

UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO - UFMA
CENTRO DE CIÊNCIAS DE SÃO BERNARDO - CCSB
CURSO DE LICENCIATURA EM CIÊNCIAS NATURAIS/QUÍMICA

MAYKE SANTOS ABREU

AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS PARA
ABASTECIMENTO PÚBLICO DO MUNICÍPIO DE SÃO BERNARDO MARANHÃO

SÃO BERNARDO - MA

2024

MAYKE SANTOS ABREU

**AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS PARA
ABASTECIMENTO PÚBLICO DO MUNICÍPIO DE SÃO BERNARDO MARANHÃO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Licenciatura em Ciências Naturais/Química, da Universidade Federal do Maranhão, Centro de Ciências São Bernardo, como requisito para obtenção do título de Licenciado em Ciências Naturais/Química.

Orientadora: Prof.^a Dra Maria Do Socorro Evangelista Garreto.

SÃO BERNARDO - MA

2024

MAYKE SANTOS ABREU

**AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS PARA
ABASTECIMENTO PÚBLICO DO MUNICÍPIO DE SÃO BERNARDO MARANHÃO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Licenciatura em Ciências Naturais/Química, da Universidade Federal do Maranhão, Centro de Ciências São Bernardo, como requisito para obtenção do título de Licenciado em Ciências Naturais/Química.

Orientadora: Prof.^a Dra Maria Do Socorro Evangelista Garreto.

Apresentado em: 03 / 09 /2024

BANCA EXAMINADORA

Documento assinado digitalmente
 **MARIA DO SOCORRO EVANGELISTA GARRETO**
Data: 05/09/2024 10:44:20-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof^a Dr^a. Maria do Socorro Evangelista Garreto
Universidade Federal do Maranhão – CCNQ CCSB

Documento assinado digitalmente
 **JOSBERG SILVA RODRIGUES**
Data: 05/09/2024 10:01:28-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Josberg Silva Rodrigues
Universidade Federal do Maranhão – CCNQ CCSB

Documento assinado digitalmente
 **VILMA BRAGAS DE OLIVEIRA**
Data: 03/09/2024 23:59:11-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof.^a Dra Vilma Bragas de Oliveira
Universidade Federal do Maranhão – CCNQ CCSB

Dedico este trabalho à minha mãe, ao meu pai, a toda a minha família e a todos aqueles que sempre me deram apoio e acreditaram em minhas capacidades.

AGRADECIMENTOS

Dedico meus agradecimentos primeiramente a Deus por me proporcionar todas as oportunidades de crescer como pessoa e por me dar a força de vontade e caráter para enfrentar todas as dificuldades que a vida nos impõe, pois apenas com ele chegaremos ao topo.

Agradeço à Universidade Federal do Maranhão e a minha professora orientadora Maria do Socorro Evangelista Garreto por proporcionarem a construção dos saberes que tornaram possível a produção deste trabalho.

A minha mãe e minha família, que sempre me deram o apoio e o incentivo para continuar estudando e me tornando uma pessoa melhor. Muitas vezes, já estive desesperançoso, porém com seu apoio eu tive forças para me levantar e chegar onde estou hoje. E por fim, a todos os meus amigos que estiveram comigo nos momentos bons e ruins, a jornada acadêmica pode ser um caminho árduo, mas, com a companhia de todos, nenhum obstáculo é suficiente para nos parar.

RESUMO

As águas subterrâneas são vitais para o abastecimento urbano, rural e para diversas atividades econômicas, além de sustentarem ecossistemas aquáticos como rios, lagos, mangues e pântanos. Ao longo das últimas décadas tem-se notado que os aquíferos vêm sofrendo deterioração progressiva, que ocorrem em áreas urbanas e rurais e afeta a qualidade e a quantidade da água disponível para consumo humano. Deste modo, este trabalho teve por objetivo avaliar a qualidade das águas subterrâneas da cidade de São Bernardo - MA em termos dos parâmetros físico-químicos e de acordo com a legislação brasileira. A metodologia seguiu os preceitos da análise quantitativa a partir do monitoramento dos parâmetros alcalinidade, dureza, Ca^{2+} , Mg^{2+} , cloreto, temperatura, pH, condutividade elétrica, efetuadas por titulações e aparelhos para aferição de parâmetros específicos. Para isso, foram determinados e demarcados os pontos de coleta, com a realização de seis coletas de amostras entre maio de 2023 e abril de 2024, englobando os períodos chuvosos e de estiagem da região, com as amostras sendo coletadas em cinco poços específicos no território da cidade de São Bernardo – MA. Nenhum dos poços apresentou valores para a dureza total acima do VMP para este parâmetro, porém, quatro dos cinco os poços detiveram valores de cloreto acima de 250 mg/L, além de pH abaixo de 6, tornando suas águas impróprias para o consumo humano segundo a Portaria nº 888, de 4 de maio de 2021 do Ministério da Saúde, sendo que apenas o P5 atende aos requisitos estabelecidos.

Palavras-chave: Águas subterrâneas. Parâmetros Físico-químicos. São Bernardo - MA.

ABSTRACT

Groundwater is essential for supplying cities and the countryside. It serves as an input for various economic activities, in addition to sustaining several aquatic systems such as rivers, lakes, mangroves, and swamps. Over the last few decades, it has been noted that aquifers have been undergoing progressive deterioration, which occurs in urban and rural areas and affects the quality and quantity of water available for human consumption. Thus, knowing the importance of water for society, this study aimed to evaluate groundwater quality in the city of São Bernardo - MA in terms of physical-chemical parameters and by Brazilian legislation. The methodology followed the precepts of quantitative analysis based on the monitoring of the parameters alkalinity, hardness, Ca^{2+} , Mg^{2+} , chloride, temperature, pH, and electrical conductivity, carried out by titrations and devices for measuring specific parameters. To perform these analyses, the collection points were determined and demarcated. Six sample collections were carried out between May 2023 and April 2024, covering the region's rainy and dry seasons, in five specific wells in the city of São Bernardo, Maranhão. None of the wells presented values for total hardness above the VMP for this parameter. However, wells P1, P2, P3, and P4 had chloride values above 250 mg/L in one or more collections, in addition to pH values below 6, which makes the water from these wells unfit for human consumption according to Ordinance N°. 888 of May 4, 2021, of the Ministry of Health. Only P5 meets the established requirements.

Keywords: Groundwater. Physicochemical parameters. São Bernardo - MA.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Gráfico da distribuição da água na superfície terrestre.	17
Figura 2 - Mapa das bacias e sistemas hidrográficos do estado do Maranhão.....	20
Figura 3 - Localização espacial da bacia hidrográfica do rio Parnaíba.....	22
Figura 4 - Mapeamento com visualização para o trajeto do rio Buriti.....	30
Figura 5 - Mapeamento da disposição dos poços demarcados.....	31
Figura 6 - pHmetro microprocessado modelo AT-315.....	32
Figura 7 - Termômetro de mercúrio.....	33
Figura 8 - Condutivímetro modelo Cd-203.....	33
Figura 9 - Poço 1.....	36
Figura 10 - Poço 2.....	37
Figura 11 - Poço 4.....	38
Figura 12 - Poço 5.....	38

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Variação da alcalinidade em função do tempo em amostras de água subterrânea.	41
Gráfico 2 - Variação da alcalinidade em função dos poços em amostras de água subterrânea.	42
Gráfico 3 - Variação da dureza total em termos de CaCO_3 em função do tempo em amostras de água subterrânea.	43
Gráfico 4 - Variação da dureza total em termos de CaCO_3 em função dos poços em amostras de água subterrânea.	44
Gráfico 5 - Variação da dureza em relação a Ca^{2+} em termos de CaCO_3 em função do tempo em amostras de água subterrânea.	45
Gráfico 6 - Variação da dureza em relação a Ca^{2+} em termos de CaCO_3 em função dos poços em amostras de água subterrânea.	46
Gráfico 7 - Variação da dureza em relação a Mg^{2+} em termos de CaCO_3 em função do tempo em amostras de água subterrânea.	47
Gráfico 8 - Variação da dureza em relação a Mg^{2+} em termos de CaCO_3 em função dos poços em amostras de água subterrânea.	48
Gráfico 9 - Variação do cloreto em função do tempo em amostras de água subterrânea.....	50
Gráfico 10 - Variação do cloreto em função dos poços em amostras de água subterrânea.....	50
Gráfico 11 - Variação do pH em função do tempo em amostras de água subterrânea.....	52
Gráfico 12 - Variação do pH em função dos poços em amostras de água subterrânea.....	52
Gráfico 13 - Variação da condutividade elétrica em função do tempo em amostras de água subterrânea.....	54
Gráfico 14 - Variação da condutividade elétrica em função dos poços em amostras de água subterrânea.....	54

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Padrões da Dureza da água.....	28
Tabela 2 - Procedimentos metodológicos utilizados.	34
Tabela 3 - Temperaturas in loco.	40
Tabela 4 - Dados aferidos para alcalinidade (mg/L de CaCO ₃).	40
Tabela 5 - Dados aferidos para Dureza Total nas águas subterrâneas (mg/L de CaCO ₃).	42
Tabela 6 - Dados aferidos para a dureza em termos de Ca ²⁺ (mg/L).	44
Tabela 7 - Dados aferidos para a dureza em termos de Mg ²⁺ (mg/l).....	46
Tabela 8 - Dados aferidos para cloreto (mg/L).....	48
Tabela 9 - Dados aferidos para o pH das águas subterrâneas.....	51
Tabela 10 - Dados aferidos para a condutividade elétrica de cada amostra (µS/cm).....	53
Tabela S1 - volumes obtidos em todas as análises realizadas em laboratório deste trabalho e tratamento estatístico dos dados.	64

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

EDTA – Ácido etilenodiaminotetracético (do inglês Ethilene Diamine Tetraacetic Acid)

pH – Potencial hidrogeniônico

CE - Condutividade elétrica

UNESCO - United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization

ANA - Agência Nacional de Águas

CONAMA - O Conselho Nacional do Meio Ambiente

SINGREH - Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos

PNRH – Política Nacional de Recursos Hídricos

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

VPM - Valores Máximos Permitidos

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	14
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	16
2.1 Água, essencial para a vida	16
2.2 Distribuição da água no planeta terra	17
2.2.1 Distribuição da água no Brasil	18
2.2.2 Distribuição da água no Maranhão	19
2.2.3 Bacia hidrográfica do Parnaíba	21
2.3 Águas subterrâneas.....	23
2.4 Legislação brasileira sobre os recursos hídricos	24
2.5 Parâmetros físico-químicos e qualidade da água.....	26
2.5.1 Temperatura	26
2.5.2 Potencial Hidrogeniônico (pH)	26
2.5.3 Condutividade elétrica (CE).....	27
2.5.4 Dureza	28
2.5.5 Cloreto (Cl ⁻)	28
2.5.6 Alcalinidade total	29
3 METODOLOGIA.....	30
3.1 Pontos de coleta e amostragem	30
3.1.1 Identificação e seleção dos poços	30
3.2 Determinação dos parâmetros físico-químicos	32
3.2.1 Alcalinidade	34
3.2.2 Dureza total	34
3.2.3 Cloreto (Cl ⁻)	35
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	36
4.1 Caracterização dos poços	36
4.2 Estudo da Qualidade das águas a partir dos parâmetros físico-químicos.....	39

4.2.1 Temperatura	39
4.2.2 Alcalinidade	40
4.2.3 Dureza total	42
4.2.4 Dureza Ca ²⁺	44
4.2.5 Dureza Mg ²⁺	46
4.2.6 Cloreto.....	48
4.2.7 potencial hidrogeniônico (pH)	51
4.2.8 Condutividade Elétrica (CE).....	53
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	55
REFERÊNCIAS	57
APÊNDICES	63

1 INTRODUÇÃO

Dentre todos os recursos naturais, indiscutivelmente a água é o mais importante para o desenvolvimento humano tendo em vista que, em geral, as primeiras grandes civilizações se originaram em locais com grande abundância hídrica, prosperando com a construção de grandes sistemas de irrigação, tornando o solo fértil e caindo em ruína com a escassez de água (BRUNI, 1993).

Em particular, as águas subterrâneas possuem um papel de suma importância para a vida, pois sustentam vários sistemas aquáticos como rios, lagos, mangues e pântanos, além de abastecerem as cidades e o campo e servirem de insumo para diversas atividades econômicas (HIRATA et al., 2019). Cerca de metade do abastecimento global de água para uso doméstico provém das reservas subterrâneas, enquanto aproximadamente de 25% de toda a água captada para a irrigação (UNESCO, 2023).

Este grande uso se dá em muitos casos pelo fato que as águas de fontes subterrâneas por sua localização são mais protegidas que as águas superficiais, entretanto podem ser poluídas ou contaminadas quando os poluentes atravessam a porção não saturada do solo, sendo as principais potenciais fontes de contaminação: os lixões; aterros sanitários mal geridos; incidentes envolvendo substâncias tóxicas; práticas inadequadas de armazenamento, manuseio e descarte de matérias-primas, produtos, efluentes e resíduos em atividades industriais, entre outros. (CETESB, 2013).

O município de São Bernardo – MA apresenta um constante crescimento populacional, possuindo em 2019 uma área urbanizada de 7,11 km², com uma população de 26.943 pessoas e densidade demográfica de 26,79 habitantes por quilômetro quadrado. Entretanto, possui apenas 11,1% de domicílios com esgotamento sanitário adequado, o que representa risco aos recursos hídricos locais (IBGE, 2023).

Desse modo, as análises físico-químicas da água visam identificar e quantificar os elementos e espécies iônicas presentes nesses compostos, assim como os seus efeitos e propriedades, possibilitando a compreensão de seus processos naturais e também alterações causadas ao meio ambiente e aos seres vivos. Conhecer suas propriedades físicas e químicas e suas interações permite identificar como, quais e em que níveis eles podem ser adversos aos ecossistemas e à saúde humana. Ao comparar os teores determinados por estas análises com os padrões já conhecidos e determinados por portarias e resoluções legais, que dão subsídios aos

laboratórios na expedição de seus laudos, pesquisadores emitem laudos acerca da qualidade da água (MUNIZ; PARRON; PEREIRA, 2011).

Diante dessa problemática e sabendo-se da importância dos mananciais subterrâneos para subsistência da população torna-se necessário este estudo que teve como objetivo principal Avaliar a qualidade da água dos mananciais subterrâneos de abastecimento público do município de São Bernardo - MA levando em consideração os parâmetros físico-químicos alcalinidade total, dureza total, teor de cloreto, pH, temperatura, e condutividade de acordo com a legislação para água potável e como objetivos específicos; caracterizar a área de estudo; identificar os poços existentes no município de São Bernardo - MA; monitorar quantitativamente e temporalmente as águas subterrâneas por meio de análises físico-químicas; avaliar a qualidade das águas subterrâneas segundo legislações vigentes; definir as áreas de risco potencial à contaminação das águas subterrâneas e classificar a partir das variáveis estudadas, a qualidade das águas com base na resolução CONAMA nº 396, de 3 de abril de 2008 e portaria gm/ms nº 888, de 4 de maio de 2021 do Ministério da Saúde.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Água, essencial para a vida

A água é indiscutivelmente o recurso natural mais importante para a vida na terra, pois todos os seres vivos conhecidos no planeta dependem dela para exercerem suas funções metabólicas, e até mesmo são constituídos em grande parte por ela. Além disso, algumas das teorias mais aceitas para com o surgimento da vida sugerem que ela veio por meio de processos químicos advindos da água (BRUNI, 1993).

Ela é o composto inorgânico que representa a maior parcela dentre os constituintes da matéria viva, onde nos seres humanos representa cerca de 60% de seu peso, nas plantas, esse valor pode atingir 90% e em certos tipos de seres aquáticos pode chegar a até 98%, valores que trazem evidência sua indispensabilidade para a sobrevivência e funcionamento dos organismos (BASSOI, 2014).

Antigamente, acreditava-se que a água fosse um recurso inesgotável, uma vez que a beleza dos mananciais de águas límpidas e a sensação de abundância proporcionada pelo ecossistema sugeriam uma fonte renovável infindável. Apesar de cerca de 75% da superfície terrestre ser coberta por água, surge o paradoxo da escassez devido à distribuição desigual desse recurso pelo globo (TUNDISI, 2003).

A qualidade do fornecimento de água potável para a população é um dos principais indicadores de qualidade de vida em um país, visto que inúmeras doenças se originam no consumo de água contaminada. Em países subdesenvolvidos, por volta de 80% das doenças estão relacionadas com o consumo de água não tratada, sendo o causador de cerca de 3 milhões de mortes prematuras (BORGHETTI et al,2004).

Este recurso é largamente utilizado pelo homem em inúmeros tipos de usos, podendo variar entre abastecimento de residências e no lazer, a até na indústria, em atividades agrícolas, no comércio, na pecuária, como meio de locomoção através dos rios, lagos ou mares e ainda é amplamente empregada na geração de energia, como é o caso das usinas hidroelétricas e em vários outros métodos que consistem em girar turbinas através do movimento da água (BRUNI, 1993; JACOBI; GRANDISOLI, 2017).

Diante dos fatos, é inegável a necessidade de haver preocupação no que diz respeito à preservação dos recursos hídricos disponíveis para o abastecimento humano. A Organização

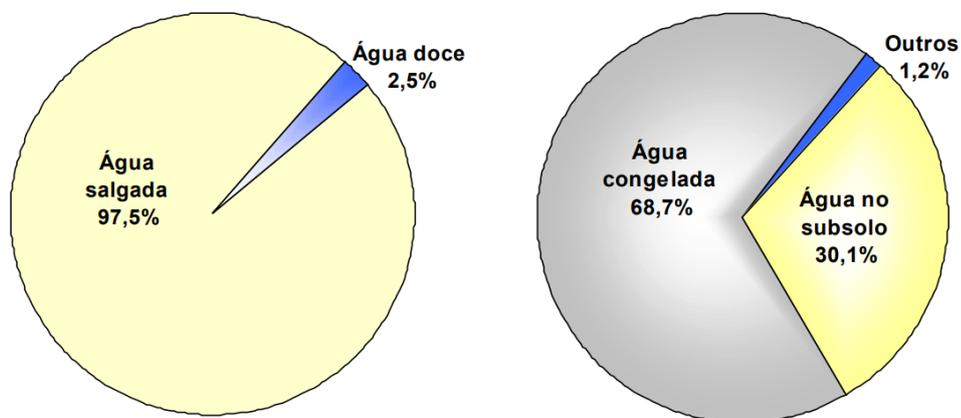
das Nações Unidas (ONU) vem se preocupando em discutir o tema em âmbito internacional, e em 1992, redigiu a declaração Universal dos Direitos da Água, afirmando que a água é um recurso primordial e indispensável para a manutenção e sobrevivência da vida na terra, deste modo, o futuro da humanidade depende de sua preservação.

2.2 Distribuição da água no planeta terra

O planeta terra possui grandes quantidades de água em sua superfície, tanto que a hidrosfera, que representa toda a água presente no planeta terra, ocupa 73% da superfície terrestre, com os oceanos representando a maior parte dessa quantidade. Os 29% restantes são constituídos por massas terrestres, como continentes e ilhas, sendo também um importante componente da atmosfera (MUNIZ; PARRON; PEREIRA, 2011).

Apesar da grande quantidade, uma parcela quase totalitária, cerca de 97,5%, da água do planeta está localizada nos mares e é imprópria para o consumo humano (água salgada), pois possui grandes concentrações de sal, fazendo com que quase não aja usos significativos, a não ser que passe por processos de dessalinização, porém, este é um processo muito caro, o que o torna praticamente inviável para a grande maioria dos contextos mundiais. A fração restante que representa 2,5% do total corresponde a água doce, onde esta sim é considerada própria para o consumo, porém, além do fato de representar uma ínfima parte do total de água disponível no planeta, boa parte dela está localizada nas calotas polares na forma de gelo (cerca de 2,38%), 0,39% corresponde às águas subterrâneas, 0,029% estão em lagos e rios e 0,001% na atmosfera (GOMES, *et al.* 2008; VITORINO, 2007).

Figura 1 - Gráfico da distribuição da água na superfície terrestre.



Fonte: Lima, 2001.

Além disso, a disponibilidade hídrica entre os continentes também ocorre de maneira desigual, tendo em vista que a maior concentração de água doce se encontra na América, com cerca de 39,6%, seguido pelo continente asiático com 31,8%. Já a África, em relação a seu tamanho e população, frequentemente sofre a falta de água, tendo em seu território cerca de 9,7% da água doce do mundo. O continente com menor volume de água doce é a Oceania, concentrando apenas 3,9% da água doce disponível (ANA [201-?], apud SOUSA, [2019?])

Essa desigualdade também se reflete nos países, onde a maioria das reservas de água do mundo encontra-se concentrada em poucos países, sendo eles: Estados Unidos, Canadá, Colômbia, Brasil, República Democrática do Congo, Rússia, Índia, China e Indonésia. O restante das nações encontra dificuldades, em algum nível, em relação ao abastecimento de sua população (GRASSI, 2013).

Estudos realizados pela Organização Meteorológica Mundial das Nações Unidas (OMM) citados por Almeida 2013, revelam que cerca de um terço da população global reside em áreas onde a escassez de água é um sério problema. Além disso, se nenhuma medida for tomada em relação à melhoria da oferta de água no planeta, as reservas hídricas estão propensas a deteriorarem ainda mais.

Com o tempo, é provável que este problema se agrave ainda mais, pois segundo a UNESCO (2023), nas últimas décadas, o consumo de água vem crescendo cerca de 1% ao ano, sendo a maior parte desse aumento advinda de países com economias emergentes, sendo este o caso do nosso país. Alguns dos fatores causadores desse crescimento é uma combinação de desenvolvimento socioeconômico, crescimento populacional e mudanças nos padrões de consumo.

2.2.1 Distribuição da água no Brasil

O Brasil possui um território muito grande, ocupando sozinho quase metade da América do Sul, sendo o maior país do continente e o quinto maior do mundo, tendo uma superfície total de 8.544.416 km² (TUCCI; HESPANHOL; NETTO. 2001). O país também possui privilégios em relação a abundância de seus recursos hídricos, pois possui cerca de 28% das reservas disponíveis no continente sul-americano, o que representa aproximadamente 12% de todas as reservas mundiais, sendo a maior reserva hidrológica do planeta (VITORINO, 2007).

Apesar dos grandes volumes de água no território brasileiro, sua distribuição é bastante desigual, levando em conta que boa parte (cerca de 81%) se concentra na região hidrográfica do Amazonas, onde a densidade populacional é baixa, representando apenas cerca de 5% da população brasileira. Por outro lado, nas regiões hidrográficas banhadas pelo Oceano Atlântico que abrigam 45,5% da população do país, apenas 2,7% dos recursos hídricos do Brasil estão disponíveis (ANA, 2015).

Deste modo, a disposição deste recurso em relação às regiões do Brasil apresenta grande desproporção, visto que na região norte, onde à pouca demanda devido à baixa densidade populacional. Em contrapartida, o oposto ocorre na região nordeste, em vista ao fato que é a região com a menor disponibilidade hídrica do país, devido a diversos fatores, como a alta evapotranspiração, precipitação escassa e subsolo predominantemente de baixa capacidade de retenção hídrica, combinados com um nível baixo de desenvolvimento econômico e social, além de possuir demanda populacional bastante superior à da Amazônia (TUCCI; HESPANHOL; NETTO, 2000).

Os recursos hídricos são distribuídos em cada região da seguinte forma: a região norte possui a maior parcela da água do país (mais de 70%) abrangendo a bacia Amazônica e parte da bacia Tocantins-Araguaia. O Centro-Oeste detém de aproximadamente 15% desses recursos, incluindo parte das bacias Paraná-Paraguai e São Francisco, 12% para as regiões Sul e Sudeste (bacias Uruguai e Atlântico Sul-Sudeste e parte das bacias Paraná-Paraguai, São Francisco e Atlântico Leste) expressando o maior consumo do país, e por fim, o Nordeste conta com apenas 3% dos recursos hídricos, incluindo partes das bacias Atlântico Norte-Nordeste, São Francisco e Atlântico Leste. (CASTRO, 2022).

Além do mais, é notório o fato de que grande parte da população brasileira vivencia baixos níveis de oferta de água, que decorrem da junção de fatores como as cada vez mais longas e frequentes estiagens e a degradação da natureza. Isso leva à redução da capacidade de armazenamento de água no solo e nos corpos d'água, além de afetar negativamente a qualidade da água disponível. (MOTTA; GONÇALVES, 2016).

2.2.2 Distribuição da água no Maranhão

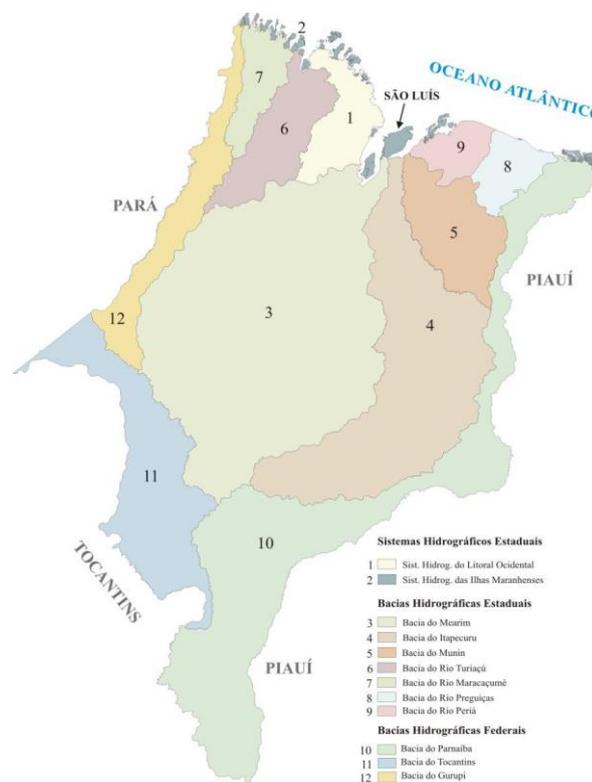
Com uma área de aproximadamente 331.983,29 quilômetros quadrados e abrangendo 217 municípios, o Estado do Maranhão é considerado o oitavo maior do Brasil e o segundo maior do Nordeste, possuindo uma população de mais de 7 milhões de habitantes. Além disso,

é reconhecido por possuir um enorme potencial de recursos hídricos no país, principalmente na região nordeste, englobando dez bacias e mais dois sistemas hidrográficos (UEMA, 2016; PORTO; MOTTA; SOUZA, 2019).

O grande potencial hídrico do estado é sustentado pela influência da Amazônia Oriental, que fornece uma generosa contribuição através de grandes quantidades de umidade para a atmosfera, favorecendo a formação de nuvens e potencializando os índices de chuva no território (SILVA, et al. 2010). Apesar da grande disponibilidade de água tanto em termos de quantidade quanto de qualidade, a exploração desses recursos requer orientação adequada para evitar sua degradação e a exaustão (PORTO; MOTTA; SOUZA, 2019).

De acordo com a Resolução n° 32/2003 do Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH) o estado do Maranhão faz parte de 3 Regiões Hidrográficas, sendo elas: Tocantins-Araguaia, Atlântico Nordeste Ocidental (onde estão inseridos os dois principais rios estaduais, Mearim e Itapecuru), e Parnaíba. A bacia hidrográfica que abrange o município de São Bernardo é a do rio Parnaíba, onde possui sua sede dentro dos limites da mesma (UEMA, 2016; PORTO; MOTTA; SOUZA, 2019).

Figura 2 - Mapa das bacias e sistemas hidrográficos do estado do Maranhão.



Fonte: Núcleo Geoambiental (UEMA/NUGEO, 2010).

Por meio do decreto N° 34847 de 14 de maio 2019, Art. 3º, o estado do Maranhão divide-se em doze bacias e sistemas hidrográficos, sendo eles três bacias hidrográficas federais (Bacia Hidrográfica do Rio Parnaíba, Bacia Hidrográfica do Rio Tocantins e Bacia Hidrográfica do Rio Gurupi), sete bacias hidrográficas estaduais (Bacia Hidrográfica do Rio Preguiças, Bacia Hidrográfica do Rio Peraiá, Bacia Hidrográfica do Rio Munim, Bacia Hidrográfica do Rio Itapecuru, Bacia Hidrográfica do Rio Mearim, Bacia Hidrográfica do Rio Turiaçu e Bacia Hidrográfica do Rio Maracaçumé) e dois sistemas hidrográficos estaduais (Sistema Hidrográfico do Litoral Ocidental e Sistema Hidrográfico das Ilhas Maranhense) (MARANHÃO, 2019).

2.2.3 *Bacia hidrográfica do Parnaíba*

A Bacia Hidrográfica Parnaíba é considerada como uma das mais importantes da região Nordeste do Brasil, ocupando 3,9% do território nacional (cerca de 333.056 km²). Ela abrange 279 municípios, dos quais 39 estão apenas parcialmente inseridos, ou seja, seus territórios se estendem além das fronteiras definidas para o vale, os demais possuem a totalidade de sua área territorial inserida na bacia. É dividida em três unidades hidrográficas: Alto Parnaíba, Médio Parnaíba e Baixo Parnaíba (ANA, 2015; MOTTA; GONÇALVES, 2016).

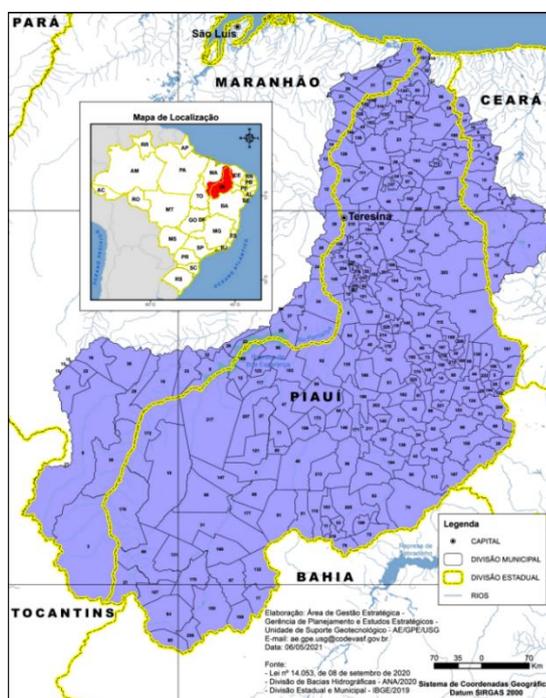
Ela está localizada na Região Nordeste do Brasil, onde sua área está inserida integralmente, fazendo parte de três estados, sendo eles Maranhão, Piauí e Ceará. Destacando-se como a maior dentre as bacias federais do estado, possuindo uma área de 66.449,09 km², correspondendo ao equivalente de 20,02%. Dentre os municípios que fazem parte dessa bacia, 39 são maranhenses, dos quais 32 tem seu território totalmente inserido nos limites da mesma e dentre eles, os mais populosos são: Balsas, Brejo, Coelho Neto, Pastos Bons, Santa Quitéria do Maranhão, São João dos Patos, Timon e Tutóia. Em termos populacionais, a bacia possui 717.723 habitantes, 10,9% do total do Estado, sendo que 235.154 (32,8%) na zona rural e 482.569 (67,2%) na área urbana, correspondendo a aproximadamente 10,80 hab./km², sendo cerca de duas vezes menor do que a densidade demográfica do Estado (UEMA, 2016).

A Resolução nº 32/2003 do Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH), definiu a bacia hidrográfica Parnaíba como uma das 12 regiões hidrográficas brasileiras. Ela é reconhecida como a segunda mais importante em termos hidrológicos na Região Nordeste, sendo a mais extensa entre as 25 bacias da Vertente Nordeste do País (MOTTA; GONÇALVES, 2016).

O Parnaíba é o principal rio dessa bacia, tendo uma extensão de mais de 1.400 quilômetros e sendo o divisor natural entre os Estados do Maranhão e do Piauí. Suas nascentes estão localizadas em altitudes de aproximadamente 750 metros na Serra da Tabatinga, que limita o Piauí com a Bahia, Maranhão e Tocantins. Estas nascentes dão origem aos cursos dos rios Lontras, Curriola e Água Quente, que, unidos, formam o rio Parnaíba, além disso, também é alimentado por águas superficiais e subterrâneas, tendo destaque os rios Balsas, Gurgueia, Piauí, Canindé, Poti e Longá. Após um percurso de 1.380,64 km chega à sua foz, onde é formado o delta do Parnaíba, também conhecido como delta das Américas, no Oceano Atlântico (CODEVASF, 2014; UEMA, 2016).

Apesar bacia Hidrográfica do Parnaíba apresentar menos sinais de degradação ao longo de sua extensão em relação com outras regiões hidrográficas brasileiras, como é o caso rio São Francisco, ela vem apresentando cada vez mais claras evidências do uso inadequado tanto de sua água quanto de seu solo, causadas sobretudo pelos elevados índices de poluição resultantes das altas carga de efluentes sanitários e de resíduos sólidos industriais e urbanos despejados em seus corpos hídricos (MOTTA; GONÇALVES, 2016).

Figura 3 - Localização espacial da bacia hidrográfica do rio Parnaíba.



Fonte: Codevasf, 2019.

Sua disponibilidade hídrica da região, levando em consideração a vazão regularizada pelos reservatórios da região, é de 379 m³/s, o que equivale menos de 0,5% da disponibilidade

hídrica nacional, que é de 91.071 m³/s. já a vazão média da região é a menor quando comparada com as outras regiões hidrográficas brasileiras, correspondendo a 0,43% (767 m³/s) da vazão média nacional (179.516 m³/s) (MOTTA; GONÇALVES, 2016).

2.3 Águas subterrâneas

São denominadas como águas subterrâneas aquelas que são encontradas abaixo da superfície do solo, ocupando completamente os poros das rochas e sedimentos para os chamados aquíferos. São cruciais para a segurança hídrica mundial, pois os aquíferos representam o maior reservatório de água potável da humanidade, compondo cerca de 97% das águas doces líquidas do planeta (HIRATA et al., 2019).

Segundo a Agência Nacional de Águas - ANA (2023), as águas de fonte subterrânea assim como as de fontes superficiais não possuem uma distribuição uniforme ao longo do território brasileiro, têm uma disponibilidade que gira em torno de 13.205 m³/s e suas características hidrogeológicas e de produtividade dos aquíferos possuem grandes variações, podendo ocorrer regiões com relativa abundância e enquanto em outras ocorre escassez. No final de dezembro de 2022, o Sistema de Informações de Águas Subterrâneas (SIAGAS) do Serviço Geológico do Brasil (SGB/CPRM) registrou um total de 358.291 poços, indicando um aumento de 3,5% em comparação com o ano anterior. Os sistemas aquíferos que possuem as maiores densidades de poços cadastrados são: Açu, Bauru - Caiuá, Guarani e Serra Geral.

Em uma determinada região, os recursos hídricos subterrâneos dependem da capacidade do aquífero em armazenar água e regularizar os períodos de estiagens dos rios e da recarga do aquífero, que é função do balanço hídrico.

Em média, na América do Sul, o escoamento subterrâneo exerce uma grande contribuição para a vazão total dos cursos d'água, sendo aproximadamente 36%, e no Brasil, existem aquíferos com balanço hídrico positivo com grande recarga. A classificação dos aquíferos se dá pelas suas características geológicas podendo ser dos tipos: sistemas porosos: rochas sedimentares; sistemas fissurados: rochas cristalinas e cristalofilianas; sistemas cársticos: rochas carbonáticas com fraturas. O sistema fissural ocupa aproximadamente 53,8% do território brasileiro, caracterizado por uma distribuição irregular de água subterrânea. As bacias sedimentares, por sua vez, ocupam cerca de 42% da extensão do país (TUCCI; HESPANHOL; NETTO. 2001).

O recurso natural mais extraído do subsolo brasileiro é a água subterrânea. São mais de 2,5 milhões de poços tubulares fornecem grandes volumes para os mais variados usos, supera os 17.580 Mm³/ano (o equivalente a 557 metros cúbicos por segundo) sem contar os poços escavados que possuem valores de abastecimento expressivos, porém não possuem dados registrados por possuírem vazões baixas. Esse volume é suficiente para atender, anualmente, a população atual do Brasil ou dez regiões metropolitanas do tamanho de São Paulo, o que representa cerca de 217 milhões de pessoas. (HIRATA, *et al.* 2019).

Sobre as águas subterrâneas, são necessárias que suas classes de qualidade sejam pautadas com base em suas especificidades, pois possuem características físicas, químicas e biológicas intrínsecas e contêm variações hidrogeoquímicas, apresentando diferentes contextos hidrogeológicos e podem ultrapassar os limites de bacias hidrográficas (CONAMA, 2008).

2.4 Legislação brasileira sobre os recursos hídricos

A primeira legislação brasileira em relação aos recursos hídricos foi o Decreto N°. 643/34 de 10 de julho de 1934, conhecido como “Código das Águas”, que classifica as águas como “águas em comuns, particulares e públicas”. Assim como estabelece os critérios para o uso, segundo os quais um dono de terras teria direito de apropriar-se a explorar por meio de poços ou de outros equipamentos as águas existentes debaixo da superfície de sua propriedade, porém, os recursos hídricos já estabelecidos como públicos ou privados não poderiam ser aproveitados ou desviados (BRASIL, 1934; ALMEIDA, 2021).

Com a promulgação da constituição federal do Brasil em 5 de outubro de 1988, estabeleceu novas definições:

Art. 20. São bens da União: os lagos, rios e quaisquer correntes de água em terrenos de seu domínio, ou que banhem mais de um Estado, sirvam de limites com outros países, ou se estendam a território estrangeiro ou dele provenham, bem como os terrenos marginais e as praias fluviais; Art. 26. Incluem-se entre os bens dos Estados: as águas superficiais ou subterrâneas, fluentes, emergentes e em depósito, ressalvadas, neste caso, na forma da lei, as decorrentes de obras da União (BRASIL, 1988).

No ano de 1981 foi promulgada a lei que define a Política Nacional do Meio Ambiente (PNMA) assim como suas finalidades e mecanismos de formulação e aplicação, a Lei Federal N°. 6.938. Esta lei cria também o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), sendo o órgão consultivo e deliberativo do Sistema Nacional de Meio Ambiente (SISNAMA). Por meio desta legislação, cabe ao CONAMA deliberar sobre normas e padrões que estejam em

conformidade com um ambiente ecologicamente equilibrado e em conformidade à saúde e qualidade de vida (BRASIL, 1981; ANA, 2023).

O Regimento Interno do conselho estabelece como competências a elaboração de resoluções, decisões, moções, recomendações e proposições, cada uma aplicável em diferentes áreas de atuação do órgão. As resoluções são utilizadas para deliberar sobre diretrizes, normas técnicas, critérios e padrões relacionados à proteção ambiental e ao uso sustentável dos recursos naturais (ALMEIDA, 2021).

Um recurso para garantir padrões de qualidade compatíveis com cada uso da água é o enquadramento dos corpos hídricos em classes segundo os usos preponderantes. Essas classes de qualidade são estabelecidas de acordo com os usos mais restritivos pretendidos ao longo do tempo. Neste sentido, A Resolução CONAMA nº 357/2005 é o instrumento de regulamentação para águas salinas, salobras e doces, a Resolução CONAMA nº 430/2011 dispõe sobre o lançamento de efluentes em corpos d'água receptores e a Resolução CONAMA nº 396/2008 dispõe sobre o enquadramento em águas subterrâneas (ANA, 2023).

Posteriormente, foi promulgada a Lei 27 n.º 9.433 de 8 de janeiro de 1997 conhecida como “Lei das águas”, criando o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos - SINGREH e instituindo a Política Nacional de Recursos Hídricos – PNRH, tendo como objetivos; garantir que as atuais e futuras gerações tenham acesso adequado à água, mantendo padrões de qualidade que atendam às necessidades específicas de uso; promover uma gestão integrada e sustentável dos recursos hídricos, incluindo o transporte aquaviário, visando o desenvolvimento sustentável; Implementar medidas preventivas e de defesa contra eventos hidrológicos críticos de origem natural ou causados pelo uso inadequado dos recursos naturais; estimular e facilitar a captação, conservação e uso das águas pluviais. (BRASIL, 1997).

No que diz respeito ao campo de ação do SINGREH, é responsabilidade do CNRH definir as diretrizes complementares para implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos. Deste modo, por meio deste órgão estão em vigor as seguintes resoluções: (ALMEIDA, 2021).

- Resolução CNRH Nº 91/2008, de 05 de novembro de 2008, dispõe sobre procedimentos gerais para o enquadramento dos corpos de água superficiais e subterrâneos (BRASIL, 2008).

- Resolução CNRH N° 92/2008, de 05 de novembro de 2008, estabelece critérios e procedimentos gerais para proteção e conservação das águas subterrâneas no território brasileiro (BRASIL, 2008).

2.5 Parâmetros físico-químicos e qualidade da água

As análises físico-químicas da água são importantes para identificação e quantificação dos elementos e espécies iônicas presentes na água assim como os seus efeitos e alterações causadas ao meio ambiente e aos seres vivos. Alguns constituintes da água como cálcio, magnésio, ferro e iodo são nutrientes fundamentais na constituição dos seres vivos. Entretanto cálcio e magnésio em combinação com carbonato, bicarbonato e sulfato formam precipitados que interferem com certos usos da água (MUNIZ; PARRON; PEREIRA, 2011).

2.5.1 Temperatura

As variações de temperatura fazem parte do regime climático natural, e os corpos de água apresentam flutuações sazonais e diurnas, além de estratificação vertical. A temperatura da superfície da água é influenciada por diversos fatores, como latitude, altitude, estação do ano, período do dia, taxa de fluxo e profundidade. No entanto, a elevação da temperatura em um corpo d'água é frequentemente causada por despejos industriais, e pelo funcionamento de usinas termoeletricas (CETESB, 2022).

A temperatura desempenha um papel crucial no ambiente aquático, afetando diversas variáveis físico-químicas. De modo geral, à medida que a temperatura aumenta, entre 0 e 30°C, observa-se uma redução na viscosidade, na tensão superficial, na compressibilidade, no calor específico, na constante de ionização e no calor latente de vaporização. Por outro lado, a condutividade térmica e a pressão de vapor tendem a aumentar. Além disso, a temperatura influencia diretamente o consumo de água, a fluoretação, a solubilidade e a ionização das substâncias coagulantes, as variações de pH e etc. (BRASIL, 2009; CETESB, 2022).

2.5.2 Potencial Hidrogeniônico (pH)

O pH (potencial hidrogeniônico) é uma das ferramentas mais importantes e frequentemente utilizadas na análise da água. É uma grandeza que indica a intensidade da acidez ($\text{pH} < 7,0$), neutralidade ($\text{pH} = 7,0$) ou alcalinidade ($\text{pH} > 7,0$) de uma solução aquosa e varia de 0 a 14. (ATKINS; JONES, 2012).

A uma determinada temperatura, uma solução é determinada como ácida ou alcalina pelo valor do pH ou pela atividade do íon hidrogênio. Este parâmetro é definido por $(-\log a_{H^+})$, ou seja, o logaritmo negativo da atividade do íon hidrogênio. A atividade do íon H^+ é praticamente igual à concentração molar para soluções diluídas e expressa a acidez do meio. O pH é determinado por meio da medida potenciométrica da força eletromotriz usando um eletrodo de vidro e um de referência ou um eletrodo de vidro combinado, desta forma, esta força varia linearmente com o pH. Para água pura, o valor do pH, a 25°C, é igual a 7. (INSTITUTO ADOLFO LUTZ, 2008).

Inúmeros processos dependem do valor do pH, como por exemplo todas as fases do tratamento de água e de efluentes, processos de neutralização, precipitação, coagulação, desinfecção e controle de corrosão, utilizado na determinação de alcalinidade e do CO_2 e também no equilíbrio ácido-base. Frequentemente, as águas naturais possuem pH dentro do intervalo de 4 a 9, sendo que a maioria dessas é levemente alcalina. Isso se deve pelo fato da presença de bicarbonatos e carbonatos dos metais alcalinos e alcalinos terrosos (MUNIZ; PARRON; PEREIRA, 2011).

2.5.3 Condutividade elétrica (CE)

A condutividade elétrica (CE) é a capacidade de uma solução aquosa de transmitir a corrente elétrica em função da presença de substâncias dissolvidas em uma solução, que depende basicamente da presença de cátions e ânions, bem como da concentração total, mobilidade, valência, concentrações relativas e medidas de temperatura. Moléculas de compostos orgânicos que não dissociam em solução aquosa, em sua maioria, conduzem pouca corrente elétrica. Já as soluções da maior parte dos ácidos, bases e sais inorgânicos são relativamente boas condutoras. A medida da condutividade elétrica permite a indicação rápida de variações nas concentrações de minerais dissolvidos assim como a determinação do grau de mineralização da água (MUNIZ; PARRON; PEREIRA, 2011).

Quanto maior a concentração iônica de uma solução, maior é sua capacidade de conduzir corrente elétrica devido à ação eletrolítica, embora não haja uma relação direta entre condutividade e a concentração de sólidos totais dissolvidos, pois as águas naturais são soluções complexas. A condutividade elétrica da água deve ser expressa em unidades de resistência (mho ou S) por unidade de comprimento (geralmente cm ou m) embora atualmente é recomendável a utilização da unidade “S” (Siemens). Águas naturais normalmente possuem valores de

condutividade elétrica contidos entre 10 a 100 $\mu\text{S}/\text{cm}$, porém em ambientes afetados por efluentes domésticos ou industriais estes valores podem alcançar a marca de 1.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$. (BRASIL, 2006).

2.5.4 Dureza

A dureza é a concentração total dos cátions bivalentes presentes na sua constituição e expressa em termos da quantidade equivalente de CaCO_3 , sendo os principais os pertencentes aos alcalino-terroso, estando em destaque o cálcio (Ca^{2+}) e magnésio (Mg^{2+}), pois suas concentrações em águas naturais são muito maiores que dos demais íons (SKOOG *et al*, 2006). Pode ser classificada como: a) dureza temporária, causada pela presença de bicarbonatos de cálcio e magnésio, tendo como característica causar incrustações em tubulações, pois na presença de calor, os bicarbonatos decompõem-se em água, gás carbônico e carbonatos insolúveis que se precipitam; e b) dureza permanente ou dureza de não carbonatos, sendo causada pela presença de sulfatos, cloretos e nitratos de cálcio e magnésio, onde neste caso não produz incrustações, por se tratarem de sais muito solúveis e que não se decompõem na presença de calor. A dureza total é obtida pela soma destas duas durezas (ABDALLA *et al*, 2010).

Outros cátions metálicos como o alumínio, ferro, manganês e estrôncio também podem conferir dureza à água e em certos casos os cátions estão associados a cloretos e a nitritos. Normalmente, a dureza é expressa em mg L^{-1} (número equivalente de miligramas por litro) de carbonato de cálcio (CaCO_3). Outra característica da dureza é dar a água dificuldade em dissolver sabão, diminuindo a capacidade de fazer espuma (ABDALLA *et al*, 2010; MUNIZ; PARRON; PEREIRA, 2011). Na tabela 1 estão presentes os valores padrões da dureza na água.

Tabela 1 - Padrões da dureza da água.

DUREZA	CONCENTRAÇÃO DE CaCO_3 (mg L^{-1})
Branda	até 50
Pouco dura	entre 50 e 100
Dura	entre 100 e 200
Muito dura	acima de 200

Fonte: CUSTÓDIA & LLAMAS, 1983.

2.5.5 Cloreto (Cl^-)

O cloreto (Cl^-) é um ânion bastante presente nas águas subterrâneas, originando-se através do processo de percolação da água através do solo e de rochas. Já nas águas superficiais, as principais fontes são as descargas de esgoto sanitário, e isso se dá pelo fato de que uma pessoa em média expele através da urina cerca 4 g de cloreto por dia, representando cerca de 90 a 95% dos excretos humanos. Isso ocorre, pois, o cloreto de sódio (NaCl) é um sal comumente utilizado na dieta humana e passa inalterado através do sistema digestivo. Deste modo, os esgotos podem apresentar concentrações que ultrapassam 15 mg/L. (CETESB, 2022; MUNIZ; PARRON; PEREIRA, 2011).

A determinação da concentração de Cl^- em amostras de água pode ser realizada por titulação usando nitrato de prata AgNO_3 em amostras com pH entre 6,0 e 7,5, sendo utilizados íons cromato para indicar o ponto da titulação de íons cloreto. O cloreto de prata é precipitado quantitativamente antes do cromato de prata, de cor vermelha. (INSTITUTO ADOLFO LUTZ, 2008).

2.5.6 Alcalinidade total

A alcalinidade da água é a medida da quantidade de substâncias na água que atuam como tampão, isto é, sua capacidade de neutralizar ácidos, sendo a soma de todas as suas bases tituláveis. Esta propriedade advém da presença de sais de ácidos fracos, bases fracas, e de bases fortes. Os minerais mais comuns que possuem propriedades de tampão são calcita (CaCO_3), magnesita (MgCO_3), dolomita ($\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$) e brucita ($\text{Mg}(\text{OH})_2$). As medidas de alcalinidade são utilizadas na interpretação e no controle de processos de tratamento em águas de abastecimento e águas residuárias. Já os sais que contêm carbonatos (CO_3^{2-}), bicarbonatos (HCO_3^-), hidróxidos (OH^-) e, secundariamente, aos íons hidróxidos, como cálcio e magnésio, silicatos, boratos, fosfatos e amônia são os compostos responsáveis pela alcalinidade total (CETESB, 2022; MUNIZ; PARRON; PEREIRA, 2011)

Um método muito empregado na determinação da alcalinidade total é a titulação da amostra de água com solução padronizada de ácido com emprego de indicadores ácido-base, tendo pontos finais estabelecidos em pH 4,5 e 8,3. Porém a amostra não deve possuir uma concentração de cloro residual superior a 1,8 mg/L, pois pode destruir o indicador colorimétrico (INSTITUTO ADOLFO LUTZ, 2008).

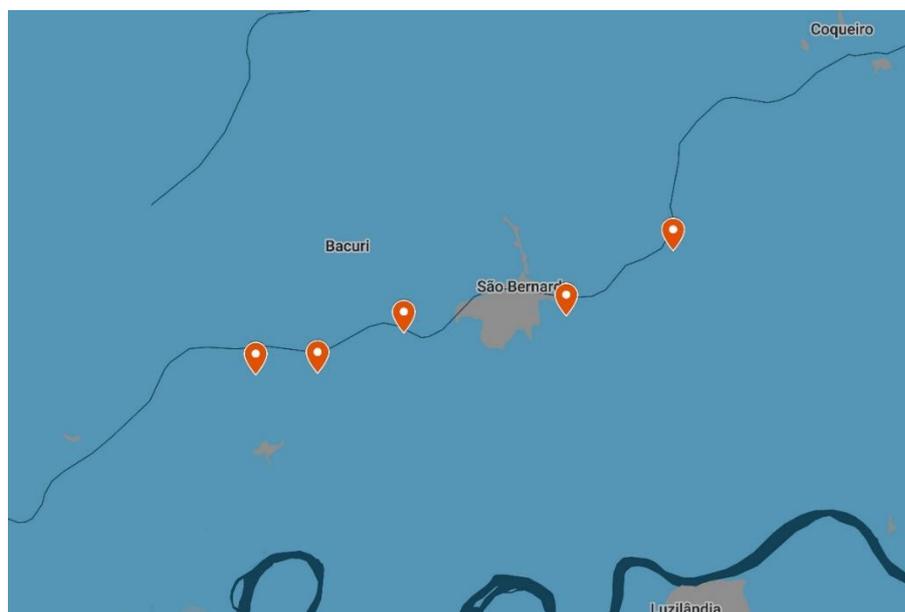
3 METODOLOGIA

Inicialmente foi realizado o levantamento e atualização bibliográfica para o aprofundamento do tema abordado. Posteriormente, foi feita a pesquisa de campo nos locais de coleta das amostras.

3.1 Pontos de coleta e amostragem

A metodologia deste trabalho derivou-se do projeto de pesquisa PIBIC de título “Avaliação da qualidade da água dos mananciais de abastecimento público, superficiais e subterrâneos, da região do baixo Parnaíba maranhense”. O trajeto percorrido e os poços escolhidos tiveram como principais parâmetros determinantes para sua escolha a proximidade ao rio Buriti (Figura 4) e fatores relacionados às áreas próximas aos poços, como a proximidade do poço com residências ou do rio, produções agrícolas ou agropecuárias, presença de lixo e etc.

Figura 4 - Mapeamento com visualização para o trajeto do rio Buriti.



Fonte: Autoria própria, 2023.

O trajeto descrito tem aproximadamente 20 km e abrange as seguintes localidades rurais: Currais, Santa Maria, Igrejinha e Marrecas.

3.1.1 Identificação e seleção dos poços

Nesta região, foi realizada uma visita de campo, onde foram mapeados 5 poços na zona rural de São Bernardo, sendo demarcados como poços 1, 2, 3, 4 e 5 (Figura 5). A ferramenta utilizada para realizar a demarcação foi a ferramenta do google “My maps” por meio de um smartphone com o uso do GPS do aparelho.

Os pontos de coleta foram definidos a partir da geolocalização espacial via plataforma de internet Google Earth.

Figura 5 - Mapeamento da disposição dos poços demarcados.



Fonte: Elaborado no QGIS 3.36.2, Autoria própria, 2023.

Os poços foram selecionados de modo analisar diferentes características em função da localização como: facilidade de acesso ao poço, relevância dos poços na área, água com uso majoritariamente direcionado para consumo humano e/ou irrigação, poços ativos e que estivesse próxima à fonte de poluição, tais como, lixo ou esgoto doméstico.

Todos os poços selecionados têm como finalidade de uso o abastecimento residencial, bem como outros usos relacionados. As informações relacionadas aos poços e de seus arredores foram obtidas por meio dos moradores locais,

Foram realizadas 6 coletas de amostras no período de maio de 2023 a abril de 2024, englobando os períodos chuvosos e de estiagem da região. Todas as coletas de amostras de água para análise foram efetuadas no período da manhã nos horários das 08:00 às 12:00. Foram

coletados em cada ponto de coleta cerca de 1,5 litros, que foram armazenados em embalagens de polietileno devidamente limpas.

Os parâmetros pH, temperatura e condutividade elétrica foram aferidos *in loco*. As amostras foram conduzidas ao Laboratório de Química da Universidade Federal do Maranhão - Centro de Ciências de São Bernardo para a determinação dos parâmetros que não foram aferidos *in loco*, onde foram realizadas em triplicata.

3.2 Determinação dos parâmetros físico-químicos

- O pH foi analisado pelo método potenciométrico utilizando o pHmetro AT-315 microprocessado da marca Alfakit. O equipamento foi previamente calibrado por meio de soluções padrão.

Figura 6 - pHmetro microprocessado modelo AT-315.



Fonte: Autoria própria, 2023.

- A Temperatura foi medida utilizando um termômetro de vidro da marca Incoterm com escala de -10 a +110 °C.

Figura 7 - Termômetro de mercúrio.



Fonte: Autoria própria, 2023.

- A condutividade elétrica foi aferida através de um condutivímetro modelo Cd-203 da marca Phtek.

Figura 8 - Condutivímetro modelo Cd-203.



Fonte: Autoria própria, 2023.

Os demais parâmetros foram aferidos utilizando-se vidrarias específicas, como béqueres e erlenmeyers de volumes variados, pipetas volumétricas, buretas, peras, suporte universal, garras metálicas e espátulas. Os métodos utilizados para as determinações de cada parâmetro foram baseados no *Manual Prático de Análise de Água* da Fundação Nacional de Saúde (FUNASA).

Tabela 2 - Procedimentos metodológicos utilizados.

Parâmetro	Unidade	Método/Equipamento
Alcalinidade	mg/L de CaCO ₃	Titulometria - Funasa, 2009
Dureza total	mg/L de CaCO ₃	Titulometria - Funasa, 2009
Dureza (Ca ²⁺)	mg/L	Titulometria
Dureza (Mg ²⁺)	mg/L	Cálculo
Cloreto (Cl ⁻)	mg/L	Titulometria - Funasa, 2009
Temperatura	°C	Termometria
pH	-	Potenciometria
C. Elétrica	μS/cm	Condutimetria

Fonte: Autoria própria, 2024.

3.2.1 Alcalinidade

A determinação da alcalinidade das amostras foi realizada pelo método da titulação de neutralização, utilizando como titulante uma solução de ácido sulfúrico a 0,02 N, e tendo como indicador uma mistura indicadora de verde de Bromocresol e vermelho de metila. Foi utilizado 50 ml de amostra. A análise foi feita em triplicata, usando pipetas, peras, béqueres, erlermeiers, suporte universal, garra metálica e bureta de 50 ml.

Para determinar a alcalinidade total da amostra com base no volume gasto de titulante foi utilizada a seguinte Equação 1:

Equação 1

$$\text{Alcalinidade total em mg/L de CaCO}_3 = \frac{\text{mL gasto de H}_2\text{SO}_4 \times N \times 50044}{\text{mL da amostra}}$$

Onde:

N = Normalidade do titulante.

3.2.2 Dureza total

Para a determinação da dureza total da amostra em relação a concentração de carbonato de cálcio (CaCO₃) foi utilizada a titulação de complexação, tendo como titulante uma solução de EDTA a uma concentração de 0,02 N e usando o negro de eriocromo T como indicador do ponto de viragem. Utilizou-se uma solução tampão de hidróxido de amônio para elevar o pH da amostra para aproximadamente 10. A determinação da dureza em relação ao íon Ca²⁺ foi determinada por um processo bastante semelhante, com a diferença que o indicador utilizado

foi o indicador murexida, sendo, neste caso, o pH da amostra elevado a aproximadamente 12 usando uma solução tampão de hidróxido de amônio. Já a dureza em relação ao íon Mg^{2+} foi determinada através de cálculos utilizando-se os resultados das análises das determinações das durezas anteriormente discorridas.

Para determinar as durezas referentes aos íons Ca^{2+} , Mg^{2+} e dureza total (DT) presente na amostra com base no volume gasto de titulante foi utilizada as Equações 2, 3 e 4:

Equação 2

$$\text{Dureza Total em mg/L CaCO}_3 = \frac{\text{mL de EDTA gasto} \times N_{\text{EDTA}} \times 50000}{\text{mL da amostra}}$$

Equação 3

$$\text{Dureza em termos de Ca}^{2+} = \frac{\text{mL de EDTA gasto} \times N_{\text{EDTA}} \times 50000}{\text{mL da amostra}}$$

Equação 4

$$\text{Dureza em termos de Mg}^{2+} = \text{Dureza total} - \text{Dureza em termos de Ca}^{2+}$$

Onde:

N_{EDTA} = Normalidade do EDTA.

3.2.3 Cloreto (Cl^-)

A análise do cloreto presente nas amostras foi realizada utilizando-se uma solução padrão de nitrato de prata a 0,0141 N, usando uma solução de cromato de potássio K_2CrO_4 como indicador do ponto de viragem. O volume de amostra administrado para a determinação foi de 50 ml de amostra, em triplicata, usando pipetas, peras, béqueres, erlermeyers, suporte universal e garra metálica e bureta de 25 ml.

Para determinar a concentração de cloreto presente na amostra com base no volume gasto de titulante foi utilizada a Equação 5.

Equação 5

$$\text{mg/L Cl}^- = \frac{\text{mL gasto de AgNO}_3 \times N \times 35.450}{\text{mL da amostra}}$$

Onde:

N = Normalidade do titulante.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Caracterização dos poços

Todos os poços (Figuras 9 a 12) são tubulares e funcionam com auxílio de uma bomba elétrica automática. Dos poços selecionados, 4 são públicos e um é de uso particular.

O primeiro ponto de coleta selecionado -Poço 1- (Figura 9) refere-se a um poço localizado no povoado Currais (coordenadas: -3,3888384 -42,50334956), que representa a zona rural com a maior densidade de residências entre todos os presentes neste estudo. Trata-se de um poço do tipo tubular, possuindo uma profundidade de 60 m e utiliza bomba submersa como equipamento de bombeamento (MARANHÃO, 2011). Este é o ponto de coleta mais afastado da zona urbana. Vale mencionar que, nesta localidade existem 2 poços para o abastecimento residencial, e o fator determinante para a escolha deste ponto foi o seu posicionamento, estando mais próximo ao centro do povoado, sendo, portanto, mais provável a ser afetado por ações antrópicas.

Figura 9 - Poço 1.



Fonte: Autoria própria, 2023.

Referente ao segundo ponto de coleta selecionado, sendo este nomeado de -Poço 2- (Figura 10), é o ponto localizado no povoado Santa Maria (coordenadas: -3.388259 - 42.483912), localizado a aproximadamente 6 km da cidade de São Bernardo, sendo uma localidade bastante pequena em relação a anteriormente mencionada, assim estando presente

em um solo com ação antrópica relativamente menor em relação aos outros pontos selecionados.

Figura 10 - Poço 2.



Fonte: Autoria própria, 2023.

O terceiro ponto de coleta -Poço 3- (coordenadas: -3.375767 -42.457285), representa o ponto que abastece o menor número de residências em relação aos demais pontos, sendo responsável pelo fornecimento de água de apenas algumas residências por ser um poço presente em uma propriedade privada. Foi possível observar em seus arredores a presença de alguns tipos de atividade, como a agropecuária, porém em pequena escala.

O -Poço 4- (Figura 11) é o mais próximo da zona urbana e se encontra em uma área de fazenda sendo de uso particular (coordenadas: -3.370434 -42.406832), onde seu tipo de uso é doméstico/animal. É um poço do tipo tubular, possuindo 48 m de profundidade e opera utilizando uma bomba elétrica do tipo submersa (MARANHÃO, 2011).

Figura 11 - Poço 4.



Fonte: Autoria própria, 2023.

O ponto de coleta denominado como -Poço 5- (Figura 12) é o poço responsável pelo abastecimento desta região (coordenadas: -3.350258 -42.373460), apresentando uma infraestrutura superior em comparação aos demais, pois se encontra mais afastado da área residencial e possui muros ao seu redor e dispõe de bomba submersa como equipamento de bombeamento.

Figura 12 - Poço 5



Fonte: Autoria própria, 2023.

De acordo com o Serviço Geológico do Brasil - CPRM (2011), o município de São Bernardo apresenta um domínio hidrogeológico caracterizado pelo aquífero poroso ou intergranular. Quanto à natureza geológica da localização dos poços tubulares, em relação aos domínios hidrogeológicos de superfície, todos estão locados sobre terrenos sedimentares. (MARANHÃO, 2011)

Sobre a disposição final do esgotamento sanitário e do lixo urbano do município, notou-se a falta do tratamento do chorume e dos efluentes domésticos e pluviais. Essa medida deveria ser usada como forma de reduzir a contaminação dos solos. Além disso, o lixo proveniente de estabelecimentos de saúde é descartado em vazadouros, juntamente com outros resíduos urbanos, o que aumenta o risco de poluição dos recursos hídricos subterrâneos (MARANHÃO, 2011). A partir desse levantamento pode-se inferir que as condições de disposição dos poços na região não atendem às recomendações técnicas necessárias.

4.2 Estudo da Qualidade das águas a partir dos parâmetros físico-químicos

Para este trabalho, os valores obtidos para cada parâmetro foram comparados com os Valores Máximos Permitidos (VMP) para o consumo humano, indicados pela Portaria gm/ms nº 888, de 4 de maio de 2021 do Ministério da Saúde.

4.2.1 Temperatura

A temperatura representa a medição da intensidade do calor na água e influencia em uma série de propriedades da água, como viscosidade, tensão superficial, solubilidade e etc. Alterações na temperatura ocorre de forma natural, a partir da radiação solar, ou de forma antropogênica, provocada por despejamentos industriais (VON SPERLING, 2007). Fatores como latitude, estação do ano, período do dia e entre outros; interferem na temperatura superficial (CETESB, 2018). Neste estudo em cada coleta foi medida a temperatura da amostra. A tabela 03 contém os valores de temperatura aferidas *in loco* das amostras de água coletadas.

Tabela 3 - Temperaturas *in loco*.

Poços	Coleta 1 06/23	Coleta 2 08/23	Coleta 3 10/23	Coleta 4 12/23	Coleta 5 02/24	Coleta 6 04/24
P1	29,0	29,0	33,0	30,5	27,9	30,9
P2	28,0	29,0	29,7	30,7	28,1	29,1
P3	29,0	26,0	32,3	30,6	30,2	28,8
P4	-	30,0	33,2	30,8	30,5	31,2
P5	-	32,0	-	31,0	31,5	31,9

* - = coletas não realizadas por motivos adversos.

Fonte: Autoria própria, 2023.

A aferição da temperatura *in loco* torna-se importante pois diversos parâmetros físico-químicos estão intrinsicamente ligados a ela, como a condutividade elétrica e o pH. A temperatura tem a capacidade de alterar o equilíbrio de dissociação da água, aumentando a atividade dos íons hidrogênio e hidroxila, podendo alterar o pH da solução (CUNHA; ALVES; REIS, 2010). De forma análoga, a condutividade elétrica também é afetada, tendo em vista que ela varia com a temperatura, tanto quanto varia com a concentração de compostos iônicos dissolvidos (MUNIZ; PARRON; PEREIRA, 2011).

4.2.2 Alcalinidade

A Tabela 04 apresenta as medidas de alcalinidade nas águas subterrâneas das 6 coletas. A Portaria gm/ms nº 888/2021 do Ministério da Saúde não estabelece valor máximo permissível para esse parâmetro.

Tabela 4 - Dados aferidos para alcalinidade (mg/L de CaCO₃).

Poços	Coleta 1 06/23	Coleta 2 08/23	Coleta 3 10/23	Coleta 4 12/23	Coleta 5 02/24	Coleta 6 04/24	D.Padão
P1	12,000	8,000	13,520	16,337	14,647	15,773	3,064
P2	22,680	12,600	37,743	16,900	12,957	13,520	9,755
P3	12,000	3,400	9,577	9,577	6,197	15,773	4,329
P4	-	143,400	254,063	264,767	166,747	190,970	53,453
P5	-	92,600	-	158,297	149,847	157,733	31,583

* - = coletas não realizadas por motivos adversos.

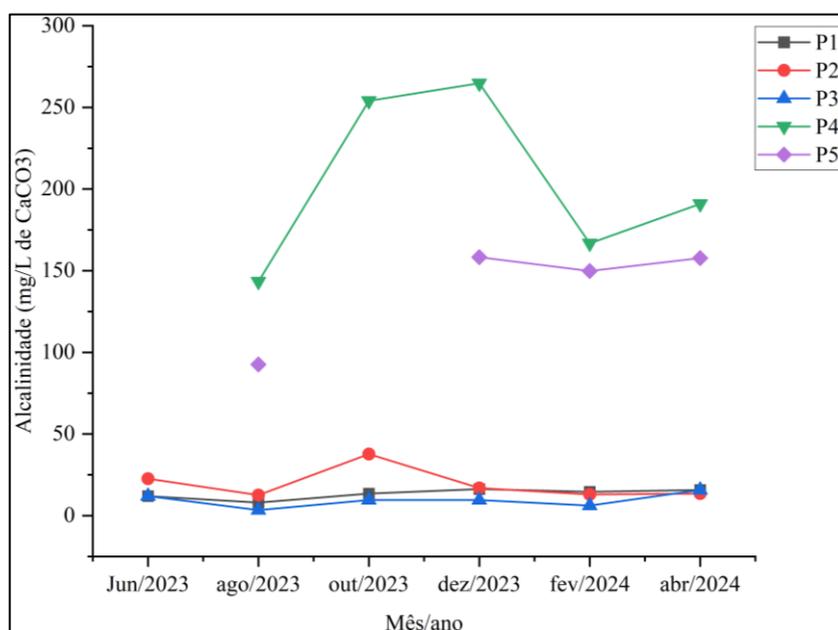
Fonte: Autoria própria, 2023.

Observa-se na tabela 3 que os poços 1, 2 e 3 possuem os menores valores, variando entre 8,0 a 37,7 mg/L de CaCO_3 , já os poços 4 e 5 apresentam valores muito acima e com um grau maior de variação entre elas, sendo o desvio padrão de 53,453 e 31,583 respectivamente. Os Gráficos 1 e 2 mostram a variação temporal e por cada ponto de coleta respectivamente. Os maiores valores para cada poço foram de: P1 - 16,337; P2 - 37,743; P3 - 15,773; P4 - 264,767; P5 - 158,297 mg/L.

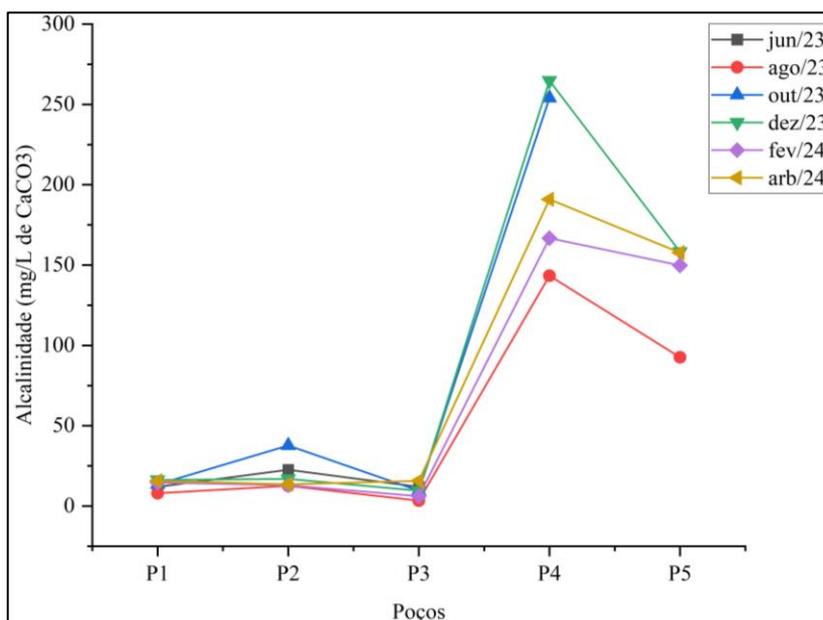
A maioria das águas naturais apresenta valores de alcalinidade na faixa de 30 a 500 mg/L de CaCO_3 . Geralmente, águas subterrâneas apresentam alcalinidade superior a 20 mg/L de CaCO_3 , o que indica que em média, os valores analisados em questão apresentam comportamento abaixo do esperado (MOHR; SANTOS, 2013; BRASIL, 2006).

Ambientes aquáticos com altos valores de alcalinidade conseguem manter os níveis de pH aproximadamente constantes, mesmo quando recebem contribuições fortemente ácidas ou alcalinas (BRASIL, 2006). Deste modo, águas com baixa alcalinidade estão sujeitas a variações mais bruscas de pH, como é o caso das amostras dos poços 1, 2 e 3, que pode ser visualizado no Gráfico 11, sofreram maior variação em comparação aos demais poços.

Gráfico 1 - Variação da alcalinidade em função do tempo em amostras de água subterrânea.



Fonte: Autoria própria, 2023.

Gráfico 2 - Variação da alcalinidade em função dos poços em amostras de água subterrânea.

Fonte: Autoria própria, 2023.

4.2.3 Dureza total

A tabela 05 contém os valores referentes a dureza total nas águas subterrâneas analisadas nas 6 coletas. Os poços 3 e 4 possuem os maiores valores de dureza em todas as coletas, porem nenhum dos poços ultrapassou o valor máximo permitido para a Dureza total, sendo este de 300 mg/L (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2021).

Tabela 5 - Dados aferidos para Dureza Total nas águas subterrâneas (mg/L de CaCO₃).

Poços	Coleta 1 06/23	Coleta 2 08/23	Coleta 3 10/23	Coleta 4 12/23	Coleta 5 02/24	Coleta 6 04/24	D.Padão
P1	64,056	72,063	54,615	49,020	49,350	61,194	9,063
P2	157,537	160,139	136,206	125,679	119,097	161,538	18,791
P3	170,748	223,594	200,697	234,906	246,750	232,281	27,855
P4	-	254,821	193,452	200,697	185,556	261,891	36,154
P5	-	145,526	-	112,848	109,227	140,811	18,709

* - = coletas não realizadas por motivos adversos.

Fonte: Autoria própria, 2023.

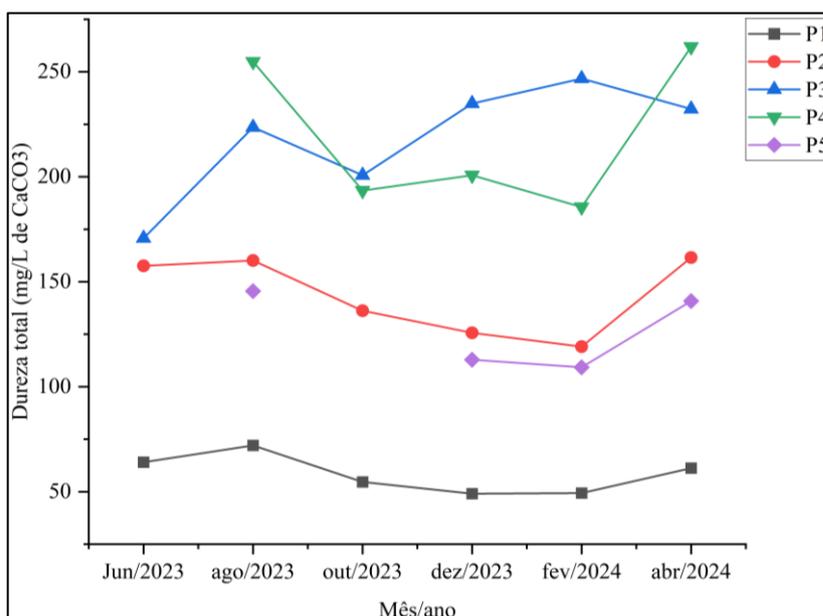
Os maiores valores para cada poço foram de: P1 - 72,063 na coleta 2; P2 - 161,538 coleta 6; P3 - 246,750 na coleta 5; P4 - 261,891 coleta 6 e P5 - 145,526 mg/L coleta 2.

Em média, a água do poço 1 se enquadra em mole ou branda, o poço 2 possui dureza moderada, os poços 3 e 4 apresentam águas consideradas duras, e o poço 5 tem águas de dureza moderada (BRASIL, 2006). Os Gráficos 3 e 4 revelam a variação da concentração da dureza em função da data de coleta e poço analisado respectivamente.

As águas consideradas duras, contem grande concentração de cálcio e magnésio e atrapalham a formação de sabão, assim, a água proveniente dos poços 3 e quatro podem apresentar esse problema (SCOPEL *et al*, 2017). A dureza do tipo temporária, causada pela presença de bicarbonatos de cálcio e magnésio, pode causar incrustações em tubulações na presença de calor, pois os bicarbonatos se decompõem em água, gás carbônico e carbonatos insolúveis que se precipitam e aderem as paredes das tubulações (ABDALLA et al, 2010).

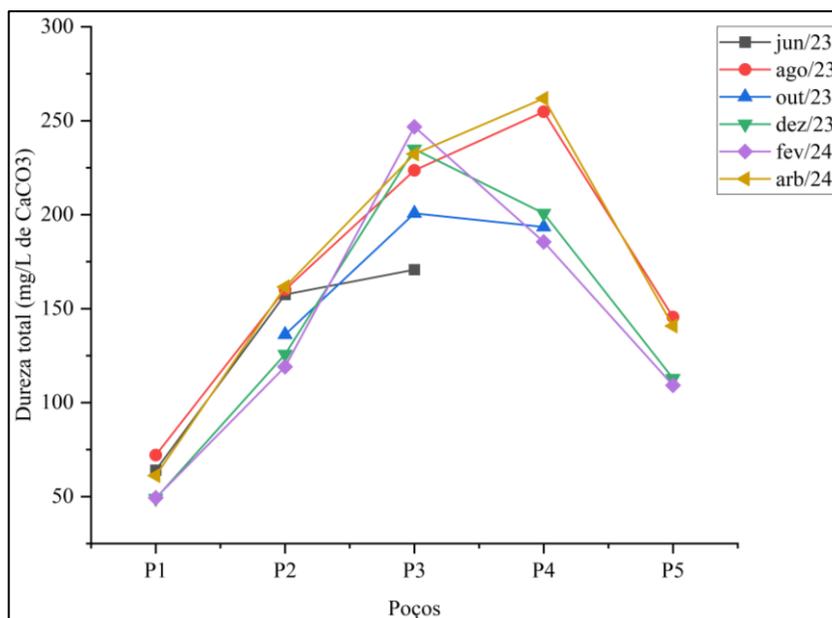
A principal fonte de dureza nas águas é a sua passagem pelo solo, onde ocorre a dissolução de rochas calcárias pelo gás carbônico presente na água. Assim, é muito mais comum encontrar águas subterrâneas com elevada dureza do que águas superficiais. Os sais de cálcio em conjunto com os de magnésio são os principais responsáveis pela dureza da água. (CETESB, 2022).

Gráfico 3 - Variação da dureza total em termos de CaCO_3 em função do tempo em amostras de água subterrânea.



Fonte: Autoria própria, 2023.

Gráfico 4 - Variação da dureza total em termos de CaCO_3 em função dos poços em amostras de água subterrânea.



Fonte: Autoria própria, 2023.

4.2.4 Dureza Ca^{2+}

A Tabela 06 apresenta as medidas de dureza de cálcio (Ca^{2+}), nas águas subterrâneas das 6 coletas. Os maiores valores para este parâmetro estão quase todos presentes na coleta 6, com exceção do P5, que expressou seu valor mais alto na coleta 2. Observa-se que, na maioria das amostras, os valores mais baixos foram encontrados na coleta de fevereiro de 2024, e os maiores valores, são de amostras do P3.

Tabela 6 - Dados aferidos para a dureza em termos de Ca^{2+} (mg/L).

Poços	Coleta 1 06/23	Coleta 2 08/23	Coleta 3 10/23	Coleta 4 12/23	Coleta 5 02/24	Coleta 6 04/24	D.Padão
P1	36,000	28,000	26,979	25,332	16,122	40,467	8,540
P2	62,600	64,800	81,591	54,615	29,610	119,427	30,061
P3	92,600	110,000	113,835	89,324	56,259	177,330	40,238
P4	-	138,800	67,116	67,773	32,901	180,621	60,404
P5	-	70,000	-	42,771	43,428	68,103	15,006

* - = coletas não realizadas por motivos adversos.

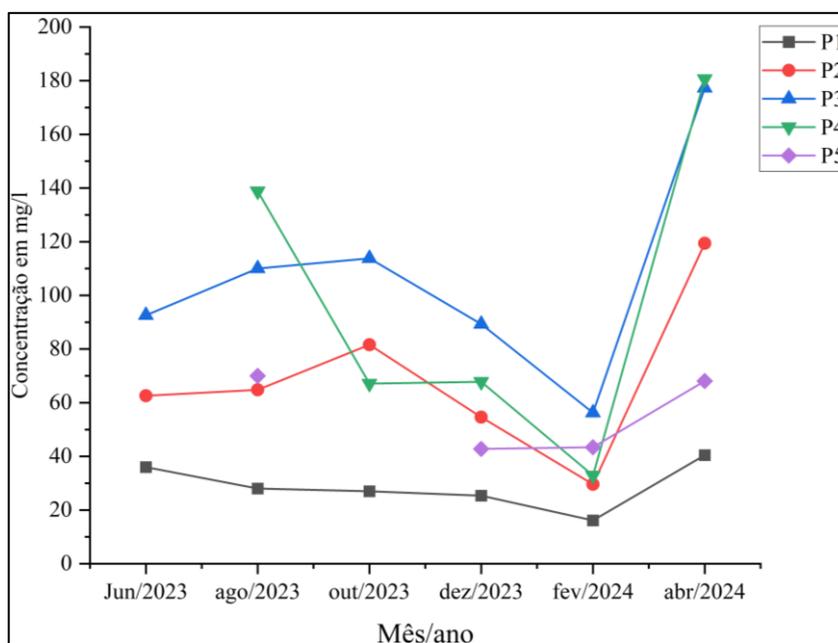
Fonte: Autoria própria, 2023.

Os valores de cálcio convertidos em CaCO_3 nas águas dos poços variaram de 16,122 mg/L (P1, coleta 5) a 180,621 mg/L (P4, coleta 6).

O Gráfico 5 apresenta a variação temporal do cálcio (Ca^{2+}), nas águas subterrâneas. Observa-se que os poços P3 e P4 possuem na maioria das coletas os maiores valores de dureza em termos de cálcio, sendo estes também os poços com maiores valores de condutividade elétrica. Já o Gráfico 6 expõe a variação em relação aos pontos de coleta.

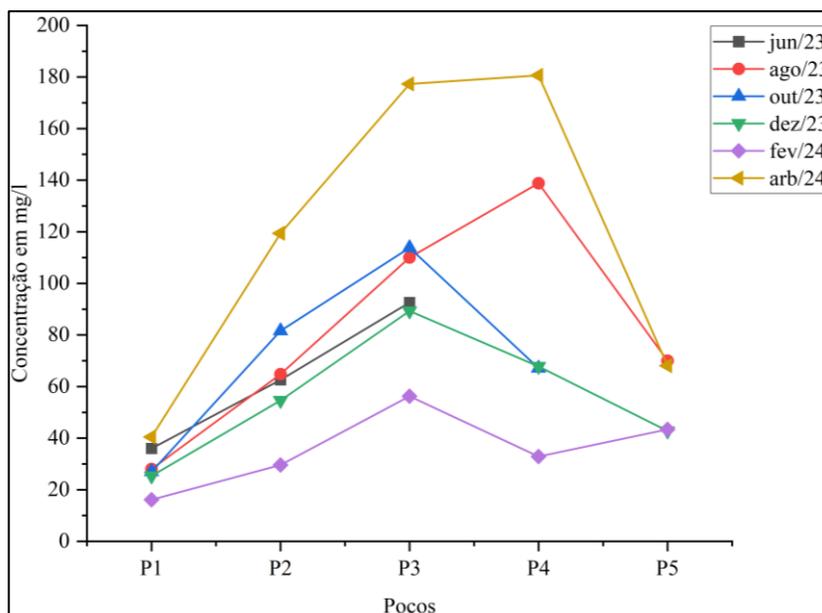
Estes valores mais altos podem estar relacionados com a presença de rochas enriquecidas em minerais de cálcio, particularmente como carbonatos e sulfatos, pois os íons Ca^{2+} são facilmente dissolvidos destes tipos de mineral. Alguns fenômenos como a chuva ácida intensifica a lixiviação de cálcio do solo para as águas subterrâneas. Vale ressaltar que em águas associadas com rochas ricas em carbonato, as concentrações de cálcio podem alcançar 30 – 100 mg/L (O que equivale a 74,91 - 249,7 mg/L de cálcio convertidos em CaCO_3), já nas águas naturais são tipicamente menores que 15 mg/L (Cerca de 37,455 mg/L em termos de CaCO_3) (CETESB, 2022).

Gráfico 5 - Variação da dureza em relação a Ca^{2+} em termos de CaCO_3 em função do tempo em amostras de água subterrânea.



Fonte: Autoria própria, 2023.

Gráfico 6 - Variação da dureza em relação a Ca^{2+} em termos de CaCO_3 em função dos poços em amostras de água subterrânea.



Fonte: Autoria própria, 2023.

4.2.5 Dureza Mg^{2+}

A Tabela 07 apresenta as medidas de dureza de magnésio (Mg^{2+}), nas águas subterrâneas das 6 coletas. Os valores de magnésio convertidos em CaCO_3 nas águas dos poços variaram de 20,727 mg/L (P1) a 190,491 mg/L (P3), para o P1 os dados variam de 20,727 a 44,063 mg/L, para o P2 de 42,111 a 95,339 mg/L, de 54,951 a 190,491 mg/L para o P3, de 81,210 a 152,655 mg/L pertencente ao P4 e 65,799 a 75,526 mg/L para o P5. Os valores mais altos dos poços P1, P2 e P5 se deram na coleta 2, enquanto os demais (P3 e P4) encontram-se na coleta 5.

Tabela 7 - Dados aferidos para a dureza em termos de Mg^{2+} (mg/l).

Poços	Coleta 1 06/23	Coleta 2 08/23	Coleta 3 10/23	Coleta 4 12/23	Coleta 5 02/24	Coleta 6 04/24	D.Padão
P1	29,056	44,063	27,636	23,688	33,228	20,727	8,247
P2	94,937	95,339	54,615	71,064	89,487	42,111	22,507
P3	78,148	113,594	86,862	145,582	190,491	54,951	49,644
P4	-	116,021	126,336	132,924	152,655	81,210	26,350
P5	-	75,526	-	70,077	65,799	72,708	4,135

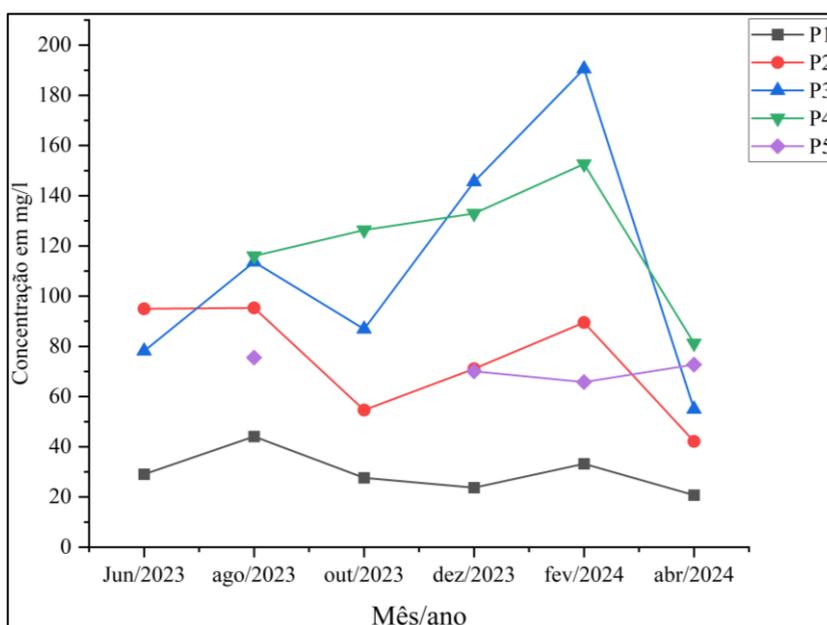
* - = coletas não realizadas por motivos adversos.

Fonte: Autoria própria, 2023.

Os Gráficos 7 e 8 apresentam a variação temporal do magnésio (Mg^{2+}) e a variação em relação aos poços, nas águas subterrâneas. As amostras contendo as maiores concentrações deste parâmetro são as provindas dos poços 3 e 4 durante quase todo o período de coletas, poços estes que também possuem as maiores taxas de condutividade elétrica (Gráfico 14).

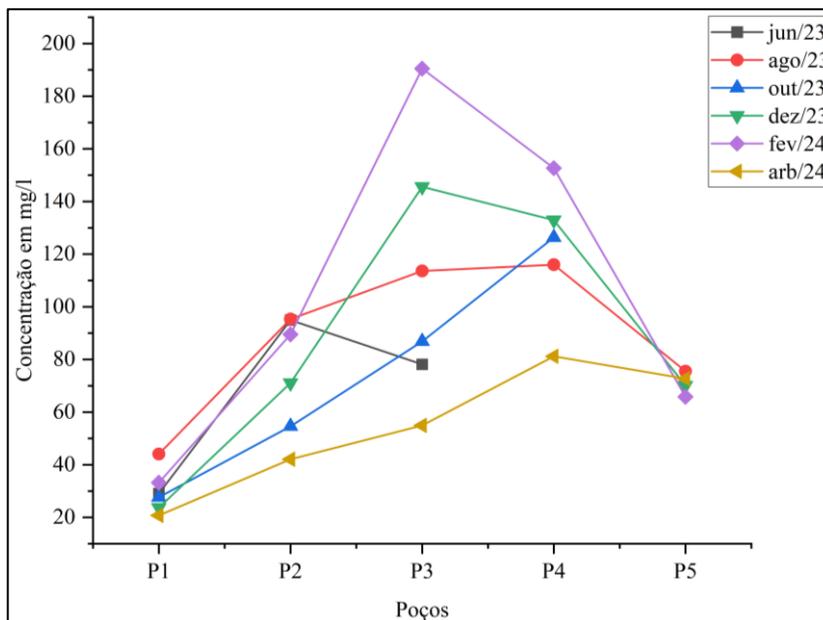
O magnésio origina-se principalmente do intemperismo de rochas contendo minerais ferromagnesianos e de algumas rochas carbonáticas, portanto, os maiores valores podem estar associados a maior presença destas rochas. Dependendo dos tipos de rochas que ocorrem na bacia, as concentrações de magnésio em águas doces podem variar entre 1 a > 100 mg/L (Equivalente ao intervalo de 4,118 a $> 411,8$ mg/L em termos de $CaCO_3$) (CETESB, 2022). Esse levantamento não foi feito nessa pesquisa. Estudos dessa natureza fazem-se necessários para um melhor entendimento desses parâmetros.

Gráfico 7 - Variação da dureza em relação a Mg^{2+} em termos de $CaCO_3$ em função do tempo em amostras de água subterrânea.



Fonte: Autoria própria, 2023.

Gráfico 8 - Variação da dureza em relação a Mg^{2+} em termos de $CaCO_3$ em função dos poços em amostras de água subterrânea.



Fonte: Autoria própria, 2023.

4.2.6 Cloreto

A tabela 08 apresenta os valores de cloreto (Cl^-) obtidos através das análises das amostras nas 6 coletas realizadas. Os valores variam de 116,656 a 312,503 mg/L para P1 220,655 a 543,131 mg/L para o P2, 292,209 a 764,063 mg/L para P3, 121,781 a 344,493 mg/L para o P4 e por fim para o P5 a variação é de 69,780 a 177,645 mg/L.

Tabela 8 - Dados aferidos para cloreto (mg/L).

Poços	Coleta 1 06/23	Coleta 2 08/23	Coleta 3 10/23	Coleta 4 12/23	Coleta 5 02/24	Coleta 6 04/24	D.Padão
P1	154,952	312,503	127,438	116,656	139,403	138,171	73,459
P2	279,913	543,131	230,896	220,655	230,701	259,679	123,944
P3	292,209	764,063	356,709	402,513	471,264	354,683	169,386
P4	-	344,493	123,397	121,781	227,000	239,953	92,936
P5	-	177,645	-	69,780	79,571	81,421	50,619

* - = coletas não realizadas por motivos adversos.

Fonte: Autoria própria, 2023.

A partir dos dados, pode ser observado que o poço 3 possui um destaque em relação aos demais, pois apresentou as maiores concentrações de Cl^- e ultrapassa o valor máximo permitido,

que é de 250 mg/L de acordo com o Ministério da saúde (2021), em todas as coletas, como é mostrado no Gráfico 9.

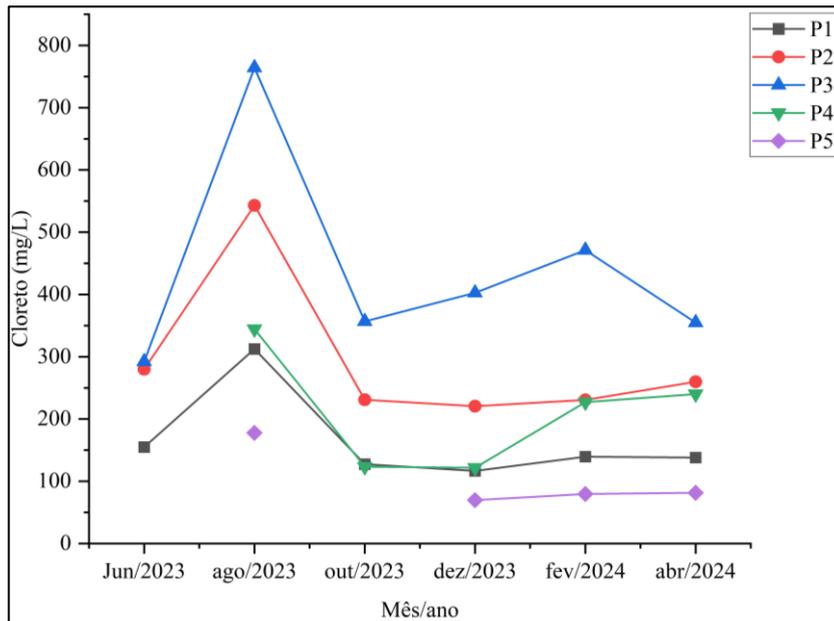
Em todas as coletas, apenas o poço 5 não ultrapassou o valor limite, porém, é o ponto de coleta com menos dados disponíveis em relação a concentração do íon cloreto, tendo duas coletas ausentes. Em todas as coletas houveram poços com valores irregulares. A análise do mês de agosto revelou os valores mais expressivos, com quatro dos cinco poços analisados, com exceção apenas do poço 5, possuindo concentrações do íon Cl^- maiores do que 250 mg/L. Os demais valores irregulares pertencem ao P2, estando estes nas coletas 1 e 6.

Vale ressaltar que, segundo a CETESB (2022) o cloreto se apresenta nas águas subterrâneas oriundo da percolação da água através de solos e rochas, o que indica uma grande incidência deste fenômeno nas águas oriundas dos poços analisados.

Ainda de acordo com a CETESB (2022), o cloreto não apresenta toxicidade ao ser humano, exceto em casos de deficiência no metabolismo de cloreto de sódio, como na insuficiência cardíaca congestiva. Concentrações acima de 250 mg/L podem causar um sabor detectável, embora o limite dependa dos cátions associados. No caso do cloreto de cálcio, o sabor é perceptível apenas em concentrações acima de 1.000 mg/L.

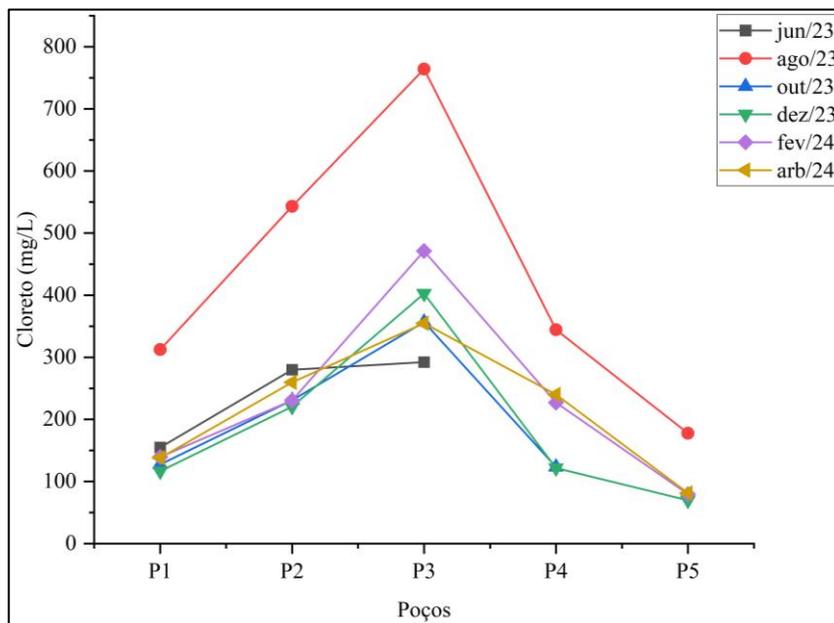
O Gráfico 9 mostra que a concentração do íon cloreto aumentou do mês de junho para o mês de agosto e logo em seguida diminuiu, mantendo-se relativamente constante para todos os poços analisados. O poço 3 apresentou os maiores valores, variando de 292,209 mg/L a 764,063 mg/L (Gráfico 10).

Gráfico 9 - Variação do cloreto em função do tempo em amostras de água subterrânea.



Fonte: Autoria própria, 2023.

Gráfico 10 - Variação do cloreto em função dos poços em amostras de água subterrânea.



Fonte: Autoria própria, 2023.

4.2.7 potencial hidrogeniônico (pH)

A tabela 09 apresenta os valores de pH para as medidas das amostras obtidas nas 6 coletas. Destes, alguns valores se encontram abaixo da faixa de pH tolerada, pois recomenda-se que, no sistema de distribuição, o pH da água seja mantido na faixa de VMP de 6,0 a 9,5 (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2011).

Tabela 9 - Dados aferidos para o pH das águas subterrâneas.

Poços	Coleta 1 06/23	Coleta 2 08/23	Coleta 3 10/23	Coleta 4 12/23	Coleta 5 02/24	Coleta 6 04/24	D.Padão
P1	7,11	-	4,11	4,20	6,23	6,30	1,355
P2	7,27	-	5,51	4,02	6,43	6,21	1,219
P3	6,79	-	4,17	3,60	6,03	6,11	1,375
P4	-	-	6,20	5,83	6,93	7,12	0,607
P5	-	-	-	6,05	7,44	7,56	0,839

* - = coletas não realizadas por motivos adversos.

Fonte: Autoria própria, 2023.

De acordo com a tabela os dados variam de 4,11 a 7,11 no P1, 4,02 a 7,27 para o P2, no P3 a variação foi de 6,79 a 3,60, o P4 variou de 5,83 a 7,12 e 6,05 a 7,56 para o P5. Dentre os valores, as coletas 3 e 4 possuem números abaixo do mínimo tolerável, sendo estes o P1, P2 e P3 para a coleta 3 e todos os poços com exceção do p5 estão irregulares. Resultados de pH parecidos foram encontrados por Almeida (2013), onde os valores mais baixos foram medidos em coletas condizentes com o fim do período chuvoso.

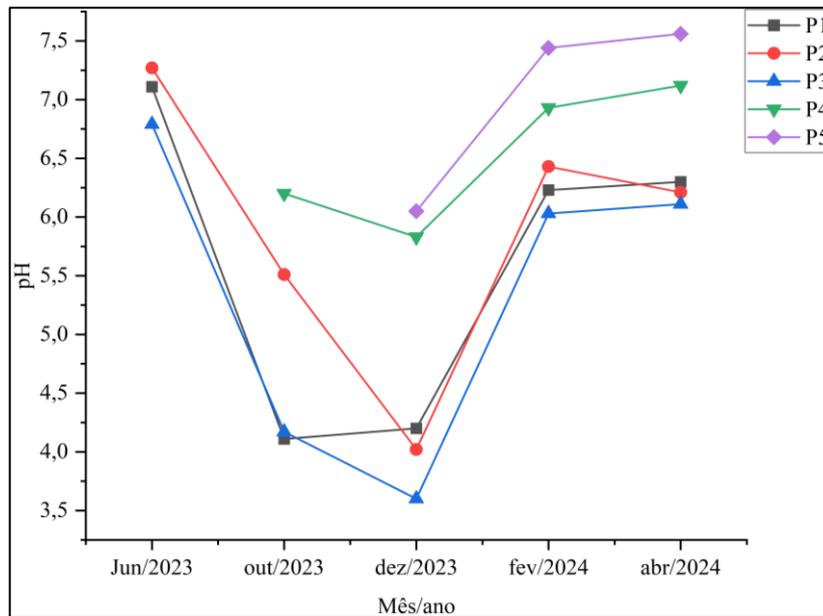
Os Gráficos 11 e 12 mostram a variação do pH em função do tempo e em cada poço durante o período de coleta respectivamente, onde pode ser observado que durante boa parte do tempo as amostras apresentaram valores abaixo de 6, e apenas nos meses de junho, fevereiro e abril, todas os valores obtidos estão contidos no intervalo recomendado. Segundo Almeida (2013), após o armazenamento, ocorre uma elevação do pH da água, assim tornando as águas adequadas para o consumo humano.

Do mês de junho a dezembro, sendo o período menos chuvoso do ano, os valores de pH apresentaram uma grande queda, porém, nos meses seguintes voltaram a valores mais próximos do pH neutro. Todos os poços apresentaram um comportamento relativamente próximo.

O pH em determinadas condições pode gerar o surgimento de precipitações de elementos químicos tóxicos, como metais pesados, enquanto outras condições podem

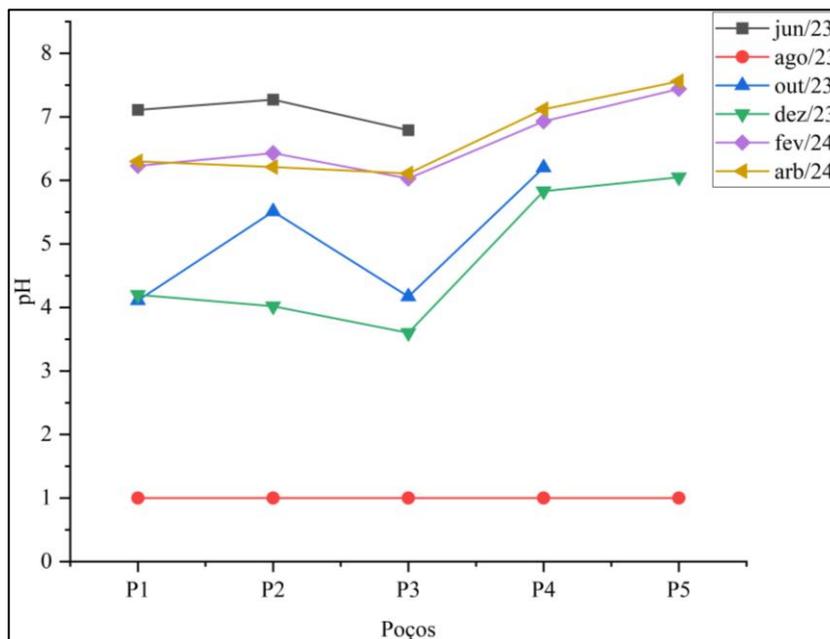
influenciar a solubilidade dos nutrientes. A desinfecção por cloro também depende do pH. Em meio ácido, a dissociação do ácido hipocloroso para formar hipoclorito é menor, tornando o processo mais eficiente. Sabe-se que águas ácidas possuem propriedades corrosivas, enquanto águas alcalinas tendem a ser incrustantes (CETESB, 2022).

Gráfico 11 - Variação do pH em função do tempo em amostras de água subterrânea.



Fonte: Autoria própria, 2023.

Gráfico 12 - Variação do pH em função dos poços em amostras de água subterrânea.



Fonte: Autoria própria, 2023.

4.2.8 Condutividade Elétrica (CE)

A tabela 10 mostra os valores obtidos com as medidas de condutividade elétrica nas águas subterrâneas das 6 coletas. Os valores variam de 164 a 316 $\mu\text{S}/\text{cm}$ para P1 270 a 490 $\mu\text{S}/\text{cm}$ para o P2, 345 a 881 $\mu\text{S}/\text{cm}$ para P3, 390 a 765 $\mu\text{S}/\text{cm}$ para o P4 e por fim para o P5 a variação é de 180 a 355 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

A Portaria nº 888/2021 do Ministério da Saúde não estabelece valor máximo permissível para esse parâmetro.

Tabela 10 - Dados aferidos para a condutividade elétrica de cada amostra ($\mu\text{S}/\text{cm}$).

Poços	Coleta 1 06/23	Coleta 2 08/23	Coleta 3 10/23	Coleta 4 12/23	Coleta 5 02/24	Coleta 6 04/24	D.Padão
P1	245	220	-	-	316	164	63,036
P2	445	345	-	-	490	270	99,037
P3	450	523	750	-	881	345	220,451
P4	-	605	-	-	765	390	188,171
P5	-	280	-	-	355	180	87,797

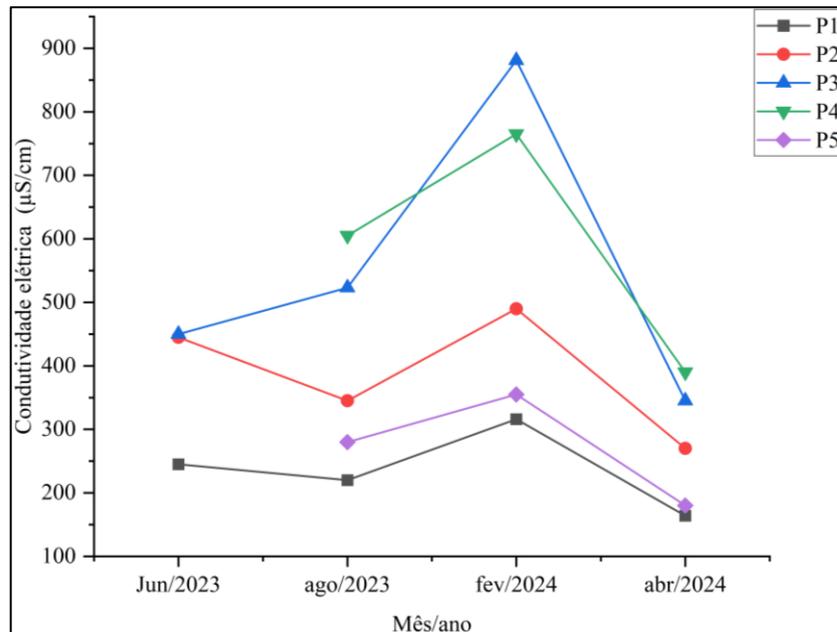
* - = coletas não realizadas por motivos adversos.

Fonte: Autoria própria, 2023.

A coleta de abril possui os menores valores de CE, enquanto em fevereiro, todos os poços expressaram um aumento em seus valores, sendo as mais altas do período de coletas.

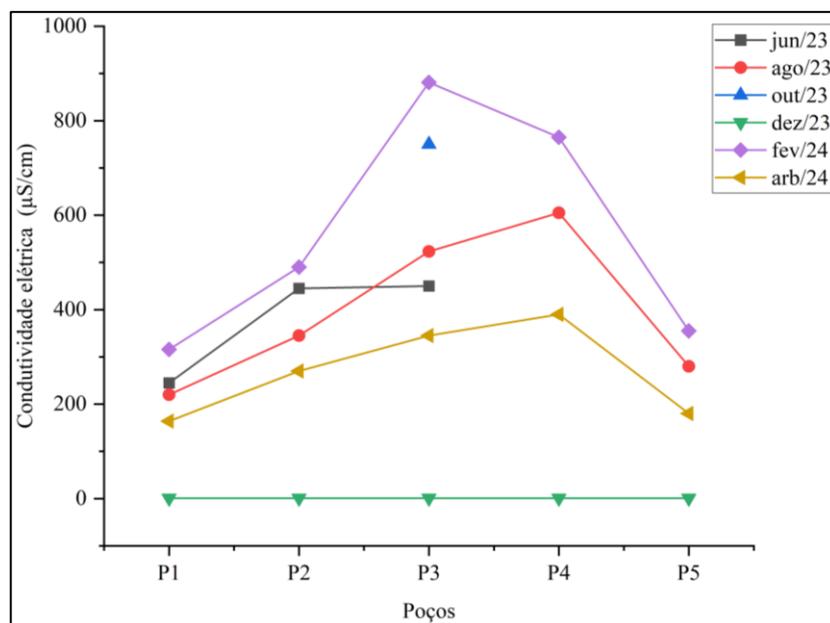
No geral, níveis acima de 100 $\mu\text{S}/\text{cm}$ podem indicar ambientes impactados por ações antrópicas. A condutividade da água aumenta à medida que mais sólidos dissolvidos são adicionados. Altos valores podem indicar características corrosivas da água (ver Gráficos 13 e 14). Os valores de CE também podem ser associados a pluviometria do local, onde nos períodos com maior volume de chuva seus valores podem cair (CETESB, 2022; Fernandes *et al*, 2004). Essa hipótese ratifica os resultados desse trabalho que mostra um aumento da condutividade nos períodos de seca e a diminuição no período chuvoso no tempo da pesquisa.

Gráfico 13 - Variação da condutividade elétrica em função do tempo em amostras de água subterrânea.



Fonte: Autoria própria, 2023.

Gráfico 14 - Variação da condutividade elétrica em função dos poços em amostras de água subterrânea.



Fonte: Autoria própria, 2023.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo permitiu fazer o mapeamento de uma grande área de poços de abastecimento da zona rural de São Bernardo, assim como a caracterização das áreas entorno de cada poço. O trecho estudado possui aproximadamente 20 km, sendo que todos os poços se localizam em área rural e com baixo nível de poluição nos seus arredores, com exceção do P4, estando localizado em área de fazenda.

De acordo com as análises dos parâmetros físico-químicos, constatou-se que as concentrações de dureza estão dentro dos VMPs estipulados pela portaria gm/ms nº 888, de 4 de maio de 2021 do Ministério da Saúde. Identificou-se que os poços 3 e 4 apresentam águas consideradas duras, podendo atrapalhar a formação de sabão, assim como causar incrustações em tubulações na presença de calor.

Notou-se também a existência de parâmetros com valores irregulares em relação a legislação vigente e a literatura, como é o exemplo das altas concentrações de cloreto presente nas amostras de quase todos os poços. Constatou-se que 4 dos 5 poços possuem valores de pH abaixo do aceitável pela legislação, evidenciando a necessidade de maiores cuidados ao utilizar as águas provenientes desses poços para o consumo humano sem tratamento prévio.

Os parâmetros alcalinidade, dureza Ca^{2+} , dureza Mg^{2+} e condutividade elétrica não possuem VMPs estabelecidos pela portaria utilizada, mas foram utilizadas para outros tipos de análises, como explicar a maior variação do pH em decorrência da queda dos valores de alcalinidade, tendo em vista que quanto menor a alcalinidade da água, maior será sua suscetibilidade a este tipo de variação.

O poço 3 possui os maiores valores em quase todos os parâmetros analisados, sendo os mais expressivos em relação ao cloreto, dando a sua água um sabor salgado desagradável.

Com base na resolução CONAMA nº 396, de 3 de abril de 2008 e portaria gm/ms nº 888, de 4 de maio de 2021 do Ministério da Saúde, apenas o P5 é classificado como próprio para o consumo humano, com todos os outros possuindo parâmetros com valores irregulares, sendo estes o cloreto (Cl^-) e o pH. Porém, cabe ressaltar que o P5 também é o ponto de coleta com menor disponibilidade de dados em comparação aos demais, evidenciando uma menor robustez desta conclusão em relação aos demais pontos de coleta.

Os dados obtidos neste trabalho podem ser utilizados como auxílio para futuras análises, pois nesta região existem diversos poços que não foram analisados por este trabalho, assim havendo a necessidade da realização de novos estudos e do aumento da área avaliada para uma melhor determinação da qualidade da água para consumo humano na região de São Bernardo – MA.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, J. B. **A qualidade de águas superficiais e subterrâneas na bacia do rio da prata/São Luís – MA sob efeito de ação antrópica**. 2013. 121 f. Tese (Doutorado) - Curso de Doutorado em Física, Departamento de Física, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2013. Disponível em: https://repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/13877/1/2013_tese_jbalmeida.pdf. Acesso em: 17 ago. 2024.
- ALMEIDA, R. A. S. **Índices de qualidade de água**. Cruz das Almas: EDUFRB, 2021. 114 p. Disponível em: <https://www1.ufrb.edu.br/editora/component/phocadownload/category/2ebooks?download=219:indices-de-qualidade-de-aguaos>. Acesso em: 04 de mar. de 2024.
- ANA - Agência Nacional Das Águas. **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil. Informe 2014. Encarte especial sobre a crise hídrica**. Brasília, 2015. Disponível em <http://conjuntura.ana.gov.br/docs/crisehidrica.pdf>. Acesso em 28 de abr. de 2024.
- ANA - Agência Nacional de Águas. **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil: regiões hidrográficas brasileiras – Edição Especial**. Brasília: ANA, 2015. 163 p. Disponível em: <https://www.snirh.gov.br/portal/snirh/centrais-de-conteudos/conjuntura-dos-recursos-hidricos/regioeshidrograficas2014.pdf>. Acesso em: 20 de abr. 2024.
- ANA. Agência Nacional de Águas. **Diretoria provisória do Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio Parnaíba toma posse**, 2018. Disponível em: <https://www.gov.br/ana/pt-br/assuntos/noticias-e-eventos/noticias/diretoria-provisoria-do-comite-da-bacia-hidrografica-do-rio-parnaiba-toma-posse>. Acesso em: 21 abril 2024.
- ATKINS, P.; JONES, L. **Princípios de Química: questionando a vida moderna e o meio ambiente**. 5ª. ed. Porto Alegre: bookman, 2012.
- BARBOSA M. C., CARVALHO, A. M., IKEMATSU, P., ALBUQUERQUE FILHO, J. L., CAVANI, A. C. M. Avaliação do perigo de contaminação do sistema aquífero guarani em sua área de afloramento do estado de são paulo decorrente das atividades agrícolas, *Águas Subterrâneas*, v.25, n.1, p.1-14, 2011.
- BASSOI, L J. Poluição da Águas. In: JÚNIOR, Arlindo Philippi; PELICIONI, Maria Cecília Focesi (Orgs.) *Educação Ambiental e Sustentabilidade*. Barueri, São Paulo: Manole, 2005.
- Borghetti, N.R.B.; Borghetti, J.R.; Rosa Filho, E.F. **O Aquífero Guarani: a verdadeira integração dos países do Mercosul**, Fundação Roberto Marinho, Aquicultura e Meio Ambiente. Curitiba: Maxigráfica, 2004.
- BRASIL. Conselho Nacional de Recursos Hídricos. **Resolução CNRH nº 91, de 05 de novembro de 2008**. [S. l.: s. n.], 2008. Disponível em: <https://www.ceivap.org.br/ligislacao/Resolucoes-CNRH/Resolucao-CNRH%2091.pdf>. Acesso em: 26 de abr. de 2024.
- BRASIL. **Constituição da República Federativa do Brasil de 1988**. [S. l.: s. n.], 1988. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicao.htm. Acesso em: 10 de mar. de 2024.

Brasil. Fundação Nacional de Saúde. **Manual prático de análise de água**. 3ª ed. rev. Brasília: Fundação Nacional de Saúde, 2009. 144 p.

BRASIL. Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências.

Diário Oficial da União, 2 set. 1981. Disponível em:

https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l6938.htm. Acesso em: 11 março 2023.

BRASIL. Lei nº 9.433, de 8 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 nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. **Diário Oficial da União**, 9 jan.1997 Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9433.htm. Acesso em: 25 de abr. de 2024.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Fundação Nacional de Saúde. Manual de controle da qualidade da água para técnicos que trabalham em ETAS / Ministério da Saúde, Fundação Nacional de Saúde, Brasília**: Funasa, 2014. Disponível em:

http://www.funasa.gov.br/site/wpcontent/files_mf/manualcont_quali_agua_tecnicos_trab_emetas.pdf. Acesso em: 25 Jul. 2023.

BRASIL. Ministério da saúde. Portaria gm/ms nº 888, de 4 de maio de 2021. Altera o Anexo XX da Portaria de Consolidação GM/MS nº 5, de 28 de setembro de 2017, para dispor sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. **Diário oficial da união**, 07 mai. 2021. Disponível em: <https://cvs.saude.sp.gov.br/zip/PORT.GM-MS-888-21.pdf>. Acesso em: 29 abril 2024.

BRASIL. Ministério do meio ambiente e mudança do clima. **O que é o CONAMA?**. 2023. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Disponível em: <https://conama.mma.gov.br/o-que-e-o-conama>. Acesso em: 08 abr. 2024.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Resolução n.º 396, de 3 de abril de 2008. **Conselho Nacional de Meio Ambiente – CONAMA**, Brasília, DF. 2008.

BRASIL. RESOLUÇÃO No. 32, de 15 de outubro de 2003. **ceivap**, 2003. Disponível em: <https://www.ceivap.org.br/ligislacao/Resolucoes-CNRH/Resolucao-CNRH%2032.pdf>. Acesso em: 22 abril 2024.

BRASIL. Vigilância e controle de qualidade de água para o consumo humano. Brasília **Ministério da saúde**, 2006. 211 p. Disponível em: https://bvsmms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/vigilancia_controle_qualidade_agua.pdf. Acesso em: 10 de mar. de 2023.

BRUNI, J. C. A água e a vida. Rev. Tempo Social USP. São Paulo: [s. n.], v. 5, n. 1 - 2, p. 53 - 65, 1993. Disponível em: <https://www.revistas.usp.br/ts/article/view/84942/87671>. Acesso em: 02 de fev. de 2024.

BRUNI, J. C. A água e a vida. Rev. Tempo Social USP. São Paulo: [s. n.], v. 5, n. 1-2, p. 53-65, 1993. Disponível em: <https://www.revistas.usp.br/ts/article/view/84942/87671>. Acesso em: 04 de mar. de 2024.

CASTRO, C. N. D. **Água, Problemas Complexos e o Plano Nacional e Segurança Hídrica**. 1ª. ed. Rio de Janeiro: Instituto de Pesquisa Económica Aplicada (Ipea), v. 1, 2022.

CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Significado ambiental e sanitário das variáveis de qualidade das águas e dos sedimentos e metodologias analíticas e de amostragem**. 2022. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/aguas-interiores/wp-content/uploads/sites/12/2023/11/Apendice-C-Significado-Ambiental-e-Sanitario-das-Variaveis-de-Qualidade-das-Aguas-e-dos-Sedimentos-e-Metodologias-Analiticas-e-de-Amostragem.pdf>. Acesso em: 10 de jun. de 2024.

CETESB. Poluição das águas subterrâneas. **CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo**, 2013. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/aguas-subterraneas/poluicao-das-aguassubterraneas/#:~:text=As%20principais%20fontes%20potenciais%20de,atividades%20industriais%2C%20como%20indústrias%20químicas%2C>. Acesso em: 20 jun. 2024.

CETESB. Significado ambiental e sanitário das variáveis de qualidade. **Companhia Ambiental do Estado de São Paulo**, 2014. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/aguas-interiores/wp-content/uploads/sites/12/2013/11/Apendice-D-Significado-Ambiental-e-Sanitario-das-Variaveis-de-Qualidade-29-04-2014.pdf>. Acesso em: 25 junho 2024.

Codevasf, 2019. 180 p. Disponível em: <https://www.codevasf.gov.br/aceso-a-informacao/institucional/biblioteca-geral-do-rocha/publicacoes/planos/plano-nascente-itapecuru.pdf>. Acesso em: 05 de mar. de 2024.

CODEVASF. Bacia do Parnaíba abriga 4,8 milhões de pessoas, 279 municípios e três diferentes biomas. **codevasf**, 2014. Disponível em: <https://www.codevasf.gov.br/noticias/2014/bacia-do-parnaiba-abriga-4-8-milhoes-de-pessoas-279-municipios-e-tres-diferentes-biomas#wrapper>. Acesso em: 21 Abril 2024.

CODEVASF. Companhia de Desenvolvimento dos Vales do São Francisco e do Parnaíba. Municípios na bacia hidrográfica do rio Itapecuru - área de atuação da CODEVASF. **Codevasf**, 2019. Disponível em: <https://www.codevasf.gov.br/area-de-atuacao/bacia-hidrografica/parnaiba#:~:text=Na%20bacia%20hidrográfica%20do%20rio,Lobão%2C%20Jos%20de%20Freitas%2C%20Lagoa>. Acesso em: 04 abril 2024.

da Silva, R. N. M.; Gomes, L. V.; Silva, M. de N. dos S.; Azevedo, J. J. Recarga de água subterrânea na ilha do maranhão e a demanda necessária - 2010 a 2040. 2010. XVI Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas e XVII Encontro Nacional de Perfuradores de Poços. **Águas Subterrâneas**. Disponível em: <https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/22905>. Acesso em: 08 abr. 2024.

GOMES, A. S.; SCIVITTARO, W. B.; PETRINI, J. A.; FERREIRA, L. H. G. **A água: Distribuição, regulamentação e uso na agricultura, com ênfase ao arroz irrigado**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2008. 44 p. Disponível em: <https://www.embrapa.br/buscadepublicacoes/-/publicacao/746734/a-aguadistribuiçãoregulamentação-e-uso-na-agriculturacom-ênfase-ao-arroz-irrigado>. Acesso em: 27 de abr. de 2024.

GRASSI, M. **Qualidade da Água consumida pelos Brasileiros**. Oficina do eixo Meio Ambiente, Clima e Vulnerabilidade. [S. l.]: Rede Mobilizadores, 2013. Disponível em:

https://issuu.com/mobilizadorescoep/docs/cartilha_qualidade_da_gua_consumi. Acesso em: 28 de abr. de 2024.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Portal de mapas. **ibge.gov.br**, 2022. Disponível em: <https://portaldemapas.ibge.gov.br/portal.php#homepage>. Acesso em: 22 de mai. de 2024.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **São Bernardo**, 2023. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/ma/sao-bernardo/panorama>. Acesso em: 20 jun. 2024.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Normas Analíticas do Instituto Adolfo Lutz. Métodos Físico-químicos para Análises de Alimentos**. 4ª ed. (1ª Edição digital), 2008. 1020 p.

JACOBI, P. R.; GRANDISOLI, E. **Água e sustentabilidade: desafios, perspectivas e soluções**. 1. ed. São Paulo: IEE-USP e Reconectta, 2017. 110 p. Disponível em: https://macroamb.files.wordpress.com/2018/11/jacobi_grandisoli2017_aguaesustentabiliadedesafiosperspectivasesolucoes.pdf. Acesso em: 04 de mar. 2024.

KONCAGÜL, E.; CONNOR, R. Relatório Mundial das Nações Unidas sobre o Desenvolvimento dos Recursos Hídricos 2023: parcerias e cooperação para a água; fatos, dados e exemplos de ação. **UNESCO**, 2023. Disponível em: https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000384659_por. Acesso em: 2 março 2024.

LIMA, J. E. F. W. **Recursos hídricos no Brasil e no mundo**. Planaltina: Embrapa Cerrado, 2001. 46 p. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CPAC-2010/23443/1/doc-33.pdf>. Acesso em: 20 de mar. de 2021.

MARANHÃO. **Decreto nº 34.847, de 14 de maio de 2019**. [S. l.: s. n], 2019. Disponível em: <https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=377721>. Acesso em: 06 de dez. de 2024.

MARANHÃO. **Relatório diagnóstico do município de são bernardo**. cprm.gov.br, 2011. Disponível em: https://rigeo.cprm.gov.br/jspui/bitstream/doc/15644/1/rel-sao_bernardo.pdf. Acesso em: 29 abril 2024.

MOTTA, E. J. O.; GONÇALVES, N. E. W. Plano nascente Parnaíba: plano de preservação e recuperação de nascentes da bacia do rio Parnaíba. plano de preservação e recuperação de nascentes da bacia do rio Parnaíba. 2016. **Codevasf**. Disponível em: <https://www.codevasf.gov.br/aceso-a-informacao/institucional/biblioteca-geral-rocha/publicacoes/planos/plano-nascente-parnaba.pdf>. Acesso em: 08 abr. 2024.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. Declaração Universal dos Direitos da Água, de 22 de março 1992. Disponível em <http://www.direitoshumanos.usp.br/index.php/Meio-Ambiente/declaracao-universal-dos-direitos-daagua.html>. Acesso em: 3 de mar. 2024.

PARRON, L. M.; MUNIZ, D. H. F.; PEREIRA, C. M. **Manual de procedimentos de amostragem e análise físico-química de água**. Embrapa, Florestas. 2011. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/57612/1/Doc232ultima-versao.pdf>. Acesso em: 08 abr. 2024.

PEREIRA, A. K. V. et al. AVALIAÇÃO DA DUREZA E DAS CONCENTRAÇÕES DE CÁLCIO E MAGNÉSIO EM ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DA ZONA URBANA E RURAL DO MUNICÍPIO DE ROSÁRIO-MA. **Águas Subterrâneas**, 2010. Disponível em:

<https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/22915>. Acesso em: 29 abril 2024.

PORTO, L. L.; MOTTA, E. J. O.; SOUZA, C. C. **Plano Nascente Itapecuru**: plano de preservação e recuperação de nascentes da bacia hidrográfica do rio Itapecuru. Brasília: Codevasf, 2019. 180 p. Disponível em: <https://www.codevasf.gov.br/linhas-denegocio/revitalizacao/protacao-de-nascentes-e-conservacao-de-agua-solo-e-recursosflorestais/arquivos/plano-nascente-itapecuru.pdf>. Acesso em: 28 de abr. de 2021.

SCOPEL, E. et al. Extração de Ácido Cítrico do Limão e sua Utilização para a. **bq.org.br**, 2017. Disponível em: <http://static.sites.s bq.org.br/rvq.s bq.org.br/pdf/v9n3a07.pdf>. Acesso em: 10 junho 2024.

SKOOG, D. A. et al. **Fundamentos de Química Analítica**. 8ª. ed. Sao Paulo: Cengage Learning, 2006.

SOUSA, R. **Água**. [2019?]. Brasil Escola. Disponível em: <https://brasilecola.uol.com.br/geografia/agua.htm>. Acesso em: 17 ago. 2024.

SPERANDIO, P, C. A. **A qualidade de águas superficiais e subterrâneas na bacia do rio da prata/são luís – MA sob efeito de ação antrópica**. Orientador: Maria Marlúcia Freitas Santiago. 2013. 121 p. Tese (Doutorado em Ciências) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2013.*--

TUCCI, C. E. M.; HESPANHOL, I.; NETTO, O. M. C. A gestão da água no Brasil: uma primeira avaliação da situação atual e das perspectivas para 2025. [s.l.]: [s.n.], 2000. Disponível em: <https://globaltrends.thedialogue.org/publication/a-gestao-da-agua-no-brasil-uma-primeira-avaliacao-da-situacao-atual-e-das-perspectivas-para-2025/>. Acesso em: 28 de abr. de 2024.

TUCCI, C. M. E., HESPANHOL, I., CORDEIRO NETTO, O. M. **Gestão da água no Brasil**. Brasília: UNESCO, 2001. 156 p. Disponível em: http://r1.ufrj.br/lmbh/pdf/Outras%20publicacoes/LMBH_gestao_da_agua_no_Brasil.pdf. Acesso em: 10 de abr. de 2024.

TUNDISI, J. G. **Recursos Hídricos**. Instituto Internacional de Ecologia, São Carlos, 2003. Disponível em: http://www.multiciencia.unicamp.br/artigos_01/A3_Tundisi_port.PDF. Acesso em: 26 de fev. de 2024.

UEMA. Universidade Estadual do Maranhão, Centro de Ciências Agrárias, Núcleo Geoambiental. **Bacias hidrográficas e climatologia do Maranhão**. Universidade estadual do Maranhão. São Luís, 2016. 165 p. Disponível em: <https://www.nugeo.uema.br/upnugeo/publicacoes/Bacias%20Hidrogr%C3%A1ficas%20e%20Climatologia%20-%20MA>. Acesso em: 04 de abr. de 2024.

VITORINO, C. J. A. **Planeta Água Morrendo de Sede**: uma visão analítica na metodologia do uso e abuso dos recursos hídricos. Porto Alegre: EDIPUCRS, 2007. 231 p. Disponível em: <https://bibliodigital.unijui.edu.br:8443/xmlui/bitstream/handle/123456789/1445/Planeta%20c3%a1gua%20morrendo%20de%20sede.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 01 de mar. de 2024.

VON SPERLING, M. **Estudos e modelagem da qualidade da água de rios**. Belo Horizonte: UFMG, 2007. 588 p. (Princípios do tratamento biológico de águas residuárias).

APÊNDICES

APÊNDICE A -Tabela S1

Tabela S1 - Volumes obtidos em todas as análises realizadas em laboratório deste trabalho e tratamento estatístico dos dados.

Parâmetros	Alcalinidade (mL de H₂SO₄)	Dureza total (mL de EDTA)	Dureza Ca²⁺ (mL de EDTA)	Cloreto (mL de AgNO₃)
Coleta 1, junho de 2023				
P1	0,3	3,3	1,9	15,6
	0,3	3,2	1,4	15,4
	0,3	3,1	2,1	15,5
D.Padão	0,00	0,10	0,36	0,10
Média	0,30	3,20	1,80	15,50
CV/%	0,00	3,13	20,03	0,65
E.Padrão	0,00	0,06	0,21	0,06
P2	0,7	8,2	3	28,3
	0,5	7,6	3,5	27,8
	0,5	7,8	2,9	27,9
D.Padão	0,12	0,31	0,32	0,26
Média	0,57	7,87	3,13	28,00
CV/%	20,38	3,88	10,26	0,94
E.Padrão	0,07	0,18	0,19	0,15
P3	0,3	8,6	4,8	29,4
	0,4	8,6	4,3	29,1
	0,2	8,4	4,8	29,2
D.Padão	0,10	0,12	0,29	0,15
Média	0,30	8,53	4,63	29,23
CV/%	33,33	1,35	6,23	0,52
E.Padrão	0,06	0,07	0,17	0,09
P4	-	-	-	-
	-	-	-	-
	-	-	-	-
D.Padão	-	-	-	-
Média	-	-	-	-
CV/%	-	-	-	-
E.Padrão	-	-	-	-
P5	-	-	-	-
	-	-	-	-
	-	-	-	-
D.Padão	-	-	-	-
Média	-	-	-	-
CV/%	-	-	-	-
E.Padrão	-	-	-	-

Coleta 2, agosto de 2023				
P1	0,5	3,4	1,3	31,6
	0,3	3,7	1,4	31,2
	0,4	3,7	1,5	31
D.Padão	0,10	0,17	0,10	0,31
Média	0,40	3,60	1,40	31,27
CV/%	25,00	4,81	7,14	0,98
E.Padrão	0,06	0,10	0,06	0,18
P2	0,7	8,2	3,3	54,4
	0,6	8	3	54,5
	0,6	7,9	3,4	54,1
D.Padão	0,06	0,15	0,21	0,21
Média	0,63	8,03	3,23	54,33
CV/%	9,12	1,90	6,44	0,38
E.Padrão	0,03	0,09	0,12	0,12
P3	0,3	11,1	5,5	76,1
	0,1	11,2	5,5	76,4
	0,1	11,2	5,5	76,8
D.Padão	0,12	0,06	0,00	0,35
Média	0,17	11,17	5,50	76,43
CV/%	69,28	0,52	0,00	0,46
E.Padrão	0,07	0,03	0,00	0,20
P4	7,1	13	7,1	34,3
	7	12,4	6,9	34,2
	7,1	12,8	6,8	34,9
D.Padão	0,06	0,31	0,15	0,38
Média	7,07	12,73	6,93	34,47
CV/%	0,82	2,40	2,20	1,10
E.Padrão	0,03	0,18	0,09	0,22
P5	4,8	7,3	3,5	17,7
	4,5	7,3	3,3	18
	4,6	7,2	3,7	17,6
D.Padão	0,15	0,06	0,20	0,21
Média	4,63	7,27	3,50	17,77
CV/%	3,30	0,79	5,71	1,17
E.Padrão	0,09	0,03	0,12	0,12
Coleta 3, outubro de 2023				
P1	0,4	2,7	1,6	16,2
	0,4	2,8	1,2	15,3
	0,4	2,8	1,3	15,8
D.Padão	0,00	0,06	0,21	0,45
Média	0,40	2,77	1,37	15,77
CV/%	0,00	2,09	15,23	2,86

E.Padrão	0,00	0,03	0,12	0,26
	1,1	7,2	4,8	28,4
P2	1,05	6,7	4	28,6
	1,2	6,8	4,3	28,7
D.Padão	0,08	0,26	0,40	0,15
Média	1,12	6,90	4,37	28,57
CV/%	6,84	3,83	9,26	0,53
E.Padrão	0,04	0,15	0,23	0,09
	0,25	10,3	5,7	44,1
P3	0,25	10,1	5,6	44
	0,35	10,1	6	44,3
D.Padão	0,06	0,12	0,21	0,15
Média	0,28	10,17	5,77	44,13
CV/%	20,38	1,14	3,61	0,35
E.Padrão	0,03	0,07	0,12	0,09
	7,55	9,7	2,5	15,1
P4	7,5	9,9	4,1	15,5
	7,5	9,8	3,6	15,2
D.Padão	0,03	0,10	0,82	0,21
Média	7,52	9,80	3,40	15,27
CV/%	0,38	1,02	24,07	1,36
E.Padrão	0,02	0,06	0,47	0,12
	-	-	-	-
P5	-	-	-	-
	-	-	-	-
D.Padão	-	-	-	-
Média	-	-	-	-
CV/%	-	-	-	-
E.Padrão	-	-	-	-
Coleta 4, dezembro de 2023				
	0,45	2,55	1,2	14,5
P1	0,5	2,35	1,5	14,5
	0,5	2,55	1,15	14,3
D.Padão	0,03	0,12	0,19	0,12
Média	0,48	2,48	1,28	14,43
CV/%	5,97	4,65	14,75	0,80
E.Padrão	0,02	0,07	0,11	0,07
	0,5	6,4	2,8	27,4
P2	0,5	6,35	2,9	27,2
	0,5	6,35	2,6	27,3
D.Padão	0,00	0,03	0,15	0,10
Média	0,50	6,37	2,77	27,30
CV/%	0,00	0,45	5,52	0,37
E.Padrão	0,00	0,02	0,09	0,06

	0,3	12	4,55	49,7
P3	0,25	11,9	4,4	49,9
	0,3	11,8	4,65	49,8
D.Padão	0,03	0,10	0,13	0,10
Média	0,28	11,90	4,53	49,80
CV/%	10,19	0,84	2,78	0,20
E.Padrão	0,02	0,06	0,07	0,06
	7,8	10,3	3,3	15
P4	7,9	10	3,9	15,1
	7,8	10,2	3,1	15,1
D.Padão	0,06	0,15	0,42	0,06
Média	7,83	10,17	3,43	15,07
CV/%	0,74	1,50	12,13	0,38
E.Padrão	0,03	0,09	0,24	0,03
	4,65	5,85	2,25	8,6
P5	4,75	5,65	2,25	8,6
	4,65	5,65	2	8,7
D.Padão	0,06	0,12	0,14	0,06
Média	4,68	5,72	2,17	8,63
CV/%	1,23	2,02	6,66	0,67
E.Padrão	0,03	0,07	0,08	0,03
Coleta 5, fevereiro de 2024				
	0,2	12,7	2,85	25,5
P1	0,2	12,3	2,85	25,5
	0,15	12,5	2,85	25,4
D.Padão	0,03	0,20	0,00	0,06
Média	0,18	12,50	2,85	25,47
CV/%	15,75	1,60	0,00	0,23
E.Padrão	0,02	0,12	0,00	0,03
	0,35	5,9	1,35	12,4
P2	0,4	6,1	1,8	12,4
	0,4	6,1	1,25	12,3
D.Padão	0,03	0,12	0,29	0,06
Média	0,38	6,03	1,47	12,37
CV/%	7,53	1,91	19,98	0,47
E.Padrão	0,02	0,07	0,17	0,03
	0,35	2,6	1,2	7,6
P3	0,5	2,4	0,75	7,5
	0,45	2,5	0,5	7,5
D.Padão	0,08	0,10	0,35	0,06
Média	0,43	2,50	0,82	7,53
CV/%	17,63	4,00	43,44	0,77
E.Padrão	0,04	0,06	0,20	0,03
	5	9,8	1,75	12,2

P4	4,9	9,1	1,75	12,3
	4,9	9,3	1,5	12,3
	0,06	0,36	0,14	0,06
D.Padão	0,06	0,36	0,14	0,06
Média	4,93	9,40	1,67	12,27
CV/%	1,17	3,84	8,66	0,47
E.Padrão	0,03	0,21	0,08	0,03
P5	4,4	5,9	2,15	4,3
	4,5	5,4	2,4	4,3
	4,4	5,3	2,05	4,3
D.Padão	0,06	0,32	0,18	0,00
Média	4,43	5,53	2,20	4,30
CV/%	1,30	5,81	8,19	0,00
E.Padrão	0,03	0,19	0,10	0,00
Coleta 6, abril de 2024				
P1	0,5	3	1,9	7,5
	0,45	3,1	2,25	7,4
	0,45	3,2	2	7,5
D.Padão	0,03	0,10	0,18	0,06
Média	0,47	3,10	2,05	7,47
CV/%	6,19	3,23	8,79	0,77
E.Padrão	0,02	0,06	0,10	0,03
P2	0,45	8,1	4,55	14
	0,35	8,2	6	14
	0,4	8,25	6,1	14,1
D.Padão	0,05	0,08	0,87	0,06
Média	0,40	8,18	5,55	14,03
CV/%	12,50	0,93	15,63	0,41
E.Padrão	0,03	0,04	0,50	0,03
P3	0,5	11,75	6,05	19,2
	0,5	11,75	6	19,1
	0,4	11,8	6,1	19,2
D.Padão	0,06	0,03	0,05	0,06
Média	0,47	11,77	6,05	19,17
CV/%	12,37	0,25	0,83	0,30
E.Padrão	0,03	0,02	0,03	0,03
P4	5,7	13,25	9,4	13
	5,55	13,2	8,9	12,9
	5,7	13,35	9,15	13
D.Padão	0,09	0,08	0,25	0,06
Média	5,65	13,27	9,15	12,97
CV/%	1,53	0,58	2,73	0,45
E.Padrão	0,05	0,04	0,14	0,03
P5	4,7	7,2	3,3	4,4
	4,65	6,95	3,45	4,4

	4,65	7,25	3,6	4,4
D.Padrão	0,03	0,16	0,15	0,00
Média	4,67	7,13	3,45	4,40
CV/%	0,62	2,25	4,35	0,00
E.Padrão	0,02	0,09	0,09	0,00

Nota: D.padrão = Desvio padrão; CV% = Coeficiente de variação; E.Padrão = Erro padrão.

Fonte: Autoria própria, 2024.