



Universidade Federal do Pará
Instituto De Geociências
Faculdade De Geologia

**QUALIDADE HIDROAMBIENTAL DO AQUIFERO PIRABAS NAS CIDADES DE
CURUÇÁ E MARAPANIM , NE DO PARÁ, COMO SUBSÍDIO PARA A GESTÃO
SUSTENTÁVEL**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado por:

ISMAYLA MACIEL CARNEIRO

Como requisito parcial à obtenção do Grau de Bacharel em Geologia

Data de Aprovação: 13 / 12 / 2019

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Francisco de Assis Matos de Abreu – Orientador
(Doutor em Geologia – Universidade Federal do Pará)

Prof. Dr. Milton Matta – Membro Interno
(Doutor em Hidrogeologia – Universidade Federal do Pará)

Msc. Manoel Imbiriba Junior – Membro Externo
(Mestre em Recursos Hídricos – CPRM)

AGRADECIMENTOS

À vida e ao tempo, por quem possuo profunda paixão.

À mudança e ao movimento por serem quem busco com Vontade.

Aos guias e mentores que me acompanham nessa jornada. Muito obrigada.

À Universidade Federal do Pará (UFPA), instituição pública de prestígio nacional que me permitiu crescer não só academicamente, mas como ser humano por meio de seu ambiente plural, diverso e intelectualmente provocativo.

À Faculdade de Geociências (FAGEO) do Instituto de Geociências (IG) pelos recursos e infraestrutura investidos em nós alunos. Espero um dia poder devolver à sociedade tudo aquilo que recebi nesta instituição.

À CPRM pelo fornecimento dos dados e ao projeto RIMAS por ter sido minha segunda casa ao longo de um ano.

Ao professor Dr. Francisco de Assis Matos de Abreu pela orientação, apoio e pelas longas conversas que muito me inspiraram.

À minha família, que sempre foi minha base, em especial aos meus irmãos Dan Carneiro e Vitória Carneiro, por serem meus fiéis amigos, meus dois corações batendo fora de mim.

À extensão da minha família, à família Sabaliauskas e família Negri, por tudo que representam pra mim.

Em especial, ao meu afilhado Antônio Sabaliauskas, que no momento em que digito estas palavras, está com 6 meses no ventre de sua mãe.

Ao meu companheiro, Fernando Mascarenhas, pelo apoio ímpar durante todos esses anos.

Agradeço aos amigos que fiz ao longo deste curso, pois sei que serão laços de muitas vidas, em especial, ao Amigo Perdido (Jonatha Brito) que me ajudou na confecção dos mapas desta pesquisa.

Aos geólogos Manoel Imbiriba, Fábio Pinheiro e à técnica Rosilene Sarmiento por todo o aprendizado que me foi passado.

Por fim, a todos que contribuíram direta ou indiretamente para a realização deste trabalho.

A água é quem nutre a vida até o tempo dela germinar. Percola desde os céus aos confins da terra. Dona de toda fertilidade. A água é mãe do mundo. Útero de todas as formas. Senhora do que sinto. Zelar por ela é preservar a si mesmo e honrar as origens.

(Entendimento pessoal sobre uma das faces do Arcano III, A Imperatriz, e todas as Rainhas)

RESUMO

As cidades de Curuçá e Marapanim são situadas no nordeste do Pará, região mais populosa do estado. São importantes municípios do setor agrícola, pesqueiro e turístico e necessitam de água de qualidade não só para o desenvolvimento econômico como também para o bem estar da população. Desta forma, os aquíferos, por se tratarem de grandes reservatórios de água com excelente qualidade natural, tornam-se alternativas estratégicas para o abastecimento de centros urbanos e pequenas comunidades, como é o caso destas cidades em que ambos os sistemas de distribuição de água utilizam exclusivamente mananciais subterrâneos. Entretanto, a má gestão deste recurso pode levar a diversas problemáticas, como a super exploração dos aquíferos e contaminação dos mesmos por agentes antrópicos. O presente estudo utilizou dados do projeto Rede Integrada de Monitoramento de Águas Subterrâneas (RIMAS) do Serviço geológico do Brasil (CPRM) e teve como objetivo avaliar a qualidade hidroambiental do aquífero Pirabas na região ao longo de três anos de monitoramento, a partir da concentração dos ânions dissolvidos e parâmetros físico-químicos. Cinco amostras das seis totais encontram-se dentro do padrão de qualidade estabelecido pela Resolução CONAMA nº 396/2008 e pela Portaria do Ministério da Saúde nº 2.914/2011, com exceção da amostra Marapanim 2018 que apresentou valores acima do permitido para o ânion nitrato (11,44mg/L). Observou-se uma relação entre as estações chuvosas (Novembro a Junho) e os valores apicais de ânions como nitrato e cloreto. Isto pode indicar, a luz do levantamento bibliográfico realizado durante a elaboração desta pesquisa, que durante este período, a interação entre os sistemas aquíferos rasos (Barreiras e Pós Barreiras) e profundos (Pirabas) aumenta, maximizando também o risco de contaminação, tornando a gestão sustentável e adequada das águas subterrâneas imprescindível para garantir a segurança e bem estar de seus usuários.

Palavras-chave: Aquífero Pirabas. Águas subterrâneas. Hidroquímica. Hidrogeologia.

ABSTRACT

The cities of Curuçá and Marapanim are located in the northeast of Pará, the most populous region of the state. They are important regions in the agricultural, fishing and tourism sectors and need a good quality water not only for economic development but also for the well-being of the population. As aquifers are large reservoirs of excellent natural quality, they become strategic alternatives for the supply of urban centers and small communities, such as those cities where both water distribution systems use exclusively groundwater. However, the mismanagement of this resource can lead to several problems, such as overexploitation of aquifers and contamination of them by anthropogenic agents. The present study used data from the Integrated Groundwater Monitoring Network (RIMAS) project developed by Geological Service of Brazil (CPRM) and aimed to evaluate the hydroenvironmental quality of Piraba's aquifer in the region over three years of monitoring, from the concentration of dissolved anions and physico-chemical parameters. Five samples out of the six totals are within the quality standard established by CONAMA Resolution No. 396/2008 and Ministry of Health Ordinance No. 2.914 / 2011, with the exception of the Marapanim 2018 sample which presented values above the allowed for nitrate anion (11.44mg/L). A relationship between the rainy season of the year (November to June) and the apical values of anions such as nitrate, chloride and sulfate was observed. This may indicate, in light of the bibliographic survey conducted during the elaboration of this research, that during this period, the interaction between shallow (Barrier and Post Barrier) and deep (Pirabas) aquifers systems increases, also maximizing the risk of contamination, making the sustainable groundwater management nothing but essential to ensure the safety and well-being of its users.

Keywords: Pirabas aquifer. Groundwater. Hydrochemistry. Hydrogeology.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Mesoregiões do Estado do Pará. Em cor verde a mesoregião do nordeste paraense, na qual os municípios de Curuçá e Marapanim estão inseridos. Fonte: (EMBRAPA 2017).....	2
Figura 2 - O ciclo hidrológico ilustrado. Fonte: Ministério do meio ambiente Fonte: (MMA 2007).....	7
Figura 3 - O ciclo hidrológico ilustrado. Fonte: Ministério do meio ambiente Fonte: (MMA 2007).....	8
Figura 4 - Padrões estabelecidos pela Portaria nº 2.914/11 do Ministério da Saúde.	15
Figura 5 - Mapa de localização e acesso dos municípios de estudo no nordeste paraense.	16
Figura 6 - Divisão geopolítica da rede hídrica do Estado do Pará. Fonte: (SEMA 2006).	18
Figura 7 - Coluna estratigráfica do cenozóico das plataformas do Pará e Bragantina. Fonte: Modificado de Rossetti (2001).	21
Figura 8 - Mapa geomorfológico do nordeste paraense, com destaque em amarelo para as cidades de Curuçá e Marapanim. Fonte: Adaptado de Ministério do Meio ambiente pelo projeto Macrodiagnóstico da Zona Costeira e Marinha do Brasil(2018).	24
Figura 9 - Localização das unidades geotectônicas simplificadas da região nordeste do estado do Pará e parte do norte do Brasil. Fonte: (COSTA <i>et al.</i> 2002).	25
Figura 10 - Estruturas paleógenas-miocênicas: falhas mestras normais na direção NW-SE, inclinadas para NE, controlaram a deposição da Sequencia Pirabas-Barreiras. Falhas transcorrentes dextrais NE-SW seccionam as falhas normais. Fonte: (COSTA <i>et al.</i> 1996).	27
Figura 11 - Poços utilizados no monitoramento hidroambiental do aquífero Pirabas. A) Poço localizado no município de Marapanim. B) Poço localizado no município de Curuçá. Fonte: Acervo do RIMAS-BE (SGB-CPRM-BE).....	31
Figura 12 - Localização dos poços estudados na cidade de Marapanim e Curuçá. .	33
Figura 13 - Perfil litológico do poço de Curuçá (SIAGAS – 15000005622). Prof – Profundidade em metros. Fonte: RIMAS – SGB CPRM (2012).	34

Figura 14 - Perfil litológico do poço de Marapanim (SIAGAS – 15000006765). Prof – profundidade em metros. Fonte: RIMAS – SGB CPRM (2013).....	35
Figura 15 - Instrumentos utilizados na coleta das amostras. A) Medidor de nível de água manual. B) Aparelho HANNA e HACH para efetuar medidas de pH, CE, STD e Temperatura. C) Recipientes (1000ml) de polietileno utilizados no armazenamento das amostras. D) Célula de fluxo responsável por indicar o momento preciso para finalização da purga.	38
Figura 16 - Valores referente ao pH das amostras coletadas. M - Marapanim; C - Curuçá.....	39
Figura 17 - Valores referente a CE das amostras coletadas. M - Marapanim; C - Curuçá.....	40
Figura 18 - Valores referente ao pH das amostras coletadas. M - Marapanim; C - Curuçá.....	41
Figura 19 - Gráfico de predominância dos ânions nas amostras coletadas. Em ordem decrescente de predominancia temos: Cloreto, Sulfato, Nitrato, Fosfato e Fluoreto.	42
Figura 20 - Valores referente ao ânion Cloreto das amostras coletadas. M - Marapanim; C - Curuçá.	42
Figura 21 - Valores referente ao ânion fluoreto das amostras coletadas. M - Marapanim; C - Curuçá.	43
Figura 22 - Valores referente ao ânion nitrato das amostras coletadas. M - Marapanim; C - Curuçá.....	43
Figura 23 - Valores referente ao ânion sulfato das amostras coletadas. M - Marapanim; C - Curuçá.....	44
Figura 24 - Valores referente ao ânion fosfato das amostras coletadas. M - Marapanim; C - Curuçá.....	44

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Lista de parâmetros analisados no presente trabalho, seus respectivos Valores Máximos Permitidos (VMP) para cada um dos usos considerados como preponderantes e os limites de quantificação praticáveis(LPQ), considerados como aceitáveis dentro da Resolução CONAMA 396/2008. ...	14
Tabela 2 - Unidades geomorfológicas no nordeste paraense. Fonte: Segundo Boulhosa & Souza Filho (2009).	23
Tabela 3 - Dados dos poços pertencentes as cidades de Curuçá e Marapanim,. Fonte: (RIMAS ano).....	32
Tabela 4 - Parametros fisico quimicos (Temperatura, pH e Condutividade Elétrica) monitorados ao longo de 3 anos. Fonte: (RIMAS-CPRM BE ano).	39
Tabela 5 - Valores referente aos ânions encontrados nas amostras coletadas nas cidades de Curuçá e Marapanim nos anos de 2016, 2017 e 2019.	41
Tabela 6 - Dados fisico quimicos e composição dos ânions referente ao aquífero Pirabas na cidade de Belém (Oliveira 2018), Castanhal e Santa Maria (Silva 2015) e Salinópolis (Souza 1996, Imbiriba Jr. 2019). ND (Não detectável); - (Parâmetro não analisado no trabalho).....	46

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANA – Agência Nacional das Águas.

BHRM – Bacia Hidrográfica do Rio Marapanim.

CE – Condutividade Elétrica.

CONAMA – Conselho Nacional de Meio Ambiente.

COSANPA – Companhia de Saneamento do Pará

FUNASA – Fundação Nacional de Saúde.

GEHITE – Gerência de Hidrologia e Gestão Territorial.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

Meq/L – miliequivalente por litro

PH – Potencial Hidrogeniônico.

RIMAS – Rede Integrada de Monitoramento das Águas Subterrâneas

RMB – Região Metropolitana de Belém.

SAAEB – Serviço Autônomo de Água e Esgoto de Belém.

SBG-CPRM – Serviço Geológico do Brasil – Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais.

SIAGAS – Sistema de Informações das Águas Subterrâneas.

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS	iv
EPÍGRAFE	v
RESUMO	vi
ABSTRACT	vii
LISTA DE ILUSTRAÇÕES	viii
LISTA DE TABELAS	x
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS	xi
1 INTRODUÇÃO	1
1.2 JUSTIFICATIVA.....	2
1.2 OBJETIVO.....	4
1.2.1 Geral	4
1.2.2 Específicos	5
2 REFERENCIAL TEÓRICO	6
2.1 CICLO HIDROLÓGICO.....	6
2.2 ÁGUAS SUBTERRANEAS – CARACTERÍSTICAS E QUALIDADE HIDROAMBIENTAL.....	7
2.2.1 Parâmetros Físico-Químicos	10
2.2.2 Íons Dissolvidos – Ânions	11
2.3 ARCABOUÇO LEGAL BRASILEIRO APLICADO AS ÁGUAS SUBTER- RANEAS.....	12
3 CARACTERÍSTICAS DA ÁREA DE ESTUDO	15
3.1 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA.	15
3.2 CLIMA.....	16
3.3 HIDROGRAFIA.....	17
3.4 PEDOLOGIA.....	18
3.5 CONTEXTO GEOLÓGICO	19
3.5.1 Formação Pirabas	19
3.5.2 Grupo Barreiras e Sedimentos Pós-Barreiras	20

3.5.3 Sedimentos Recentes	20
3.6 GEOMORFOLOGIA.....	21
3.7 ARRANJO GEOTECTÔNICO DO NORDESTE (NE) DO PARÁ	25
3.7.1 Tectônica	25
3.8 HIDROGEOLOGIA.....	28
4 MATERIAIS E MÉTODOS	30
4.1 ATIVIDADES E MATERIAIS UTILIZADOS.....	30
4.1.1 Levantamento bibliográfico	30
4.1.2 Caracterização dos poços utilizados e as Campanhas de Amostragem ..	30
4.1.3 Trabalhos de escritório	36
4.2 METODOLOGIA DE ANÁLISE DOS DADOS OBTIDOS.....	36
4.2.1 Coleta das amostras de água e medição dos parametros fisico quimicos <i>in loco</i>	36
4.2.2 Análises hidroquímicas laboratoriais das águas	37
4.2.3 Análises da potabilidade	38
5 RESULTADOS	39
5.1 PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS E POTABILIDADE	39
6 DISCUSSÃO	45
5 CONCLUSÕES	54
REFERENCIAS	56

1 INTRODUÇÃO

A água é, de maneira geral, o único recurso natural que envolve todos os aspectos da civilização humana, desde o desenvolvimento agro-industrial aos valores culturais e religiosos sedimentados na sociedade (Projeto Brasil das Águas). É essencial, seja como componente bioquímico de seres vivos, como meio de vida de várias espécies vegetais e animais, como elemento representativo de valores sociais e culturais e até como fator de produção de vários bens de consumo final e intermediário.

A Organização das Nações Unidas (ONU) tem como uma de suas principais diretrizes o desenvolvimento sustentável, ratificado no projeto Agenda 2030, que no objetivo de número 6 visa: Assegurar a disponibilidade e gestão sustentável da água e saneamento para todos. Neste contexto, o Brasil é um país privilegiado no que diz respeito à quantidade de água. Tem a maior reserva de água doce da Terra, ou seja 13,8% do total mundial. Sua distribuição, porém, não é uniforme em todo o território nacional. A Amazônia, por exemplo, é uma região que detém a maior bacia fluvial do mundo (Projeto Brasil das Águas).

Os municípios de Curuçá e Marapanim pertencem ao Nordeste do Pará, microregião do Salgado Paraense (Figura 1), inseridos no contexto amazônico, onde ocorrem de forma principal os sistemas hidrogeológicos Barreiras e Pirabas, considerados grandes reservatórios de água subterrânea do Brasil (Oliveira 2003). Esta é a região mais populosa do Estado (IBGE 2010), isto implica dizer que, dentro do contexto de consumo urbano, a demanda por recursos hídricos para suprir as necessidades desta região é a maior do Estado (ANA 2019).

Nesta microregião as estações são divididas entre chuvosas e menos chuvosas (Matta 2002), lhe conferindo abundância nos sistemas de água de superfície e subsuperfície. Entretanto, mesmo com esta abundância, os recursos hídricos devem ser sustentavelmente administrados, pois havendo desperdício e mau gerenciamento, estes podem configurar um déficit em termos de quantidade e qualidade atingindo diretamente a qualidade de vida da população.

Em consonância com a agenda 2030 objeto 6, anteriormente referido e a fim de preservar tanto a qualidade hidroambiental dos aquíferos quanto garantir o acesso

de água potável à população, este trabalho visa avançar no que diz respeito ao conhecimento hidroquímicos das águas do Aquífero Pirabas nos municípios de Curuçá e Marapanim, fornecendo dados técnico-científicos para subsidiar estratégias, ações preventivas e políticas de uso, proteção e conservação do recurso hídrico subterrâneo, os quais são previstos no Plano Nacional de Recursos Hídricos, estabelecido pela Lei nº 9.433/97 (MMA 1997), no âmbito da gestão ambiental sustentável.

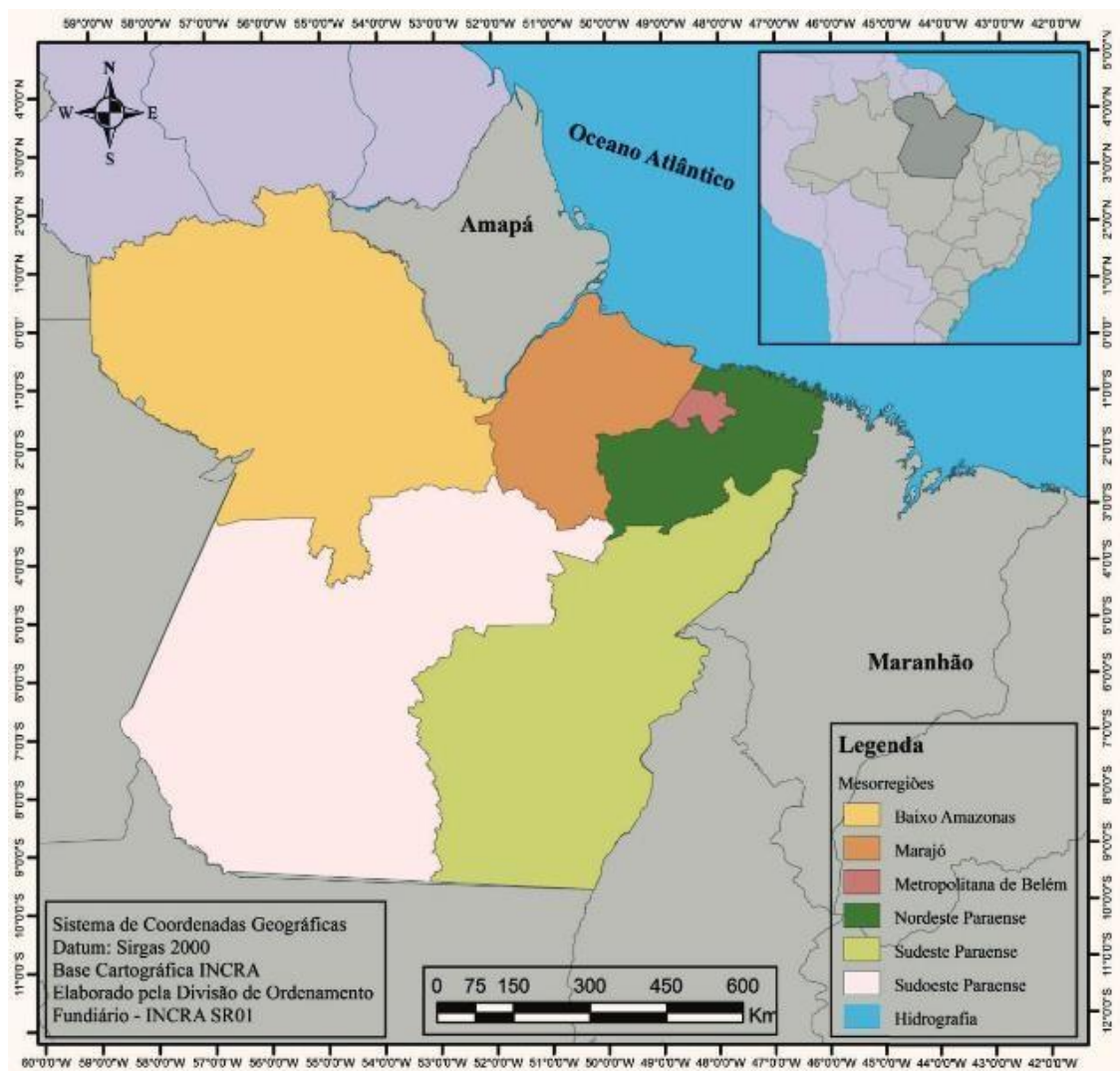


Figura 1 - Mesoregiões do Estado do Pará. Em cor verde a mesoregião do nordeste paraense, na qual os municípios de Curuçá e Marapanim estão inseridos. Fonte: (EMBRAPA 2017).

1.2 JUSTIFICATIVA

Os municípios de Curuçá e Marapanim estão inseridos dentro do contexto da bacia hidrográfica do rio Marapanim (BHRM) que possui superfície de 906,3km, em

um território ocupado por mais de 526 mil habitantes. Estende-se por mais 10 municípios, sendo estes: Castanhal, Terra Alta, São Francisco, Igarapé-Açu, Maracanã, Magalhães Barata, Santa Izabel do Pará, Santo Antônio do Tauá, São Caetano e Vigia de Nazaré.

Os municípios de Curuçá e Marapanim foram escolhidos para a amostragem dada à importância que possuem no setor turístico, agrícola e da pesca para o estado do Pará, sendo a qualidade hidroambiental das águas subterrâneas destes municípios fator relevante no desenvolvimento dos setores supracitados.

Curuçá e Marapanim reúnem uma população de 61.961 mil habitantes, que cresce com uma taxa média de 0,74% ao ano (Teixeira 2015). Este crescimento pode ser apontado como contínuo e lento segundo Teixeira (2015), permitindo, desta forma, que ações em prol da gestão adequada dos recursos hídricos sejam bem planejadas.

Todavia, os municípios em questão possuem forte vocação ao turismo, e deve ser levado em consideração a população flutuante que visita as cidades nos períodos festivos, férias escolares e feriados e se hospedam em hotéis, pousadas, pensões, campings, etc. A cidade de Curuçá, por exemplo, atraiu, diariamente, cerca de 30 mil pessoas no período do carnaval de 2019 (Ascom- Polícia Militar 2019).

O abastecimento público em Curuçá é realizado através de uma autarquia municipalizada em convênio com a Fundação Nacional de Saúde (FUNASA) e a prefeitura municipal, o Sistema Autônomo de Água e Esgoto (SAAE). Em Marapanim, este serviço é realizado pela Companhia de saneamento do Pará (COSANPA). Ambos os sistemas de abastecimento são feitos através de mananciais subterrâneos, como é o caso do aquífero Pirabas na região (Lameira 2019 & Teixeira 2015).

Em vista desta crescente solicitação por recursos hídricos, as águas subterrâneas, por se tratarem de depósitos no geral de boa qualidade físicoquímica e bacteriológica, os quais exigem pouco tratamento sanitário (alta qualidade natural) e tem baixo custo de captação, se consolidam como uma alternativa estratégica para suprir a atual demanda destas populações.

Entretanto, o atendimento à esta demanda nem sempre é acompanhada de uma gestão planejada dos recursos hídricos disponíveis para prover as necessidades do crescimento urbano-industrial, resultando em diversos riscos à contaminação dos

aquíferos.

Esta é a realidade dos municípios em questão que, juntos, possuem menos de 30% de esgotamento sanitário adequado (IBGE 2010), e segundo Charles Cardoso do Instituto La no Mangue, sediado em Curuçá, em entrevista ao jornal Liberal, diz possuir sérias problemáticas relacionadas ao uso sem outorga dos recursos hídricos e dispensação de efluentes líquidos na bacia. Estas problemáticas podem acarretar graves danos a qualidade hidroambiental da água dos aquíferos.

É válido ressaltar também que a bacia hidrográfica na qual estão inseridos os municípios aludidos, é estratégica para a população nela residente, pois, segundo Edivaldo Silva, representante do município de Terra Alta no Comitê Gestor da Bacia Hidrográfica do rio Marapanim, grande parte da comunidade depende diretamente dos recursos hídricos para subsistência.

Portanto, faz-se necessário a realização de estudos que contribuam para o entendimento do comportamento hidroquímico do Aquífero Pirabas na região, por se tratar de um sistema com qualidade hidroambiental superior em relação ao aquífero mais raso, o Barreiras, conforme já verificado pela literatura (Freddo 2018, Imbiriba Jr 2019, Matta 2002, Souza 1996).

As informações resultantes desta pesquisa serão úteis a comunidade científica e a gestores dos recursos hídricos das prefeituras e comunidades das cidades inseridas na bacia hidrográfica do rio Marapanim (BHRM) especialmente no desenvolvimento de políticas públicas para a utilização das águas subterrâneas dentro dos parâmetros de sustentabilidade hidroambiental das mesmas e bem-estar de seus usuários.

1.2 OBJETIVO

1.2.1 Geral

Contribuir ao avanço do conhecimento hidrogeológico dos municípios de Curuçá e Marapanim quanto à qualidade hidroambiental do Aquífero Pirabas, no contexto da bacia hidrográfica do rio Marapanim, no intuito de verificar se, para os parâmetros físico químicos obtidos, essas águas apresentam qualidade adequada para serem destinadas ao consumo humano, de acordo com os padrões de potabilidade vigentes no Brasil.

1.2.2 Específicos

- ✓ Avaliar os atributos físico-químicos do Aquífero Pirabas no contexto dos municípios Curuçá e Marapanim para os anos de 2016, 2018 e 2019.
- ✓ Comparar os dados obtidos com estudos anteriores realizados na região da BHRM.
- ✓ Enquadrar os resultados físico-químicos das amostras de águas com as determinações da Portaria 2.914/11 do Ministério da Saúde e da Resolução 396/2008 do CONAMA.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 CICLO HIDROLÓGICO

A água subterrânea faz parte do ciclo hidrológico, ocorrendo nos poros e interstícios das formações geológicas de natureza sedimentar, ou nos planos de falha e fraturas das formações geológicas ígneas ou metamórficas (Souza 2006).

O ciclo hidrológico (Figura 2), por sua vez, é o fenômeno de movimento contínuo e global de circulação fechada da água entre a atmosfera e a superfície terrestre. Toda essa circulação é, por sua vez, impulsionada pelas energias gravitacional e solar, as quais possuem mecanismos que possibilitam a movimentação da água tanto na superfície terrestre, quanto na atmosfera, em todos os seus estados físicos, sendo os principais: a evapotranspiração, a precipitação, escoamento superficial, e a infiltração (Von Sperling 1996).

- A evapotranspiração é dada pela transferência da água para o meio atmosférico através da evaporação (estado líquido da água superficial para o estado gasoso), ou pela transpiração (a água retirada do solo pela vegetação é evaporada).
- A precipitação compreende toda a água que cai da atmosfera na superfície terrestre, sendo ela na forma de chuva, granizo ou neve.
- O escoamento superficial nada mais é do que o escoamento da água sobre o terreno, em superfície, formando córregos, lagos e rios, e eventualmente chegando ao mar.
- A infiltração corresponde à água que atinge e infiltra o solo, formando os lençóis d'água.

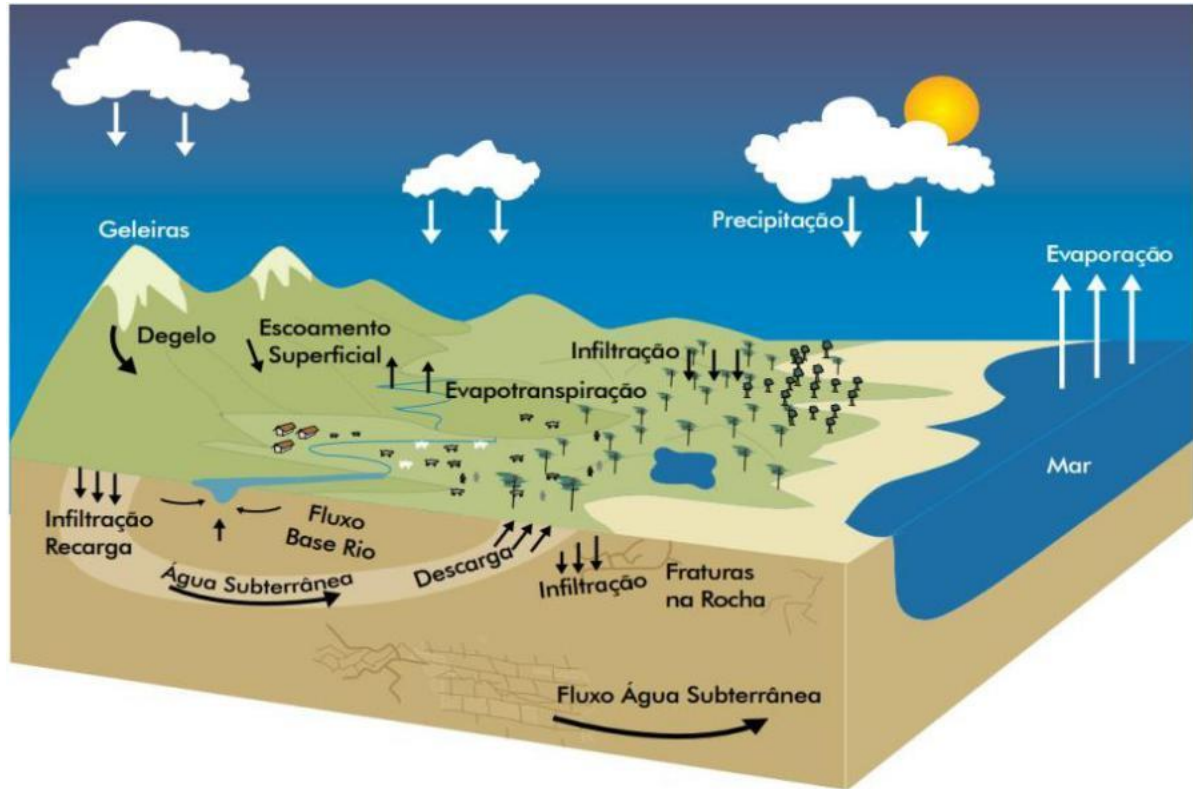


Figura 2 - O ciclo hidrológico ilustrado. Fonte: Ministério do meio ambiente (MMA 2007).

2.2 ÁGUAS SUBTERRANEAS – CARACTERÍSTICAS E QUALIDADE HIDROAMBIENTAL

A água é um elemento fundamental para a manutenção de todas as formas de vida em nosso planeta. Apesar de dois terços da superfície da Terra ser coberta por água, apenas uma pequena porção (2,5%) dessa água é doce (MMA 2007). Porém, da água doce existente na Terra (Figura 3), 68,9% formam as calotas polares, geleiras e neves eternas (que cobrem os cumes das montanhas), 0,9% corresponde à umidade do solo e pântanos, 0,3% aos rios e lagos, e os 29,9% restantes são águas subterrâneas. Desta maneira, do total de água doce disponível para consumo, descontando-se aquela presente nas calotas polares, geleiras e neves eternas, as águas subterrâneas representam um total de 96% (MMA 2007).

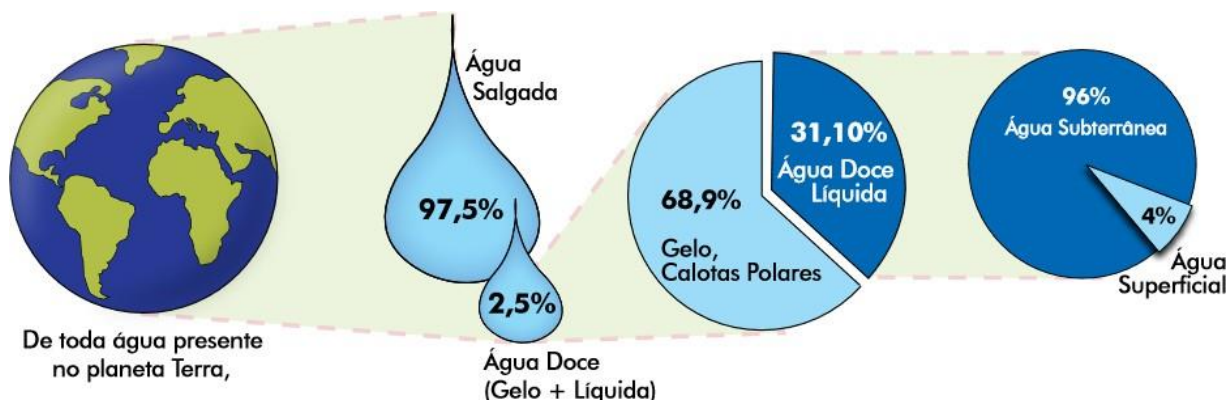


Figura 3 - O ciclo hidrológico ilustrado. Fonte: Ministério do meio ambiente (MMA 2007).

A distribuição de água doce no planeta não é uniforme, ocorrendo regiões de extrema escassez e outras com relativa abundância. No Brasil, um dos países com maior disponibilidade hídrica da Terra (13,8%), existem regiões extremamente ricas, como a Amazônica, e outras com baixa disponibilidade.

Desta forma, as águas subterrâneas são responsáveis pela garantia da sobrevivência de parte significativa da população mundial. Países como Arábia Saudita, Dinamarca e Malta se utilizam exclusivamente dessas águas para todo o abastecimento humano. Enquanto que na Áustria, Alemanha, Bélgica, França, Hungria, Itália, Holanda, Marrocos, Rússia e Suíça, mais de 70% da demanda por água é atendida por manancial hídrico subterrâneo (MMA 2007).

No Brasil, segundo a ANA (2010), 52% dos 5.570 municípios brasileiros são abastecidos total (36%) ou parcialmente (16%) por águas subterrâneas. Este recurso é a opção exclusiva para 48% dos municípios com população menor que 10 mil habitantes e para 30% daqueles com 10 a 50 mil habitantes. Além de atender diretamente à população, esses recursos são utilizados na indústria, agricultura (irrigação), lazer, etc. Em função dessa crescente demanda, as águas subterrâneas estão sob forte pressão.

As problemáticas referentes à gestão precária dos recursos hídricos subterrâneos são diversas, dentre elas destacam-se:

- 1) A superexploração, ou seja, quando a extração de água ultrapassa o volume infiltrado, pode afetar o escoamento básico dos rios, secar nascentes, influenciar os níveis mínimos dos reservatórios, provoca subsidência (afundamento) dos terrenos,

induzir o deslocamento de água contaminada, salinizar, provocar impactos negativos na biodiversidade e até mesmo a exaurir completamente o aquífero.

2) Poluição dos aquíferos que podem ser ocasionadas pelas mais diversas fontes, das quais se destacam:

- Deposição de resíduos sólidos no solo: descarte de resíduos provenientes das atividades industriais, comerciais ou domésticas em depósitos a céu aberto, conhecidos como lixões. Nessas áreas, a água de chuva e o líquido resultante do processo de degradação dos resíduos orgânicos (denominado chorume), tendem a se infiltrar no solo, carreando substâncias potencialmente poluidoras, metais pesados e organismos patogênicos (que provocam doenças).
- Esgotos e fossas: o lançamento de esgotos diretamente sobre o solo ou na água, os vazamentos em coletores de esgotos e a utilização de fossas construídas de forma inadequada constituem as principais causas de contaminação da água subterrânea.
- Atividades agrícolas: fertilizantes e agro-tóxicos utilizados na agricultura podem contaminar as águas subterrâneas com substâncias como compostos orgânicos, nitratos, sais e metais pesados. A contaminação pode ser facilitada pelos processos de irrigação mal manejados que, ao aplicarem água em excesso, tendem a facilitar que estes contaminantes atinjam os aquíferos.
- Mineração: a exploração de alguns minérios, com ou sem utilização de substâncias químicas em sua extração, produz rejeitos líquidos e/ou sólidos que podem contaminar os aquíferos.
- Vazamento de substâncias tóxicas: vazamentos de tanques em postos de combustíveis, oleodutos e gasodutos, além de acidentes no transporte de substâncias tóxicas, combustíveis e lubrificantes.
- Cemitérios: fontes potenciais de contaminação da água, principalmente por micro-organismos. As formas mais comuns de poluição/contaminação indireta são:
 - Filtragem vertical descendente: poluição de um aquífero mais profundo pelas águas de um aquífero livre superior (que ocorre acima do primeiro).
 - Contaminação natural: provocada pela transformação química e dissolução de minerais, podendo ser agravada pela ação antrópica, por exemplo, a salinização, presença de ferro, manganês, carbonatos e outros minerais associados a formação

rochosa. Como por exemplo, o alto teor de ferro no Aquífero Barreiras na Região Metropolitana de Belém (Matta 2002).

- Poços mal construídos e/ou abandonados: poços construídos sem critérios técnicos, com revestimento corroído/rachado, sem manutenção e abandonados sem o fechamento adequado (tamponamento), podem constituir vias importantes de contaminação das águas subterrâneas.

3) Impermeabilização das zonas de recarga: O crescimento das cidades causa diversos impactos ao meio ambiente, com reflexos diretos na qualidade e quantidade da água. A impermeabilização do solo a partir da construção de casas, prédios, asfaltamento de ruas, ausência de jardins e parques, entre outros, reduz a capacidade de infiltração da água no solo. Como a água não encontra locais para infiltrar acaba escoando pela superfície, adquirindo velocidade nas áreas de declive acentuado, em direção às partes baixas do relevo. Os resultados desse processo são bastante conhecidos: redução do volume de água na recarga dos aquíferos, erosão dos solos, enchentes e assoreamento dos cursos de água. As enchentes causam grandes prejuízos à população, não só materiais, como de saúde (doenças de veiculação hídrica). Em locais sem redes pluviais e/ou coleta de lixo, o escoamento superficial tende a carregar grande quantidade de sedimentos e de lixo para os rios, aumentando o risco de enchente e comprometendo ainda mais a qualidade destas águas.

A poluição provocada pelas atividades humanas, o aumento da população mundial, o consumo excessivo e o alto grau de desperdício são fatores que colocam em risco a disponibilidade de água doce. Por sua importância estratégica para as gerações presentes e futuras, nossas reservas de água subterrânea necessitam de um cuidado especial, para sua preservação e utilização de forma sustentável.

2.2.1 Parâmetros Físico-Químicos

As características físico químicas das águas subterrâneas refletem os meios por onde percolam, guardando uma estreita relação com os tipos de rochas que as armazenam. A qualidade da água subterrânea, portanto, é decorrente de processos físicos, químicos e biológicos que determinam uma grande variedade de substâncias presentes na água, decorrentes principalmente dos tipos litológicos.

Os parâmetros analisados para caracterização físico química e aniônica referente a avaliação da qualidade hidroambiental da água subterrânea do Aquífero

Pirabas foram: temperatura, pH, condutividade elétrica e sólidos totais dissolvidos, cloreto, fosfato, sulfato, nitrato e fluoreto, que serão descritos a seguir:

Condutividade Elétrica (CE) e Temperatura

É a medida da facilidade de uma água conduzir a corrente elétrica e está diretamente ligada com o teor de sais dissolvidos sob a forma de íons. A condutividade aumenta com a elevação da temperatura (Feitosa 2008). A CE tem o papel de medir o grau de mineralização iônica das águas que, por sua vez, está diretamente associada à potabilidade para consumo humano. É medida por condutivímetro e é expressa em $\mu\text{S}/\text{cm}$.

Potencial Hidrogeniônico (pH)

É a medida da concentração hidrogeniônica da água ou solução, sendo controlado pelas reações químicas e pelo equilíbrio entre os íons presentes. O pH é essencialmente uma função do gás carbônico dissolvido e da alcalinidade da água. É calculado em escala antilogarítmica e para temperaturas de 25°C são considerados os valores de 1 a 14, onde aqueles inferiores a 7 são denominados de ácidos, superiores a 7 são básicos ou alcalinos e 7 é considerado valor neutro.

A Portaria nº 2.914/2011, do Ministério da Saúde, estabelece como padrão de potabilidade para o pH, uma faixa de valores que vai de 6,0 a 9,5. Para a Organização Mundial de saúde (OMS) essa faixa é alterada para 6,5 a 8,5.

2.2.2 Íons Dissolvidos – Ânions

Cloreto

O cloreto é um dos principais ânions inorgânicos e está presente em todas as águas naturais, sendo proveniente da lixiviação de minerais ferro-magnesianos de rochas ígneas e sais de evaporitos. Em linhas gerais, possui valores situados entre 10 e 250 mg/L nas águas doces e valores entre 18.000 e 21.000 mg/L em águas marinhas. Em águas subterrâneas esta variável apresenta teores inferiores a 100 mg/L (Feitosa *et al.* 2008).

Fosfato

O fósforo pode ser encontrado na forma orgânica e inorgânica e sendo os fosfatos solúveis, a ocorrência mais comum deste parâmetro, e são classificados em ortofosfatos, fosfatos orgânicos e fosfatos condensados. O fosfato pode ocorrer naturalmente em águas subterrâneas, pois está relacionado a processos naturais como a dissolução de rochas, decomposição de matéria orgânica e carreamento dos solos.

Contudo, pode também estar relacionado a processos antrópicos como lançamento de esgoto sanitário, fertilizantes, detergentes e pesticidas. As descargas diretas ou indiretas de águas residuais contendo fosfato podem prejudicar a qualidade das águas residuais, principalmente através do lançamento de detergentes fosfatados empregados no uso doméstico em larga escala (Santos 2011).

Nitrato

O nitrato é um grande indicador de contaminação e poluição das águas subterrâneas por atividade antrópica. Quando encontrado em águas minerais é associado ao risco de duas doenças graves como a metahemoglobinemia, conhecida como síndrome do bebê azul e o câncer gástrico. Esse elemento é considerado prejudicial à saúde, porém é um importante agente na agricultura. O nitrato em águas subterrâneas origina-se principalmente de quatro fontes: aplicação de fertilizantes com nitrogênio, bem como inorgânicos e de esterco animal, em plantações; cultivo do solo; esgoto humano depositado em sistemas sépticos e deposição atmosférica.

Sulfato

O sulfato pode ocorrer naturalmente em águas subterrâneas, pois é encontrado sob a forma de enxofre, nas plantas, no solo e em águas pluviais. As descargas diretas ou indiretas de águas residuais contendo sulfato, em aquíferos, podem prejudicar a qualidade das águas e interferir no ciclo natural do enxofre. Apresentam importância que vai desde o laboratório, passa pela indústria e chega aos sistemas vivos.

2.3 ARCABOUÇO LEGAL BRASILEIRO APLICADO AS ÁGUAS SUBTERRANEAS

O arcabouço legal brasileiro para gestão de recursos hídricos foi construído com base nos aspectos ligados às águas superficiais, especialmente no Direito de

Água, relacionado a regulamentação do uso do recurso hídrico (Hager 2008).

A legislação federal mais antiga (com exceção do Código de Águas) correlacionada às águas subterrâneas está ligada às águas minerais (legislação mineral), a proteção do meio ambiente (legislação ambiental) e a qualidade da água para consumo humano (legislação sobre saúde pública).

O Código de Águas foi estabelecido em 1934, pelo decreto Federal nº. 24.643, o qual as incluía como um bem associado à propriedade da terra, ou seja, os proprietários eram donos do solo e tudo que nele estava presente, incluindo as águas subterrâneas.

Em 1967, o Código de Mineração (Decreto-Lei 227/67; regulamentado pelo Decreto 62.934/68) institui mudanças quanto às águas subterrâneas, dispondo sobre medidas reguladoras tendentes à preservação das águas subterrâneas.

A Constituição Federal de 1988 acaba com o domínio privado da água, determina a instituição do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos e estabelece que os recursos hídricos subterrâneos são de domínio dos Estados. Desta forma, as águas subterrâneas foram incluídas como bens do Estado, ou seja, um bem público, fiscalizadas pelo Sistema Único de Saúde (SUS).

A Lei 9.433/97 instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH). De acordo com esta lei, os princípios fundamentais da PNRH são que a água é um bem público e um recurso natural finito com valor econômico; a gestão da água deve permitir múltiplos usos da água, ser descentralizada e incluir a participação do governo, usuários e comunidades; em caso de escassez de água, a água deve ser utilizada para consumo humano e dessedentação de animais; e o SINGREH e a PNRH têm jurisdição sobre as bacias hidrográficas.

A PNRH inclui os seguintes instrumentos: planos de recursos hídricos; classificação das massas de água com base na sua utilização primária; concessão de direitos de uso de água; cobrança pelo uso de recursos hídricos; e sistemas de informação para recursos hídricos.

Em 2001 foi promulgada a Lei 6.381/01 (Lei Estadual das Águas), que após a PNRH, estabeleceu a Política Estadual de Recursos Hídricos, cujos objetos são águas superficiais, subterrâneas e meteóricas, com os mesmos objetivos da Lei 9.344/97.

A Resolução CONAMA nº 396/08 (Tabela 1) dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas, bem como a prevenção e controle da poluição que possa ocorrer nestas.

A portaria nº 2.914/2011 (Figura 4), publicada pelo Ministério da Saúde (MS), dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade.

Tabela 1 - Lista de parâmetros analisados no presente trabalho, seus respectivos Valores Máximos Permitidos (VMP) para cada um dos usos considerados como preponderantes e os limites de quantificação praticáveis (LPQ), considerados como aceitáveis dentro da Resolução CONAMA 396/2008.

Parâmetro	Nº CAS	Consumo Humano	LPQ Praticável
Fluoreto	7782-41-4	1500 µg.L-1	500
Cloreto	16887-00-6	250.000 µg.L-1	2000
Sulfato	-	250.000 µg.L-1	5.000
Nitrato	14797-55-8	10.000 µg.L-1	300

PARÂMETROS	UNIDADE	PORTARIA 2.914/11
CARACTERÍSTICAS FÍSICAS E ORGANOLÉPTICAS		
Cor	Pt/L	5
Odor	-	Não objetável
Sabor	-	Não objetável
Turbidez	UNT	5
Temperatura	°C	-
pH	-	6,0 - 9,5
PARÂMETROS QUÍMICOS INORGÂNICOS		
Arsênio	mg/L	0,01
Bário		0,7
Cádmio		0,005
Chumbo		0,01
Cromo		0,05
Fluoretos		1,5
Mercúrio		0,001
N-NO3		10
Nitritos		1
Selênio		0,01
PARÂMETROS QUÍMICOS QUE AFETAM A QUALIDADE ORGANOLÉPTICA		
Alumínio	mg/L	0,2
Surfactante		0,5
Cloretos		250
Cobre		2
Dureza total		500
Ferro total		0,3
Manganês		0,1
Sódio		200
STD		1000
Sulfatos		250
Sulfeto de H		0,1
Zinco		5
<i>Escherichia coli</i>		nº/100 ml
Coliformes totais	0	

Figura 4 - Padrões estabelecidos pela Portaria nº 2.914/11 do Ministério da Saúde.

3 CARACTERÍSTICAS DA ÁREA DE ESTUDO

3.1 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA.

O município de Marapanim é situado entre as coordenadas 00° 43'03"S e 47°41'59"O. Possui uma população estimada em 28.336 pessoas (IBGE 2019). O município de Curuçá é situado entre as coordenadas 1°44'53,55"S e 47°03'48.04"O, tem uma população estimada em 52.839 pessoas (IBGE 2019).

O acesso terrestre aos municípios se dá, partindo de Belém, pela BR-316 até o município de Castanhal, onde se passa a utilizar a PA-136 até o município de Curuçá. Para chegar a Marapanim, permanece-se na PA-136 até o município de São Pedro, onde se passa a utilizar a PA-318, até o município de Marapanim. De carro, o trajeto total dura cerca de 3 horas. Marapanim e Curuçá estão cerca de, 152 km e 137 km de distancia da capital, respectivamente (Figura 5).

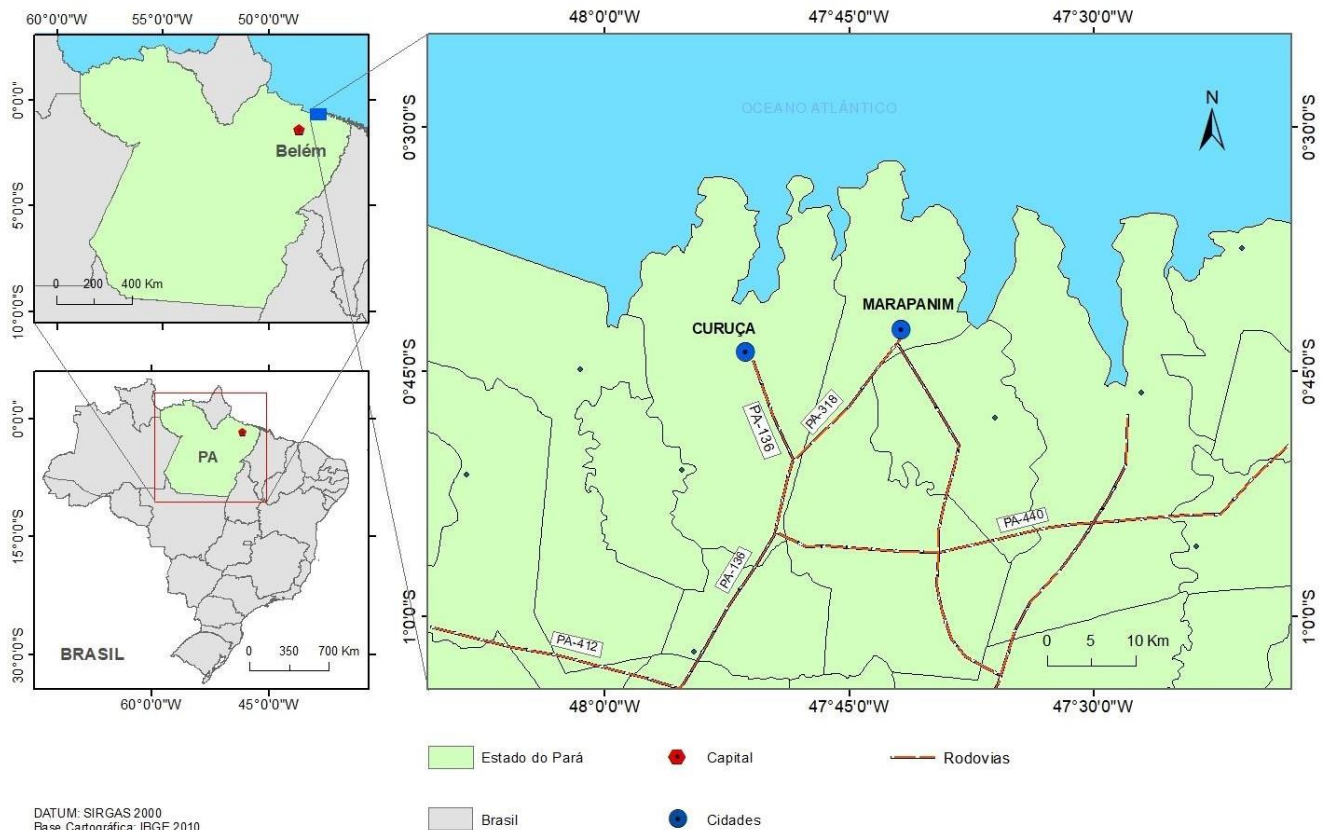


Figura 5 - Mapa de localização e acesso dos municípios de estudo no nordeste paraense.

3.2 CLIMA

Na mesoregião do nordeste paraense, na qual os municípios estão inseridos, o tipo climático varia de mesotérmico a megatérmico úmido, típico da região Amazônica (EMBRAPA 2018) e, segundo Köppen, é classificado como um clima quente e úmido do tipo Am2.

Caracteriza-se pela ocorrência de temperaturas elevadas, acompanhadas de muita umidade. A temperatura mínima oscila entre 22°C e 23°C e a máxima entre 30°C e 34°C. A umidade relativa do ar está entre 85% a 91% com chuvas abundantes e pluviosidade de 2.250 a 2.500 mm anuais. As chuvas não se distribuem igualmente

durante o ano, sendo a maior concentração no período de janeiro a junho (80%) (Martorano *et al.* 1993).

A região é influenciada pela Zona de Convergência Intertropical, a qual determina as maiores quantidades de chuva entre os meses de dezembro a junho e as menores precipitações entre julho a novembro. Como consequência, o rio Marapanim é altamente sazonal, contribuindo com grande quantidade de sedimentos e água doce durante os períodos mais chuvosos (Berredo *et al.* 2008).

3.3 HIDROGRAFIA

Segundo a divisão geopolítica dos recursos hídricos do Estado do Pará (2014), estes municípios estão inseridos na região hidrográfica denominada Costa Atlântica - Nordeste, sub-região Costa Atlântica (Figura 6).

O principal rio do município de Marapanim é o rio homônimo. Este atravessa todo o município de Marapanim, bem como outros municípios limítrofes à Marapanim, na direção de fluxo sul norte, desaguando na Baía de Marapanim.

Banha a sede municipal, assim como os outros 11 distritos, caracterizando assim, a bacia hidrográfica do rio Marapanim (BHRM). Apresenta fraca navegabilidade até o lugar conhecido como Moçoroca e possui profundidade de 3 a 8 metros, em maré baixa, e de 5 a 10 metros, em maré cheia.

O rio Marapanim recebe como afluentes: o rio Mearim, que nasce no município de Curuçá, sendo navegável por embarcação de pequeno calado até a vila de Bom Jardim; e, o rio Paramaú, que nasce no município, acima da povoação São Tomé e tem uma profundidade que varia de 2 a 4 metros, sendo navegável em toda a sua extensão. Pela margem direita, próximo à foz, recebe o rio Cuinarana (SETUR 2017).

Além do rio Marapanim, outro rio de menor extensão se destaca no município: o Cajutuba, que nasce próximo à sede municipal e dirige-se para o norte até encontrar a Baía do Cajutuba, onde deságua (SETUR 2017).

Na cidade de Curuçá o rio Mocajuba é um dos mais importantes rios do município, formado pelo Igarapé Pimenta e outros tributários menores, limitando a oeste os municípios de Curuçá e São Caetano de Odívelas (IDEFLORBIO 2019).

O rio Mocajuba recebe vários afluentes, sendo os da margem direita os de maior importância para o Município, como os rios Tijoca, Candeuca, e o furo Maripanema ou Muriá, que banha o povoado de São João do Abade (IDEFLORBIO 2019).

O rio Curuçá é o segundo mais expressivo do Município, no seu afluente, o rio Baunilha, encontra-se, pela margem esquerda a sede municipal (IDEFLORBIO 2019).



Regiões Hidrográficas	Área (km ²) da região hidrográfica
Calha Norte	272.599,81
Tapajós	210.318,18
Baixo Amazonas	41.531,51
Xingu	335.316,04
Portel-Marajó	109.863,79
Tocantins-Araguaia	128.580,09
Costa Atlântica-Nordeste	118.683,23

Figura 6 - Divisão geopolítica da rede hídrica do Estado do Pará. Fonte: (SEMA 2006).

3.4 PEDOLOGIA

Existem três tipos de solos predominantes no nordeste do Pará, sendo estes: os Latossolos, Gleissolos e Neossolos. Os Latossolos são os principais tipos de solo que ocorrem por toda a extensão da área, exceto nas planícies de inundação (Santos

2018).

Os Gleissolos localizam-se na região norte dos municípios. É caracterizado, geomorfologicamente como planície fluviomarinha, um ambiente de deposição de sedimentos com intenso dinamismo morfogenético desencadeado pelas ações fluviais e das marés (Santos 2018).

Os Neossolos, segundo Valente (2013), são solos pouco desenvolvidos do ponto de vista pedogenético, rasos, não apresentando qualquer tipo de horizonte B diagnóstico. São classificados como neossolos flúvicos e os neossolos quartzanênicos.

Os neossolos flúvicos são desenvolvidos sob forte influência do lençol freático próximo à superfície. São oriundos da deposição de sedimentos aluviais, hidromórficos, rasos ou pouco profundos, com textura variável, com nível de fertilidade química baixo. Ocorrem em relevo plano margeando os cursos d'água sobvegetação de floresta hidrófila de várzea, normalmente associados aos Gleissolos.

Os Neossolos Quartzarênicos são solos minerais, hidromórficos ou não, que apresentam classe de textura arenosa, essencialmente quartzosos, com sequência de horizonte A e C, na região de estudo, este solo tem relação com o intemperismo do grupo Barreiras.

Essas atividades agrícolas, localizadas nas planícies fluviais, são responsáveis pela degradação da mata ciliar, um agrupamento vegetal que, dentre as funções, desempenha ações minimizadoras da erosão nas margens dos rios (Santos 2018).

3.5 CONTEXTO GEOLÓGICO

3.5.1 Formação Pirabas

Foi definida, inicialmente, como rochas calcárias fossilíferas depositadas no Mioceno inferior que ocorrem na foz do Rio Pirabas (Ferreira *et al.* 1984). É composta por margas, calcários variados, e subordinadamente folhelhos (Mendes 2000) com proveniência de um ambiente deposicional caracterizado como marinho aberto, de águas quentes, rasas e agitadas, contendo canais lagunares ou estuarinos e restritamente mangues em suas adjacências (Góes *et al.* 1990).

Encontra-se exposta ao longo de falésias costeiras na região litorânea norte do

Brasil, bem como em cortes de estradas e minas a céu aberto, principalmente nos estados do Pará e Maranhão (Rosseti & Góes 2004), como é o caso da mina a céu aberto de calcário, pertencente a empresa Nassau, na cidade de Capanema, Pará.

Esta formação foi estudada primeiramente a partir de seu rico conteúdo paleontológico e posteriormente, aumentou-se o interesse na pesquisa desta formação, pois estas rochas hospedam o mais importante sistema aquífero do nordeste do Pará, o Aquífero Pirabas.

3.5.2 Grupo Barreiras e Sedimentos Pós-Barreiras

A Formação Barreiras é representada por sedimentos continentais argilosos, arenosos e conglomeráticos, de coloração amarelada alaranjada com horizontes compostos de arenito ferruginoso, pouco consolidados (Matta 2002).

Segundo Rosseti (2006) a Formação Barreiras possui uma distribuição ao longo da faixa litorânea que se estende do Amapá ao Rio de Janeiro. Ela repousa discordantemente sobre a Formação Pirabas.

Esta unidade é coberta pela unidade Pós-Barreiras, que consiste de sedimentos inconsolidados, principalmente arenosos e uma fração de argila, variando de fina a média e sem estrutura sedimentar aparente (Silva 2015). Ocorrem também seixos milimétricos de quartzo leitoso, dispostos irregularmente, além de concreções ferruginosas. Incluem-se ainda os sedimentos aluvionares holocênicos atuais e subatuais, localizados nos vales de rios e igarapés que cortam a região. (Matta 2002).

3.5.3 Sedimentos Recentes

São representados por sedimentos aluvionares atuais e sub-atuais, situados nos vales de rios e igarapés que drenam a BHRM.

ÉPOCA		UNIDADE LITOESTRATIGRÁFICA	SEQUÊNCIA DEPOSICIONAL
PLIOCENO-QUATERNÁRIO		PÓS-BARREIRAS	Sedimentos Pós-Barreiras
MIOCENO	SUPERIOR	PALEOSSOLO LATERÍTICO	Discordância 3
	MÉDIO	FORMAÇÃO BARREIRAS SUPERIOR-MÉDIO	Formação Barreiras (parte intermediária e superior)
	INFERIOR	FORMAÇÃO BARREIRAS INFERIOR	Discordância 2
OLIGOCENO SUPERIOR		FORMAÇÃO PIRABAS	Formação Pirabas (parte inferior)
		PALEOSSOLO BAUXÍTICO-LATERÍTICO	Discordância 1

Figura 7 - Coluna estratigráfica do cenozóico das plataformas do Pará e Bragantina. Fonte: Modificado de Rossetti (2001).

3.6 GEOMORFOLOGIA

O Nordeste do Pará está inserido nas terras baixas do domínio Amazônico (Tabela 2) e apresenta três unidades geomorfológicas predominantes: Litoral de Mangue, Planícies Fluviais e Tabuleiros Costeiros Paraenses (Figura 8). A unidade majoritária na BHRM são os Tabuleiros Paraenses, sendo que as planícies fluviais e o litoral de mangue compõem as áreas mais rebaixadas do relevo (Santos 2018).

Em uma escala regional, a Planície Amazônica, segundo o projeto RADAM, constitui-se uma área alongada na direção E-W, tendo por eixo o rio Amazonas. No Estado do Pará, abrange parte do médio e todo o baixo curso desse rio. Tal unidade inclui todas as áreas que estão diretamente sujeitas ao controle do rio Amazonas, com suas áreas alagadas e inundáveis, incluindo também, uma série de aspectos dentro do quadro potamográfico, tais como, furos, paranás, igarapés, rias fluviais, lagos de múltiplas formas, diques aluviais, canais e cordões arenosos, além de brejos e igapós,

estes sempre inundáveis (Furtado & Ponte 2013). Apresenta altitude não superior a 5 metros.

A planície de mangue apresenta importância ambiental e econômica. Sua ocorrência é marcante em toda extensão da costa paraense e, de acordo com Mascarenhas e Gama (1999), em função da influência salina das águas do oceano, se estende por distâncias significativas ao longo dos rios que desembocam no litoral. Borges *et al.* (2009) explicam que os manguezais são ambientes quase sempre associados a estuários e lagunas costeiras, sendo ecossistemas de transição entre os ambientes oceânico e terrestre, sofrendo forte influência dos processos continentais, como a drenagem das águas e os efeitos das atividades humanas. (Sombra 2018)

O litoral do Estado do Pará abriga uma parcela bastante significativa dos manguezais brasileiros, que, junto com os bosques do Amapá e do Maranhão podem compor o maior conjunto de manguezais do planeta, o que faz da zona costeira paraense um importante espaço de recursos naturais e de diversidade de usos (Prost *et al.* 2013).

O Planalto Costeiro, também conhecido como planalto rebaixado da amazônia, ou tabuleiro costeiro, corresponde a conjuntos de formas de relevo de topo plano, elaborados em rochas sedimentares, em geral limitadas por escarpas com altitudes relativamente baixas (IBGE 2009). Esta unidade é constituída por um relevo rebaixado, variando de plano a ondulado, fortemente dissecado, com cotas topográficas variando de 40 a 70 m, sendo formado como resultado de processos de aplainamento e dissecação da Formação Barreiras, o qual sustenta essa zona costeira do Estado do Pará (Sombra 2018).

As Planícies Marinhas e fluviomarinhas correspondem às áreas de acumulação quaternária, onde se inserem depósitos de origem marinha e fluviomarinha. O primeiro setor se estende desde a porção norte e leste da ilha do Marajó, enquanto o litoral de rias tem continuidade a partir da baía do Marajó, até o golfo maranhense, sendo representado por uma faixa de sedimentos holocênicos associados a um conjunto de ilhas, baías e canais recortados. Compreende o setor de reentrâncias paraense/maranhense, onde se encontra a maior costa de mangue do Brasil, com altitude entre 0 – 5 metros.

Tabela 2 - Unidades geomorfológicas no nordeste paraense. Fonte: Segundo Boulhosa & Souza Filho (2009).

Unidade Geomorfológica NE paraense	Características geomorfológicas gerais
Planalto Costeiro	Composto pela Formação Barreiras e sedimentos pós-barreiras, correspondente ao embasamento da Planície Costeira.
Colinas e tabuleiros	Relevo ondulado e por vezes plano com altitudes de até 64m.
Planícies aluviais	Depósitos holocênicos influenciados por processos fluviais
Planícies estuarinas e de Maré	Depósitos holocênicos influenciados diretamente pelas correntes e marés.
Planície de intermaré lamosa – Manguezal (Planícies lamosas)	Planície lamosa, densamente vegetada por mangue, que sofre a influencia de marés, e processos estuarinos.
Planície de supramaré	Superfície areno-argilosa resultante da dissipação de dunas e erosão de falésias, com sedimentos retrabalhados e acumulados apenas durante as marés de sizígia.
Pântano salino	Depósitos areno-argilosos hipersalinos, localizados na zona de supramaré.
Barras arenosas	Barras arenosas longitudinais desenvolvidas na foz dos canais de maré e de baías.
Planície litorânea	Depósitos holocênicos que sofrem influência de ondas, ventos e marés.
Antigas cristas de praia	Corpos arenosos alongados isolados pelos processos litorâneos e que repousam sobre depósitos lamosos de manguezais.
Dunas vegetadas	Campos de dunas que foram totalmente descaracterizados e vegetados.
Dunas costeiras atuais	Dunas fixas e móveis paralelas À linha de costa.
Interdunas	Dunas fixas e móveis entre lagos.
Praias de macromaré	Estão localizadas na zona de maior energia do litoral desde o nível de baixa-mar até a linha máxima de alcance das marés (base dos campos de dunas e falésias ativas).
Lagos	Corpos hídricos associados aos campos de dunas atuais e paleodunas, estando limitados pelas mesmas.

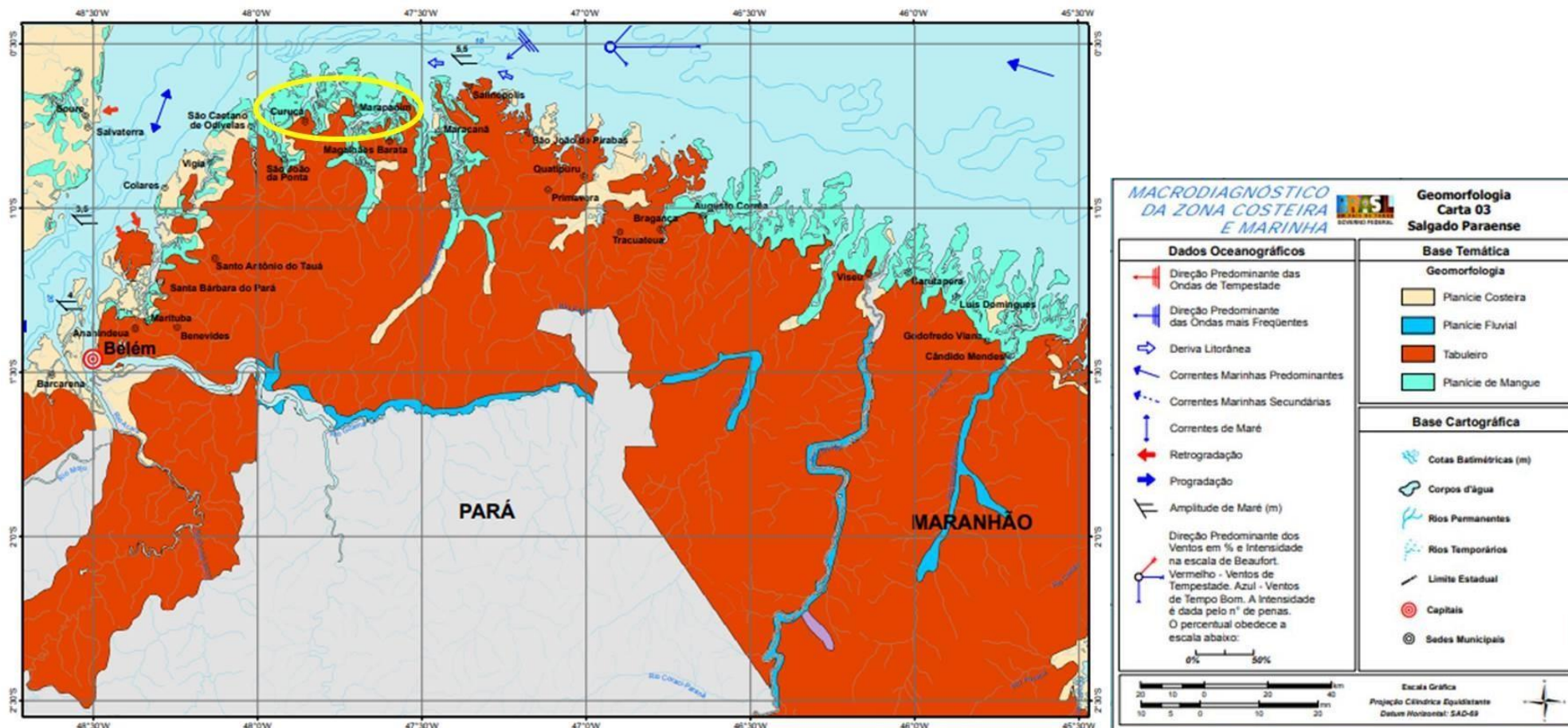


Figura 8 - Mapa geomorfológico do nordeste paraense, com destaque em amarelo para as cidades de Curuçá e Marapanim. Fonte: Adaptado de Ministério do Meio ambiente pelo projeto Macrodiagnóstico da Zona Costeira e Marinha do Brasil (2018).

3.7 ARRANJO GEOTECTÔNICO DO NORDESTE (NE) DO PARÁ

3.7.1 Tectônica

Os sedimentos terciário-quadernários Barreiras-Pirabas na região estão assentados sobre um embasamento cristalino pré-cambriano representados por cinturões de cisalhamento, os quais definem grandes blocos crustais justapostos, com idades superiores a 1,86 Ga (Costa *et al.* 1993, Costa & Hasui 1997, Hasui 1996). As unidades geotectônicas que se destacam no embasamento da região nordeste do Estado do Pará são o Cráton Amazônico, o Cinturão Araguaia, o Cráton São Luis e o Cinturão Gurupi, ilustrados na Figura 9 (COSTA *et al.* 2002).

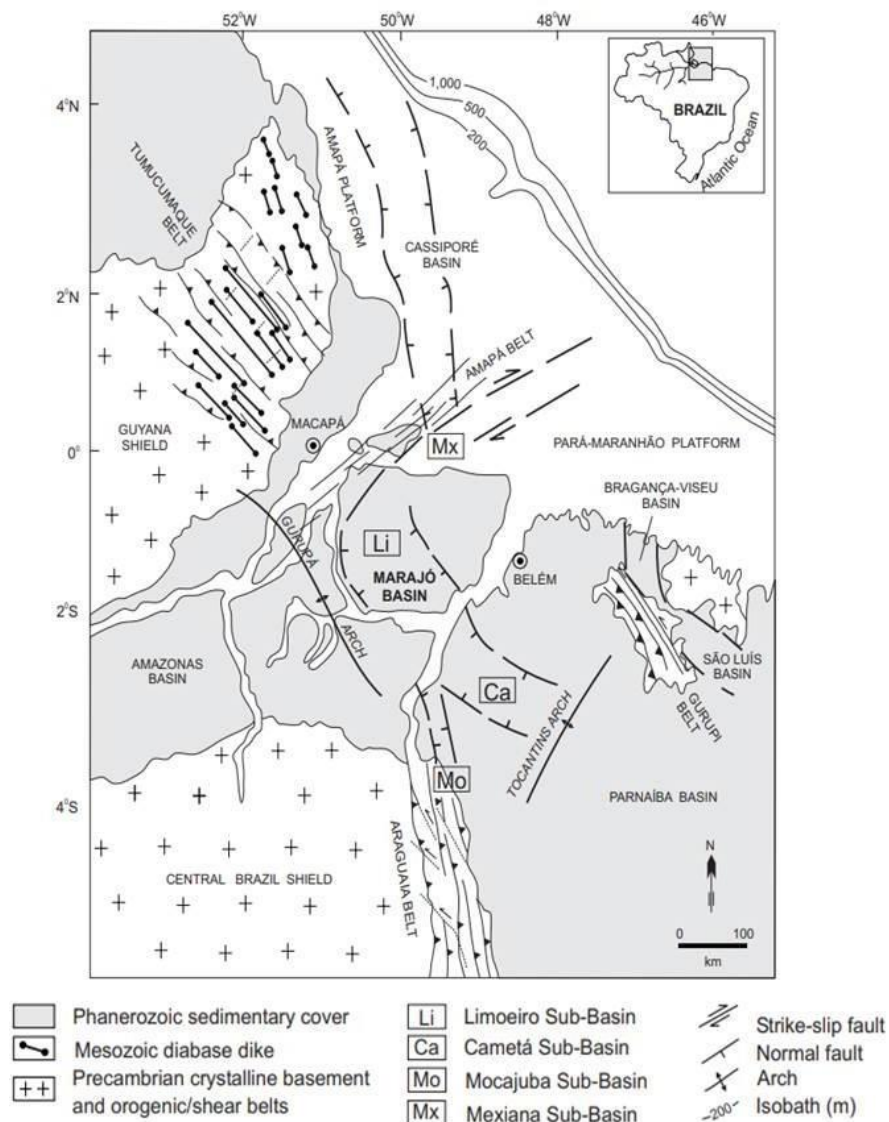


Figura 9 - Localização das unidades geotectônicas simplificadas da região nordeste do estado do Pará e parte do norte do Brasil (COSTA *et al.* 2002).

A movimentação cenozóica na região amazônica, que apresenta maior influência nos aquíferos regionais, é fortemente controlada pela estruturação do embasamento (Costa *et al.* 1996, Hasui 1996), e resulta do tectonismo transcorrente, de movimentação binária dextral E-W, intraplaca, induzida pela movimentação da Placa Sul Americana para oeste (Hasui 1990).

Os perfis lateríticos de composição bauxítico-fosfática de idade oligocênica, estabeleceram a idade máxima do início dos eventos neotectônicos na região Amazônica (Costa 1996). A partir dos eventos de instalação dos perfis lateríticos, marca de um período de estabilidade tectônica, foram individualizadas duas grandes movimentações neotectônicas (Bemerguy *et al.* 1995, Borges *et al.* 1995) nos seguintes intervalos:

Mioceno – Plioceno

Os primeiros registros neotectônicos são caracterizados pelo desenvolvimento de estruturas transtensivas e transpressivas (Costa *et al.* 1996). Nas regiões da ilha do Marajó, Belém, Ipixuna e no litoral também ocorrem estruturas transtensivas, que compreendem falhas mestras normais, lítricas e planares, na direção NW-SE, inclinadas para NE (Figura 10), as quais estruturaram a bacia na qual foram depositados os sedimentos da Sequencia Pirabas - Barreiras (Palheta 2008).

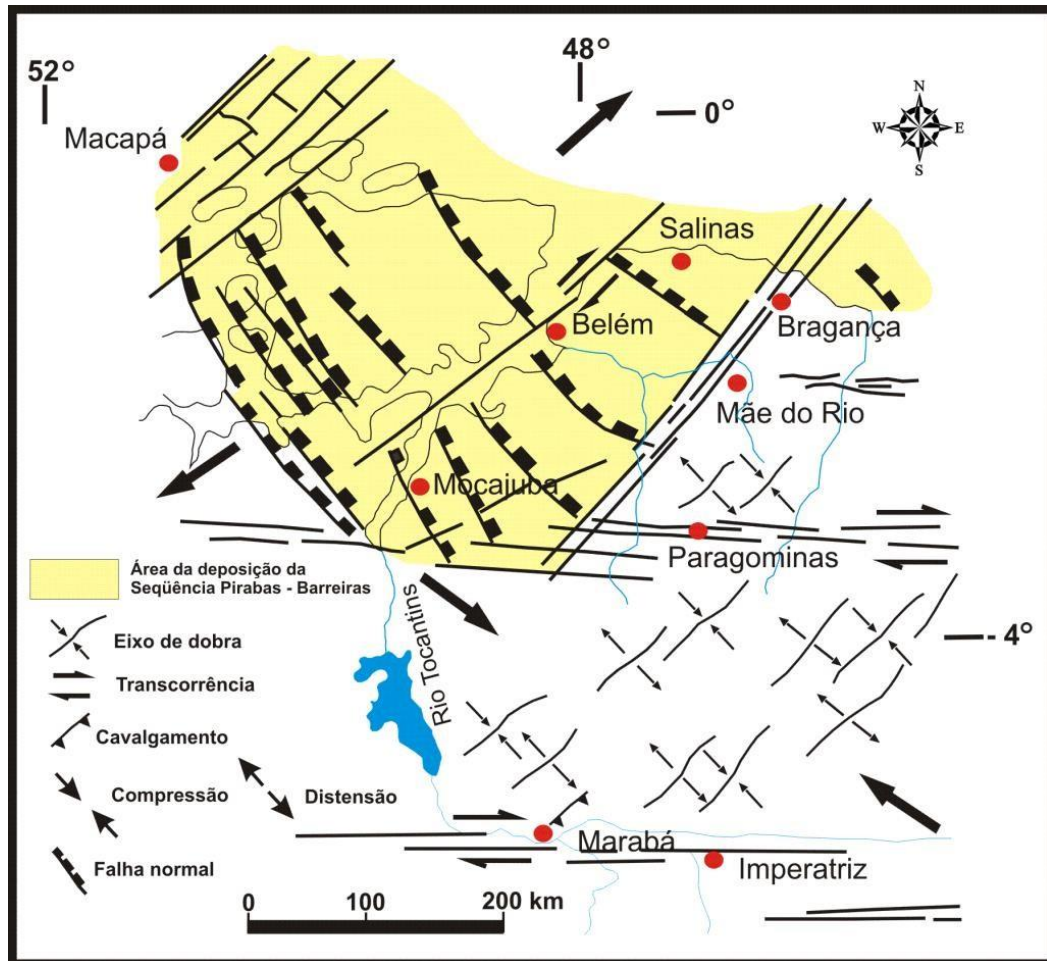


Figura 10 - Estruturas paleógenas-miocênicas: falhas mestras normais na direção NW-SE, inclinadas para NE, controlaram a deposição da Sequência Pirabas-Barreiras. Falhas transcorrentes dextrais NE-SW seccionam as falhas normais (COSTA et al. 1996).

A evolução tectono-sedimentar dessa bacia de afastamento é relacionada a duas fases (Costa *et al.* 1996 *apud* Palheta 2008): A primeira fase é condicionada pelo avanço do mar Pirabas, controlado pelas falhas normais (NW-SE) e conseqüentemente a sedimentação dos carbonatos da Formação Pirabas; enquanto a segunda fase é constituída por sucessivos eventos com movimentações ao longo das falhas normais, que geraram a deposição da sequência siliciclástica da Formação Barreiras.

As falhas transcorrentes dextrais NE-SW, que também atuaram durante a evolução da bacia, podem ser responsáveis pelo controle da distribuição das seqüências sedimentares na direção NW-SE. Posteriormente, ocorreu o período de tranquilidade tectônica no Pleistoceno Médio, caracterizado pela formação dos perfis

lateríticos imaturos. As áreas transpressivas abrangem a região de Marabá, Paragominas até a porção oeste do Maranhão.

Pleistoceno – Holoceno

O segundo grande episódio de movimentação do Pleistoceno Médio ao Holoceno provocou, na região nordeste do Pará, o surgimento de diversas estruturas romboédricas transtensivas, de dimensões variadas, assimétricas e simétricas, representadas por falhas transcorrentes dextrais E-W que se interligam por meio de falhas normais NW-SE, NNW-SSE e N-S, definindo bacias de afastamento (Costa *et al.* 1996).

Essas estruturas do Quaternário afetam as formações Ipixuna (Cretáceo Superior), Pirabas e Barreiras (Mioceno), e os perfis lateríticos imaturos, com indicação de rejeito de falhas normais de poucos metros a várias dezenas de metros.

A movimentação das falhas normais provocou a distribuição, em faixas alternadas, das formações Ipixuna e Barreiras; expôs isolada a Formação Pirabas em meio a Formação Barreiras; promoveu o basculamento da ilha do Marajó; possibilitou a deposição da Sequencia Pós-Barreiras; produziu dissecação no sistema colinoso; gerou formação de arcos, de cotovelos, de segmentos retos, de capturas e de segmentos meandranes na rede de drenagem (Costa *et al.* 1996).

3.8 HIDROGEOLOGIA

A hidrogeologia da região do nordeste do Pará segundo Sauma Filho (1996), Matta (2002) e Cabral (2004) está dividida em quatro (4) sistemas aquíferos: Aluviões, Pós-Barreiras, Barreiras e Pirabas, este último dividido em superior e inferior.

Aluviões:

Constituem-se de domínios de natureza permoporosa, apresentando boa capacidade de armazenamento de água. Dentro da Região Metropolitana de Belém possuem uma espessura em torno de 10 m. A principal fonte de recarga dos aquíferos formados nestes domínios é a precipitação pluviométrica. Apresentam vazões da ordem de 10 m³/h (Matta 2002).

Sistema Aquífero Pós-Barreiras:

É constituído por sedimentos argilo-arenosos inconsolidados, com granulometria variando de fina até conglomerática, existentes em um espaçamento de 25 metros a partir da superfície (Matta 2002). Há a presença de uma formação laterítica com uma espessura de até 3 metros, com os sedimentos possuindo uma matriz argilo-arenosa envolvendo nódulos ferruginosos e/ou aluminosos.

A vazão neste sistema aquífero é em torno de 5 m³ /h, apresentando um potencial hidrogeológico fraco, porém com água de boa qualidade. Em alguns pontos esta água necessita de tratamento, pois apresenta concentrações de ferro acima do permitido pelo Ministério da Saúde (>0,3mg/L).

Estes aquíferos ocorrem geralmente livre sendo a precipitação pluviométrica sua principal fonte de recarga (Matta 2002). A vulnerabilidade destes reservatórios é alta devido à profundidade na qual ocorrem (inferior à 25 metros), o que os torna suscetíveis à interação com fossas sépticas, postos de combustíveis, cemitérios, áreas de construção de poços para captação de água, entre outros.

Sistema Aquífero Barreiras

São aquíferos com expressões litológicas bastante heterogêneas, constituídos basicamente por areia e arenitos, granulometria que varia de fina a grossa, e cascalhos. Verifica-se também a presença de formações lateríticas e sedimentos argilosos caulinizados. Possuem profundidade variando de 25 a 90 metros e espessura média de 70 metros (Sauma 1996). A vazão varia de 10 a 70 m³ /h. Este aquífero, por vezes, também apresenta um alto teor de ferro em suas águas, acima do permitido pelo Ministério da Saúde. A recarga é feita por meio da contribuição das camadas sobrepostas e pela chuva em áreas de afloramento dessa unidade.

Sistema Aquífero Pirabas

É definido como uma unidade composta pelos sedimentos marinhos, fossilíferos da Formação Pirabas (Silva 2015). As camadas relacionadas a esse aquífero ocorrem em intervalos de 70 até 259 metros, sendo subdividido em Pirabas Superior e Inferior.

O primeiro subsistema é composto, segundo Matta (2002), por aquíferos com

camadas de argilas calcíferas de cor cinza-esverdeada e leitos de calcário de colorações cinza esbranquiçada, que se alternam sucessivamente com camadas de arenito calcífero. Geralmente ocorrem em intervalos de 70 a 180 metros, possuindo espessuras em torno de 50 m e vazões entre 100 a 180 m³

/h, principalmente quando estão associados aos sedimentos de granulação mais grossa. São de natureza confinada e apresentam uma boa continuidade lateral.

O segundo é composto predominantemente por sedimentos arenosos de cor cinza esbranquiçada, com granulação fina a média, com formações conglomeráticos e intercalações mais espessas de argilas e siltitos avermelhados.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 ATIVIDADES E MATERIAIS UTILIZADOS

Para elaboração e obtenção das informações e resultados desejados foram necessárias quatro etapas de atividades: levantamento bibliográfico; campanhas de amostragem em campo; análise de laboratório e interpretação dos dados.

4.1.1 Levantamento bibliográfico

O levantamento bibliográfico consistiu em uma atividade realizada ao longo de todo processo de elaboração do presente trabalho, assim como na pesquisa de dados relacionados ao tema deste estudo como: contaminação de águas subterrâneas, potabilidade de águas subterrâneas, saneamento básico, saúde pública, dados socioeconômicos e informações da área de estudo e características físico-químicas das águas subterrâneas.

4.1.2 Caracterização dos poços utilizados e as Campanhas de Amostragem

O banco de dados que sustenta essa pesquisa teve como base as informações de dois poços nos municípios de Curuçá e Marapanim – PA no período de 2016, 2018 e 2019 (Figura 12), construídos pelo Serviço Geológico do Brasil (CPRM), através do projeto Rede Integrada de Monitoramento das Águas subterrâneas (RIMAS).

As coletas das amostras (Tabela 3) foram realizadas nos dois municípios (Marapanim e Curuçá) As amostragens realizadas em 2016 e 2018 são referentes ao

período chuvoso da região (janeiro a junho), e a amostragem realizada no ano de 2019 é referente ao período menos chuvoso (julho a dezembro).

O poço referente à cidade de Marapanim (Figura 14), situado nas coordenadas 9921466NS e 199684WE, é localizado dentro da escola municipal de Ensino Fundamental Professora Zarah de Souza Trindade (Figura 11A).

O poço referente à cidade de Curuçá (Figura 13) está localizado dentro da área pertencente à SAAE de Curuçá (Figura 11B), com coordenadas 9918289NS e 182048WE.



Figura 11 - Poços utilizados no monitoramento hidroambiental do aquífero Pirabas. A) Poço localizado no município de Marapanim. B) Poço localizado no município de Curuçá. Fonte: Acervo do RIMAS-BE (SGB-CPRM-BE).

Amostragem do Período Chuvoso.

As campanhas de coleta de campo das amostras do período chuvoso (1° e 2°) foram feitas nos dois poços pertencentes à Rede RIMAS-BE-CPRM.

A 1ª campanha de coleta de campo ocorreu entre 01 e 02 de dezembro de 2016. A 2ª campanha de coleta de campo ocorreu no dia 28 de novembro de 2018. Os 02 poços da RIMAS-BE foram bombeados e coletados pelo método de baixa vazão e as análises físico-químicas (pH, CE e Temperatura) foram realizadas *in loco*, com as seções filtrantes compreendidas no sistema aquífero Pirabas. Os ânions foram analisados pelo Laboratório de Análises Minerais (LAMIN RJ e LAMIN Caeté) pertencentes ao SGB-CPRM

Amostragem do Período Menos Chuvoso.

A 3ª campanha de coleta de campo ocorreu no dia 29 de maio de 2019. Os 02 poços da RIMAS-BE-SGB-CPRM foram bombeados e coletados pelo método de baixa vazão e as análises físico-químicas (pH, CE e Temperatura) foram realizadas *in loco*, com seções filtrantes compreendidas no sistema aquífero Pirabas. Os ânions foram analisados pelo Laboratório de Análises Mineraiis (LAMIN – Caeté).

Tabela 3 - Dados dos poços pertencentes as cidades de Curuçá e Marapanim,. Fonte: RIMAS

Poços	SIAGAS	UTM (N/S)	UTM (L/O)	Profundidade	Data Coleta	Sigla	Período	Campanha
Marapanim	15000006765	9921466	199684	100m	01/12/2016	M2016	Chuvoso	1°
					28/11/2018	M2018	Chuvoso	2°
					29/05/2019	M2019	Menos Chuvoso	3°
Curuçá	15000005622	9918289	182048	130m	02/12/2016	C2016	Chuvoso	1°
					28/11/2018	C2018	Chuvoso	2°
					29/05/2019	C2019	Menos Chuvoso	3°

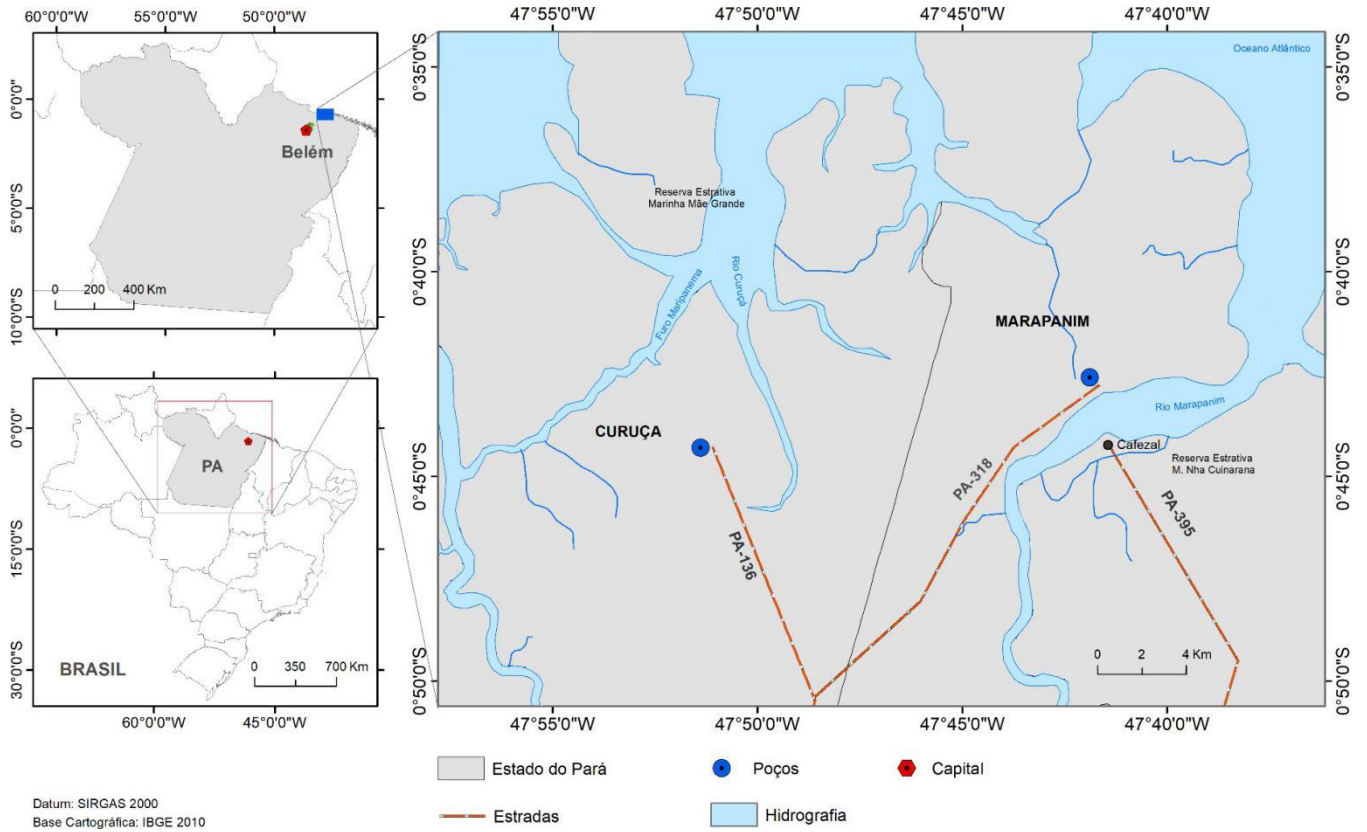


Figura 12 - Localização dos poços estudados na cidade de Marapanim e Curuçá.

Poço Curuçá

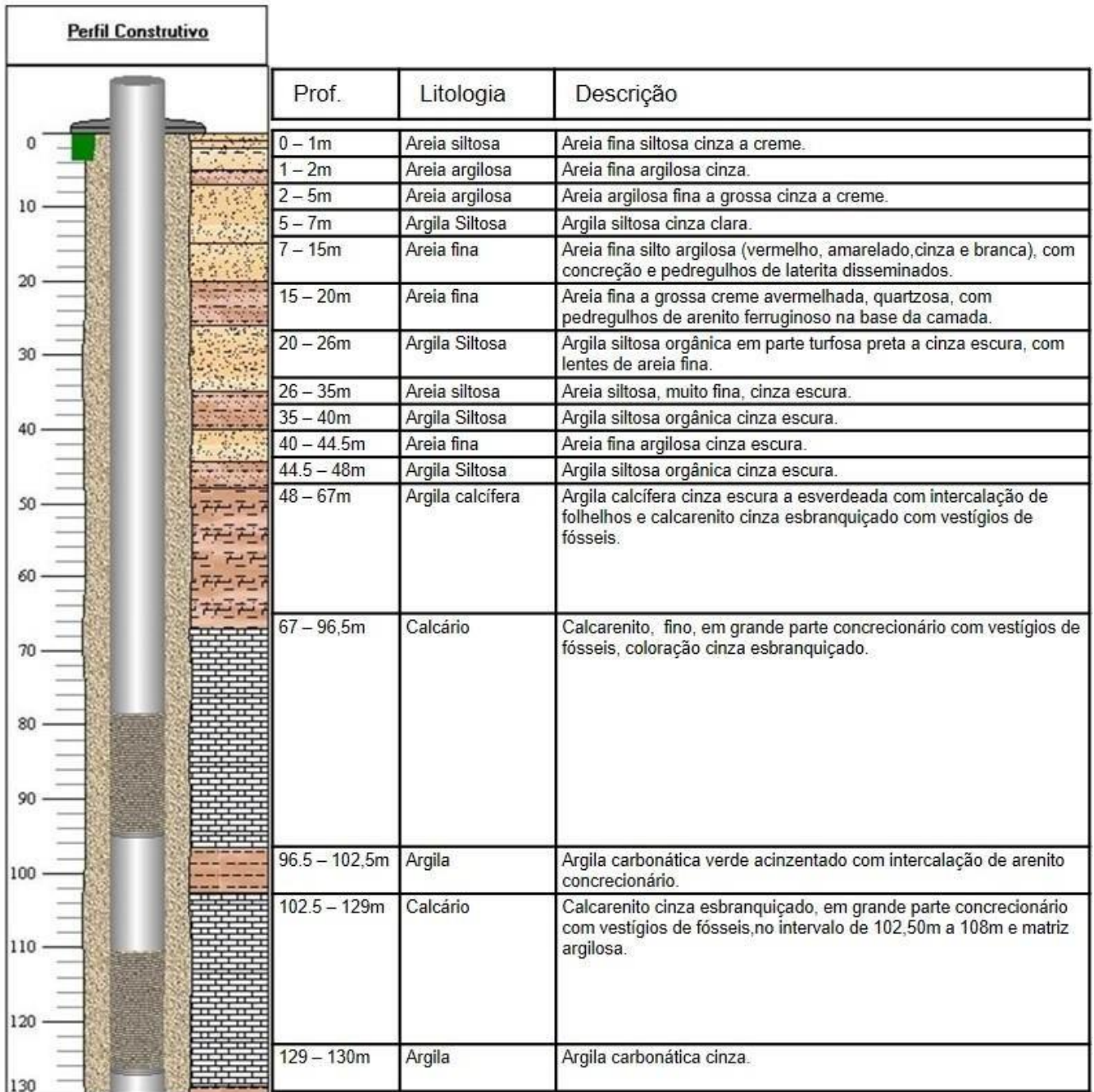


Figura 13 - Perfil litológico do poço de Curuçá (SIAGAS – 15000005622). Prof – Profundidade em metros. Fonte: RIMAS – SGB CPRM (2012).

Poço Marapanim

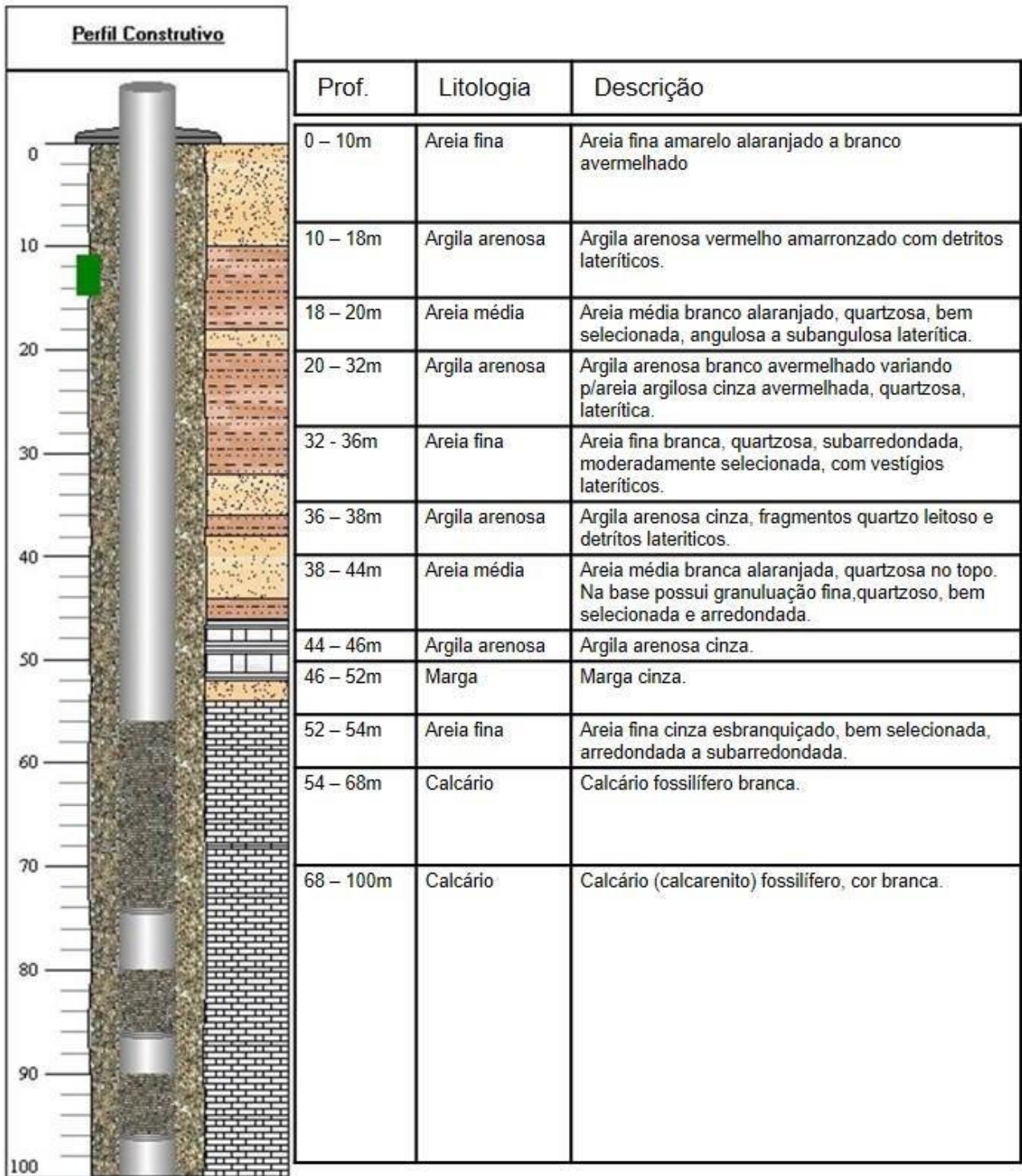


Figura 14 - Perfil litológico do poço de Marapanim (SIAGAS – 1500006765). Prof – profundidade em metros. Fonte: RIMAS – SGB CPRM (2013).

4.1.3 Trabalhos de escritório

Nesta fase foram interpretados os dados obtidos, e confeccionados gráficos e diagramas para embasar as discussões aqui levantadas.

4.2 METODOLOGIA DE ANÁLISE DOS DADOS OBTIDOS

4.2.1 Coleta das amostras de água e medição dos parâmetros físico químicos *in loco*

As amostras de águas subterrâneas foram coletadas seguindo as recomendações de amostragem de poços de monitoramento da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT 15847 – 2010). Foi utilizado o método de purga de baixa vazão (*low flow*) para coleta de água, com bomba portátil tipo bexiga (100 ml) com utilização do equipamento *sample pro*.

Purga é a pratica de se remover a água existente no interior de um poço em monitoramento com o objetivo de obter água representativa do aquífero. Este método leva em consideração as características geoquímicas da água produzida para definir a finalização da purga (ABNT 15847).

A purga foi realizada por meio de taxas de bombeamento reduzidas (entre 0,05L/min e 1,0 L/min), compatíveis com a capacidade de produção do poço de monitoramento, que não causem o rebaixamento excessivo do nível da água, evitando coleta não representativa.

Os parâmetros indicativos da qualidade da água que, segundo a ABNT (15847), devem ser monitorados durante a purga (*in loco*) são: (pH, temperatura, condutividade elétrica, e STD).

Para realizar estas medições foi utilizado uma célula de fluxo (MP 20) conectada em série com o sistema de coleta por bombeamento, permitindo que a água bombeada não entre em contato com o ambiente externo anteriormente à realização das leituras.

Esta célula aponta o momento em que ocorre a estabilização das leituras, indicativo de que a água representativa do aquífero está sendo coletada e que a purga está completa, podendo os parâmetros físico químicos serem analisados nos instrumentos.

A primeira leitura dos parâmetros foi realizada após a passagem do volume de água contido na bomba, somado ao volume da tubulação e volume da célula de fluxo. Este volume total é chamado de volume do sistema.

Após o descarte do volume do sistema, foram iniciadas as leituras através do aparelho *HACH*, que foram previamente calibrados utilizando-se uma solução tampão (pH 7 a 25°C). O nível estático foi medido com o medidor de nível manual.

As faixas de variação para a estabilização dos parâmetros indicativos da qualidade da água na célula de fluxo são:

2- pH: $\pm 0,2$

3- Temperatura: $\pm 0,5$ oC

4- Condutividade elétrica: $\pm 5,0$ % das leituras

5- Potencial de oxi-redução: ± 20 mV

6- Oxigênio dissolvido: $\pm 10\%$ das leituras ou $\pm 0,2$ mg/L, o que for maior

Para realizar a amostragem dos ânions foram utilizadas garrafas de polietileno de 1000 mL (sem uso prévio). Durante a coleta, todos os frascos foram ambientados com três lavagens consecutivas (rinsagem) com a própria amostra de água dos poços já purgados.

Os frascos identificados previamente foram completados com as amostras, evitando-se a formação de bolhas de ar. Os poços foram bombeados, coletados e analisados, com suas seções filtrantes compreendidas no sistema Aquífero Pirabas.

4.2.2 Análises hidroquímicas laboratoriais das águas

Os parâmetros químicos que foram analisados nos laboratórios SGB- CPRM - LAMIN-BH, LAMIN-Caeté, foram: fluoreto, cloreto, nitrato, fosfato e sulfato (todos em mg/L).

O método analítico utilizado foi a cromatografia iônica. Com o uso do Cromatógrafo de Íons *Metrohm 881 Compact IC pro*, coluna Super7, eluente Na_2CO_3 5,4mm, fluxo de 0,7 mL/min, e temperatura de 45°C, com precisão do método até a segunda casa decimal do miligrama.

4.2.3 Análises da potabilidade

A potabilidade da água foi realizada levando em consideração a portaria publicada pelo Ministério da Saúde 2.984/2011 e a resolução 396 do CONAMA 2008.



Figura 15 - Instrumentos utilizados na coleta das amostras. A) Medidor de nível de água manual. B) Aparelho HANNA e HACH para efetuar medidas de pH, CE, STD e Temperatura. C) Recipientes (1000ml) de polietileno utilizados no armazenamento das amostras. D) Célula de fluxo responsável por indicar o momento preciso para finalização da purga.

5 RESULTADOS

5.1 PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS E POTABILIDADE

Parâmetros físico-químicos

Os parâmetros físico-químicos foram interpretados utilizando-se os resultados das análises *in loco* de pH, temperatura, CE, no período chuvoso de 2016 e 2018 e no período seco de 2019 (Tabela 4).

Tabela 4 - Parâmetros físico químicos (Temperatura, pH e Condutividade Elétrica) monitorados ao longo de 3 anos. Fonte: RIMAS-CPRM BE.

Amostras	Data da Coleta	Período (estação)	Temperatura (C°)	pH	CE (µS/cm)
Marapanim 2016	01/12/2016	Chuvoso	28,8	6,59	292
Marapanim 2018	28/11/2018	Chuvoso	33,1	6,15	224
Marapanim 2019	29/05/2019	Menos Chuvoso	29,9	6,49	223
Curuçá 2016	02/12/2016	Chuvoso	28,49	8,21	372
Curuçá 2018	28/11/2018	Chuvoso	28,7	6,11	197,3
Curuçá 2019	29/05/2019	Menos Chuvoso	28,6	6,63	204,6

pH

O pH das águas referente as amostras de Marapanim apresentou variação de 6,15 (Marapanim 2018 – Período chuvoso) a 6,59 (Marapanim 2016 – Período chuvoso), e uma média de 6,41. No período menos chuvoso (Marapanim 2019), apresentou o pH de 6,49. As amostras de Curuçá apresentaram variação de 8,21 (Curuçá 2016 – Período chuvoso) a 6,11 (Curuçá 2018 – Período chuvoso), e uma média de 6,98. No período menos chuvoso apresentou pH de 6,63 (Figura 16).

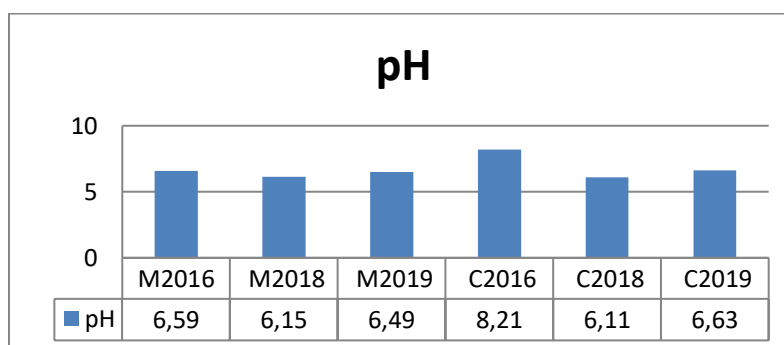


Figura 16 - Valores referente ao pH das amostras coletadas. M - Marapanim; C - Curuçá.

A Portaria do MS, estabelece como padrão de potabilidade para o pH, uma faixa de valores que vai de 6,0 a 9,5. Portanto, as águas subterrâneas analisadas nestes poços estão dentro dos padrões exigidos para consumo humano. De forma geral, o sistema aquífero Pirabas apresentou pH próximo da neutralidade (7,0).

Condutividade Elétrica

A CE das águas referente as amostras de Marapanim apresentou variação de 223 (Marapanim 2019 – Período menos chuvoso) a 292 (Marapanim 2016 – Período chuvoso), e uma média de 246,33 (Figura 17).

As amostras de Curuçá apresentaram variação de 197,3 (Curuçá 2018 – Período chuvoso) a 372 (Curuçá 2016 – Período chuvoso), e uma média de 257. No período menos chuvoso apresentou CE de 204,6.

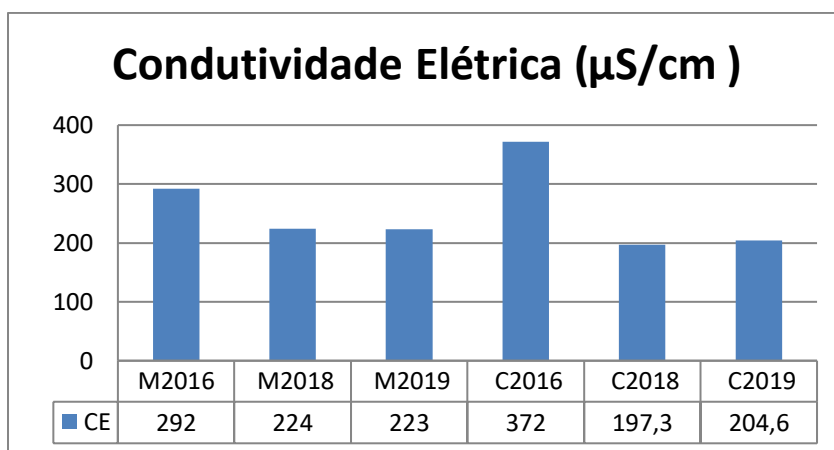


Figura 17 - Valores referente a CE das amostras coletadas. M - Marapanim; C - Curuçá.

A legislação brasileira não estipula valores quanto à CE, mas valores que ultrapassem $150 \mu\text{S}/\text{cm}$ podem estar relacionados a ambientes impactados negativamente. Valores superiores a este podem gerar sabor desagradável à água, afetando diretamente sua potabilidade e capacidade para consumo.

Temperatura

Os valores de T ($^{\circ}\text{C}$) referente às amostras de Marapanim variaram de 28,8 a 33,1. Em Curuçá, este parâmetro variou de 28,6 a 28,7 (Figura 18). A amplitude térmica foi pequena, pois as águas subterrâneas não são influenciadas pelas mudanças atmosféricas, e sim pelo grau geotérmico local (em média 1°C a cada 30 metros).

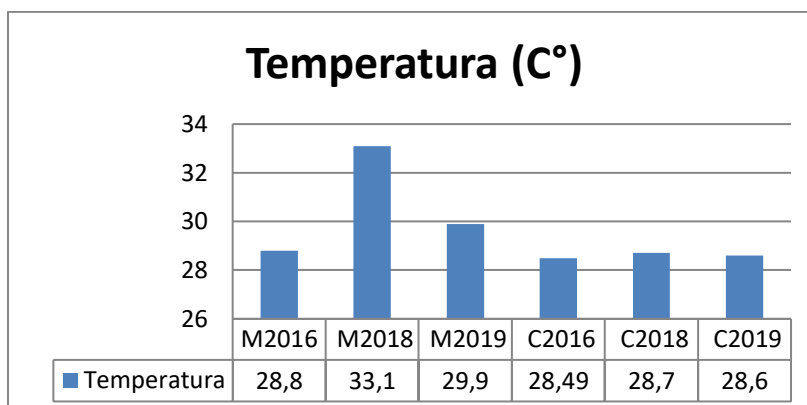


Figura 18 - Valores referente ao pH das amostras coletadas. M - Marapanim; C - Curuçá.

IONS DISSOLVIDOS – ANIONS

As caracterizações físico-químicas da água e de soluções aquosas têm como objetivo identificar e quantificar os elementos e espécies iônicas presentes nesses corpos (Parron 2011).

A partir disto, é possível compreender os processos naturais ou antrópicos a que estes se relacionam quanti e qualitativamente. Os valores determinados nas amostras analisadas (Tabela 5) são comparados aos padrões conhecidos, os quais são especificados em portarias e resoluções legais, que dão subsídios para enquadramento na potabilidade, como é o caso da Portaria nº 2.914/2011, do Ministério da Saúde. Os ânions analisados incluíram o cloreto; fluoreto, nitrato; sulfato e fosfato e foram também ordenados conforme a sua predominância nas águas subterrâneas analisadas (Figura 19).

Tabela 5 - Valores referente aos ânions encontrados nas amostras coletadas nas cidades de Curuçá e Marapanim nos anos de 2016, 2017 e 2019.

Amostras	Data da Coleta	Período	Cloreto	Fluoreto	Nitrato	Sulfato	Fosfato
Marapanim 2016	01/12/2016	Chuvoso	11,76	0,05	3,85	7,43	0,1
Marapanim 2018	28/11/2018	Chuvoso	19,75	0,08	11,44	6,02	0,05
Marapanim 2019	29/05/2019	Seco	12,19	0,07	0,56	12,51	0,05
Curuçá 2016	02/12/2016	Chuvoso	2,85	0,07	0,01	4,73	0,1
Curuçá 2018	28/11/2018	Chuvoso	4,81	0,08	0,37	5,84	0,61
Curuçá 2019	29/05/2019	Seco	4,55	0,08	-	4,91	0,05

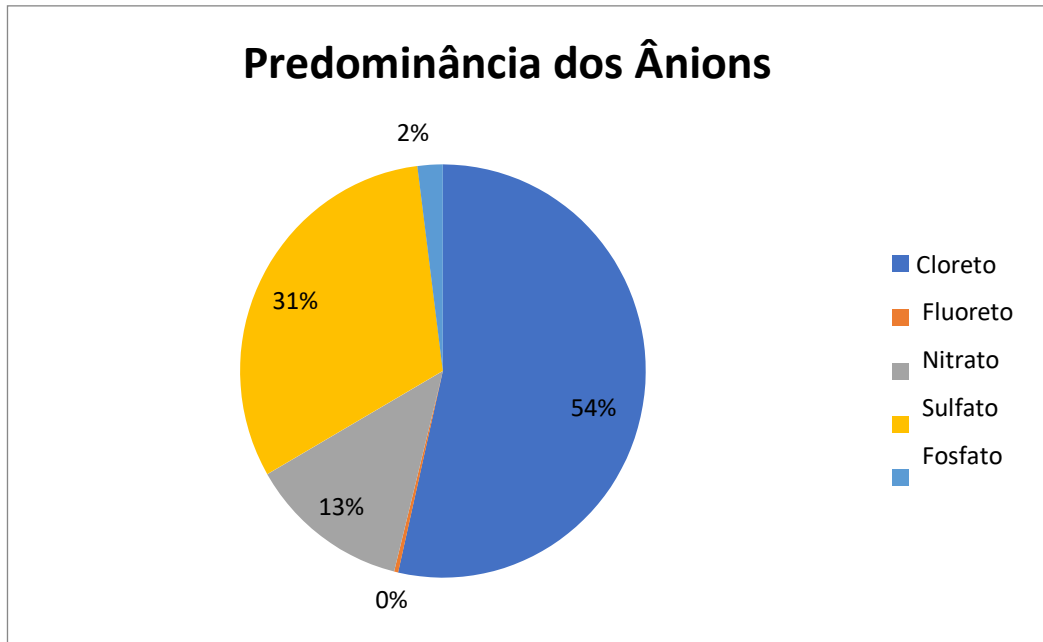


Figura 19 - Gráfico de predominância dos ânions nas amostras coletadas. Em ordem decrescente de predominância temos: Cloreto, Sulfato, Nitrato, Fosfato e Fluoreto.

Cloreto

O ânion cloreto referente as amostras das águas de Marapanim apresentou variação de 11,76 mg/L (Marapanim 2016 – Período chuvoso) a 19,75 mg/L (Marapanim 2018 – Período chuvoso), e uma média de 14,56 mg/L. As amostras de Curuçá apresentaram variação de 2,85 mg/L (Curuçá 2016 – Período chuvoso) a 4,81 mg/L (Curuçá 2018 – Período chuvoso), e uma média de 4,07 mg/L. No período seco apresentou o valor de 4,55 mg/L (Figura 20).

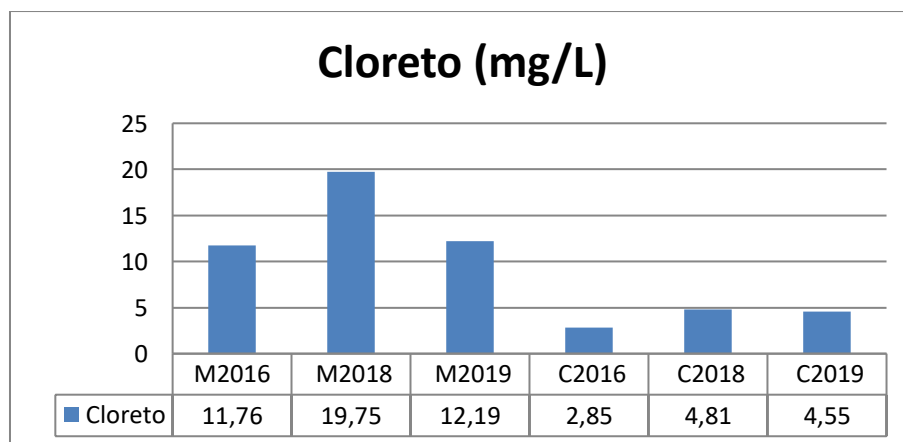


Figura 20 - Valores referente ao ânion Cloreto das amostras coletadas. M - Marapanim; C - Curuçá.

Fluoreto

O ânion fluoreto referente as amostras das águas de Marapanim apresentou variação de 0,05 mg/L (Marapanim 2016 – Período chuvoso) a 0,08 mg/L (Marapanim 2018 – Período chuvoso), e uma média de 0,066 mg/L. As amostras de Curuçá apresentaram variação de 0,07 mg/L (Curuçá 2016 – Período chuvoso) a 0,08 mg/L (Curuçá 2018 – Período chuvoso e Curuçá 2019 Período menos chuvoso), e uma média de 0,07 mg/L (Figura 21).

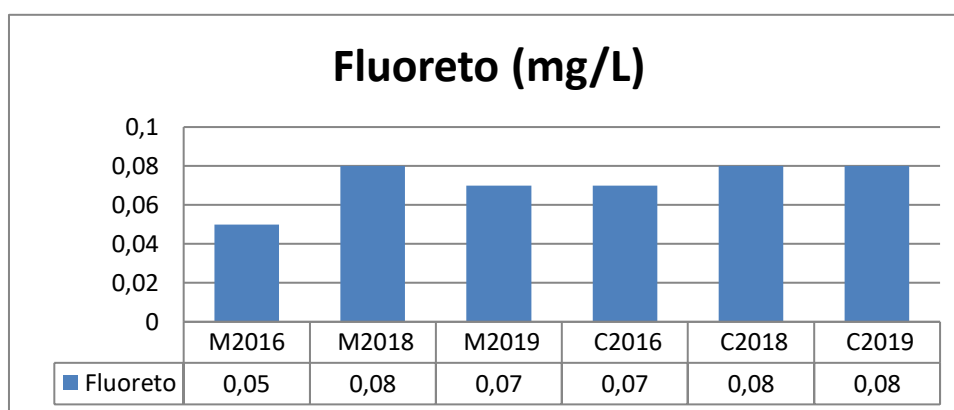


Figura 21 - Valores referente ao ânion fluoreto das amostras coletadas. M - Marapanim; C - Curuçá.

Nitrato

O nitrato referente as amostras das águas de Marapanim apresentou variação de 0,56 mg/L (Marapanim 2019 – Período seco) a 11,44 mg/L (Marapanim 2018 – Período chuvoso), e uma média de 5,28 mg/L. As amostras de Curuçá apresentaram variação de 0,01 mg/L (Curuçá 2016 – Período chuvoso) a 2,2 mg/L (Curuçá 2019 – Período menos chuvoso), e uma média de 9,05 mg/L. No período seco apresentou o valor de 0,86 mg/L (Figura 22).

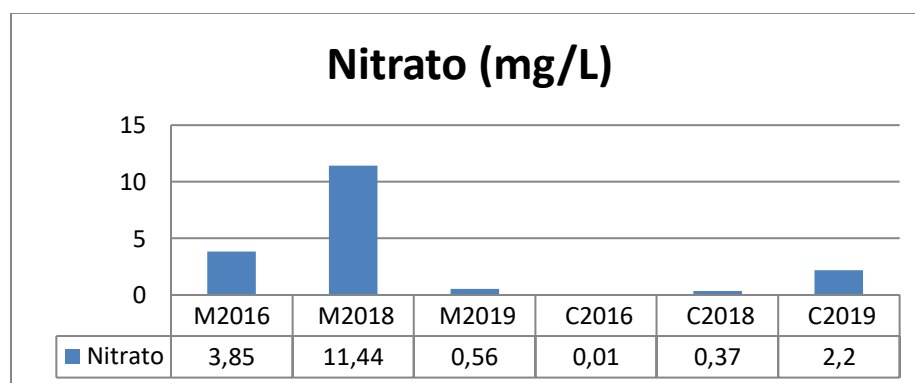


Figura 22 - - Valores referente ao ânion nitrato das amostras coletadas. M - Marapanim; C - Curuçá.

Sulfato

O sulfato referente as amostras das águas de Marapanim apresentou variação de 6,02 mg/L (Marapanim 2018 – Período chuvoso) a 12,51 mg/L (Marapanim 2019 – Período menos chuvoso), e uma média de 8,65 mg/L. As amostras de Curuçá apresentaram variação de 4,73 mg/L (Curuçá 2016 – Período chuvoso) a 5,84 mg/L (Curuçá 2018 – Período chuvoso), e uma média de 9,05 mg/L (Figura 23).

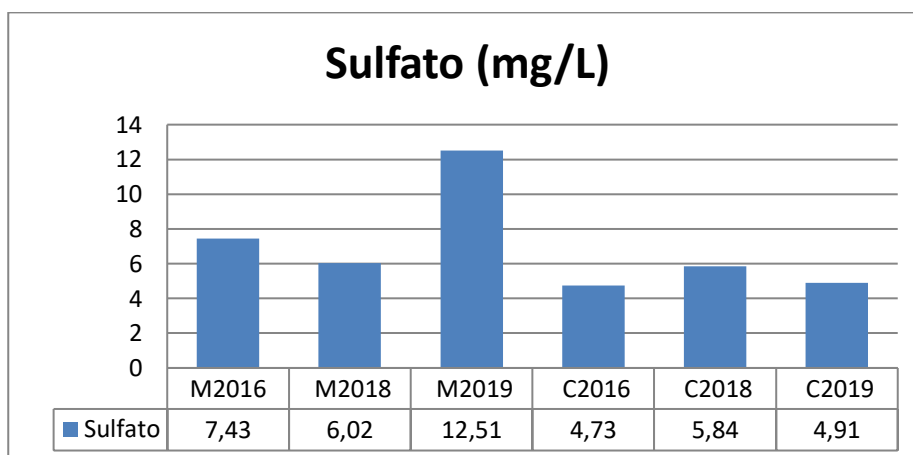


Figura 23 - Valores referente ao ânion sulfato das amostras coletadas. M - Marapanim; C - Curuçá.

Fosfato

O fosfato referente as amostras das águas de Marapanim apresentou variação de 0,05 mg/L (Marapanim 2018/2019 – Período chuvoso) a 0,1 mg/L (Marapanim 2016 – Período chuvoso), e uma média de 0,13 mg/L. As amostras de Curuçá apresentaram variação de 0,05 mg/L (Curuçá 2019 – Período seco) a 0,61 mg/L (Curuçá 2016 – Período chuvoso), e uma média de 0,25 mg/L (Figura 24).

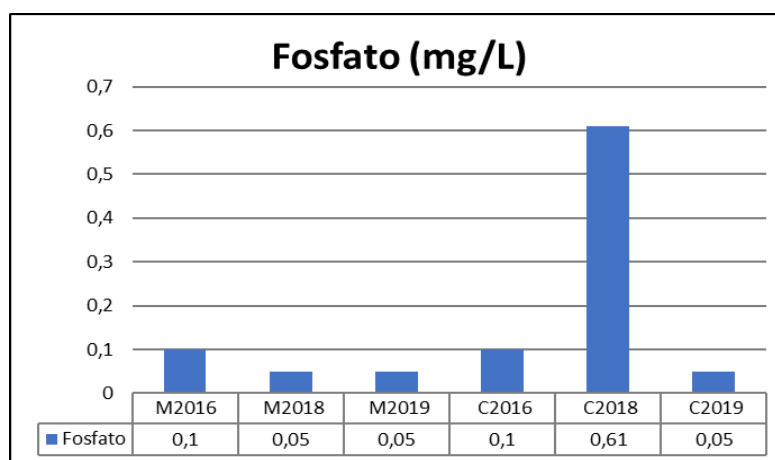


Figura 24 - Valores referente ao ânion fosfato das amostras coletadas. M - Marapanim; C - Curuçá.

6 DISCUSSÃO

As discussões referentes aos dados obtidos desta pesquisa serão levantadas à luz de trabalhos anteriores que já estudaram o aquífero Pirabas e sua assinatura hidroquímica em outras regiões do nordeste paraense. Portanto, segue abaixo a tabela 6 de dados físico químicos e composição dos ânions do aquífero Pirabas realizada por diferentes autores.

A quantidade de amostras para cada município foi limitada, logo, para uma avaliação mais completa da qualidade da água subterrânea, sugere-se, a quantificação, também, dos cátions dissolvidos e dos componentes biológicos.

Tabela 6 - Dados físico-químicos e composição dos ânions referente ao aquífero Pirabas na cidade de Belém (Oliveira 2018), Castanhal e Santa Maria (Silva 2015) e Salinópolis (Souza 1996; Imbiriba Jr, 2019). ND (Não detectável); - (Parâmetro não analisado no trabalho).

Período	pH	CE (µS/cm)	T° (C)	Cloreto	Sulfato	Nitrato	Fluoreto	Fosfato	Autor
Menos Chuvoso	8,1	450	-	0,08 meq L ⁻¹	0,03 meq L ⁻¹	-	-	-	Souza, 1996
Chuvoso	6,7	301	-	0,09 meq L ⁻¹	0,04 meq L ⁻¹	-	-	-	Souza, 1996
Menos Chuvoso	6,47	179,7	27,95	3,38 mg L ⁻¹	4,43 mg L ⁻¹	ND	-	-	Silva, 2015
Menos Chuvoso	6,3	133,8	28,30	3,65 mg L ⁻¹	5,24 mg L ⁻¹	ND	-	-	Silva, 2015
Menos Chuvoso	6,51	194,7	28,90	3,33 mg L ⁻¹	3,87 mg L ⁻¹	ND	-	-	Silva, 2015
Chuvoso	6,60	170	28	6,15 mg L ⁻¹	6,82 mg L ⁻¹	ND	-	-	Silva, 2015
Chuvoso	6,42	161,40	27,90	6,32 mg L ⁻¹	6,07 mg L ⁻¹	ND	-	-	Silva, 2015
Chuvoso	6,17	182,40	28,73	3,40 mg L ⁻¹	3,86 mg L ⁻¹	ND	-	-	Silva, 2015
Menos Chuvoso	7,27	332,47	29,27	0,11 meq L ⁻¹	0,14 meq L ⁻¹	ND	-	-	Oliveira Filho <i>et al</i> , 2018
Menos Chuvoso	7,47	326,73	30,17	0,09 meq L ⁻¹	0,13 meq L ⁻¹	ND	-	-	Oliveira Filho <i>et al</i> , 2018
Menos Chuvoso	7,56	321,87	30,07	0,10 meq L ⁻¹	0,14 meq L ⁻¹	ND	-	-	Oliveira Filho <i>et al</i> , 2018
Chuvoso	7,31	342,33	29,90	0,10 meq L ⁻¹	0,13 meq L ⁻¹	ND	-	-	Oliveira Filho <i>et al</i> , 2018
Chuvoso	7,45	329,67	29,43	0,08 meq L ⁻¹	0,13 meq L ⁻¹	ND	-	-	Oliveira Filho <i>et al</i> , 2018
Chuvoso	7,76	287,33	29,57	0,09 meq L ⁻¹	0,13 meq L ⁻¹	ND	-	-	Oliveira Filho <i>et al</i> , 2018
Menos Chuvoso	8,26	508	29,3	26,23 mg L ⁻¹	15,93 mg L ⁻¹	0,7 mg L ⁻¹	0,74 mg L ⁻¹	-1	Imbiriba Jr, 2019
Menos Chuvoso	7,84	518	29	26,85 mg L ⁻¹	16,26 mg L ⁻¹	0,42 mg L ⁻¹	0,77 mg L ⁻¹	-1	Imbiriba Jr, 2019
Menos Chuvoso	7,88	509	31	25,15 mg L ⁻¹	13,61 mg L ⁻¹	0,07 mg L ⁻¹	0,79 mg L ⁻¹	-1	Imbiriba Jr, 2019
Chuvoso	7,64	501	29	28,8 mg L ⁻¹	16,29 mg L ⁻¹	<0,01 mg L ⁻¹	0,71 mg L ⁻¹	-1	Imbiriba Jr, 2019
Chuvoso	7,91	515	30	31,08 mg L ⁻¹	16,68 mg L ⁻¹	0,06 mg L ⁻¹	0,12 mg L ⁻¹	-1	Imbiriba Jr, 2019
Chuvoso	7,69	504	28	25,79 mg L ⁻¹	13,83 mg L ⁻¹	0,32 mg L ⁻¹	0,75 mg L ⁻¹	-1	Imbiriba Jr, 2019

Condutividade Elétrica (CE)

A condutividade nas amostras das águas subterrâneas analisadas apresentou valores moderados, variando de 197,3 $\mu\text{S/cm}$ a 372 $\mu\text{S/cm}$.

Os valores encontrados no presente trabalho corroboram os valores encontrados nos estudos já realizados nos mesmos municípios e municípios adjacentes (Matta *et al.* 2010, Silva *et al.* 2018, Imbiriba Jr 2019) sendo compatíveis com as características físico-químicas do aquífero Pirabas no nordeste paraense.

Este parâmetro tem o papel de medir o grau de mineralização iônica das águas que, por sua vez, está diretamente associada à potabilidade para consumo humano. Entretanto, tanto a resolução CONAMA nº 396/2008 quanto a portaria 2.914/2011 não dispõem sobre um valor máximo permitido a respeito da CE.

Segundo Freddo (2018), valores que ultrapassem 150 $\mu\text{S/cm}$ podem estar relacionados a ambientes impactados por contaminação antrópica ou anomalias nos valores de sais dissolvidos.

Entretanto, o autor refere-se ao aquífero Barreiras, não se aplicando ao aquífero Pirabas, por se tratar de um reservatório hospedado em rocha carbonática, possui elevado teor de sais dissolvidos, geralmente acima de 150 $\mu\text{S/cm}$ (Souza 1996, Silva 2015, Oliveira Filho *et al.* 2018, Imbiriba Jr 2019), logo, naturalmente, possui condutividade elétrica superior à citada pelo autor, referente ao aquífero mais raso da região do nordeste paraense.

Potencial Hidrogenionico (pH)

Os valores de pH obtidos em pesquisas anteriores realizadas no aquífero Pirabas nas regiões do nordeste paraense (Souza 1996, Silva 2015, Oliveira Filho *et al.* 2018 e Imbiriba Jr 2019) são compatíveis com os encontrados nesta pesquisa.

O pH apresentou valores acima de 6,0 em todos os pontos amostrais, chegando a próximo de 8,2 na amostra C2016 (Período Chuvoso). A portaria 2.914/2011 recomenda que o pH de água potável esteja mantido na faixa de 6,0 a 9,5.

O aquífero Pirabas está hospedado na formação carbonática Pirabas, mioceno inferior e segundo Silva (2015) é fortemente influenciado pela elevada presença de bicarbonato, originado a partir da dissolução de rochas carbonáticas da formação,

principalmente pela dissolução do mineral calcita ($\text{CaCO}_3 + \text{H}_2\text{CO}_3 \rightarrow \text{Ca}^{2+} + \text{HCO}_3^-$).

Considerando os valores obtidos, as águas subterrâneas das amostras coletadas caracterizam-se como levemente ácidas a básicas.

Temperatura

Os valores de T (°C) praticamente não apresentaram diferenças entre os períodos, com variação entre 28,6 a 33,1°C para ambos. A amplitude térmica foi pequena, pois as águas subterrâneas não são influenciadas pelas mudanças atmosféricas, e sim pelo grau geotérmico local, em média 1°C a cada 30 metros (Imbiriba Jr 2019).

Os resultados obtidos corroboram os estudos anteriormente realizados na região do nordeste paraense no aquífero Pirabas (Souza 1996, Silva 2015, Oliveira Filho *et al.* 2018 e Imbiriba Jr 2019).

Ânions Cloreto

O cloreto foi o íon predominante dentre todos os ânions estudados, cujas concentrações variaram entre 2,75 mg/L a 19,75 mg/L. Segundo a Resolução CONAMA nº 396/2008, o valor máximo permitido do cloreto em águas subterrâneas para o consumo humano é de 250 mg/L, portanto, todas as amostras analisadas estão dentro dos padrões exigidos.

Segundo Matta (2002), os teores de cloreto nas águas subterrâneas normalmente são inferiores a 100 mg/L, devido seu alto teor estar relacionado com a existência de rochas sedimentares evaporíticas, o que não ocorre no aquífero Pirabas. A média do teor deste ânion no poço de Marapanim (14,56mg/L) é superior em relação ao poço de Curuçá (4,07mg/L).

Souza (1996) discorre sobre a provável fonte para os íons Cl^- das águas do Aquífero Pirabas na região de Salinópolis (adjacências de Marapanim e Curuçá) serem as soluções salinas conatas, reliquiares, compatíveis com a origem marinha da Formação Pirabas.

Imbiriba Jr (2019) analisou o comportamento deste ânion em poços profundos

na região de Salinópolis (NE Paraense) com seções filtrantes localizadas no aquífero Pirabas e obteve valores de médias semelhantes (período chuvoso 24,05mg/L e período seco 12,23mg/L). Este autor, atribuiu estes valores a possíveis condutos que facilitam a entrada de água marinha para o aquífero modificando sua classificação característica (cálcica bicarbonatada para sódica bicarbonatada).

Os valores de cloreto obtidos nesta pesquisa são compatíveis com os resultados obtidos por estudos anteriores realizados nos aquífero Pirabas na região, conforme a tabela 6.

Fluoreto

O fluoreto foi o íon com menor predominância (~0%) dentre todos os ânions estudados, cuja variação está entre 0,05mg/L e 0,08mg/L.

Em águas superficiais é possível identificar traços deste elemento, já em fontes subterrâneas o fluoreto pode atingir concentrações elevadas, principalmente em locais nos quais o solo apresenta minerais ricos em flúor, como ambientes próximos a montanhas altas ou áreas com depósitos geológicos de origem marinha, podendo ser encontradas concentrações acima 10 mg L⁻¹ (Branco 2018).

Segundo Fraga (1992) há um aumento na formação de complexos hidrolizados de flúor com o aumento da concentração de OH⁻, ou seja, com o aumento do pH, todavia, nota-se o contrário no presente estudo; onde o pH era maior (C2016 - pH 8,21) houve a diminuição da concentração de F⁻ (0,07mg/L).

A resolução CONAMA 396/2008 prevê o valor máximo de 1,5mg/L em águas para serem consideradas aptas ao consumo humano, logo, todas as amostras estão dentro dos valores permitidos para águas próprias ao consumo humano pelo arcabouço legal brasileiro.

O flúor quando ingerido em níveis adequados, reduz a solubilidade da parte mineralizada do dente, tornando mais resistente à ação de bactérias e inibe processos enzimáticos que dissolvem a substância orgânica proteica e o material calcificante do dente. Por isso é adicionado às águas de abastecimento público para conferir-lhes proteção à cárie dentária.

Entretanto, quando ingerido em níveis, acima do previsto em lei, pode gerar fluorose dentária, que consiste na mineralização do esmalte do dente, sendo sua

severidade diretamente associada à quantidade ingerida. (Agostini 2011, Debesten 1999, Fejerskov 1994).

Nitrato

O íon nitrato foi o terceiro ânion predominante no estudo em questão, com concentrações médios de 5,28 a 9,05mg/L, com máximo de 11,44mg/L (Marapanim 2018 - Período chuvoso).

A Resolução CONAMA nº 396/2008 prevê que, o limite deste parâmetro para a água ser considerada potável é de 10mg/L. Valores acima do permitido podem desencadear severos problemas de saúde pública, como a incidência de câncer e metahemoglobinemia (síndrome do bebe azul) (Costa *et al.* 2016).

Os valores aqui analisados para este parâmetro enquadram-se nos limites permitidos, com exceção da amostra M2018, que apresentou 11,44mg/L.

Matta *et al.* (2010) realizou um estudo no município de Curuçá e registrou valores entre 0,1 e 3,8 mg/L, onde os valores mais elevados para as séries nitrogenadas foram encontrados onde havia influência do lixão da cidade. Entretanto, os poços utilizados naquele trabalho captavam água do Aquífero Barreiras, mais raso em relação ao Pirabas, portanto, mais suscetível a contaminação.

O que se esperava para as águas analisadas no aquífero Pirabas em profundidades acima de 100m era que os teores de nitrato fossem inferiores em relação aos aquíferos rasos (mais suscetíveis a contaminação antrópica) da região, conforme o levantamento bibliográfico, onde Silva (2015) e Oliveira Filho *et al.* (2018) não detectaram a presença deste ânion no aquífero Barreiras e Imbiriba Jr (2019) encontrou valores inferiores a 1mg/L.

Todavia, as concentrações deste parâmetro mostraram-se muito superiores ao esperado, atingindo (Marapanim 2018 – período chuvoso) valores acima dos permitidos pelo arcabouço legal brasileiro para consumo humano. Matta (2010), ao analisar as águas do aquífero Barreiras na cidade de Curuçá, encontrou valor máximo de 3,6mg/L de nitrato, cerca de 3,5x menor do que o valor obtido no aquífero Pirabas no presente trabalho.

Segundo o Relatório da Leitura Técnica da Realidade do Município de Marapanim (2006), não existe rede de esgotamento sanitário na zona urbana e rural,

dessa forma as moradias são equipadas com fossas. Esse documento relata que a maioria desses esgotos são apenas cavados no solo, sem qualquer revestimento, gerando infiltração no subsolo que pode atingir os mananciais subterrâneos e levar ao surgimento de endemias à população.

Esta realidade é confirmada pelos dados segundo IBGE (2011) que relata que apenas 2,7% dos domicílios da cidade de Marapanim possuem esgotamento sanitário adequado, sendo este um dos principais fatores apontados como principais fontes de nitrato em águas subterrâneas (Feitosa, 2008).

O presente trabalho, entretanto, analisa poços profundos (100m Marapanim e 133m Curuçá) com seções filtrantes localizadas na formação Pirabas. Para ocorrer entrada de nitrato (oriundo de contaminação antrópica gerada em superfície), nas proporções notificadas nestas análises, seria necessário uma configuração geológica como a proposta por Palheta (2008), onde os sistemas aquíferos Pós-barreiras, Barreiras e Pirabas estejam interligados por conexões hidráulicas e que estes formem em conjunto, um único sistema hidrogeológico.

Dentro desta perspectiva, Palheta (2008) considera que o aquífero Pirabas, principal aquífero em volume e qualidade natural na região, anteriormente tido como confinado, está conectado com os demais aquíferos sobrejacentes por meio de falhas/fraturas principalmente aquelas que exibem comportamento trativo, tornando-o, assim, igualmente vulneráveis a contaminação.

Do ponto de vista hidrogeoquímico, Oliveira Filho e Toro (2013); Silva (2015) e Oliveira Filho (2018), em concordância com os estudos estruturais e neotectônicos que ratificam a conexão hidráulica entre os sistemas hidrogeológicos realizados por Igreja *et al.* (1990), Costa (2004), Palheta (2008), Bandeira (2008) e Pinheiro (2009), através de análises dos parâmetros hidrogeoquímicos nos períodos sazonais, interpretações dos diagramas de composição de *Schoeller*, estudos isotópicos e modelagem dos mesmos, concluem que pode ocorrer mistura entre as águas do aquífero barreiras e Pirabas (em torno de 10%), principalmente no período chuvoso que proporciona maior interação entre os sistemas (influxo de água).

Desta forma, observa-se que os dados obtidos neste trabalho para nitrato (e cloreto), apresentam valores apicais nos períodos chuvosos (2018), em concordância com Oliveira Filho e Toro (2013), Silva (2015) e Oliveira Filho (2018), podendo sugerir que nesses períodos, a interação entre os sistemas aumenta, maximizando também

o risco de contaminação do aquífero Pirabas. Como é o caso da amostra M2018 que, no período chuvoso, encontrou-se fora dos padrões de potabilidade pertimido pelo arcabouço legal brasileiro.

Sulfato

O ânion sulfato foi o segundo predominante nas análises realizadas, com concentrações média entre 8,65mg/L e 4,73mg/L, com valor máximo de 12,51mg/L (M2019 - período menos chuvoso). Segundo Souza (1996), pode-se obter teores inferiores a 0,1meq/L no Aquífero Pirabas, sugerindo que não há um contato efetivo com os níveis piritosos da Formação Pirabas (facies Baunilha Grande).

Entretanto, nos poços analisados, nota-se a presença deste ânion em frações acima de 0,1meq/L, o que pode indicar oxidação de sulfetos de ferro. Esta interpretação, segundo Souza (1996) foi proposta por Langmuir apud Worthington & Ford (1995) para explicar teores elevados de sulfato em aquíferos calcários. Esta reação pode liberar íons H⁺ que causam diminuição do pH das águas, o que é confirmado no dados obtidos, pois a amostra M2019 com o maior teor de sulfato (12,51mg/L) apresenta o segundo menor pH (6,49).

As características físico químicas das águas subterrâneas refletem os meios por onde percolam, guardando uma estreita relação com os tipos de rochas que as armazenam. O perfil litológico do poço de Marapanim, apresenta, acima da seção filtrante (46m a 52) uma marga de cor cinza. Trata-se de uma rocha calcárea, que na formação Pirabas ocorre rica em matéria orgânica (restos vegetais e peixes), conforme descrito por Távora (2005). Desta forma, o sulfato pode ter origem na oxidação de minerais sulfetados presente nesta rocha, não sendo necessariamente, associado a contaminação antrópica.

A Resolução CONAMA n° 396/2008 estabelece o limite de 250mg/L como valor máximo permitido para águas potáveis. Portanto, todas as amostras analisadas estão dentro do limite aceito para potabilidade.

Fosfato

O ânion fosfato foi o segundo com menor predominância nas análises realizadas, com concentrações médias entre 0,05mg/L e 0,61mg/L.

Amorim (2000) e Araújo (2011) constataram que, na mesorregião de estudo,

as concentrações de fosfato, quando encontradas, variaram entre 0,01mg/L e 0,45 mg/L. E quando apresentaram-se concentrações pontuais mais elevadas, é devido à proximidade com fossas e outras fontes de contaminação antropogênicas, como produtos químicos de uso pessoal e fertilizantes.

Em águas subterrâneas, a ocorrência do íon fosfato se dá em pequenas concentrações, uma vez que sua solubilização é muito difícil, dependendo de fatores como o pH, além de apresentar tendência de formar compostos com vários íons, como os óxidos e hidróxidos de ferro e alumínio, e coligações fortes com os minerais de argila (Amorim 2000, Shuqair 2002).

No que diz respeito aos três anos de monitoramento hidroambiental, as amostras situadas no município de Curuçá apresentaram valores de fosfato que corroboram os encontrados por autores como Imbiriba Jr (2019) e Araújo (2011). Segundo a Resolução CONAMA nº 396/2008 o Valor Máximo Permitido do referido íon em águas subterrâneas, para consumo humano, é de 1 mg/L.

De maneira geral, os dados mostram que as amostras de água referente a cidade de Curuçá apresentam melhores condições hidroambientais em relação as de Marapanim com o menor índice de contaminação dos aquíferos pelos ânions estudados.

5 CONCLUSÕES

A quantidade de amostras para cada município foi limitada, necessitando-se de estudos mais abrangentes, a fim de se obter uma descrição geral por município. Para uma avaliação mais completa da qualidade da água subterrânea, faz-se necessário (conforme estabelece a Resolução CONAMA nº 396/2008 e a portaria do Ministério da saúde nº 2.914/2011) a quantificação, também, dos cátions dissolvidos e dos componentes biológicos.

Com base na avaliação dos parâmetros físico-químicos analisados no presente trabalho, bem como pela determinação de ânions dissolvidos nas águas subterrâneas, cinco amostras das seis totais encontram-se dentro do padrão de qualidade estabelecido pela Resolução CONAMA nº 396/2008 e pela portaria do Ministério da saúde nº 2.914/2011, com exceção da amostra Marapanim 2018 que apresentou valores acima do permitido para o ânion nitrato (11,44mg/L).

Ademais, os valores obtidos das análises químicas estão dentro do esperado para o aquífero Pirabas na região do NE paraense segundo o levantamento bibliográfico.

Em um balanço geral, referente aos três anos de monitoramento hidroambiental, as amostras situadas no município de Curuçá apresentaram melhores condições ambientais naturais em relação as de Marapanim, com o menor indício de contaminação dos aquíferos pelos ânions estudados.

Dentro desta perspectiva e em concordância com o modelo hidrogeológico proposto por Palheta (2008), os valores que destoam das médias obtidas durante os três anos de monitoramento (cloreto, nitrato e sulfato) podem ter origem nos sistemas aquíferos mais rasos e mais vulneráveis, o aquífero Barreiras e Pós Barreiras, já que estes recebem

influência direta da superfície e ambas cidades (Curuçá e Marapanim) possuem menos de 26% de esgotamento sanitário adequado (IBGE 2010).

Este é um fato que deve ser levado em consideração na construção de uma gestão sustentável dos recursos hídricos destas cidades, pois, ambas utilizam exclusivamente, no seu sistema de distribuição de água, aquíferos subterrâneos profundos, e contaminantes antrópicos gerados em superfície podem atingir estes aquíferos, comprometendo assim, a qualidade hidroambiental dessas águas e o bem

estar da população.

Espera se, então, que os resultados obtidos no presente trabalho contribuam para um banco de dados, assim como incentivo à realização de mais estudos sobre este tema, de iniciativa particular e pública, a fim de servir como subsídio para tomadas de decisões no âmbito da gestão ambiental sustentável, não só na mesorregião do nordeste, mas como em todo o estado do Pará.

REFERÊNCIAS

- Agenda 2030 das Organizações das Nações Unidas-ONU. ano. *Transformando nosso mundo: objetivos do desenvolvimento sustentável*. Disponível em: <https://nacoesunidas.org/pos2015/agenda2030/>. Acesso em 20 de setembro de 2019.
- Agostini M. 2011. *Fluorose dentária: uma revisão da literatura. Trabalho de Conclusão de Curso*. Curso de Especialização em atenção básica em saúde da família. Universidade Federal de Minas Gerais - UFMG. 27p.
- Amorim H. S. 2000. *Caracterização geoquímica e avaliação da qualidade das águas subterrâneas do aquífero freático da cidade de Bragança, Pará*. MS Dissertation, Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica, Universidade Federal do Pará.
- Agência Nacional das Águas - ANA. 2005. *Caderno de recursos hídricos. Panorama da qualidade das águas subterrâneas no Brasil*. Brasília, DF, Ministério do Meio Ambiente, 74p.
- Agência Nacional das Águas - ANA. 2019. *Estudos hidrogeológicos para a gestão das águas subterrâneas da região de Belém/PA*.
- Araújo P. P. 2011. *Avaliação dos compostos nitrogenados no aquífero livre em agroecossistemas de citros no Alto Rio Capitão Pocinho, Amazônia Oriental*. PhD Thesis, Universidade Federal Rural da Amazônia e Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA, 175p.
- Araújo P. P., Oliveira F. A., Cavalcante I. N., Queiroz J. C. B., Carneiro, B. S., Tancredi A. C. F. N. S. 2011. Classificação hidroquímica e contaminação por nitrato no aquífero livre barreiras na bacia do rio Capitão Pocinho, região do médio rio Guamá, na Amazônia Oriental. *Ambi- Agua, Taubaté*, 6(2): 266-281.
- Acessoria de Comunicação - ASCOM. Polícia Militar do Pará. 2019. *Carnaval em Curuçá teve reforço de efetivo da polícia militar*. Disponível em: <https://www.pm.pa.gov.br/?q=node/2493>. Acesso em: 3 de novembro 2019.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT. 2010. *NBR15847: Amostragem de água subterrânea em poços de monitoramento – métodos de purga*. Rio de Janeiro, 14p.
- Bandeira I.C.N. *Neotectônica e estruturação dos sistemas hidrogeológicos da região de Castanhal/PA*. MS Dissertation, IG, UFPA, Belém. 2008, 144p.
- Bemerguy R. L., Costa, J. B. S., Hasui, Y., Borges, M. S. 1995. Tectônica e Paleogeografia da calha do rio Amazonas. *In: SBG, 5º Simpósio Nacional de Estudos Tectônicos*, 5., Gramado. *Anais...* Porto Alegre, p. 419-420.
- Berredo J. F., Ribeiro H. M. C., Sales M. E. da C., Silva, A. B. da, Nascimento, K. A. F. do, Martins M. G. M, Barbosa S. S de, Deus J. da S., Oliveira M. de L.S. 2008. *Caracterização química, físico-química e microbiológica da água superficial da Baía do Guajará, Belém-Pará*. Disponível em: www.iepa.ap.gov.br/temp1/IEPA/CPAq/PETRRORISCO/OUTROS/JoseBerredo_resumo_Petrorisco_PA.pdf. Acesso em: 20 de outubro de 2019.

Borges, L. A. C; Rezende, J. L. P E Coelho Júnior, L. M. Aspectos Técnicos e Legais que Fundamentam o Estabelecimento das APP nas Zonas Costeiras – Restingas, Dunas e Manguezais. Revista da Gestão Costeira Integrada 9(1), p. 39-56, 2009. 18p.

Borges, M. S.; Costa, J. B. S.; Bemerguy, R. L.; Fernandes, J. M. G. Costa, M. L.; Hasui, Y. 1995. Evolução neotectônica da região nordeste do estado do Pará. *In: Simpósio Nacional de Estudos Tectônicos*, 5. Gramado. Anais... Porto Alegre: SBG. p. 421-422

Branco, F.O.L. *Composição aniônica e parâmetros físico-químicos de águas subterrâneas: subsídio à gestão ambiental do nordeste paraense*. Trabalho de Conclusão de Curso. Faculdade de Oceanografia – Instituto de Geociencia – UFPA. Belém 2018.

Brasil. Lei 9.433, de 08 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o sistema nacional de gerenciamento de recursos hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição federal, e altera o art. 1º da Lei 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei 7.990, de 28 de dezembro de 1989. Lex: Diário Oficial da União. Seção 1, p. 470. Brasília, 09 de janeiro 1997.

Brasil. Ministério da Saúde. Portaria nº 2.984: Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Publicada em 12 de dezembro de 2011.

Boulhosa, M; Souza Filho, P. W. (2009). Reconhecimento e mapeamento dos ambientes costeiros para geração de mapas de ISA ao derramamento de óleo, Amazônia oriental. Revista Brasileira de Geofísica.

Cabral N. M. T. 2004. *Impacto da urbanização na qualidade das águas subterrâneas nos bairros do Reduto, Nazaré e Umarizal – Belém/PA*. PhD Thesis, Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica, Universidade Federal do Pará, 278p.

Companhia Ambiental do Estado de São Paulo – CETESB. 2011. Guia nacional de coleta e preservação de amostras: água, sedimento, comunidades aquáticas e efluentes líquidos. Companhia ambiental do Estado de São Paulo; Organizadores: Carlos Jesus Brandão [et al.]. – São Paulo: CETESB; Brasília: ANA, 2011, 326pp.

Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA. 2008. 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. Brasília, DF.

Costa D. D., Kempka A. P., Skoronski E. 2016. A contaminação de mananciais de abastecimento pelo nitrato: o panorama do problema no Brasil, suas consequências e as soluções potenciais. Revista Eletrônica do PRODEMA. Fortaleza, Brasil, 10(2): 49-61.

Costa J.B.S. & Hasui, Y. 1997. Evolução Geológica da Amazônia. *In: Costa, M. L. & Angélica, R. S. (Cord.). Contribuições à Geologia da Amazônia*. Belém: FINEP/SBG. p 15-90.

Costa, J. B. S.; Bemerguy, R. L.; Hasui, Y.; Borges, M. S.; Ferreira Junior, C. R. P.; Bezerra, P. E. L.; Costa, M. L.; Fernandes, J. M. G. 1996. Neotectônica na região amazônica: aspectos tectônicos, geomorfológicos e deposicionais. Geonomos, 4 (2) 23-44.

- Costa, F. R. da. 2004. *Influência da neotectônica sobre os arranjos geométricos dos aquíferos na Região Metropolitana de Belém*. MS Dissertation, Belém: Universidade Federal do Pará. Instituto de Geociências. 157 p.
- Costa, J. B. S.; Borges, M. S.; Bemerguy, R. L.; Fernandes, J. M. G. Costa Junior, P. S. & Costa, M. L. 1993. Evolução cenozoica da região de Salinópolis, nordeste do estado do Pará. *Geociências* 12 (2): 373-396.
- Costa, J. B. S. ; Hasui, Y.; Bemerguy, R.L., Soares, Jr, A. V.; Villegas, J. M.M. 2002 Tectonic s and Paleogeography of the Marajó Basin, northen Brazil. *Anais Academia brasileira de ciências*, 74(3); 519-531.
- Debersten, P. K. *Biological mechanisms of dental fluorosis relevant to the use of fluoride supplements*. *Community dentistry and oral epidemiology*, 27:41-47, 199. 1999.
- Embrapa. Cordeiro, I. M. C.C; Arbage, M. J. C.; Schwartz, G. Nordeste do Pará: Configuração atual e aspectos identitários. 2017
- Feitosa, A. C.; Filho, J. M.; Feitosa, E. C.; Demetrio, J. G. Hidrogeologia conceitos e aplicações. CPRM - Serviço Geológico do Brasil, 3ª Ed. 2008. Serviço Geológico do Brasil.
- Fejerskov, O. Fluorose dentária – um manual para profissionais da saúde. São Paulo: Editora Santos, 1994.
- Ferreira, C. S.; Vilcalvi, M. A.; Macedo, A. C. M. 1984. Os limites meridionais da bacia de Pirabas, Estado do Pará. *In: SBG, 33º Congresso Brasileiro de Geologia*, Rio de Janeiro. Anais. v. 1, p. 326-329.
- Fraga C. G. *Origem de fluoreto em águas subterrâneas dos sistemas aquíferos Botucatu e Serra Geral da bacia do Paraná*. PhD Thesis. Programa de Pós Graduação em Recursos Minerais e Hidrogeologia, Universidade de São Paulo. 1992.
- Freddo, J. F. V. *Qualidade das águas subterrâneas rasas do aquífero barreiras: estudo de caso em Benevides – PA*. MS Dissertation, Programa de Pós-graduação em recursos hídricos (PPRH), Instituto de Geociências (IG), Universidade Federal do Pará. 2018.
- Furtado, A. M. M.; Ponte, F. C.; Mapeamento de Unidades de Relevo do estado do Pará. *In Revista GeoAmazonia*. Universidade Federal do Pará. Instituto de Filosofia e Ciências Humanas. Belém. 2013.
- Góes A. M., Rosseti D. F., Nogueira A. C. R., Toledo, P. M. 1990. Modelo deposicional preliminar da Formação Pirabas no nordeste do estado do Pará. *Bol. Mus. Para. Emilio Goeldi*. Sér. Ciências da Terra, 2:3-15, dez.
- Hager F. P. V. & Almeida M. L. 2008. Legislação aplicada às águas subterrâneas. *In: ABAS, 15º Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas*, p. 1-16. Disponível em: <https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/download/23747/15816>. Acesso em: 7 de outubro de 2019.

Hasui Y. 1990. Neotectônica e aspectos fundamentais da tectônica ressurgente no Brasil. *In: SBG, 1º Workshop sobre a Neotectônica e Sedimentação Continental Cenozoica no Sudeste do Brasil, Belo Horizonte. Boletim. p. 1-31.*

Hasui Y. 1996. Evolução geológica da Amazônia. *In: SBG, 5º Simpósio de Geologia da Amazônia, Belém. Anais. Belém, p. 31-34.*

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE. Censo 2010. *In: <http://censo2010.ibge.gov.br/> Acesso em: 4 de setembro de 2019.*

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE. 2019. *Censo estimado. Pesquisado em 12 de outubro. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/populacao/9103-estimativas-de-populacao.html>. Acesso em: 17 de outubro de 2019.*

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE. Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais. 2009. *Manual técnico de geomorfologia*, 2. ed. Rio de Janeiro, 182 p. (Manuais técnicos em geociências, ISSN 0103-9598; n. 5).

Igreja H. L. S., Alves R. J., Costa Júnior P. S., Costa J. B. S. 1990. Estudos neotectônicos nas ilhas de Outeiro e Mosqueiro - NE do Estado do Pará. *In: SBG, 36º Congresso Brasileiro de Geologia, Natal. Anais v. 5, p. 2110-2123.*

Instituto De Desenvolvimento Florestal e Da Biodiversidade Do Estado Do Pará, Diretoria De Gestão Da Biodiversidade (IDEFLORBIO). Estudo do Meio Físico para a criação de Unidades de Conservação no Município de Curuçá/PA. 2019.

Imbiriba, Jr. M. Estudo hidrogeológico do aquífero Pirabas na cidade de Salinópolis, NE do Pará. MS Dissertation, Programa de pós graduação em recursos hídricos. Instituto de Geociências - UFPA. 2019.

Instituto La Mangue. Organização não governamental. 2017. *Curuçá - Pará.*

Köppen W. 1948. *Climatologia: con un estudio de los climas de la Tierra*. México, Fondo de Cultura Económica. 479p.

Martorano, L. G.; Perreira, L. C.; César, E. G. M.; Pereira, I. C. B. Estudos climáticos do Estado do Pará, classificação climática (KÖPPEN) e deficiência hídrica (THORNTHWHITE, MATHER). Belém: SUDAM/EMBRAPA, SNLCS, 1993. 53p.

Mascarenhas R.E.B. & Gama J.R.N.F. Extensão e característica das áreas de mangue do litoral paraense. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 1999. 20p. (Embrapa Amazônia Oriental, 2).

Matta M. A. S., Sena G. L. S., Cavalcante I. N., Cristo L. C. F., Martins J. A. C., Vasconcelos Y. B., Carmona K. M., Vanzin M. M. 2010. As águas subterrâneas do município de Curuçá-PA: qualidade e uso alternativo para o abastecimento público. *In: ABAS, 16º Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas & 17º Encontro Nacional de Perfuradores de Poços, São Luiz-Maranhão, p. 00-00.*

Matta M. A. S. 2002. *Fundamentos hidrogeológicos para gestão integrada de recurso hídrico da região de Belém/Ananindeua – Pará, Brasil*. PhD Thesis, Centro de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 292p.

Mendes 2000. *Geofísica aplicada ao mapeamento de aquíferos da região Metropolitana de Belém*. MS Dissertation, Centro de Geociências-CG, Universidade Federal do Pará, 72 p.

Ministério do Meio Ambiente dos Recursos Hídricos e da Amazônia Legal. 1997. Lei n. 9.433: Política Nacional de Recursos Hídricos. Brasília: Secretaria de Recursos Hídricos, 72p.

Ministério do Meio Ambiente - MMA. 2019. *Figura do ciclo hidrológico*. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/agua/recursos-hidricos/aguas-subterraneas/ciclo-hidrologico>. Acesso em: 20 de outubro de 2019.

Ministério do Meio Ambiente - MMA; Secretaria dos Recursos Hídricos e Ambiente Urbano. 2007. *Águas subterrâneas: um recurso a ser conhecido e protegido*. Brasília, DF.

Oliveira Filho, O. B. Q.; Galarza Toro, M. A.; Silva, W. C. M. Caracterização hidrogeoquímica dos sistemas aquíferos barreiras e Pirabas da região metropolitana de Belém (rmb) e investigação de possíveis misturas entre as águas. *In: Caderno de Geociências*, v. 14, n.1-2. Universidade Federal da Bahia (UFBA). 2018.

Oliveira Filho O.B.Q & Galarza M.A. 2013. Investigação de Mistura de Águas entre o Sistema Barreiras e Pirabas com base na assinatura Isotópica de Estrôncio (Sr) e Hidrogeoquímica em Ananindeua, Belém e Backgrounds comparativos nos Backgrounds comparativos nos Municípios de Benevides e Capanema (PA). *In. Contribuições à Geologia da Amazônia*, 8:177- 198.

Palheta E. S. M. 2008. *Estudo da compartimentação e arcabouço neotectônico da ilha de Mosqueiro-Pará empregado no conhecimento hídrico subterrâneo*. 2008. MS Dissertation, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 241p.

Paranhos P. F. 2010. *Caracterização hidroquímica do sistema aquífero Pirabas em Icoaraci, região metropolitana de Belém – Estado Do Pará*. MS Dissertation, Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica, Universidade Federal do Pará.

Parron, M.P., Muniz, D.H.F., Pereira, C.M., 2011. Manual de procedimentos de amostragem e análise físico-química de água. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Embrapa Florestas. ISSN 1980-3958, Documentos 232, Colombo – PR. Pinheiro.

Projeto Macrodiagnóstico da Zona Costeira e Marinha do Brasil, Ministério do Meio Ambiente. 2008.

Prost M. T., Mendes A.C., Faure J. F., Berrêdo J. F., Sales M. E. C., Furtado L.G., Silva M. G. S., Silva C. A., Nascimento I.; Gorayeb I., Secco M. F. V., Luz L.M. 2013. Manguezais e estuários da costa paraense: exemplo de estudo multidisciplinar integrado (Marapanim e São Caetano de Odivelas). *In: Prost M. T. & Mendes A. C. (orgs). Ecossistemas costeiros: impactos e gestão ambiental*. Belém, Museu Paraense Emílio Goeldi. p. 75-87.

Rede Integrada de Monitoramento de Águas Subterrâneas. 2006. Projeto promovido pelo Serviço geológico Nacional (CPRM). Relatório da leitura técnica da realidade do município de Marapanim.

Rossetti D. F. & Góes A. M. Geologia. 2004. *In: Rossetti D. F. & Góes A. M. (eds.). O neógeno da Amazônia Oriental*. Belém, Museu Paraense Emílio Goeldi p.13-52. (Coleção Friederich Katzer).

Rossetti D. F. 2006. Evolução sedimentar miocênica nos estados do Pará e Maranhão.

Geologia USP. Série Científica, 6 : 7-18.

Santos R. A. 2011. *Hidrogeoquímica das águas subterrâneas do município de Iraquara, Bahia*. MS Dissertation, Programa de Pós-Graduação em Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia, 118p.

Sauma Filho M. 1996. *As águas subterrâneas de Belém e adjacências: influência da formação Pirabas e parâmetros físico-químicos para medidas de qualidade Pará, Brasil*. MS Dissertation, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 128 p.

Secretaria do Estado de Turismo - SETUR. 2017. *Inventário turístico de Marapanim. Pará, Brasil*.

Shuqair S. M. S. 2002. *Estudo da contaminação do solo e água subterrânea por elementos tóxicos originados dos rejeitos das minas de carvão de Figueira no Estado do Paraná*. PhD Thesis, Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, Universidade de São Paulo. ix, 117p.

Silva I. R. F. 2015. *Caracterização hidrogeoquímica e isotópica ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$) dos sistemas aquíferos Barreiras e Pirabas Superior nos municípios de Castanhal e Santa Maria do Pará, Estado do Pará*. MS Dissertation, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 71 p.

Sombra D., Miranda Rocha G., Betania G. 2018. Unidades de paisagem e morfologia da zona costeira. In: Rocha G. de M. & Moraes S. C. de (orgs.). *Uso do território e gestão da zona Costeira do Estado do Pará*. Belém, Universidade Federal do Pará, p. 35- 39.

Souza, E.L. 1996. *Fatores controladores do quimismo de águas subterrâneas da região nordeste do Pará*. PhD Thesis, Programa de Pós Graduação em Geologia e Geoquímica. Centro de Geociências. UFPA - Belém.

Távora V. A., Pontes K. G. A. P., Mesquita N. 2005. Sistemática e tafonomia dos cirrípedes balanomorfos da formação Pirabas (eomioceno), Estado do Pará, Brasil. *Arquivos do Museu Nacional*, Rio de Janeiro, 63 (3): 459-470.

Teixeira J. M. J. *Diagnóstico dos sistemas de abastecimento de água e esgotamento sanitário de Marapanim: um olhar sobre o distrito de marudá e sede municipal*. MS Dissertation, Programa de pós graduação em recursos naturais e desenvolvimento sustentável local na amazonia. Núcleo de meio ambiente - UFPA. 2015.

Valente M.A., Silva L.G.T., Oliveira R.R.S., Pimentel G. M., Nascimento D. L. O. 2013. Mapeamento de solos das áreas de duas mesobasicas hidrograficas no nordeste paraense. In: CBCS, 33º Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, Uberlândia - Minas Gerais. *Resumos expandidos*. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/59916/1/Ok-PA-CBCS33-Moacir-a-Valente.pdf>. Acesso em: 16 de outubro de 2019.

Von Sperling, M. 1996. *Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos*. 2ª ed. Belo Horizonte, Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Minas Gerais, 243 p.