



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA QUÍMICA

DISERTAÇÃO DE MESTRADO

ANDRÉ ROCHA DE ALMEIDA

**ESTUDO DE CARACTERIZAÇÃO COMPARATIVA DE FONTES DE ÁGUAS
MINERAIS NOS AQUÍFEROS BARREIRAS E SÃO SEBASTIÃO NOS ESTADOS
DE SERGIPE E BAHIA**

São Cristóvão – SE
2023

ANDRÉ ROCHA DE ALMEIDA

**ESTUDO DE CARACTERIZAÇÃO COMPARATIVA DE FONTES DE ÁGUAS
MINERAIS NOS AQUÍFEROS BARREIRAS E SÃO SEBASTIÃO NOS ESTADOS
DE SERGIPE E BAHIA**

Dissertação de Mestrado apresentado ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química da Universidade Federal de Sergipe, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia Química.

Mês/ano de ingresso: Março/2021
Área de concentração: Ciência e Engenharia de processos Químicos
Linha de pesquisa: Processos químicos e biotecnológicos.

Orientador: Prof. Dr. Roberto Rodrigues de Souza

São Cristóvão (SE)

(2023)

RESUMO

Com a baixa disponibilidade e alto custo do tratamento de água potável, a água mineral tem se tornado uma alternativa crescente, consolidando-se como uma das principais vias para abastecimento humano. A disponibilidade de diferentes fontes de águas subterrâneas traz consigo uma enorme variedade na qualidade e teor de minerais e outros componentes, que podem variar inclusive entre diferentes pontos do mesmo aquífero, afetando o uso dessas águas para consumo direto ou na indústria de bebidas. Neste estudo, comparou-se a qualidade das águas oriundas de dois pontos do aquífero Barreiras nos estados de Sergipe e Bahia e o aquífero São Sebastião no estado da Bahia. Foram avaliadas 48 fontes entre os três aquíferos selecionados quanto à sua classificação hidroquímica e classificação seguindo os critérios do código de águas minerais, teor de minerais em sua composição e qualidade da água para uso na indústria de bebidas. Utilizando a estatística, através de métodos não paramétricos, observou-se uma igualdade nos parâmetros de pH e teor dos elementos fluoreto, sulfato, bicarbonato, bário, cálcio e magnésio entre as amostras de águas minerais dos aquíferos selecionados. Quanto aos demais elementos e propriedades físico-químicas, notou-se uma diferença significativa entre os diferentes pontos do aquífero Barreiras, que mostrou em sua porção do estado de Sergipe valores elevados de condutividade, temperatura e radioatividade, além de teor mais elevado dos elementos cloreto, brometo e nitrato, em relação à sua porção do estado da Bahia. Também, notou-se uma grande semelhança entre os parâmetros físico-químicos e elementos químicos quando comparados os aquífero Barreiras na porção sul da Bahia com o aquífero São Sebastião. Observou-se que embora todas as águas estudadas serem límpidas, inodoras e de bom sabor, elas apresentam pH ácido e com predominância de águas cloretadas, ricas em cálcio, sódio e magnésio, condições que as classificam como mais apropriadas para uso na produção de cerveja, uma vez que oferecem condições ideais às leveduras fermentativas.

Palavras-chave: Água mineral. Aquífero Barreiras. Aquífero São Sebastião. Estudo comparativo.

ABSTRACT

The access of potable drinking water has been globally reducing and its treatment is costly and mostly non-viable. As an alternative, mineral water from ground sources has become a growing alternative, being currently established as one of the main sources of water for human consume. The availability of different sources of groundwater brings an enormous variety in the quality and content of minerals and other components, which can vary even across different regions of the same aquifer, affecting the use of water for direct consumption or in the beverage industry. In this study was compared the quality of water from two points in the Barreiras aquifer in the states of Sergipe and Bahia and the São Sebastião aquifer in the state of Bahia. Forty-eight sources were evaluated among the three selected aquifers regarding their hydrochemical classification and classification following the mineral water code criteria, mineral content in their composition and water quality for use in the beverage industry. Using statistics, through non-parametric methods, equality was observed in the parameters of pH and content of the elements fluoride, sulfate, bicarbonate, barium, calcium and magnesium among the mineral water samples from the selected aquifers. Was observed a pattern in the pH parameters and content of the elements fluoride, sulfate, bicarbonate, barium, calcium and magnesium among the analyzed samples. As for the other elements and physical-chemical properties, was observed a significant difference between the different points of the Barreiras aquifer, which showed in its Sergipe portion higher values of conductivity, temperature and radioactivity, in addition to higher content of the elements chloride, bromide and nitrate, in comparison to its Bahia portion. Also, there was a great similarity between the physical-chemical parameters and chemical elements when comparing the Barreiras aquifer in the southern portion of Bahia with the São Sebastião aquifer. Despite all the studied waters are clear, odorless and taste good, we observed that they have an acidic pH and a predominance of chlorinated waters, rich in calcium, sodium and magnesium, conditions that classify them as more appropriate for use in the production of beer, since they offer ideal conditions for fermentative yeasts.

Keywords: Mineral water. Aquifer. Comparative study. Water Quality.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Perfil de usuários de água subterrânea no país (CPRM 2018).....	13
Figura 2: Localização das Fontes de Água Mineral dos Aquíferos Barreiras e São Sebastião na Bahia.	39
Figura 3: Localização das Fontes de Água Mineral do Aquífero Barreiras em Sergipe.	39
Figura 4: Diagrama de Piper para as fontes do aquífero Barreiras Sergipe	60
Figura 5: Diagrama de Piper para as fontes do aquífero Barreiras Bahia.	60
Figura 6: Diagrama de Piper para as fontes do aquífero São Sebastião Bahia.....	61
Figura 7: Boxplot da Condutividade Elétrica dos Aquíferos.	68
Figura 8: Boxplot da Temperatura dos Aquíferos.....	69
Figura 9: Boxplot da Radioatividade dos Aquíferos.....	700
Figura 10: Boxplot do Cloreto dos Aquíferos.....	71
Figura 11: Boxplot do Brometo dos Aquíferos.....	72
Figura 12: Boxplot do Nitrato dos Aquíferos.....	73
Figura 13: Boxplot do Potássio dos Aquíferos.....	74
Figura 14: Boxplot do Sódio dos Aquíferos.....	75

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Limites para substâncias químicas que representam risco à saúde.	18
Tabela 2- Tipos de Alcalinidade.	20
Tabela 3- Classificação das águas subterrâneas quanto aos valores de Sólidos Dissolvidos Totais.	21
Tabela 4- Dados do Aquífero Barreiras Sergipe.	37
Tabela 5- Dados do Aquífero Barreiras Bahia.	38
Tabela 6- Dados do Aquífero São Sebastião Bahia.	38
Tabela 7- Sólidos Totais Dissolvidos do Aquífero Barreiras Sergipe.	45
Tabela 8- Sólidos Totais Dissolvidos do Aquífero Barreiras Bahia.	46
Tabela 9- Sólidos Totais Dissolvidos do Aquífero São Sebastião Bahia.	46
Tabela 10- Concentrações quantificáveis de Ferro nas Fontes.	53
Tabela 11- Concentrações quantificáveis de Zinco nas Fontes.	54
Tabela 12- Fontes que apresentaram concentrações de Lítio quantificáveis.	54
Tabela 13- Balanço Iônico do Aquífero Barreiras Bahia.	57
Tabela 14- Balanço Iônico do Aquífero São Sebastião Bahia.	58
Tabela 15- Balanço Iônico do Aquífero Barreiras Sergipe.	58
Tabela 16- Classificações das águas das fontes do aquífero Barreiras Sergipe.	63
Tabela 17- Classificações das águas das fontes do aquífero Barreiras Bahia.	63
Tabela 18- Classificações das águas das fontes do aquífero São Sebastião Bahia.	64
Tabela 19- Teste de Shapiro-Wilk e Estatística Descritiva.	65
Tabela 20- Teste de Kruskal-Wallis.	66
Tabela 21- Comparações múltiplas para a Condutividade Elétrica.	67
Tabela 22- Comparações múltiplas para a Temperatura.	68
Tabela 23- Comparações múltiplas para a Radioatividade.	69
Tabela 24- Comparações múltiplas para o Cloreto.	70

Tabela 25- Comparações múltiplas para o Brometo.	71
Tabela 26- Comparações múltiplas para o Nitrato.	72
Tabela 27- Comparações múltiplas para o Potássio.	73
Tabela 28- Comparações múltiplas para o Sódio.	74

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	11
2. REVISÃO DA LITERATURA.....	12
2.1. Águas subterrâneas	12
2.2. Hidrogeoquímica das águas subterrâneas	15
2.2.1. pH.....	19
2.2.2. Condutividade elétrica.....	19
2.2.3. Alcalinidade	19
2.2.4. Sólidos Dissolvidos Totais	20
2.2.5. Ânions	21
2.2.6. Cátions.....	23
2.2.7. Elementos traços	25
2.3. Água mineral.....	26
2.3.1. Classificação das águas minerais	30
2.4. Aquíferos	32
2.4.1. Tipos de Aquíferos	33
2.4.2. Aquífero Barreiras.....	34
2.4.3. São Sebastião.....	35
3. MATERIAIS E MÉTODOS	36
3.1. Área de Estudo.....	36
3.2. Equipamento	40
3.2.1. Cromatografia.....	40
3.2.2. A espectrometria de emissão ótica com plasma acoplado indutivamente (ICP-OES)	40
3.2.3. Determinação da alcalinidade	40
3.2.4. pH e Condutividade.....	41
3.2.5. Radioatividade.....	41
3.3. Metodologia.....	41
4. RESULTADOS	43
4.1. Análise dos Resultados.....	43
4.1.1. Parâmetros físico-químicos	43

4.1.1.1 pH.....	43
4.1.1.2. Condutividade	444
4.1.1.3. Sólidos Totais Dissolvidos (STD).....	45
4.1.1.4. Resíduo de Evaporação a 180°C	47
4.1.1.5. Radioatividade.....	477
4.1.1.6. Temperatura	48
4.1.2. Ânions	48
4.1.2.1. Fluoreto	48
4.1.2.2. Brometo.....	490
4.1.2.3. Cloreto.....	500
4.1.2.4. Sulfato	500
4.1.2.5. Fosfato.....	511
4.1.2.6. Bicarbonato	51
4.1.2.7. Nitrato e Nitrito	51
4.1.3. Cátions.....	52
4.1.3.1. Ferro, Zinco e Lítio	52
4.1.3.2. Bário.....	55
4.1.3.3. Cálcio, Magnésio e Potássio.....	55
4.1.3.4. Sódio	56
4.2. Balanço Iônico (BI).....	566
4.3. Classificação Hidroquímica	59
4.4. Teste de Normalidade – Shapiro-Wilk.....	644
4.5. Teste de Kruskal-Wallis	66
4.5.1. Condutividade Elétrica.....	67
4.5.2. Temperatura	68
4.5.3. Radioatividade.....	69
4.5.4. Cloreto.....	70
4.5.5. Brometo.....	71
4.5.6. Nitrato	72
4.5.7. Potássio	73
4.5.8. Sódio	74
4.5.9. Outros parâmetros	75
5. CONCLUSÃO	777

REFERÊNCIAS	79
APÊNDICES.....	86
ANEXOS	112

1. INTRODUÇÃO

A água está presente em todos os seres vivos, sendo indispensável para a vida deste planeta, então é um recurso vital para todos os seres vivos. A água é o constituinte inorgânico mais abundante na matéria viva, no homem representa 60% do seu peso, nas plantas atinge até 90% e em determinados seres aquáticos chega a 98% (BASSOI, 2014).

A água é a substância mais abundante no planeta, e está distribuída na forma de três estados físicos: sólido, líquido e vapor, nos oceanos, rios e lagos, nas geleiras, no ar e no subsolo. A água dos oceanos representa em torno de 96% do total disponível na terra, somado as águas salgadas subterrâneas e a de lagos, esta totaliza 98% de água salgada, indisponível para uso direto em princípio. O restante é água doce 2%, do total de água doce, 70% estão nas geleiras e na atmosfera, restando deste total somente 30% nas águas subterrâneas inacessíveis e nas águas superficiais (REIS et. al, 2021).

De modo geral, a água subterrânea tem sua origem na superfície e está intimamente ligada à água superficial. Porém, devido às diferenças óbvias entre os ambientes superficiais e subterrâneos, e também à tendência natural dos seres humanos a compartimentar sistemas complexos, estuda-se usualmente ou a hidrologia de água superficial ou a de água subterrânea, com pouca consideração dada à complexa interligação hidrológica entre as duas. Desta forma, este trabalho aproveita-se dessa divisão para cobrir mais aspectos de águas subterrâneas, e de uma maneira mais focada nas águas classificadas como mineral seguindo a classificação disposta no código de águas minerais (Decreto Lei nº7.841 de 8 de agosto de 1945), visando a caracterização de 2(dois) aquíferos localizados nos estados de Sergipe e Bahia, podendo assim, observar as principais diferenças nas águas minerais explotadas pelas indústrias de água mineral presentes nos aquíferos escolhidos.

O presente trabalho avaliou as águas das fontes de diversas indústrias de água mineral distribuídas pela área dos aquíferos escolhidos, fazendo sua classificação hidroquímica e a comparação estatística dos elementos presentes em suas composições. Também foi avaliado as características das águas para o uso na indústria de bebidas.

2. REVISÃO DA LITERATURA

Nesta revisão serão apresentados uma visão geral sobre águas subterrâneas e as características dos quais a define. Além disso, serão também avaliados os comportamentos das fontes de água mineral dos aquíferos São Sebastião e Barreiras na Bahia e o Barreiras em Sergipe.

2.1. Águas subterrâneas

Chama-se de águas subterrâneas os recursos hídricos que se encontram sob a superfície terrestre, preenchendo completamente os poros das rochas e dos sedimentos, constituindo os aquíferos. Elas são extremamente importantes para a segurança hídrica, pois 97% das águas doces e líquidas do planeta se encontram na forma de aquíferos (CEPAS-USP, 2019). A água subterrânea é a água localizada no subsolo, e por vezes, forma reservatórios naturais chamados de aquíferos, faz parte do ciclo hidrológico, ocorrendo nos poros e interstícios das formações geológicas de caráter sedimentar, ou nos planos de fraqueza estrutural das formações geológicas de caráter ígneo ou metamórfico, representado por falhas, fendas, fraturas e fissuras (SOUZA, 2006).

As águas subterrâneas sustentam diversos sistemas aquáticos como rios, lagos, mangues e pântanos e são essenciais para manutenção de florestas em regiões de clima tropical ou seco. O fluxo das águas subterrâneas impede o ingresso da água salgada marinha no continente e conseqüentemente, a não salinização de aquíferos costeiros. Sem ela, o planeta seria muito mais seco e menos biodiverso. Por outro lado, por estarem escondidas no subterrâneo, o controle, o diagnóstico e a consolidação de políticas públicas específicas são dificultados. Além disso, o desconhecimento sobre sua importância social, ambiental e econômica as deixam vulneráveis ao mau uso e à contaminação. O desenvolvimento das modernas técnicas de prospecção, perfuração e extração faz com que a água subterrânea seja vista como uma fonte inesgotável de abastecimento, porém, a maior parte dos aquíferos não podem suportar enormes taxas de extração demandadas em todo mundo.

As águas subterrâneas podem ser extraídas por poços ou pelo aproveitamento das nascentes, ponto em que os aquíferos interceptam a superfície. No Brasil, grande parte das águas subterrâneas são extraídas por poços tubulares (mais conhecidos como artesianos ou semiartesianos). Esse tipo de poço retira grandes vazões e costumam ser utilizadas por indústrias, comércio, condomínios, entre outros. Estima-se que há mais de 2,5 milhões de poços tubulares no país e são responsáveis por extrair 17.580 milhões de m³ de água ao ano. A título de comparação, esse volume seria suficiente para abastecer toda a população brasileira em um ano (CEPAS-USP, 2019). Diversos setores utilizam as águas subterrâneas, sendo os principais usos o abastecimento doméstico (30%), agropecuário (24%), abastecimento público urbano (18%) e abastecimento múltiplo (14%), industrial (10%) e outros (4%) como lazer, etc.

A importância da água subterrânea para o consumo doméstico, principalmente, decorre do fato de que, na maioria dos casos, não necessita de adutoras de água bruta de maior extensão, pois a perfuração pode ocorrer próxima ao local de abastecimento e a unidade de tratamento ser instalada contígua ao poço (LIBÂNIO, 2008). Além disso, também há a vantagem de possuir qualidade superior que apresenta, tendo em vista que o material aquífero não saturado, através do qual infiltra, funciona como um filtro biogeoquímico de depuração, a água subterrânea é protegida dos agentes de degradação da sua qualidade. Assim, uma obra de captação mal construída representa um verdadeiro foco de contaminação da água subterrânea (CPRM, 2008).

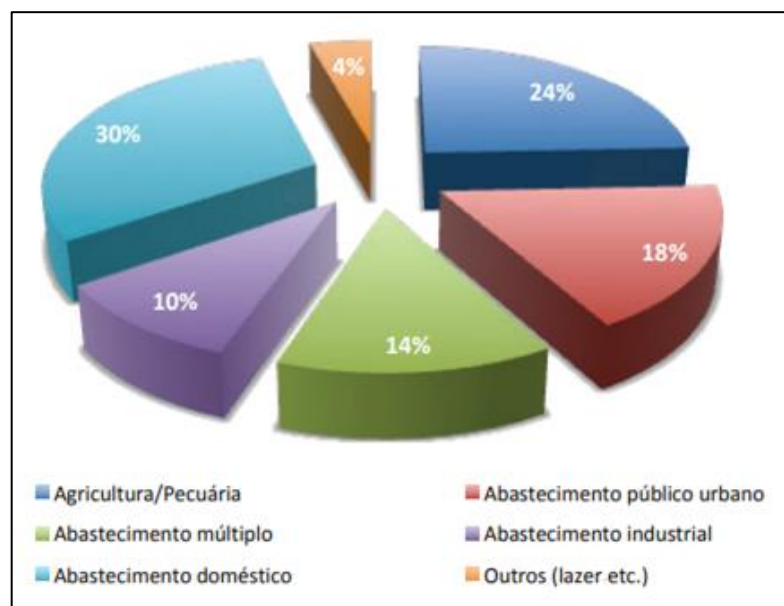


Figura 1: Perfil de usuários de água subterrânea no país (CPRM 2018).

Os aquíferos são considerados a grande promessa para o abastecimento de água, entretanto, pouco se conhece sobre as suas reais proporções, potencialidades e fragilidades, situação agravada pelo uso desenfreado e inadequado desses recursos. Uma vez alcançado o lençol freático, os danos causados as águas subterrâneas podem ser de grande impacto. Por isso se faz necessário um maior conhecimento das características dos recursos subterrâneos e dos pontos de exploração existentes (RIFFEL & SILVA, 2011).

Diferentemente das águas superficiais, cujas taxas de fluxo e qualidade são medidas fáceis e baratas de conseguir, os dados de água subterrânea podem usualmente ser obtidos somente através de perfuração, relativamente cara, de poços, em geologia não homogênea. A maioria das agências estaduais e federais não têm os recursos financeiros necessários, para que as redes adequadas de poços de monitoramento sejam construídas. E mesmo quando essas agências ocasionalmente financiam um estudo, a geologia é tão peculiar e sua área horizontal tão limitada em extensão, que a sua utilidade como banco de dados de água subterrânea é restrita. Repetidamente, as agências governamentais são forçadas a basear-se em dados de poços municipais e particulares. A localização e os dados de litologia desses poços frequentemente deixam muito a desejar. Isso explica, em grande parte, nossa falta de bancos de dados sobre água subterrânea (CLEARY, 2007).

Águas subterrâneas são muito importantes no abastecimento de diversas comunidades e cidades brasileiras. Atualmente, há no Brasil, 348.283 locais com captação de águas subterrânea, somente na região Nordeste são 189.763 poços cadastrados, segundo dados do SIAGAS, 2022. (SIAGAS, 2022).

Nesse contexto, as informações disponíveis sobre as águas subterrâneas são ainda insuficientes e muito dispersas. As pesquisas existentes são poucas, descontinuadas e inconsistentes. Os dados que são gerados diariamente, por ocasião da execução de qualquer obra, com finalidade de pesquisar ou captar água subterrânea, e que poderiam conter informações técnicas preciosas e reais, tanto sobre os aspectos geológicos das camadas de rochas existentes, como das características físico-químicas das águas, estão pulverizados e de certa forma indisponibilizados nas diversas empresas privadas e órgãos de governo.

Nos países relativamente mais desenvolvidos do mundo, tornou-se crescente o número de casos em que a extração das águas subterrâneas para abastecimento humano, principalmente,

é a alternativa mais barata, à medida que pode ser utilizada, quando captada de forma adequada, sem grandes investimentos para o transporte ou tratamento prévio (CPRM, 2008).

2.2. Hidrogeoquímica das águas subterrâneas

Com enfoque multidisciplinar e direcionado ao entendimento da origem dos constituintes existentes na água subterrânea, a hidrogeoquímica é uma ciência que analisa a evolução química que ocorre nos sistemas subterrâneos (MESTRINHO, 2005). O estudo hidroquímico tem por finalidade identificar e qualificar as principais propriedades e constituintes das águas subterrâneas e superficiais, procurando estabelecer uma relação com o meio físico (SENA, 2011).

A qualidade da água é definida por sua composição e pelo conhecimento dos efeitos que podem causar os seus constituintes. Nesse sentido, a hidroquímica é o ramo da hidrogeologia que trata da caracterização e migração das substâncias químicas presentes nas águas subterrâneas. O risco de contaminação das águas subterrâneas é definido como a interação entre a carga contaminante e a vulnerabilidade do aquífero.

Os processos e fatores que influenciam na evolução da qualidade das águas subterrâneas podem ser intrínsecos e extrínsecos ao aquífero. A água subterrânea tende a aumentar a concentração de substâncias dissolvidas à medida que percola os diferentes aquíferos, mas muitos outros fatores interferem, tais como: o clima, a composição da água da recarga, o tempo de contato/meio físico entre outros, além da contaminação antrópica (FENZEL, 1986).

A avaliação da qualidade da água subterrânea, bem como suas características hidrogeoquímicas, constitui uma informação de grande importância para gestão e sua adequabilidade ao uso, seja consumo humano, industrial, irrigação ou dessedentação animal (ALVES et al., 2010).

A química das águas tem uma importância considerável. Pois não basta unicamente se deparar com um recurso hídrico subterrâneo. É necessário, especialmente, que ele seja utilizável. Para isto, o estudo químico das águas pode fornecer entre outras coisas, subsídios sobre o movimento das águas subterrâneas e a evolução da sua composição (TSUTIYA, 2006)

A estimativa dos Sólidos Totais Dissolvidos (STD), obtida através da Condutividade Elétrica dá uma ideia da potabilidade da água. Quando a estimativa for igual ou maior que 1000 mg.L^{-1} , as águas são salobras e/ou podem estar contaminadas. Na maioria das águas subterrâneas naturais, a Condutividade Elétrica da água multiplicada por um fator, que varia entre 0,58 a 0,75, gera uma boa estimativa dos Sólidos Totais Dissolvidos (STD) na água (FEITOSA; MANOEL FILHO,1997).

Entre os constituintes inorgânicos mencionados nos Guias da OMS(Organização Mundial da Saúde) sobre Qualidade de Água Potável como nocivos à saúde, o nitrato é aquele que apresenta ocorrência mais generalizada e problemática, devido a sua alta mobilidade e estabilidade nos sistemas aeróbios de águas subterrâneas (FOSTER, 1993). Elevados índices de nitrato, nitrito e amônia estão sempre associados com algumas formas de contaminação fecal e, conseqüentemente, com qualidade microbiológica insatisfatória (PACKHAM, 1992).

No Brasil, quando se trata de águas subterrâneas possuímos duas principais regulamentações que estabelecem diretrizes sobre a qualidade deste recurso, A Resolução CONAMA nº 396 de 2008 e a Portaria de Consolidação nº 5, de 28 de setembro de 2017. Enquanto, que a primeira dispõe sobre a classificação e enquadramento das águas subterrâneas a outra abrange os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Ambas estabelecem parâmetros de qualidade para a água.

A gestão da qualidade das águas subterrâneas é considerada na legislação federal através de duas resoluções do Conselho Nacional de Recursos Hídricos. A Resolução nº 15, de 2001, estabelece que os Estados devem orientar os municípios sobre as diretrizes de gestão integrada das águas subterrâneas, propondo mecanismos de estímulo à proteção das áreas de recarga dos aquíferos e a Resolução no 22, de 2002, afirma que os planos de bacia devem explicitar medidas de prevenção, proteção, conservação e recuperação dos aquíferos, sendo que a criação de áreas de uso restritivo poderá ser adotada com medida para alcance dos objetivos propostos (ANA, 2005).

Dentre as águas subterrâneas, o código de águas minerais (DECRETO-LEI Nº 7.841, DE 8 DE AGOSTO DE 1945) define água mineral como sendo aquelas provenientes de fontes naturais ou de fontes artificialmente captadas que possuam composição química ou propriedades físicas ou físico-químicas distintas das águas comuns, com características que lhes

confirmam uma ação medicamentosa. A RDC nº 274 de 22 de setembro de 2005 (RDC 274/05), revogada pela RDC 717/22, vigente até os dias atuais, que aprovou o Regulamento Técnico para Águas envasadas e Gelo ampliou parcialmente o conceito das águas minerais naturais, definindo-as como aquelas obtidas diretamente de fontes naturais ou artificialmente captadas de origens subterrâneas, sendo determinadas pelo conteúdo de sais minerais, pela presença de oligoelementos e outros componentes que podem variar de acordo com as flutuações naturais (BRASIL, 2022).

No Brasil, quando a água mineral é engarrafada para consumo humano ela se transforma em um alimento e, como tal, é fiscalizada pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária - ANVISA, através da resolução RDC Anvisa 717/2022, ela dispõe sobre os requisitos sanitários das águas envasadas e do gelo para consumo humano e é resultado da revisão e consolidação das RDCs 274/2005 e 316/2019. A seguir disponibilizamos os limites para substâncias químicas que representam risco à saúde exigidos pela RDC 717/2022.

Tabela 1- Limites para substâncias químicas que representam risco à saúde.

Substâncias Inorgânicas	Limite máximo permitido
Antimônio	0,005 mg.L ⁻¹
Arsênio	0,01 mg.L ⁻¹ calculado como Arsênio total
Bário	0,7 mg.L ⁻¹
Boro	5 mg.L ⁻¹
Cádmio	0,003 mg.L ⁻¹
Cromo	0,05 mg.L ⁻¹ calculado como Cromo total
Cobre	1 mg.L ⁻¹
Cianeto	0,07 mg.L ⁻¹
Chumbo	0,01 mg.L ⁻¹
Manganês	0,5 mg.L ⁻¹
Mercúrio	0,001 mg.L ⁻¹
Níquel	0,02 mg.L ⁻¹
Nitrato	50 mg.L ⁻¹ calculado como nitrato
Nitrito	0,02 mg.L ⁻¹ calculado como nitrito
Selênio	0,01 mg.L ⁻¹
Acrilamida	0,5 µg.L ⁻¹
Benzeno	5 µg.L ⁻¹
Benzopireno	0,7 µg.L ⁻¹
Cloreto de Vinila	5 µg.L ⁻¹
1,2 Dicloroetano	10 µg.L ⁻¹
1,1 Dicloroetano	30 µg.L ⁻¹
Diclorometano	20 µg.L ⁻¹
Estireno	20 µg.L ⁻¹
Tetracloroeto de Carbono	2 µg.L ⁻¹
Tetracloroetano	40 µg.L ⁻¹
Triclorobenzenos	20 µg.L ⁻¹
Tricloroetano	70 µg.L ⁻¹

Fonte: RDC Anvisa 717/2022 - Requisitos sanitários das águas envasadas e do gelo para consumo humano.

A qualidade da água encontrada no subsolo varia de acordo com uma série de substâncias presentes que estão dissolvidas, bem como das condições morfológicas do solo no qual a mesma se encontra. A seguir serão descritos os parâmetros de controles físico-químicos de caracterização das águas subterrâneas.

2.2.1. pH

O parâmetro pH pode ser definido como a medida da concentração hidrogeniônica da água ou solução, sendo controlado por reações químicas e por equilíbrio entre os íons presentes. O pH é essencialmente função do gás carbônico dissolvido e da alcalinidade da água.

O valor de pH tem influência sobre a solubilidade de muitos solutos e somente alguns íons como cloreto, potássio e nitrato sofrem poucas variações de solubilidade em toda a faixa de pH. A maioria dos íons metálicos podem formar cátions em águas ácidas, e em condições alcalinas precipitam na forma de hidróxidos ou sais básicos (FENZL, 1985).

2.2.2. Condutividade elétrica

A condutividade elétrica representa a capacidade de que uma solução aquosa tem de conduzir corrente elétrica. Esta capacidade depende da presença de íons, da concentração total, mobilidade, valência, concentrações relativas, e medidas de temperatura. Logo quanto maior o valor para este parâmetro maior é o grau de mineralização da água (CLESCERI et al, 1999). Esta propriedade pode ser um parâmetro relativo para compará-la a quantidade de sais presentes. Águas subterrâneas com condutividade elétrica elevada possuem também maiores quantidades de sais (cátions e ânions). A unidade usual para expressar este parâmetro é o microsiemes por centímetro ($\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$).

2.2.3. Alcalinidade

Na água quimicamente pura íons H^+ estão em equilíbrio com os íons OH^- e seu pH é neutro. Entretanto os principais fatores que determinam o pH da água são a concentração do gás carbônico dissolvido e a alcalinidade (FILHO, 2000). A alcalinidade na água representa a capacidade de neutralizar ácido, normalmente expressa em miligramas de carbonato de cálcio por litro ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ de CaCO_3). Para fins de quantificação de alcalinidade analisam-se principalmente as quantidades de carbonatos, bicarbonatos e hidróxidos devidos suas grandes contribuições para este parâmetro, sendo que outras substâncias podem contribuir em menor

escala (NBR, 1996). Segundo a NBR 13.736 de 1996, a divisão destes três constituintes principais para a alcalinidade da água é baseada na relação obtida entre a quantidade de alcalinidade devido a fenolftaleína e alcalinidade total após a titulação, ambas expressas em mg.L^{-1} de CaCO_3 , conforme a Tabela 2.

Tabela 2- Tipos de Alcalinidade.

Resultado da titulação	Hidróxidos	Carbonatos	Bicarbonatos
$F=0$	0	0	T
$F < (1/2)T$	0	2F	T-2F
$F \leq (1/2)T$	0	2F	0
$F > (1/2)T$	2F-T	2(T-F)	0
$F=T$	T	0	0

F= Alcalinidade à fenolftaleína; T=Alcalinidade total

Fonte: Adaptado de ABNT (1996).

2.2.4. Sólidos Dissolvidos Totais

Os sais dissolvidos e ionizados presentes na água transformam-na num eletrólito capaz de conduzir corrente elétrica. Como há uma relação de proporcionalidade entre o teor de sais dissolvidos e a condutividade elétrica, pode-se estimar o teor de sais pela medida de condutividade de uma água em uma dada temperatura (CPRM, 2011).

A água com demasiado teor de sais dissolvidos não é recomendável para determinados usos, sendo que seu enquadramento quanto utilização deve estar atrelado a este dado. A Tabela 3 possui a classificação proposta por Mcneely et al. (1979), onde relaciona o tipo de água encontrada com a quantia de Sólidos Dissolvidos Totais.

Tabela 3- Classificação das águas subterrâneas quanto aos valores de Sólidos Dissolvidos Totais.

Tipos de Água	Sólidos Dissolvidos Totais (mg.L ⁻¹)
Doce	<1.000
Ligeiramente Salobra	1.000 – 3.000
Moderadamente Salobra	3.000-10.000

Fonte: Mcneely et al. (1979).

2.2.5. Ânions

a) Nitrato (NO³⁻) e Nitrito (NO²⁻)

O nitrogênio pode ser encontrado nas águas nas formas de nitrito e nitrato, que são formas oxidadas desse elemento. Pode-se associar a idade da poluição com relação entre as formas de nitrogênio (CAMPOS, 2015). Nitratos em níveis elevados são tóxicos, causando uma doença chamada meta-hemoglobinemia, que é letal para crianças – onde o nitrato reduz-se a nitrito na corrente sanguínea, competindo com o oxigênio livre. Por isso, o nitrato e nitrito são considerados padrões de potabilidade. A presença de nitrato é uma caracterização do estágio final da oxidação da matéria orgânica, sendo que teores acima de 50 mg.L⁻¹ podem ser indicativos de contaminação da água subterrânea por atividade humana (FEITOSA; MANOEL FILHO, 1997).

b) Fluoreto (F⁻)

O flúor é o mais eletronegativo dos elementos químicos, por ser tão reativo não é encontrado em sua forma elementar na natureza, sendo constantemente detectado na forma de fluoreto, normalmente combinado com outros elementos. Todavia, para que seja encontrado com fluoreto livre, disponível biologicamente, são necessárias condições ideais de solo, presença de outros minerais ou outros componentes químicos e água (CAMPOS, 2015).

Em águas naturais é possível identificar traços deste elemento, já em fontes subterrâneas o fluoreto pode atingir concentrações elevadas. Principalmente em locais nos quais o solo apresenta minerais ricos em flúor, como ambientes próximos a montanhas altas ou áreas

com depósitos geológicos de origem marinha, podendo ser encontradas concentrações acima 10 mg.L^{-1} . Alguns efluentes industriais lançam níveis elevados de fluoreto nas águas naturais, tais como as indústrias de vidro e de fios condutores de eletricidade. O fluoreto também é excretado pela urina, sendo o esgoto sanitário uma fonte deste elemento (CAMPOS, 2015). Contudo, quanto ingerido em níveis adequados, o fluoreto reduz a solubilidade da parte mineralizada do dente, tornando mais resistente à ação de bactérias e inibe processos enzimáticos que dissolvem a substância orgânica proteica e o material calcificante do dente. Por isso, é adicionado às águas de abastecimento público para conferir-lhes proteção à cárie dentária.

c) Cloreto (Cl^-)

O cloreto é o ânion que se apresenta nas águas subterrâneas, oriundo da percolação que a água sofre por meio do solo e rochas. Este elemento também está presente em grandes concentrações em efluentes industriais. Em zonas costeiras são encontradas águas com níveis altos de cloreto devido ao processo de intrusão da cunha salina. Nas águas tratadas, a adição de cloro puro ou em solução leva a uma elevação do nível de cloreto, resultante das reações de dissociação do cloro na água (CAMPOS, 2015).

d) Sulfato (SO_4^{2-})

O sulfato é um dos ânions mais abundantes na natureza, onde sua existência se deve pela dissolução de solos e rochas ou pela oxidação de sulfetos. As principais fontes antrópicas de sulfato nas águas superficiais são as descargas de esgotos domésticos e efluentes industriais. Também ocorre em águas tratadas devido à utilização de coagulantes a base deste elemento, como o sulfato de alumínio, sulfato ferroso, sulfato férrico e “caparrosa clorada” (solução de sulfato férrico e cloreto férrico) (CAMPOS, 2015; KATO, 1983). Por possuir efeito laxativo é importante que o controle do sulfato nas águas consumidas seja feito. Já no abastecimento industrial, o sulfato pode provocar incrustações nas caldeiras e trocadores de calor (PIVELI & KATO, 2005).

e) Fosfato (PO_4^{3-})

O fósforo é um elemento químico não metálico, encontra-se na natureza em combinações de fosfatos e outros sais. Fosfatos de sódio, de potássio e amônio são solúveis em

água (LEE, 1999). Assim como o flúor, é raro encontrar fósforo em seu estado elementar na natureza. O fósforo em sistemas aquáticos ocorre como fosfato orgânico ou inorgânico. Fosfato orgânico consiste em uma molécula de fosfato associado a uma molécula à base de carbono, tal como no tecido de planta ou animal. Quando o fosfato não está associado com material orgânico é considerado fosfato inorgânico, sendo esta a forma assimilada pelas plantas. Os animais podem usar fosfato nas formas orgânicas ou inorgânicas. Ambos os tipos de fosfato podem estar na água, tanto dissolvidos quanto suspensos, quando ligados a partículas (EPA, 2015).

A ocorrência de fósforo em águas naturais deve-se, especialmente, às descargas de esgotos sanitários. Sendo que a matéria orgânica fecal e os detergentes em pó empregados em larga escala domesticamente constituem a principal fonte. Indústrias de fertilizantes, pesticidas, químicas em geral, conservas alimentícias, abatedouros, frigoríficos e laticínios, apresentam efluente com presença de fósforo em quantidades excessivas (CAMPOS, 2015).

f) Brometo (Br^-)

Assim como o cloro e flúor, o bromo enquadra-se na família dos halogênios, elementos não metálicos que apresentam grande afinidade por outros elementos e que, assim, tendem à formação de sais. O bromo existe em abundância na forma de sais de bromo. Como os demais halogênios, o bromo caracteriza-se por sua elevada capacidade de oxidação (LEE, 1999). Brometo é um ânion do elemento de bromo, sendo comumente encontrado na natureza, juntamente com cloreto de sódio, devido a suas propriedades físicas e químicas semelhantes, mas em quantidades menores. As concentrações desta espécie química na água do mar são geralmente entre 65 mg.L^{-1} a e 80 mg.L^{-1} em algumas zonas marítimas confinadas; enquanto o cloreto, está presente em concentrações variando de 18.980 mg.L^{-1} a cerca de 23.000 mg.L^{-1} (AL-MUTAZ, 2000).

2.2.6. Cátions

Segundo a literatura, os íons que mais possuem influência na hidroquímica da água, e que estão presentes normalmente em maiores quantidades são: cálcio (Ca^{2+}), magnésio (Mg^{2+}), potássio (K^+) e sódio (Na^+) (STATON & QI, 2007).

a) Cálcio (Ca^{2+})

O cálcio é o quinto elemento mais abundante na crosta terrestre. Em águas naturais este é o cátion dissolvido em maior abundância, sendo também bastante distribuído em minerais de rochas e solos (HAUSER,2002). Os minerais mais importantes deste elemento são o calcário (carbonato de cálcio - CaCO_3), a gipsita (sulfato de cálcio hidratado - $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), a fluorita (fluoreto de cálcio - CaF_2), a apatita (fluorofosfato ou clorofosfato de cálcio) entre outros (CAMPOS, 2015).

Assim como potássio e magnésio, o cálcio é considerado um mineral essencial ao nosso organismo, portanto, sua presença na água ingerida é considerada benéfica a saúde humana. Contudo, a presença demasiada deste elemento na água pode diminuir a formação de espuma e prejudicar a ação de detergentes, formar depósitos minerais em recipientes e causar precipitação de calcário em tubulações de água quente (BREZONIK & ARNOLD, 2011).

b) Magnésio (Mg^{2+})

O magnésio é um dos maiores constituintes de rochas e normalmente encontra-se junto com o cálcio, apesar de apresentar menores concentrações que o cálcio em águas naturais (HAUSER, 2002). Os compostos de magnésio também apresentam alta solubilidade, favorecendo sua hidratação (CAMPOS,2015).

c) Potássio (K^+)

Os cátions de potássio, assim como os de sódio, são caracterizados como os maiores dos períodos a que pertence. Sendo este o motivo pelo qual têm uma fraca atração por ânions e moléculas, e como consequência a maioria de seus sais é solúvel em água e seus íons raramente formam complexos. Sais de potássio geralmente são brancos e solúveis em água (CAMPOS,2015).

d) Sódio (Na^+)

As propriedades gerais dos sais de sódio são similares às do potássio. Os sais de sódio também são de coloração branca tipicamente solúveis em água. Em solução aquosa são quimicamente inertes (CAMPOS, 2015). Ao contrário do cálcio e magnésio, na água o sódio pode trazer preocupação a saúde humana e a qualidade da água. Apesar da maior parte da

ingestão deste íon ser proveniente dos alimentos, a água com sódio em excesso deve ser evitada, principalmente por indivíduos que necessitam de dieta com baixo teor de sódio, por estar intimamente relacionado a ocorrência de problemas cardiovasculares e renais (BREZONIK & ARNOLD, 2011).

2.2.7. Elementos traços

Devido as baixas concentrações estes elementos são comumente classificados com elementos-traço: Alumínio(Al), Antimônio(Sb), Arsênio(As), Bário(Ba), Boro(B), lítio (Li), berílio (Be), titânio (Ti), vanádio (V), cromo (Cr), manganês (Mn), ferro (Fe), cobalto (Co), níquel (Ni), cobre (Cu), arsênio (As), selênio (Se), rubídio (Rb), estrôncio (Sr), molibdênio (Mo), cádmio (Cd), estanho (Sn), chumbo (Pb), bismuto (Bi) e zinco(Zn).

Gaillardet et al (2014) afirmam que em águas naturais, espécies químicas que podem ser encontrados em concentrações abaixo de 1 mg.L^{-1} , ou 1 ppm, são consideradas elementos-traço. Por apresentar baixa presença nas águas, não chegam a influenciar os valores de Sólidos Dissolvidos Totais, pois suas massas combinadas não são significativas quando comparadas aos montantes de Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ , H_4SiO_4 , HCO_3^- , CO_3^{2-} , SO_4^{2-} , Cl^- , e NO_3^- juntos. O estudo dos elementos minoritários, majoritários e elementos-traço são utilizados para determinar as características químicas das amostras de água subterrânea e assim determinar as fontes e movimentos da água subterrânea. Sendo que da maioria dos elementos conhecidos, apenas dez não aparecem a nível de traço em águas naturais (NEWHOUSE, 2004).

As formas e concentração dos elementos-traço que existem na água pode determinar o grau de toxicidade deste recurso. Os efeitos de muitos destes elementos na água e no organismo humana não é completamente conhecida, acreditando-se ainda, que muitos podem ser perigosos ou potencialmente prejudiciais (PAIS; JONES JR, 1997) (NOLLET; GELDER, 2000).

Para muitos dos elementos estudados neste trabalho a legislação aplica valores máximos de concentração que devem ser respeitados quando o uso do recurso hídrico se destina ao consumo humano. A Resolução CONAMA nº 396 de 2008 e Portaria de Consolidação nº 5, de 28 de setembro de 2017, estipulam VMP para treze dos vinte e três elementos determinados, sendo eles: Be, Cr, Mn, Fe, Ni, Cu, As, Se, Mo, Cd, Sb, Pb e U.

2.3. Água mineral

De acordo com a Resolução Anvisa - RDC 173 de 13/11/2006 - Água mineral é a água obtida diretamente de fontes naturais ou por extração de águas subterrâneas. É caracterizada pelo conteúdo definido e constante de determinados sais minerais, oligoelementos e outros constituintes considerando as flutuações naturais.

Segundo o Ministério de Minas e Energia, apesar de toda a quantidade de água existente no planeta, apenas 0,77% está disponível para o consumo humano e somente uma pequena porção deste total é considerada água mineral, de qualidade que dispensa qualquer forma de tratamento. A água potável tende a um esgotamento, o mundo atual vive uma grande crise de escassez deste bem mineral. Das reservas existentes em nosso planeta, apenas 12,5 mil km³ estão disponíveis para a sua exploração. A ONU previu que o esgotamento do estoque útil, entre os anos 1970 e 1995 caiu 37% para cada habitante da terra, esta crise é agravada pela má distribuição e a contaminação dos recursos hídricos. De todos os males ambientais a poluição das águas é o que apresenta consequências mais devastadoras. Metade da população mundial não tem acesso à água potável, em todo o mundo 10 milhões de mortes anuais resultam de doenças transmitida pela água tais como disenteria, cólera, defiteria febre tifóide, etc, dois terços da população pobre rural de todo o mundo não têm acesso a água potável.

No Brasil, grandes centros urbanos como São Paulo, Belo Horizonte, Recife, e o sertão nordestino convive com o racionamento de água. O Brasil detém 18% da reserva de água doce do mundo, e apenas 3,4% desta reserva se encontra no nordeste brasileiro, a deficiência de água com padrões de qualidade, faz com que a população cada vez mais procure uma água obtida diretamente de fontes naturais e que atenda aos padrões de potabilidade para o seu consumo estabelecidos pelos órgãos fiscalizadores e reguladores do Brasil em sintonia com a organização mundial de saúde, que caracteriza a água em suas propriedades físico-químicas e biológicas para o consumo humano. (RESENDE E PRADO, 2008).

A água mineral é um produto natural com diferentes sais minerais em perfeita integração, com diferentes ações metabólicas e, quando ingerido, é capaz de trazer benefícios importantes ao organismo humano. É um produto que retrata, como nenhum outro, a essencialidade dos bens minerais para a nossa qualidade de vida.

Além dessa importância ao corpo humano, a água mineral é um dos principais bens minerais brasileiros, sendo a 7ª substância mineral em geração de receitas e 10ª em arrecadação de Compensação Financeira pela Exploração de Recursos Minerais (CFEM), distribuída principalmente a estados e municípios produtores. (MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA).

O setor de água mineral, sintonizado com os objetivos do desenvolvimento sustentável da Organização das Nações Unidas (ONU), possui grande compromisso com o bom aproveitamento dos recursos hídricos, entre outros, pela conservação de florestas nas áreas de proteção de suas fontes.

Quando a água armazenada em um aquífero emerge em uma fonte ou é captada através de um poço e apresenta as características definidas pelo Código de Águas Minerais (Decreto-lei nº 7.841, de 8 de agosto de 1945), essa água será classificada como água mineral ou potável de mesa, a depender de sua concentração de sais minerais e/ou das características da fonte.

De acordo com a Agência Nacional de Mineração (ANM), no ano de 2022, quando a ONU conclamou para o cuidado com os recursos hídricos, com ênfase àqueles subterrâneos - Campanha ONU: "Água subterrânea: tornando o invisível visível", o Ministério de Minas e Energia (MME), no Dia Mundial da Água, deixou claro que a exploração sustentável da água subterrânea é fundamental para a nossa sobrevivência e ressaltou seu papel e de suas instituições vinculadas, Agência Nacional de Mineração (ANM) e Serviço Geológico do Brasil – SGB/CPRM, na geração de conhecimento, na proteção e na regulação de um bem mineral tão valioso como a água mineral.

A preocupação com a qualidade da água, decorrente da progressiva poluição hídrica, é um dos motivos que levam grande parte da população mundial ao consumo de água proveniente de fontes minerais (LECLERC E MOREAU, 2002). A percepção de que a ingestão desta água remete a um estilo de vida saudável tem aumentado seu consumo no Brasil e no mundo (MAVRIDOU, 1992).

As águas minerais fazem parte do universo das águas subterrâneas, havendo todo um controle na sua exploração e comercialização junto a ANM (Agência Nacional de Mineração) em todo o Brasil. Vale ressaltar que, em princípio, toda água que ocorre na natureza é mineral, mas nem todas são potáveis, isto é, próprias para o consumo humano. Uma ampla visão da qualidade das águas subterrâneas no país é apresentada. Existe uma carência de estudos sobre a qualidade das águas subterrâneas em escala regional.

Diante desse cenário, é imprescindível o cuidado com essas reservas, já que, independentemente da fonte (superficial ou subterrânea) a água pode servir de veículo para vários agentes biológicos e químicos sendo necessário observar os fatores que podem interferir negativamente na sua qualidade (DI BERNARDO, 1993).

Os metais são uma das grandes preocupações quando se fala em contaminação das águas. Silva (1997) afirma que a intoxicação por metais se desenvolve lentamente e muitas vezes só pode ser identificada após anos ou décadas, e sua presença reduz a capacidade autodepurativa da água devido a ação tóxica sobre os microrganismos que realizam esse processo. Os metais presentes na água, quando ingeridos, são absorvidos pelo organismo humano pelo trato gastrointestinal e a absorção pode ser afetada pelo pH da água, pelas taxas de movimentação no trato digestivo e pela presença de outros compostos (FREITAS et al., 2001). Sua ingestão também pode causar distúrbios gastrointestinais e até disfunção mental com degeneração do sistema nervoso central. Dentre os mecanismos de sua toxicidade estão incluídas as interações com sistemas enzimáticos, interações com membranas celulares e efeitos específicos sobre certos órgãos e sobre o metabolismo celular em geral (MORGANO et al., 2002). Em relação aos microrganismos presentes na água mineral, Pontara et al. (2011) afirmam que a percepção de que a água mineral é segura e isenta de impurezas deve ser repensada, sendo necessário avaliar critérios de monitoramento e análise microbiológica.

Para que uma água seja classificada como água mineral natural e comercializada (envasada) em embalagens próprias, os elementos da sua composição não podem exceder aos valores máximos determinados em resolução da Agência Nacional de Vigilância Sanitária - ANVISA, Ministério da Saúde – MS e ANM.

Com relação a sua origem, uma nascente ou fonte origina-se em local que a topografia do terreno atinge o nível freático. Essa água armazenada nos sedimentos no solo ou nas fraturas das rochas, normalmente é superficial e, portanto, mais vulnerável a contaminações. Para a utilização da nascente como fonte de água mineral, é necessário construir um sistema de captação com especificações técnicas regulamentadas por lei existentes nos órgãos Federais, Estaduais e Municipais, Gestores, Controladores, Fiscalizadores (ANM), Secretarias ligadas a Recurso Hídrico e Meio Ambiente e Agências Sanitárias em todo o país, e requer cuidados sanitários constantes para se manter com qualidades minerais (BARRETO, 2011).

Para as águas explorada através de poços tubulares, esta é tão ou mais mineralizada que as águas superficiais, pois, dentro do ciclo da água, passou pelo solo e migrou através de camadas permeáveis ou semipermeáveis de profundidades variadas, atingindo os depósitos sedimentares (armazenadores porosos), denominados de aquífero, ou ainda são originadas nas gretas e fraturas de rochas duras (aquíferos fissurais).

Salienta-se que a migração e depósito em zonas mais profundas atuam como um tratamento natural preservando a qualidade da água. Portanto, num poço construído dentro das normas específicas para água mineral, a água é bombeada para o sistema de envase em material inoxidável, dificultando a contaminação (BARRETO, 2011).

No que diz respeito à Concessão e o direito do uso das águas subterrâneas para fins de quaisquer segmentos, não só subterrânea como superficiais, por as mesmas serem de propriedade da união, cabe a cada Estado suas concessões. No caso das Águas Minerais esta concessão é concedida pelo governo federal através da ANM, que atua como reguladora e fiscalizadora, em parceria com os órgãos ambientais de cada Estado, juntamente com a ANVISA de cada estado e Município, a fim de serem evitadas contaminações em seus mananciais.

O art. 20 da Constituição Federal determina que o subsolo pertença a União, através do governo federal mantendo como monopólio as jazidas de petróleo, gás natural e minerais nucleares, permitindo a pesquisa e lavra dos demais recursos minerais, inclusive das Águas Minerais sob a forma de concessão a pessoa ou empresa conforme artigo constitucional. (BRASIL, 1988).

O Art. 176 do Código de Mineração (Decreto Lei nº 227 de 28 de fevereiro de 1967), determina que as jazidas, em lavra ou não, e demais recursos minerais, e os potenciais de energia hidráulica constituem propriedade distinta da do solo, para efeito de exploração ou aproveitamento, pertencem à União, garantida ao concessionário a propriedade do produto da lavra. E em seu Parágrafo 1º afirma: A pesquisa e a lavra de recursos minerais e o aproveitamento dos potenciais a que se refere o capítulo deste artigo somente poderão ser efetuados mediante autorização ou concessão da União, no interesse nacional, por brasileiros ou empresa constituída sob as leis brasileiras e que tenha sua sede e administração no País, na forma da lei, que estabelecerá as condições específicas quando essas atividades se desenvolverem em faixa de fronteira ou terras indígenas.(BARRETO, 2011).

2.3.1. Classificação das águas minerais

De acordo com o código de águas minerais (CAM), as águas podem ser classificadas quanto a:

A) Composição química

I. Oligominerais - quando, apesar de não atingirem os limites estabelecidos no código de mineração, forem classificadas como minerais caso possuam inconteste e comprovada ação medicamentosa, que deverá ser comprovada no local, mediante observações repetidas, estatísticas completas, documentos de ordem clínica e de laboratório, a cargo de médicos crenologistas, sujeitas as observações à fiscalização e aprovação da Comissão Permanente de Crenologia.

II. Radíferas - quando contiverem substâncias radioativas dissolvidas que lhes atribuem radioatividade permanente.

III. Alcalino-bicarbonatadas - as que contiverem, por litro, uma quantidade de compostos alcalinos equivalente, no mínimo, a 0,200 g de bicarbonato de sódio.

IV. Alcalino-terrosas as que contiverem, por litro, uma quantidade de compostos alcalino-terrosos equivalente no mínimo a 0,120 g do carbonato de cálcio, distinguindo-se:

a) alcalino-terrosas cálcicas, as que contiverem, por litro, no mínimo 0,048 g de catíon Ca, sob a forma do bicarbonato de cálcio;

b) alcalino-terrosas magnesianas, as que contiverem, por litro, no mínimo, 0,30 g de catíon Mg, sob a forma de bicarbonato de magnésio.

V. Sulfatadas - as que contiverem, por litro, no mínimo 0,100 g do aníon SO₄, combinado aos catíons Na, K e Mg.

VI. Sulfurosas, as que contiverem, por litro, no mínimo 0,001 g do aníon S.

VII. Nitradas, as que contiverem, por litro, no mínimo 0,100 g do aníon NO₃, de origem mineral.

VIII. Cloretadas, as que contiverem, por litro, no mínimo 0,500 g do ClNa (cloreto de sódio).

IX. Ferruginosas, as que contiverem, por litro, no mínimo 0,500 g do catíon Fe.

X. Radioativas, as que contiverem radônio em dissolução, obedecendo aos seguintes limites:

a) fracamente radioativas, as que apresentarem, no mínimo, um teor em radônio compreendido entre cinco e dez unidades Mache, por litro, a 20° C e 760 mm de Hg de pressão;

b) radioativas, as que apresentarem um teor em radônio compreendido entre dez e 50 unidades Mache por litro, a 20° C e 760 mm de Hg de pressão;

c) fortemente radioativas, as que possuírem um teor em radônio superior a 50 unidades Mache, por litro, a 20° C e 760 mm de Hg de pressão.

XI. Toriativas, as que possuírem um teor em torônio em dissolução, equivalente em unidades eletrostáticas, a duas unidades Mache por litro, no mínimo.

XII. Carbogasosas, as que contiverem, por litro, 200 ml de gás carbônico livre dissolvido, a 20° C e 760 mm de Hg de pressão.

Parágrafo 1° do Art. 35 do código de águas discorre: As águas minerais deverão ser classificadas pelo D.N.P.M. de acordo com o elemento predominante, podendo ter classificação mista as que acusarem na sua composição mais de um elemento digno de nota, bem como as que contiverem iontes ou substâncias raras dignas de notas (águas iodadas, arseniadas, litinadas etc.).

Parágrafo 2°: As águas das classes VII (nitratadas) e VII (cloretadas) só serão consideradas minerais quando possuírem uma ação medicamentosa definida, comprovada conforme o § 3° do art. 1° da presente lei.

B) Quanto aos gases

I. Fontes radioativas:

a) fracamente radioativas, as que apresentarem, no mínimo, uma vazão gasosa de um litro por minuto (l.p.m.) com um teor em radônio compreendido entre cinco e dez unidades Mache, por litro de gás espontâneo, a 20° C e 760 mm de Hg de pressão;

b) radioativas, as que apresentarem no mínimo, uma vazão gasosa de 1 l.p.m., com um teor compreendido entre dez e 50 unidades Mache, por litro de gás espontâneo, a 20° C e 760 mm de Hg de pressão;

c) fortemente radioativas, as que apresentarem, no mínimo, uma vazão gasosa de 1 l.p.m., com teor em radônio superior a 50 unidades Mache, por litro de gás espontâneo, a 20° C e 760 mm de Hg de pressão.

II. Fontes toriativas as que apresentarem, no mínimo, uma vazão gasosa de 1 l.p.m., com um teor em torônio na emergência equivalente em unidades eletrostáticas a duas unidades Mache por litro.

III. Fontes sulfurosas as que possuírem na emergência desprendimento definido de gás sulfídrico.

C) Quanto à temperatura

I. Fontes frias, quando sua temperatura for inferior a 25° C.

II. Fontes hipotermiais, quando sua temperatura estiver compreendida entre 25 e 33°C.

III. Fontes mesotermiais, quando sua temperatura estiver compreendida entre 33 e 36°C

IV. Fontes isotermiais, quando sua temperatura estiver compreendida entre 36 e 38° C.

V. Fontes hipertermiais, quando sua temperatura for superior a 38° C.

Segundo a Portaria N° 540, de 18 de dezembro de 2014-MME, são classificadas como águas minerais aquelas águas provenientes de fontes naturais ou de fontes artificialmente captadas que contiverem elementos ou substâncias dignos de nota, de acordo com os limites:

a – Fluoretada – quando contiver no mínimo 0,02 mg.L⁻¹ de fluoreto;

b – Vanádica – quando contiver no mínimo 0,03 mg.L⁻¹ de vanádio;

c – Litinada – quando contiver no mínimo 0,01 mg.L⁻¹ de lítio;

d – Seleniada – quando contiver no mínimo 0,006 mg.L⁻¹ de selênio.

2.4. Aquíferos

Aquífero é uma formação geológica que contém água e permite que quantidades significativas dessa água se movimentem no seu interior em condições naturais. Formações permeáveis, tais como arenitos e areias, são exemplos de aquíferos. São grandes fontes de

abastecimento, tanto por poços quanto nascentes. Para se considerar como aquífero a formação geológica deve envolver poros repletos de água, sendo que esta água tenha mobilidade. Desempenham um papel muito importante no ciclo hidrológico, pois são eles que mantêm estáveis os cursos de águas superficiais e evitam transbordamentos pela absorção da água da chuva. (MARTINEZ, 2008)

São classificados em função da pressão das águas nas suas superfícies limítrofes, superior: camada topo e inferior: camada base e também em função da capacidade de transmissão de água das respectivas camadas limítrofes (CPRM, 2010).

2.4.1. Tipos de Aquíferos

a) Aquífero livre

Também chamado de freático ou não confinado, é aquele cujo limite superior é a superfície de saturação ou freático na qual todos os pontos se encontram à pressão atmosférica. O topo é limitado pela própria superfície livre da água também chamado de superfície freática, sobre pressão atmosférica. Tende-se a apresentar um perfil semelhante ao da superfície do terreno. O aquífero livre está geralmente perto da superfície, em vales de rios e a maiores profundidades em altos topográficos. (INSTITUTO ÁGUA E TERRA)

b) Aquífero Confinado

Também chamado de aquífero sob pressão, é aquele onde a pressão da água em seu topo é maior do que a pressão atmosférica. Por isso, quando se perfura esse tipo de aquífero, a água sobe para um nível bem superior, podendo até jorrar. A fonte de recarga natural para a maioria dos aquíferos é a precipitação, onde a infiltração ocorre nas regiões denominadas de áreas de recarga. Além da precipitação superficial, outros fatores são considerados, como: constituição geológica e natureza das camadas, declividades das camadas e área da seção de contribuição (extensão). Em função das camadas limítrofes pode ser definido como: confinado, não drenante e confinado drenante.

c) Aquífero Confinado não drenante

É aquele em que as camadas limítrofes, inferior e superior, são impermeáveis. Na captação por sondagem nesse tipo de aquífero, a água jorra naturalmente, sem necessidade de bombeamento: são os poços denominados “jorrantes” ou “artesianos”.

d) Aquífero Confinado drenante

É aquele que pelo menos uma das camadas limítrofes é semipermeável, permitindo a entrada ou a saída de fluxos.

e) Aquífero suspenso

É um caso especial de aquífero livre formado sobre uma camada impermeável ou semipermeável que nem armazena nem transmite água.

2.4.2. Aquífero Barreiras

O Grupo Barreiras se distribui desde a região costeira do estado do Rio de Janeiro ao estado do Amapá, é composto por dois pacotes sedimentares o Barreiras Inferior e o Barreiras superior, com de idade de deposição entre o Miocênica ao Pleistocênica (BIGARELLA, 1975).

A Formação Barreiras é caracterizada por sistemas de leques aluviais compostos de arenitos fluviais grosseiros, médios e finos, cinza esbranquiçados e amarelo-avermelhados, pouco consolidados, com níveis conglomeráticos nas seções basais. Esses arenitos, normalmente, são portadores de estratificações cruzadas, mas ocorrem também horizontes maciços e níveis com estratos plano-paralelos. Contêm frequentes intercalações de folhelhos cinza-avermelhados, roxos amarelados (NASCIMENTO, 2011)

Mello et al. (1999), descreve a composição litológica do Grupo Barreiras como formada por sedimentos pouco ou não consolidados, pobremente selecionados, de baixa maturidade textural e mineralógica, com litologias de cores variegadas, compreendidas por arenitos de granulometria grossa a fina com presença de estratificações plano-paralelas, alguns se exibindo com níveis de conglomerados, com clastos de cristais quartzo e feldspatos, siltitos, argilitos maciços e argilas interestratificadas de origem caulínica. Além disso, ocorre a

presença de concreções ferruginosas, dispostas em arenitos ferruginosos ou lateríticos, podendo estar associados com a percolação de água por o seu pacote sedimentar (MOURA-FÉ, 2008)

O Aquífero Barreiras é poroso, livre, em determinados locais pode ser semiconfinado, com grande distribuição espacial. Apresenta geralmente boa porosidade e permeabilidade. É composto por sedimentos aluvionares e fluviais em complexa associação de estratos permeáveis/impermeáveis (GONÇALVES, 2021). O Sistema Aquífero Barreiras comporta-se como um sistema de potencial médio, em função das condições de aquífero livre a semilivre existentes, e da litologia bastante variada representada por intercalações de níveis arenosos, silticos e siltico-argilosos. Níveis mais e menos produtivos do aquífero, resultam das variações de fácies tanto laterais como verticais da formação. As vazões variam de 0,178 a 264 m³ /h, para rebaixamentos de 0,12 a 66 m. Do ponto de vista físico-químico, as águas do Sistema Aquífero Barreiras são consideradas como doces, não apresentando problemas de potabilidade a nível regional e predominando o tipo cloretada sódica (ANA, 2011). As águas do Aquífero Barreiras são classificadas como sendo de boa qualidade física e química, de resíduo seco, geralmente, abaixo de 500mg/l, do tipo cloretada em sódio, cálcio e magnésio (Nascimento, 2011).

Contudo, tais características da água mineral oriunda do Barreiras chamam atenção por serem fundamentais no que diz respeito a fabricação de bebidas. Dentre o grupo de indústria com maior consumo de água, as cervejarias têm grande destaque, sobressaindo os Estados da Bahia e Pernambuco (DNPM, 2013).

Segundo Aquarone et al. (2001), a água utilizada como matéria-prima na produção da cerveja deve possuir características específicas para qualidade do produto final. Assim sendo, a água deve ser inócua, livre de contaminações e dura (com alto teor de cálcio e magnésio) para servir de nutriente para as leveduras fermentativas. De acordo com os autores, a água deve ser clorada, sem presença de ferro, e o pH deve ser ajustado para 5,0 (visando melhorar a ação das enzimas e potencializar o efeito do cloro).

2.4.3. São Sebastião

A formação São Sebastião nas bacias do Recôncavo e Tucano, Bahia, compreende uma sequência de arenitos, folhetos e siltitos do cretáceo inferior, com mais de 1000m de

espessura. Ela contém um dos mais importantes sistemas aquíferos do Estado em termos de reserva, qualidade da água e produtividade de poços (LEITE, 1964). Segundo Brandão (2011) a exploração de água subterrânea no aquífero São Sebastião no Recôncavo, parece ser bastante antiga e, supõe-se, ter sido iniciada com a fixação das populações em vilas e cidades da região.

A Formação São Sebastião, possui um componente semi-confinado ou artesiano, com pacotes de arenitos (Lima, 1999). Normalmente, o componente freático é um reservatório de armazenamento limitado, mas que controla, substancialmente, a carga do sistema artesiano regional (Nascimento, 2006).

Um comportamento de aquífero semi-confinado é conferido a trechos da Formação São Sebastião onde há intercalações entre camadas de arenitos, folhelhos e siltitos. A água neste último aquífero está sob pressão graças ao confinamento pelos folhelhos. A recarga sucede diretamente através da precipitação pluviométrica nas áreas de afloramento e pelas exudações provenientes da Formação Barreiras (Nascimento, 2006). As águas subterrâneas associadas a esse sistema são, segundo critérios físico-químicos, boas, límpidas, inodoras e de bom sabor, porém umas tanto agressivas, pH ácido em geral. Quimicamente predominam águas cloretadas, cloretadas-bicarbonatadas, bicarbonatadas-cloradas bicarbonatadas, de cálcio, sódio e magnésio, pela ordem decrescente de ocorrência, se prestando, em geral para o consumo humano, animal e, também, para uso da irrigação. (NASCIMENTO, 2011).

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Neste capítulo serão apresentados a estrutura da metodologia experimental, bem como os materiais utilizados, a fim de avaliar a qualidade físico-química de cada aquífero mencionado no estudo.

3.1 Área de Estudo

As fontes de água mineral utilizadas no estudo encontram-se distribuídos ao longo do território dos Estados de Sergipe e Bahia, foram selecionados 18(dezoito) fontes dentro do aquífero Barreiras no Estado de Sergipe, 8(oito) fontes no aquífero Barreiras no Estado da Bahia

e 22(vinte e duas) fontes localizadas no aquífero São Sebastião no Estado da Bahia, todas as fontes estão dentro de áreas de concessão de indústrias de água mineral.

Todos os locais das fontes foram georeferenciados pelo GPS da marca GARMIN®, modelo GPSmap 60CSx. O referencial geodésico utilizado foi o Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas de 2000 (SIRGAS 2000), todas as marcações dos pontos foram realizadas pelo técnico do LAMIN (Laboratório de Análises Mineraias) /SGB-CPRM durante a coleta das águas. As Tabelas 4, 5 e 6 descrevem as siglas, classificação da água, tipo e coordenadas dos aquíferos Barreiras em Sergipe, Barreiras na Bahia e São Sebastião na Bahia, respectivamente.

Tabela 4- Dados do Aquífero Barreiras Sergipe.

Fonte	Tipo	Coordenadas
BS01	Poço	11° 06' 20,5" S 037° 23' 36,8" W
BS02	Poço	11° 06' 22,4" S 037° 23' 35,6" W
BS03	Nascente	10° 59' 10,2" S 037° 17' 11,5" W
BS04	Poço	10° 59' 14,8" S 037° 16' 56,2" W
BS05	Nascente	11° 03' 17,6" S 037° 17' 50,1" W
BS06	Poço	11° 03' 16,8" S 037° 17' 46,0" W
BS07	Poço	10° 54' 05,0" S 037° 31' 55,9" W
BS08	Poço	10° 59' 57,9" S 037° 16' 15,0" W
BS09	Poço	10° 59' 58,0" S 037° 16' 13,5" W
BS10	Poço	10° 59' 58,6" S 037° 16' 11,8" W
BS11	Poço	10° 25' 39,7" S 036° 55' 24,4" W
BS12	Poço	10° 57' 20,0" S 037° 14' 16,2" W
BS13	Poço	10° 57' 17,7" S 037° 14' 15,1" W
BS14	Poço	10° 58' 59,0" S 037° 16' 24,2" W
BS15	Poço	10° 58' 03,3" S 037° 12' 53,2" W
BS16	Poço	10° 58' 33,4" S 037° 09' 41,4" W
BS17	Poço	10° 56' 49,9" S 037° 13' 13,4" W
BS18	Nascente	11° 00' 56,9" S 037° 12' 44,1" W

Tabela 5- Dados do Aquífero Barreiras Bahia.

Fonte	Tipo	Coordenadas
BB01	Poço	17° 30' 16,1" S 039° 22'56,3" W
BB02	Poço	17° 30' 12,4" S 039° 23'00,7" W
BB03	Poço	17° 30' 15,7" S 039° 23'00,7" W
BB04	Poço	16° 24' 00,7" S 039° 10' 13,1" W
BB05	Poço	16° 24' 03,7" S 039° 10' 08,6" W
BB06	Poço	14° 51' 36,6" S 039° 15' 18,5" W
BB07	Nascente	14° 53' 07,6" S 039° 12'41,5" W
BB08	Poço	16° 44' 38,9" S 039° 11' 27,7" W

Tabela 6- Dados do Aquífero São Sebastião Bahia.

Fonte	Tipo	Coordenadas
SB01	Poço	12° 36' 50,8" S 038° 18' 54,4" W
SB02	Poço	12° 36' 54,2" S 038° 18' 52,9" W
SB03	Poço	12° 36' 52,8" S 038° 18' 57,6" W
SB04	Poço	22° 31' 46,7" S 042° 19' 19,3" W
SB05	Poço	12° 38' 21,9" S 038° 21' 10,8" W
SB06	Poço	12° 34' 48,2" S 038° 20' 43,8" W
SB07	Poço	12° 34' 50,8" S 038° 20' 43,7" W
SB08	Poço	12° 09' 19,4" S 038° 24' 11,1" W
SB09	Poço	12° 10' 25,0" S 038° 22' 27,2" W
SB10	Poço	12° 49' 50,4" S 038° 18' 33,3" W
SB11	Poço	12° 35' 20,2" S 038° 20' 16,0" W
SB12	Poço	12° 35' 10,7" S 038° 20' 27,5" W
SB13	Poço	12° 36' 36,4" S 038° 19' 22,0" W
SB14	Poço	12° 36' 39,7" S 038° 19' 17,4" W
SB15	Poço	12° 38' 34,1" S 038° 22' 08,5" W
SB16	Poço	12° 38' 32,9" S 038° 22' 10,5" W
SB17	Poço	12° 38' 29,4" S 038° 22' 13,6" W
SB18	Poço	12° 45' 06,0" S 038° 23' 46,1" W
SB19	Poço	12° 45' 07,3" S 038° 23' 42,0" W
SB20	Poço	12° 45' 02,5" S 038° 23' 42,0" W
SB21	Poço	12° 10' 02,1" S 038° 25' 36,4" W

As Figuras 2 e 3 apresentam a localização dos aquíferos do presente estudo, distribuídos nos mapas dos Estados.

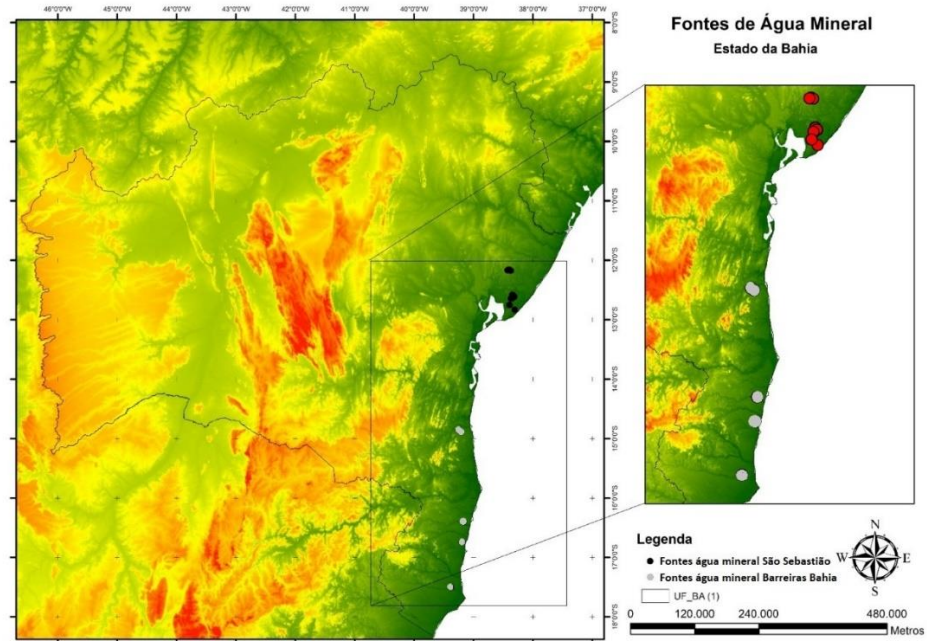


Figura 2: Localização das Fontes de Água Mineral dos Aquíferos Barreiras e São Sebastião na Bahia.

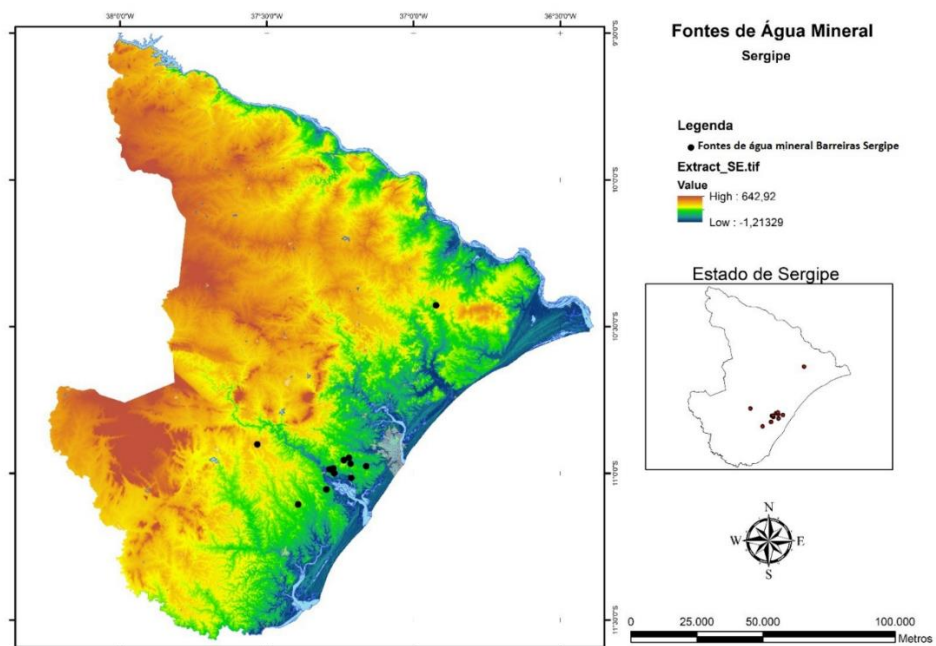


Figura 3: Localização das Fontes de Água Mineral do Aquífero Barreiras em Sergipe.

3.2. Equipamento

Abaixo encontram-se descritos os equipamentos utilizados pelo LAMIN nas análises dos parâmetros utilizados no estudo.

3.2.1. Cromatografia

A técnica de cromatografia líquida de alta performance com colunas de troca iônica (CLAE), baseia-se na separação dos ânions pelo diferencial de interação entre os componentes da fase móvel (amostra) e fase estacionária (coluna), e é utilizada para determinação dos ânions: Cloreto, Sulfato, Brometo, Nitrato, Fosfato, Nitrito, Fluoreto. O equipamento utilizado é um cromatógrafo líquido de alta performance com colunas de trocas iônicas da marca Dionex.

3.2.2. A espectrometria de emissão ótica com plasma acoplado indutivamente (ICP-OES)

O ICP-OES é utilizado para determinação dos cátions, a técnica de análise de metais por ICP-OES é amplamente difundida para quantificação de elementos traços. A técnica é baseada na emissão de fótons resultantes de íons excitados pelo plasma, onde as amostras são submetidas ao processo de digestão ácida e então introduzidas no equipamento para a quantificação.

O equipamento utilizado é um ICP-OES Optima 8000 da perkinelmer.

3.2.3. Determinação da alcalinidade

A alcalinidade das águas é determinada através de titulação de neutralização ácido/base, empregando ácido sulfúrico 0,01 mol/L. Para determinação do bicarbonato e do carbonato é utilizado o Titrino(titulador automático) da marca Metrhom.

3.2.4. pH e Condutividade

A determinação do pH é realizada através de um pHmetro portátil da marca Thermo. O pHmetro é composto por um eletrodo de pH e um circuito potenciométrico, e a medição acontece quando o eletrodo é submerso na amostra, produzindo milivoltz que são convertidos em uma escala de pH.

A medição da condutividade é realizada através de um Condutímetro portátil da marca Thermo. O Condutímetro é equipado com uma sonda, que ao ser inserida na amostra, o medidor aplica uma tensão entre os dois eletrodos dentro da sonda.

Tanto a medição do pH, quanto da condutividade são medições realizadas in-loco, durante a coleta das amostras.

3.2.5. Radioatividade

A água é coletada nas células de Lucas e a radioatividade é determinada através da leitura das células de Lucas no equipamento Pylon Ab-5, onde é medido a quantidade de radônio.

3.3. Metodologia

Este estudo consiste na interpretação de dados de fontes (poços e nascentes) que captam água subterrânea, classificadas como água mineral, dos Aquíferos do Grupo Barreiras na região de Sergipe e sul da Bahia e do aquífero São Sebastião localizado na Bahia. Os dados foram obtidos através dos documentos oriundos dos processos minerários das empresas detentoras de títulos minerários autorizativos para lavra de água mineral, processos esses, originários da ANM (Agência Nacional de Mineração). Os nomes das empresas possuidoras de fontes no estudo não foram citados, mencionando apenas as suas localizações. Foi utilizado como base, o formulário dos boletins de análise emitido pelo LAMIN que contém os parâmetros predominantes em cada análise da água das fontes. O Anexo 1 mostra o modelo de boletim emitido pelo LAMIN, de onde foram retirados os dados do estudo.

Foram selecionadas 21(vinte e uma) fontes no aquífero São Sebastião, 18(dezoito) fontes no aquífero Barreiras em Sergipe e 8(oito) no aquífero Barreiras no sul da Bahia. Em posse das informações das análises físico-químicas e geolocalização de todas as fontes do estudo, foi confeccionado os mapas de localização das fontes com o auxílio do software ArcGIS.

A integração e interpretação das informações obtidas nas etapas anteriores permitiram caracterização da Hidroquímica das Fontes captam água nos Aquíferos Barreiras e São Sebastião. Com os dados físico-químicos e os resultados das análises químicas das águas das fontes, foi possível a confecção do Diagrama de Classificação de Piper, com o auxílio do software QualiGraf, também foi realizado o Balanço Iônico das águas das fontes para verificar a consistência das análises realizadas pelo LAMIN. Também foram comparados os valores e concentrações de cada elemento e parâmetro analisados com os valores Máximos Permitidos (VPMs) pelas Portaria 717/2022, que versa sobre água mineral, e Portaria Consolidada nº 5/2017, que regula as águas potáveis, juntamente foi realizada uma caracterização das águas das fontes com base na classificação do Código de Águas Minerais(CAM).

Em sequência foi realizado o teste de normalidade de Shapiro-Wilk, com o auxílio do software JAMOVI, para verificar a normalidade dos dados e pode-se determinar a metodologia a ser utilizada. Com a informação da normalidade, realizou-se testes não paramétricos para a comparação dos parâmetros e concentrações dos elementos das fontes entre os aquíferos. Para comparação entre os dados dos aquíferos, foi realizado o teste de Kruskal-Wallis e verificado quais parâmetros e elementos possuíam diferença significativas entre os aquíferos. Todos os testes foram realizados com o auxílio do software JAMOVI.

4. RESULTADOS

Com os dados separados por aquífero e Estado, foi realizada uma análise dos elementos predominantes em cada uma das fontes, levando em consideração também, os elementos classificadores das águas e os elementos dignos de nota descritos na Portaria nº540/MME de 18/12/2014, que apesar de poderem apresentar baixas concentrações, podem contribuir para a alteração de sua classificação final, dentre eles o Fluoreto, Vanádio, Lítio e Selênio.

Testes estatísticos foram utilizados para verificar se há razoável diferença entre os aquíferos e se houve alteração significativa dos parâmetros da qualidade da água dos aquíferos Barreiras nos 2(dois) diferentes Estados da federação e São Sebastião.

4.1. Análise dos Resultados

4.1.1. Parâmetros físico-químicos

Todos os dados das análises realizadas pelo LAMIN, relevantes para o estudo, estão no quadro no Apêndice A. A seguir serão demonstrados os resultados obtidos para todos os parâmetros físico-químicos analisados, com a representação gráfica de cada um deles presente no Apêndice B.

4.1.1.1 pH

O pH indica, em escala antilogarítmica, indica o grau de acidez de uma solução através da concentração de íons hidrogênio (H^+) no meio. Varia entre zero (ácido) a catorze (alcalino). Importante parâmetro na qualidade de água, interferindo na solubilização de gases e íons na solução (BAIRD, 2002).

O pH da água é um dos mais importantes parâmetros físico-químicos, que além de ser um dos determinantes da qualidade da água, é utilizado em função de outros parâmetros, como

alcalinidade e o gás carbônico livre (SILVA FILHO; BRAZ; CHAGAS, 2016). No entanto, a legislação sanitária brasileira que trata de água mineral envasada para consumo humano (RDC ANVISA 717/22) não estabelece limites de pH para este parâmetro, assim, como ocorre nas normas internacionais de referência, ou seja, o Codex Alimentarius (Codex Stan 108-1981). Também não há consensos científicos sobre a real influência da água ingerida no pH sanguíneo e/ou fisiológico, e o quanto isso interfere na saúde do consumidor (ALMEIDA; MOTTIN; DOS SANTOS, 2016; SOCIEDADE BRASILEIRA DE ALIMENTAÇÃO E NUTRIÇÃO, 2016).

A RDC 717/22 apesar de dispor sobre os requisitos sanitários das águas envasadas e do gelo para consumo humano, não há determinação dos valores de pH que as águas envasadas devem possuir. Apenas na Portaria Consolidada N° 5/2017 do Ministério da Saúde, há uma recomendação no Capítulo III, Art. 39, em seu parágrafo 1º, que o pH da água no sistema de distribuição seja mantido na faixa de 6,0 a 9,5. Fazendo a comparação dos valores encontrados nas fontes com a recomendação da Portaria 5/2017, apenas 6(seis) fontes do aquífero São Sebastião, 1(uma) fonte do Barreiras Bahia e 1 (uma) do Barreiras Sergipe encontram-se dentro da faixa recomendada, são elas: BS14, BB06, SB08, SB09, SB10, SB15, SB20 e SB21, dando um total de 17% das fontes de águas minerais estudadas. As porcentagens das fontes dentro da recomendação por aquífero, são de apenas 5,5% das fontes de água mineral no Barreiras em Sergipe, 12,5% do aquífero Barreiras no sul da Bahia e 28,6% das fontes do São Sebastião na Bahia.

4.1.1.2. Condutividade

Segundo Boesch (2002), a condutividade elétrica é um parâmetro que pode mostrar modificações na composição dos corpos d'água, mas não especifica quantidades e componentes. É um parâmetro importante para controlar e determinar o estado e a qualidade de água (PIÑEIRO DI BLASI et al., 2013). Existe uma correlação estatística entre a condutividade da água e a concentração de diversos elementos e íons (TUNDISI E MATSUMURA-TUNDISI, 2008).

4.1.1.3. Sólidos Totais Dissolvidos (STD)

Resíduo que resta na cápsula após a evaporação em banho-maria de uma porção de amostra e sua posterior secagem em estufa a 103-105°C até peso constante. Também denominado resíduo total. Representa a concentração de todo material dissolvido, ou seja, não volátil. Os valores estimados de STD foram obtidos através do software Qualigraf, elaborado pela Fundação Cearense de Meteorologia, utilizando um fator de 0,65(padão do software). Com os valores de STD estimados, seguiu-se a classificação segundo a Resolução CONAMA 357/2005 quanto aos STD, águas com concentrações abaixo de 500mg.L⁻¹, são consideradas doces.

Tabela 7- Sólidos Totais Dissolvidos do Aquífero Barreiras Sergipe.

Fonte	C.E μS.cm ⁻¹	STD estimado mg.L ⁻¹
BS01	105,8	68,8
BS02	97,1	63,1
BS03	78,3	50,9
BS04	79	51,4
BS05	122,5	79,6
BS06	191,1	124,2
BS07	112,8	73,3
BS08	117,7	76,5
BS09	112,4	73,1
BS10	107,6	69,9
BS11	145,4	94,5
BS12	79,4	51,6
BS13	88,5	57,5
BS14	121,2	78,8
BS15	65,6	42,6
BS16	56,9	37
BS17	82,8	53,8
BS18	250,3	162,7

C.E= Condutividade Elétrica.

Tabela 8- Sólidos Totais Dissolvidos do Aquífero Barreiras Bahia.

Fonte	C.E $\mu\text{S.cm}^{-1}$	STD estimado mg.L^{-1}
BB01	67	43,6
BB02	77,5	50,4
BB03	59,2	38,5
BB04	59,3	38,5
BB05	55,5	36,1
BB06	215	139,8
BB07	55,9	36,3
BB08	68,8	44,7

Tabela 9- Sólidos Totais Dissolvidos do Aquífero São Sebastião Bahia.

Fonte	C.E $\mu\text{S.cm}^{-1}$	STD estimado mg.L^{-1}
SB01	126,7	82,4
SB02	59,2	38,5
SB03	122,4	79,6
SB04	50,5	32,8
SB05	53	34,5
SB06	55,5	36,1
SB07	40	26
SB08	108,1	70,3
SB09	67,9	44,1
SB10	231	150,2
SB11	59,9	38,9
SB12	64,3	41,8
SB13	35,5	23,1
SB14	39,3	25,5
SB15	131,1	85,2
SB16	50,3	32,7
SB17	63,8	41,5
SB18	82,2	53,4
SB19	78,7	51,2
SB20	174	113,1
SB21	105,6	68,6

O aquífero barreiras em Sergipe apresentou valores de concentração variando entre 37,0 mg.L^{-1} e 162,7 mg.L^{-1} , para o mesmo aquífero no estado da Bahia, a variação foi de

36,1mg.L⁻¹ a 215 mg.L⁻¹. Já para o aquífero São Sebastião foi encontrado uma variação de 35,1 mg.L⁻¹ a 174,0 mg.L⁻¹. Todas as águas foram classificadas como doce seguindo a Resolução CONAMA 357/2005.

4.1.1.4. Resíduo de Evaporação a 180°C

Segundo a ABINAM (Associação Brasileira de Indústria de Água Mineral), o que determina o grau de leveza da água é quantidade de sais encontrados em sua composição. Quanto o menor o resíduo de sais e sólidos na evaporação do líquido (a uma temperatura de 180°C), mais leve a água será.

Esta característica vem do tipo de rocha onde brotam as fontes minerais. Águas leves, com menor teor de sal (salinidade menor), são indicadas para hidratar o organismo, matar a sede e para pessoas que sofrem de hipertensão, devido aos potenciais diuréticos”.

Quando se evapora a água mineral a 180 graus Celsius, resíduos minerais ficarão (microscopicamente) e esses resíduos serão pesados para classificar a leveza da água. Quanto menos resíduos, mais leve será a água. Em contrapartida, menor será a quantidade de minerais contidas nela.

O resíduo de evaporação não está em nenhuma norma regulamentadora de valor máximo conhecido, seu valor é importante para monitoramento das águas, visto que, um aumento dos valores de resíduo de evaporação ao longo do tempo é indicativo de aumento de mineralização, assim, indicando contaminação da fonte.

4.1.1.5. Radioatividade

A radioatividade é um elemento classificatório de águas minerais, conforme descreve o Código de Águas Minerais (CAM). São classificadas quanto aos gases: a) Fracamente radioativas, as que apresentarem, no mínimo, uma vazão gasosa de 1 litro por minuto (1 l.p.m) com um teor em radônio compreendido entre 5 e 10 unidades Mache, por litro de gás espontâneo, a 20° C e 760 mm de Hg de pressão; b) radioativas, as que apresentarem, no mínimo, uma vazão gasosa de 1 l.p.m., com um teor compreendido entre 10 e 50 unidades

Mache, por litro de gás espontâneo, a 20° C e 760 mm de Hg de pressão; c) fortemente radioativas, as que apresentarem, no mínimo, uma vazão gasosa de 1 l.p.m., com teor em radônio superior a 60 unidades Mache, por litro de gás espontâneo, a 20° C e 760 mm de Hg de pressão.” (BRASIL, 1945).

Desde 1985, a unidade Mache foi substituída pela unidade Becquerel (Bq.L^{-1}), mas nosso CAM mantém a unidade antiga. Para ingestão de água, a legislação brasileira exige segundo o Art. 38° da Portaria MS N.º 2914/2011 que os níveis radiológicos não excedam a “0,5 Bq.L^{-1} para atividade alfa total e 1 Bq.L^{-1} para beta total”. Neste estudo não foram englobadas as análises de atividade de alfa total e beta total, sendo apenas analisada o teor de gás radônio a 20°C e 760 mm de Hg de pressão.

De todas as fontes analisadas no estudo, apenas as fontes BS08, BS09, BS10 e SB10 foram classificadas como fracamente radioativas, como podemos observar nas tabelas 4, 5 e 6, totalizando 8,51% das fontes, sendo 16,67% no aquífero Barreiras em Sergipe e 4,8% no aquífero São Sebastião. Todas as outras fontes apresentaram valores inferiores ao valor mínimo de classificação. No aquífero Barreiras na Bahia, nenhuma fonte apresenta classificação radioativa

4.1.1.6. Temperatura

Outro fator classificatório das águas minerais segundo o CAM é a temperatura das águas na fonte. No estudo, todas as fontes analisadas foram classificadas como hipotermiais.

4.1.2. Ânions

4.1.2.1. Fluoreto

Fluoretos decorrem naturalmente da dissolução de rochas como Fluorita, Fluorapatita e Criolita, mais abundante nas águas subterrâneas que as superficiais. O flúor vem sendo adicionado, de forma artificial, as águas de abastecimento público como medida de saúde pública reconhecida mundialmente por seu papel na prevenção de cárie dentária. No entanto, a

atenção não deve ser dada somente para a água de abastecimento público, mas também para a água engarrafada mineral, uma vez que, nos dias de hoje, esta vem sendo amplamente consumida pela população. Vale ressaltar que a presença do flúor nas águas minerais ocorre de forma natural.

A portaria 717/22 destaca que o produto que contém mais do que 2 mg.L⁻¹ de fluoreto deve trazer obrigatoriamente, nos rótulos das garrafas, o alerta de que o produto não é adequado para lactentes e crianças com até sete anos de idade e que o consumo não é recomendado para consumo diária.

Segundo o anexo 7(sete) da Portaria de Consolidação nº 5, de 28 de setembro de 2017, em tabela de padrão de potabilidade para substâncias químicas que representam risco à saúde, o valor máximo permitido (VMP) de fluoreto na água potável é de 1,5 mg.L⁻¹. Já na portaria 717/22 que é específica de água mineral, não se encontra valor limite para o fluoreto.

É possível observar que todas as fontes apresentam concentrações de fluoreto bem abaixo do VMP na legislação, com nenhuma das fontes atingindo tal valor. No quesito da classificação segundo o CAM, 66,7% das fontes do aquífero Barreiras Sergipe são classificadas como Fluoretadas, 50% das fontes do aquífero Barreiras Bahia foram classificadas como Fluoretadas e 66,7% do aquífero São Sebastião, totalizando 63,8% das fontes analisadas como Fluoretadas.

4.1.2.2. Brometo

Brometos são a forma oxidada do bromo, tipicamente presente em meio marinho e seres aquáticos, comumente encontrado na natureza junto ao cloreto, devido a suas propriedades químicas semelhantes, mas ocorrendo em menor quantidade.

No estudo, encontrou-se o brometo em baixas concentrações em todas as fontes analisadas.

4.1.2.3. Cloreto

Cloretos são sais solúveis, originários naturalmente da lixiviação mineral e intrusão salina. Mais abundantes em águas subterrâneas que as superficiais. (ROCHA, 2008).

Com relação aos valores permitidos, encontra-se menção no Anexo X da Portaria de Consolidação nº 5, de 28 de setembro de 2017, na tabela de padrão organoléptico de potabilidade com Valor Máximo Permitido (VPM) de 250 mg.L⁻¹. Todas as fontes apresentaram concentrações bem inferiores ao VPM estabelecido na portaria. Não há valor VPM na legislação específica de água mineral.

Quanto a classificação, nenhuma fonte apresentou critérios mínimos para sua classificação como cloretada.

4.1.2.4. Sulfato

Sulfatos são as formas mais oxidadas do enxofre, abundantes naturalmente em águas superficiais e subterrâneas, pela lixiviação de solos e rochas sedimentares e metamórficas, e das atividades agrícolas e descargas industriais: papel e celulose, química e farmacêutica (PIVELLI, 2005).

Com relação aos valores permitidos, encontra-se menção no Anexo X da Portaria de Consolidação nº 5, de 28 de setembro de 2017, na tabela de padrão organoléptico de potabilidade com Valor Máximo Permitido (VPM) de 250 mg.L⁻¹. Todas as fontes apresentaram concentrações bem inferiores ao estabelecido na portaria citada. Também não há VPM para o sulfato em legislação específica para água mineral.

Quanto a classificação, nenhuma fonte apresentou critérios mínimos para sua classificação como sulfatada ou sulfurosa.

4.1.2.5. Fosfato

O fosfato em águas origina-se pela lixiviação de rochas ou emissão de detergentes, fertilizantes, esgotos domésticos e emissões industriais.

Apenas 6(seis) fontes apresentaram valores acima do limite de quantificação do cromatógrafo com baixos valores de concentração, apenas as fontes BS03, BB06, SB08, SB10, SB15 e SB17 apresentaram fosfato em sua composição.

Não foi encontrado nenhum valor máximo permitido para o fosfato nas legislações e o fosfato também não é elemento classificatório segundo o CAM.

4.1.2.6. Bicarbonato

Os bicarbonatos originam-se da reação do CO_2 na água, dissolução de rochas, queimadas e decomposição de matérias orgânicas (MOTTA, 2015). Correlaciona-se com o pH, predominando em águas alcalinas e com elevada condutividade (SODRÉ, 2007; SANTOS, 2011).

Não há limite máximo na legislação para o bicarbonato. Quanto à classificação segundo o CAM, o bicarbonato é um elemento classificatório das águas minerais, entretanto, nesse estudo, nenhuma das fontes apresentou a concentração mínima para classificar a água como bicarbonatada.

4.1.2.7. Nitrato e Nitrito

Nitratos são a forma mais oxidada do Nitrogênio. Originam-se da lixiviação dos solos, oxidação aeróbica de esgotos domésticos e industriais, contaminação por aterros sanitários, aplicação de fertilizantes e adubos na atividade agrícola e degradação de matérias orgânicas contidas nos solos, como resíduos de animais (FARIAS, 2006).

Segundo a classificação do CAM, nenhuma das fontes se enquadra na classificação de água nitrada e fazendo a comparação com a legislação da Portaria 717/2022, observa-se que todas as fontes apresentaram-se abaixo do VMP de 50 mg.L⁻¹.

No aquífero São Sebastião, as fontes SB01, SB02 e SB03 foram as que apresentaram maiores concentrações de nitrato em sua composição, verifica-se que as 3(três) fontes encontram-se localizadas muito próximas umas das outras, em uma região que possui uma grande proximidade com um contaminado com esgotos domésticos. Já no aquífero Barreiras em Sergipe, os poços BS05, BS06 e BS18 apresentaram os valores mais elevados, as fontes BS05 e BS06 estão localizadas em uma mesma área, área essa com um moderado grau de urbanização. As fontes BS05 e BS18 são nascentes, apresentando assim, maior risco de contaminação, isso mostra a importância do estudo de proteção da fonte para manter o nível de contaminantes abaixo dos VMP.

Já o Nitrito é uma forma menos oxidada e estável que o Nitrato. Origina-se de esgotos domésticos e industriais, aterros sanitários e degradação de matérias orgânicas (FARIAS, 2006). Dentro os valores coletados, houveram poucas fontes que apresentaram valores quantificáveis, apenas as fontes BS03, BS07, BS12 e BS15 apresentaram valores maiores que o limite de detecção do método de medida, mesmo assim apresentando valores baixos, ficando abaixo do valor de 0,02 mg.L⁻¹ que é o VPM da Portaria 717/2022.

4.1.3. Cátions

4.1.3.1. Ferro, Zinco e Lítio

Para o ferro, apenas 36,17% das fontes do estudo apresentaram valores quantificáveis, sendo apresentado valores muito baixos em suas composições quando comparados ao VMP exibido no anexo X da Portaria consolidada n°5/2017, que é de 0,3 mg.L⁻¹. Apenas a fonte SB20 apresentou valor destoante com todas as águas minerais dos aquíferos estudados, conforme pode-se observar na Tabela 10. A fonte SB20 é um poço novo, que ainda não possui um histórico de análises, impossibilitando assim, uma análise mais profunda para verificar se o valor encontrado realmente se mantém ou se houve algum erro operacional ou contaminação

durante a coleta ou análise laboratorial. Já que existem outros poços em torno da área da fonte SB20 e que apresentam concentrações bem distintas do encontrado na SB20.

Tabela 10- Concentrações quantificáveis de Ferro nas Fontes.

Fonte	Fe(mg.L ⁻¹)
BS11	0,039
BS15	0,016
BS16	0,035
BS17	0,011
BS18	0,013
BB01	0,038
BB03	0,014
BB04	0,077
SB04	0,018
SB05	0,017
SB07	0,011
SB10	0,028
SB13	0,072
SB17	0,012
SB18	0,06
SB19	0,084
SB20	0,525

E mesmo a fonte SB20 apresentando valor superior ao VMP no Anexo X da Portaria de Consolidação nº 5/2017, ela é aceita como água mineral por não haver menção ao ferro na legislação específica que rege as águas minerais. Vale salientar também que nenhuma das fontes apresentou concentração de ferro suficiente para classificá-la como ferruginosa, seguindo o determinado no CAM.

O Zinco é um metal de suma importância na saúde humana e desenvolvimento vegetal e animal (SILVA, 2010). Apenas 31,91% das fontes apresentaram valores quantificáveis de zinco, com todas as fontes apresentando concentrações muito baixas quando comparada ao VMP do Anexo X da Portaria consolidada nº5/2017 que é de 5mg.L⁻¹.

Tabela 11- Concentrações quantificáveis de Zinco nas Fontes.

Fonte	Zn(mg.L ⁻¹)
BS01	0,014
BS03	0,013
BS05	0,017
BS06	0,014
BS12	0,021
BS13	0,011
BS16	0,01
BB01	0,027
BB02	0,013
BB03	0,015
BB04	0,012
BB07	0,048
SB13	0,012
SB18	0,029
SB19	0,017

O lítio apresenta-se como elemento classificatório, segundo o disposto na Portaria N° 540, de 18 de dezembro de 2014. Neste estudo, o lítio apresentou valores quantificáveis em apenas 23,4% das fontes de água mineral e apenas 2 fontes (SB15 e SB20) apresentaram concentração suficiente para classificá-las como Litinadas (concentração mínima de 0,01 mg.L⁻¹). Não há na legislação valores relativos à concentração máxima de lítio nas águas minerais e também não há relativo as águas potáveis.

Tabela 12- Fontes que apresentaram concentrações de Lítio quantificáveis.

Fonte	Li(mg.L ⁻¹)
BS01	0,006
BS02	0,007
BS07	0,019
BS12	0,008
BS13	0,005
BS17	0,005
BB02	0,007
SB05	0,006
SB15	0,015
SB20	0,01
SB21	0,006

4.1.3.2. Bário

O bário ocorre na natureza somente na forma combinada e as principais são a barita (sulfato de bário natural) e a witherita (carbonato de bário natural). Também é encontrado em quantidades traço em rochas ígneas e sedimentares (CETESB, 2017).

Todas as fontes encontram-se com valores de concentrações abaixo do VMP na Portaria 717/2022 e Portaria consolidada n°5/2017, que é de $0,7 \text{ mg.L}^{-1}$. Quanto a classificação, o bário não é elemento classificatório segundo o CAM.

4.1.3.3. Cálcio, Magnésio e Potássio

O teor de cálcio nas águas subterrâneas varia, de uma forma geral, de 10 a 100 mg.L^{-1} . As principais fontes de cálcio são os plagioclásios cálcicos, calcita, dolomita, apatita, entre outros (SANTOS, 2004).

O potássio é um elemento químico abundante na crosta terrestre, mas ocorre em pequena quantidade nas águas subterrâneas, pois é facilmente fixado pelas argilas e intensivamente consumido pelos vegetais. Seus principais minerais fontes são: feldspato potássico, mica moscovita e biotita, pouco resistentes aos intemperismos físicos e químicos (SANTOS, 2014).

O magnésio é um elemento cujo comportamento geoquímico é muito parecido com o do cálcio e, em linhas gerais, acompanha este elemento. Diferentemente do cálcio, contudo, forma sais mais solúveis. Os minerais mais comuns fornecedores de magnésio para as águas subterrâneas são: biotita, anfibólios e piroxênios. Estes minerais são mais estáveis diante do intemperismo químico, do que os minerais fornecedores de cálcio, por isso seu teor nas águas subterrâneas é significativamente menor do que aquele.

Por não apresentar padrões de VMPs nas águas subterrâneas para as concentrações de cálcio e magnésio pela Portaria consolidada n°5/2017 e nem na Portaria 717/2022, os resultados desses parâmetros químicos foram também comparados com os padrões VMPs estabelecidos pela Organização Mundial da Saúde (OMS), os limites estabelecidos são de 70 mg.L^{-1} para o cálcio e 50 mg.L^{-1} para o magnésio. Sendo que todas as fontes apresentaram dentro dos valores

estabelecidos de potabilidade para esses elementos. Para o potássio não foi encontrado VMP nas legislações.

Quanto ao critério classificatório das águas minerais, nenhuma das fontes alcançou a mínimo estabelecido para serem classificadas como magnesianas ou cálcicas. Já o potássio não é elemento classificatório segundo os critérios do CAM.

4.1.3.4. Sódio

O sódio é um elemento químico quase sempre presente nas águas subterrâneas. Seus principais minerais fonte (feldspatos plagioclásios) são pouco resistentes aos processos intempéricos, principalmente os químicos. Em aquíferos litorâneos, a presença de sódio na água poderá estar relacionada à intrusão da água do mar (SANTOS, 2014).

As concentrações de sódio de todas as fontes apresentaram valores bem inferiores aos VMPs descritos na Portaria consolidada nº 5/2017 e OMS, que é de 200mg.L^{-1} . O elemento sódio não é classificatório seguindo os padrões do CAM e não possui VMP na legislação específica de água mineral.

4.2. Balanço Iônico (BI)

Os valores obtidos através dos boletins de análises do LAMIN foram submetidos a um balanço iônico, com o auxílio do software Qualigraf, com o intuito de verificar a consistência dos resultados das análises. Foram realizadas as conversões de unidade de medida de mg.L^{-1} para meq.L^{-1} , como visto nas Tabelas 13, 14 e 15. Segundo a FUNCEME (2014), em uma análise hidroquímica a concentração de cátions deve ser aproximadamente igual a concentração de ânions e o desvio percentual desse resultado é avaliado pelo coeficiente do erro analítico. O Erro analítico é realizado por meio de duas técnicas, uma que utiliza os valores da condutividade elétrica (CE) das águas e outra que utiliza os valores dos somatórios dos cátions e ânions, como descrito na abaixo.

Balço Iônico N°1 – Baseado no Erro prático (Ep), definido por Custódio e Llamas(1983) como:

$$Ep(\%) = \left| \frac{r\Sigma\hat{a}nions - r\Sigma\hat{c}at ions}{r\Sigma\hat{a}nions + r\Sigma\hat{c}at ions} \right| \times 200 \quad 01$$

O erro Teórico é o E.P máximo permitido considerando-se a condutividade elétrica (C.E), conforme mostrado abaixo:

Condutividade Elétrica (µS/cm)	50	200	500	2.000	>2.000
Erro permitido (%)	30	10	8	4	<4

Balço Iônico N°2 – Baseado no Erro prático (Ep) definido por Logan (1965), dado como:

$$Ep(\%) = \left| \frac{r\Sigma\hat{a}nions - r\Sigma\hat{c}at ions}{r\Sigma\hat{a}nions + r\Sigma\hat{c}at ions} \right| \times 100 \quad 02$$

O erro teórico é o E.P máximo permitido levando-se em consideração os valores dos íons, conforme mostrado abaixo:

Σcátions ou Σânions	<1	1	2	6	10	>30
Erro permitido (%)	15	10	6	4	3	1

A Tabela 13 mostra os resultados dos balanços iônicos das fontes do Aquífero Barreiras Bahia.

Tabela 13- Balço Iônico do Aquífero Barreiras Bahia.

Fonte	Na+K (meq/L)	Ca (meq/L)	Mg (meq/L)	Cl (meq/L)	CO3 + HCO3 (meq/L)	SO4 (meq/L)	CE (µS/cm)	Σcátions (meq/L)	Σânions (meq/L)	BI 1 (%)	BI 2 (%)	Observações
BB01	0,3971	0,0234	0,1007	0,3030	0,1052	0,0668	67,0	0,5213	0,4750	9,28	4,64	OK
BB02	0,4732	0,0773	0,1127	0,3484	0,2055	0,0664	77,5	0,6631	0,6203	6,66	3,33	OK
BB03	0,3074	0,0136	0,0720	0,2161	0,0798	0,0564	59,2	0,3930	0,3523	10,92	5,46	OK
BB04	0,2638	0,0192	0,0630	0,2700	0,0002	0,0662	59,3	0,3460	0,3363	2,84	1,42	OK
BB05	0,2820	0,0252	0,0763	0,2398	0,0657	0,0398	55,5	0,3836	0,3453	10,51	5,25	OK
BB06	0,8878	0,5587	0,5732	0,5490	1,1317	0,3058	215,0	2,0198	1,9865	1,66	0,83	OK
BB07	0,3095	0,0341	0,0956	0,2703	0,1000	0,0468	55,9	0,4393	0,4171	5,19	2,59	OK
BB08	0,2743	0,0100	0,0600	0,3050	0,0002	0,0452	68,8	0,3443	0,3503	1,72	0,86	OK

A Tabela 14 mostra os resultados dos balanços iônicos das fontes do Aquífero São Sebastião Bahia.

Tabela 14- Balanço Iônico do Aquífero São Sebastião Bahia.

Fonte	Na+K (meq/L)	Ca (meq/L)	Mg (meq/L)	Cl (meq/L)	CO ₃ + HCO ₃ (meq/L)	SO ₄ (meq/L)	CE (µS/cm)	Σcátions (meq/L)	Σânions (meq/L)	BI 1 (%)	BI 2 (%)	Observações
SB01	0,6128	0,0474	0,1736	0,5241	0,0000	0,0525	126,7	0,8339	0,5766	36,48	18,24	Não atende BI 1 e 2
SB02	0,3452	0,0249	0,0803	0,2776	0,0726	0,0198	59,2	0,4505	0,3700	19,62	9,81	OK
SB03	0,6118	0,1166	0,1818	0,4285	0,0970	0,1004	122,4	0,9102	0,6259	37,01	18,51	Não atende BI 1 e 2
SB04	0,3271	0,0135	0,0792	0,1963	0,1882	0,0223	50,5	0,4198	0,4068	3,16	1,58	OK
SB05	0,2930	0,0153	0,0673	0,1647	0,1860	0,0208	53,0	0,3755	0,3716	1,06	0,53	OK
SB06	0,3075	0,0000	0,1068	0,2798	0,1106	0,0271	55,5	0,4144	0,4175	0,77	0,38	OK
SB07	0,1799	0,0000	0,0472	0,1769	0,0239	0,0181	40,0	0,2271	0,2189	3,68	1,84	OK
SB08	0,4979	0,0392	0,1847	0,2468	0,4058	0,0323	108,1	0,7218	0,6849	5,24	2,62	OK
SB09	0,4139	0,0000	0,0817	0,2604	0,2399	0,0052	67,9	0,4957	0,5055	1,97	0,98	OK
SB10	1,6094	0,2535	0,2619	0,6570	1,0083	0,3983	231,0	2,1248	2,0636	2,92	1,46	OK
SB11	0,3674	0,0232	0,1062	0,3670	0,0488	0,0510	59,9	0,4968	0,4669	6,22	3,11	OK
SB12	0,3207	0,0238	0,0786	0,3207	0,0321	0,0462	64,3	0,4232	0,3991	5,86	2,93	OK
SB13	0,2022	0,0280	0,0430	0,1879	0,0587	0,0221	35,5	0,2733	0,2686	1,72	0,86	OK
SB14	0,1889	0,0144	0,0028	0,1879	0,0000	0,0219	39,3	0,2061	0,2097	1,75	0,87	OK
SB15	0,5188	0,1339	0,0009	0,3803	0,6741	0,0460	131,1	0,6536	1,1004	50,95	25,47	Não atende BI 1 e 2
SB16	0,2724	0,0140	0,0860	0,2231	0,8228	0,0206	50,3	0,3724	1,0665	96,48	48,24	Não atende BI 1 e 2
SB17	0,3618	0,0388	0,1211	0,2601	0,2313	0,0300	63,8	0,5217	0,5213	0,06	0,03	OK
SB18	0,4702	0,0226	0,1719	0,4136	0,1090	0,0991	82,2	0,6646	0,6217	6,68	3,34	OK
SB19	0,4040	0,0336	0,1674	0,3873	0,0472	0,1045	78,7	0,6050	0,5390	11,53	5,77	OK
SB20	0,8868	0,2804	0,4513	0,7055	0,7146	0,1974	174,0	1,6185	1,6175	0,06	0,03	OK
SB21	0,7524	0,0663	0,2217	0,5385	0,4299	0,0521	105,6	1,0405	1,0205	1,94	0,97	OK

A Tabela 15 mostra os resultados dos balanços iônicos das fontes do Aquífero Barreiras Sergipe.

Tabela 15- Balanço Iônico do Aquífero Barreiras Sergipe.

Fonte	Na+K (meq/L)	Ca (meq/L)	Mg (meq/L)	Cl (meq/L)	CO ₃ + HCO ₃ (meq/L)	SO ₄ (meq/L)	CE (µS/cm)	Σcátions (meq/L)	Σânions (meq/L)	BI 1 (%)	BI 2 (%)	Observações
BS01	0,5735	0,0129	0,1233	0,5193	0,0444	0,0612	105,8	0,7097	0,6250	12,70	6,35	OK
BS02	0,5292	0,0185	0,1146	0,4782	0,0569	0,0568	97,1	0,6623	0,5919	11,24	5,62	OK
BS03	0,3554	0,0918	0,0881	0,3803	0,0839	0,0385	78,3	0,5353	0,5027	6,28	3,14	OK
BS04	0,3746	0,1105	0,0819	0,3789	0,0939	0,0377	79,0	0,5671	0,5105	10,50	5,25	OK
BS05	0,5216	0,1680	0,3120	0,3825	0,1431	0,0354	122,5	1,0015	0,5610	56,39	28,19	Não atende BI 1 e 2
BS06	1,0351	0,0435	0,3050	1,0077	0,1201	0,0264	191,1	1,3836	1,1542	18,08	9,04	OK
BS07	0,6589	0,0800	0,1603	0,6243	0,1711	0,0406	112,8	0,8992	0,8360	7,29	3,64	OK
BS08	0,5123	0,2726	0,1443	0,5385	0,2244	0,0433	117,7	0,9293	0,8062	14,18	7,09	OK
BS09	0,4926	0,2371	0,1459	0,5188	0,2050	0,0433	112,4	0,8756	0,7671	13,21	6,6	OK
BS10	0,4954	0,2963	0,1512	0,5067	0,3262	0,0448	107,6	0,9428	0,8776	7,17	3,58	OK
BS11	0,9413	0,0279	0,1646	0,8790	0,1706	0,0589	145,4	1,1337	1,1086	2,24	1,12	OK
BS12	0,3737	0,2136	0,0577	0,3729	0,2023	0,0381	79,4	0,6449	0,6133	5,03	2,52	OK
BS13	0,4982	0,1118	0,0727	0,5157	0,0969	0,0416	88,5	0,6828	0,6542	4,27	2,14	OK
BS14	0,3304	0,6281	0,1673	0,2993	0,7284	0,0529	121,2	1,1258	1,0806	4,10	2,05	OK
BS15	0,3513	0,0005	0,0635	0,3467	0,0034	0,0344	65,6	0,4153	0,3845	7,70	3,85	OK
BS16	0,2883	0,0005	0,0465	0,2846	0,0002	0,0583	56,9	0,3352	0,3431	2,32	1,16	OK
BS17	0,4509	0,0238	0,0903	0,4347	0,0285	0,0423	82,8	0,5650	0,5055	11,12	5,56	OK
BS18	1,2342	0,0845	0,3989	1,1394	0,0618	0,0500	250,3	1,7176	1,2512	31,43	15,71	Não atende BI 1

Com os resultados dos balanços iônicos das Tabelas 13, 14 e 15, observou-se que apenas 6 (seis) fontes não atendem aos critérios do balanço iônico utilizado, são elas as fontes SB01, SB03, SB15, SB16, BS05 e BS18. Mesmo algumas fontes não atendendo aos coeficientes dos limites propostos pelos balanceamentos iônicos, os resultados das análises ainda podem ser utilizados para a avaliação hidroquímica (FUNCEME, 2014). O desbalanceamento encontrado pode estar relacionado, desde falhas no procedimento, erros no manuseamento e coleta das amostras em etapa de campo, longo período de armazenamento das amostras e outros íons não computados nas estimativas dos elementos que podem estar presentes nas águas em proporções consideráveis.

4.3. Classificação Hidroquímica

Para classificação hidroquímica foram utilizados os diagramas Piper, que são uma combinação de triângulos de cátions e ânions, alinhados a uma linha comum na base inferior. Os lados adjacentes de dois triângulos são separados por 60° entre si. O diagrama possui um gráfico em forma de diamante, que é usado para projetar as análises, como círculos cujas áreas são proporcionais ao STD das amostras. A posição de uma análise, que é plotada no diagrama de Piper, pode ser usada para inferir a origem da água. Quatro conclusões básicas podem ser tomadas, por múltiplas análises que plotam no diagrama de Piper, que são: tipos de água, precipitação ou dissolução, casos de mistura e de troca iônica (HOUNSLOW, 1995).

Com os dados das concentrações dos ânions e cátions, contidos no Apêndice A, foi elaborado os diagramas de Piper com o auxílio do software Qualigraf, conforme ilustrado nas Figuras 26, 27 e 28. Assim, pôde-se determinar a classificação das águas de todas as fontes do aquífero.

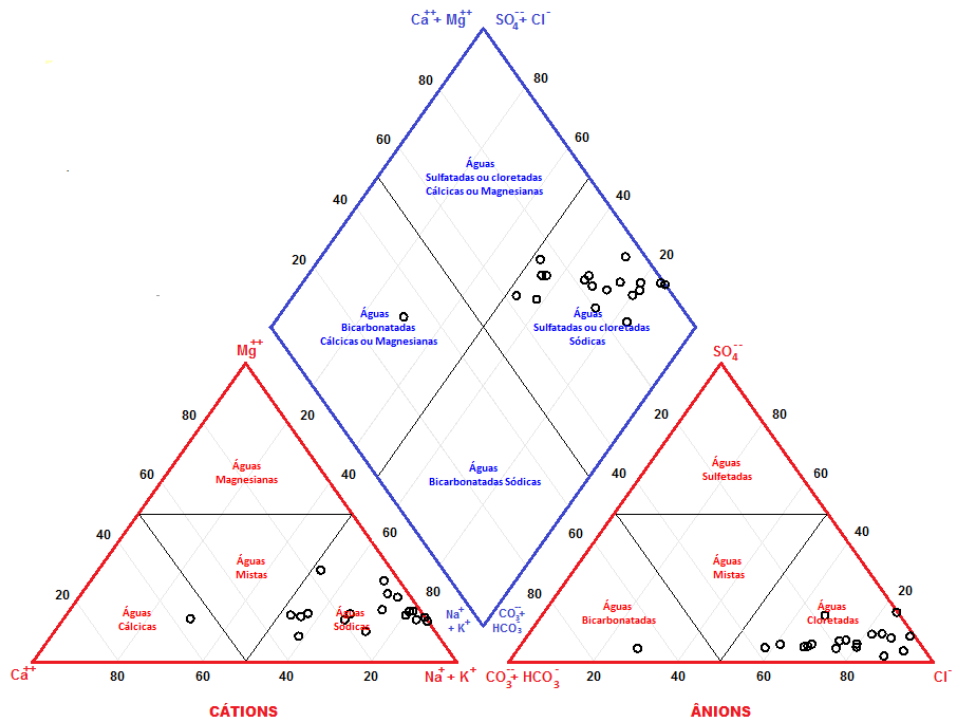


Figura 4: Diagrama de Piper para as fontes do aquífero Barreiras Sergipe

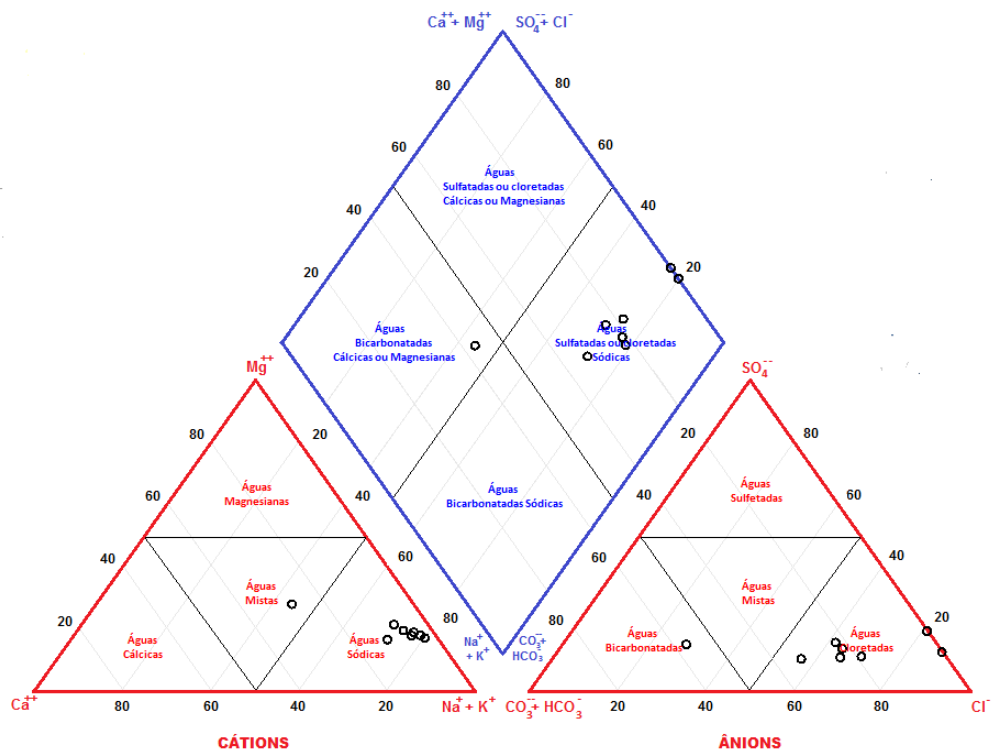


Figura 5: Diagrama de Piper para as fontes do aquífero Barreiras Bahia.

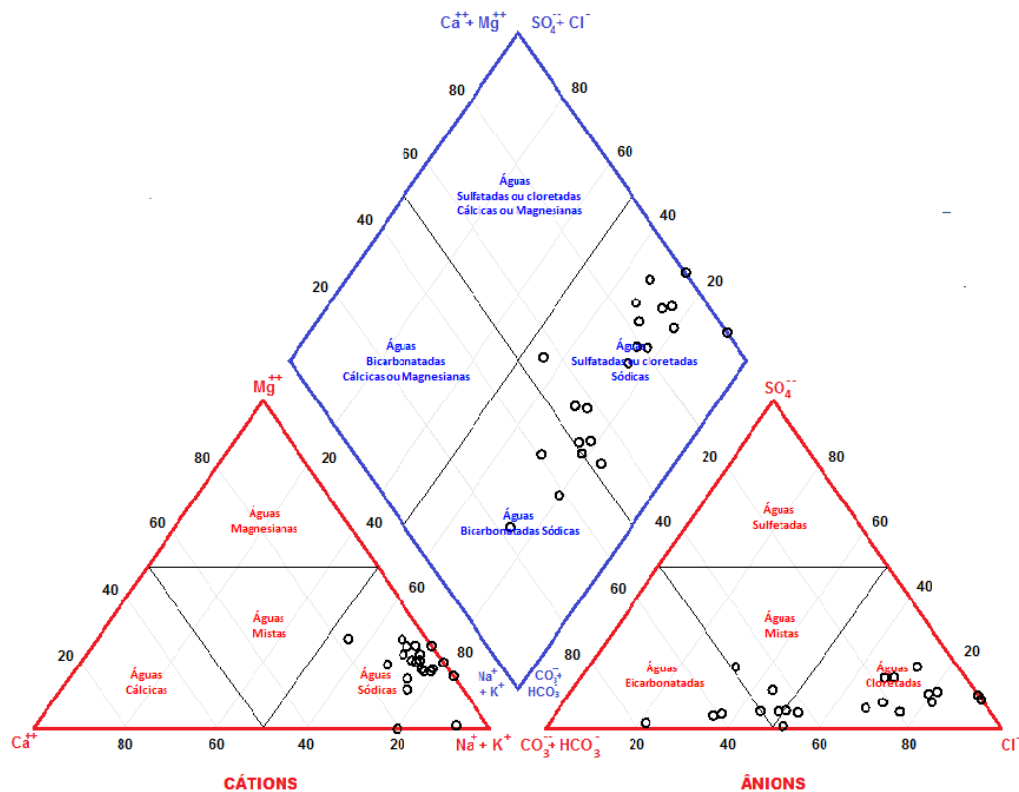


Figura 6: Diagrama de Piper para as fontes do aquífero São Sebastião Bahia.

Após a classificação, encontrou-se que 94% das águas analisadas do aquífero Barreiras Sergipe são classificadas como sódicas cloretadas e 6% como bicarbonatadas cálcicas. No aquífero Barreiras na Bahia, 88% das fontes no são classificadas como sódicas cloretadas e 12% são bicarbonatadas mistas. Já para o aquífero São Sebastião, 62% das fontes são classificadas como sódicas cloretadas, 19% como sódicas mistas e 19% como sódicas bicarbonatadas.

Com referência ao aquífero São Sebastião, Nascimento e Alves (2014) encontraram uma predominância de águas sódicas cloretadas nas águas dos poços analisados, assim como Santos et al (2019) e Nascimento et. al (2016) que encontraram que as águas subterrâneas da região do estudo classificavam-se preferencialmente como cloretadas sódicas, com algumas amostras caindo no campo das bicarbonatadas sódicas, igualmente ao encontrado no presente estudo das águas minerais do aquífero São Sebastião.

Para o aquífero Barreiras no sul da Bahia, Leal e Oliveira (2018) encontraram 2(dois) grupos de classificação de água, um grupo com 71,4% classificadas com sódicas cloretadas e

outro grupo classificadas como sódicas bicarbonatadas, classificações semelhantes aos poços analisados no estudo.

Melo et al. (2013), estudando o Aquífero Barreiras na cidade de Natal, Rio Grande do Norte, encontrou que as águas se apresentaram em sua maioria classificadas hidroquimicamente como sódica cloretadas, de baixa salinidade e boa qualidade para consumo humano.

Oliveira et. al (2017), estudando o aquífero Barreiras na cidade de Eusébio, Ceará, constatou a predominância de águas sódicas cloretadas nas amostras estudadas.

Andrade et. al (2014) encontrou, em poços próximos a região de estudo deste trabalho, uma predominância de águas classificadas como sódicas cloretadas.

No aquífero Barreiras, as fácies sódicas cloretadas sódicas estão relacionadas à localização das áreas nas proximidades da linha de costa, onde os aerossóis marinhos são enriquecidos em cloreto e sódio e, portanto, presentes nas águas precipitadas que constituem a recarga do referido aquífero. O caráter predominantemente livre do aquífero Barreiras nesse setor favorece a infiltração desses sais em direção às águas subterrâneas (STEIN, 2014).

As tabelas 16, 17 e 18 demonstram todas as fontes dos aquíferos do estudo, com suas classificações hidrológicas e suas classificações segundo o Código de Águas Minerais.

Tabela 16- Classificações das águas das fontes do aquífero Barreiras Sergipe.

Fonte	Classificação CAM	Classificação Hidroquímica
BS01	Hipotermal	Sódica Cloretada
BS02	Hipotermal	Sódica Cloretada
BS03	Hipotermal	Sódica Cloretada
BS04	Hipotermal	Sódica Cloretada
BS05	Fluoretada e Hipotermal	Sódica Cloretada
BS06	Fluoretada e Hipotermal	Sódica Cloretada
BS07	Litinada, Fluoretada e Hipotermal	Sódica Cloretada
BS08	Fracamente Radioativa e Hipotermal	Sódica Cloretada
BS09	Fracamente Radioativa e Hipotermal	Sódica Cloretada
BS10	Fluoretada, Fracamente radioativa e Hipotermal	Sódica Cloretada
BS11	Hipotermal	Sódica Cloretada
BS12	Hipotermal	Sódica Cloretada
BS13	Hipotermal	Sódica Cloretada
BS14	Fluoretada e Hipotermal	Cálcica Bicarbonatada
BS15	Hipotermal	Sódica Cloretada
BS16	Fluoretada e Hipotermal	Sódica Cloretada
BS17	Hipotermal	Sódica Cloretada
BS18	Fluoretada e Hipotermal	Sódica Cloretada

Tabela 17- Classificações das águas das fontes do aquífero Barreiras Bahia.

Fonte	Classificação CAM	Classificação Hidroquímica
BB01	Fluoretada e Hipotermal	Sódica Cloretada
BB02	Fluoretada e Hipotermal	Sódica Cloretada
BB03	Fluoretada e Hipotermal	Sódica Cloretada
BB04	Hipotermal	Sódica Cloretada
BB05	Fluoretada e Hipotermal	Sódica Cloretada
BB06	Fluoretada e Hipotermal	Mista Bicarbonatada
BB07	Fluoretada e Hipotermal	Sódica Cloretada
BB08	Fluoretada e Hipotermal	Sódica Cloretada

Tabela 18- Classificações das águas das fontes do aquífero São Sebastião Bahia.

Fonte	Classificação CAM	Classificação Hidroquímica
SB01	Hipotermal	Sódica Cloretada
SB02	Hipotermal	Sódica Cloretada
SB03	Hipotermal	Sódica Cloretada
SB04	Fluoretada e Hipotermal	Sódica Mista
SB05	Fluoretada e Hipotermal	Sódica Bicarbonatada
SB06	Fluoretada e Hipotermal	Sódica Cloretada
SB07	Hipotermal	Sódica Cloretada
SB08	Fluoretada e Hipotermal	Sódica Bicarbonatada
SB09	Fluoretada e Hipotermal	Sódica Cloretada
SB10	Fluoretada, fracamente radioativa e hipotermal	Sódica Mista
SB11	Fluoretada e Hipotermal	Sódica Cloretada
SB12	Hipotermal	Sódica Cloretada
SB13	Hipotermal	Sódica Cloretada
SB14	Hipotermal	Sódica Cloretada
SB15	Fluoretada, Litinada e Hipotermal	Sódica Bicarbonatada
SB16	Fluoretada e Hipotermal	Sódica Bicarbonatada
SB17	Fluoretada e Hipotermal	Sódica Mista
SB18	Fluoretada e Hipotermal	Sódica Cloretada
SB19	Fluoretada e Hipotermal	Sódica Cloretada
SB20	Fluoretada, Litinada e Hipotermal	Sódica Mista
SB21	Fluoretada e Hipotermal	Sódica Cloretada

4.4. Teste de Normalidade – Shapiro-Wilk

A avaliação da normalidade da distribuição dos dados é primordial para a adequada descrição da amostra e sua análise inferencial. Aplicou-se Shapiro-Wilk para averiguar-se a normalidade dos parâmetros da água das fontes nos 3(três) grupos diferentes, aquífero São Sebastião, aquífero Barreiras em Sergipe e aquífero Barreiras na Bahia. O software utilizado para execução do teste de Shapiro-Wilk foi o JAMOVI, e utilizado uma significância de 0,05, com o valor de $p < 0,05$, os dados se diferenciam de maneira significativamente de uma distribuição normal e $p > 0,05$ os dados são normais. A Tabela 19 apresenta os valores de p e W emitidos após teste de Shapiro-Wilk, bem como os valores da estatística descritiva, o 1º quadril(25th), mediana(50th) e 3º quartil(75th).

Tabela 19- Teste de Shapiro-Wilk e Estatística Descritiva.

Parâmetro	Aquífero	Shapiro-Wilk		Percentis		
		W	P	25th	50th	75th
pH	Barreiras Sergipe	0.893	0.044	455.250	49.150	56.125
	Barreiras Bahia	0.851	0.099	447.750	47.050	50.000
	São Sebastião	0.901	0.037	475.000	50.500	60.200
Resíduo de Evaporação	Barreiras Sergipe	0.778	<.001	6.119.750	779.400	865.675
	Barreiras Bahia	0.541	<.001	4.735.000	503.750	552.300
	São Sebastião	0.836	0.002	4.394.000	511.000	788.300
Radioatividade	Barreiras Sergipe	0.816	0.003	103.750	16.300	34.750
	Barreiras Bahia	0.745	0.007	0.54750	0.6000	10.150
	São Sebastião	0.279	<.001	0.22100	0.2800	0.3500
Condutividade	Barreiras Sergipe	0.829	0.004	8.025.000	1.067.000	1.203.250
	Barreiras Bahia	0.542	<.001	5.837.500	631.500	709.750
	São Sebastião	0.836	0.002	5.300.000	643.000	1.081.000
Temperatura	Barreiras Sergipe	0.917	0.115	2.755.000	280.500	283.000
	Barreiras Bahia	0.728	0.005	2.537.500	255.000	256.250
	São Sebastião	0.977	0.879	2.690.000	273.000	279.000
Fluoreto	Barreiras Sergipe	0.617	<.001	0.01000	0.0200	0.0200
	Barreiras Bahia	0.668	<.001	0.01000	0.0150	0.0250
	São Sebastião	0.580	<.001	0.01000	0.0200	0.0400
Cloroeto	Barreiras Sergipe	0.812	0.002	1.344.250	174.550	189.200
	Barreiras Bahia	0.787	0.021	930.250	101.600	111.950
	São Sebastião	0.896	0.029	791.000	99.200	146.600
Brometo	Barreiras Sergipe	0.952	0.457	0.05250	0.0600	0.0875
	Barreiras Bahia	0.798	0.027	0.03000	0.0350	0.0400
	São Sebastião	0.838	0.003	0.03000	0.0400	0.0500
Nittrato	Barreiras Sergipe	0.653	<.001	221.250	36.000	68.250
	Barreiras Bahia	0.909	0.347	192.000	24.600	25.550
	São Sebastião	0.537	<.001	0.88000	10.600	27.700
Sulfato	Barreiras Sergipe	0.947	0.376	183.500	20.550	25.050
	Barreiras Bahia	0.530	<.001	223.000	29.450	31.950
	São Sebastião	0.596	<.001	105.000	15.500	25.200
Bicarbonato	Barreiras Sergipe	0.732	<.001	354.500	66.200	118.650
	Barreiras Bahia	0.575	<.001	300.750	54.850	79.500
	São Sebastião	0.801	<.001	298.000	67.500	247.600
Bário	Barreiras Sergipe	0.595	<.001	0.03175	0.0485	0.0775
	Barreiras Bahia	0.855	0.106	0.00950	0.0515	0.0917
	São Sebastião	0.883	0.016	0.01000	0.0370	0.0640
Cálcio	Barreiras Sergipe	0.778	<.001	0.49725	17.630	40.440
	Barreiras Bahia	0.506	<.001	0.35700	0.4865	0.8988
	São Sebastião	0.644	<.001	0.28900	0.4980	0.9490
Magnésio	Barreiras Sergipe	0.832	0.005	101.475	16.270	19.880
	Barreiras Bahia	0.519	<.001	0.84775	10.455	12.612
	São Sebastião	0.865	0.008	0.95600	12.910	21.110
Potássio	Barreiras Sergipe	0.598	<.001	0.50175	0.6175	11.995
	Barreiras Bahia	0.790	0.022	0.31975	0.6335	10.950
	São Sebastião	0.810	<.001	0.97100	17.990	44.350
Sódio	Barreiras Sergipe	0.816	0.003	831.000	110.095	126.300
	Barreiras Bahia	0.683	0.001	619.525	67.865	89.223
	São Sebastião	0.676	<.001	497.000	66.520	98.570

Destacou-se em vermelho os dados com valores de $p > 0,05$ que são classificados como normais, foi observado que nenhum dos parâmetros apresentou normalidade nos 3(três) aquíferos analisados. Logo, necessitou-se de métodos de análises não paramétricos para comparação dos dados. Modelos que utilizam a mediana como base comparativa e o 1° e 3° quartis como variabilidade.

4.5. Teste de Kruskal-Wallis

Na comparação dos valores encontrados para os parâmetros e elementos das fontes do estudo, foi necessário a utilização do teste de Kruskal-Wallis. O teste de Kruskal-Wallis é o teste não paramétrico utilizado na comparação de três ou mais grupos independentes, de tamanhos iguais ou não. Ele nos indica se há diferença estatística entre pelo menos dois dos grupos.

Tabela 20- Teste de Kruskal-Wallis.

Parâmetros	χ^2	gl	P
pH	3,706	2	0,157
C.E	7,857	2	0,02
T	18,351	2	<0,001
Rad.	26,56	2	<0,001
F	1,069	2	0,586
Cl	11,18	2	0,004
Br	14,247	2	<0,001
NO ₃	12,92	2	0,002
SO ₄	5,357	2	0,069
HCO ₃	0,843	2	0,656
Ba	2,158	2	0,34
Ca	3,504	2	0,173
Mg	1,32	2	0,517
K	7,694	2	0,021
Na	9,317	2	0,009

C.E=Condutividade Elétrica; Rad.=Radioatividade.

Destacou-se os valores de $p < 0,05$, para esses valores, existe uma diferença estatisticamente relevante para o parâmetro entre os aquíferos analisados. Entretanto, o teste de Kruskal-Wallis dá apenas uma resposta parcial, não informando quais grupos apresentaram diferenças de valores. Para conseguir verificar quais grupos apresentam diferenças e os valores, utilizou-se as comparações múltiplas ou em par, comparação de Dwass-Steel-Critchlow-Fligner.

Os parâmetros Condutividade elétrica, Temperatura, Radioatividade e os íons Cloreto, Brometo, Nitrato, Potássio e Sódio, apresentaram $p < 0,05$, logo apresentaram diferenças significativas entre os aquíferos. Abaixo é descrito a comparação múltipla e os gráficos Boxplot desses elementos e parâmetros.

4.5.1. Condutividade Elétrica

A Tabela 21 representam a comparação múltipla da condutividade elétrica dos aquíferos.

Tabela 21- Comparações múltiplas para a Condutividade Elétrica.

Aquífero 1	Aquífero 2	W	p
São Sebastião	Barreiras Bahia	0.00	1.000
São Sebastião	Barreiras Sergipe	3.19	0.063
Barreiras Bahia	Barreiras Sergipe	3.69	0.024

Observa-se que para a condutividade, há diferença significativa nos valores do aquífero Barreiras em Sergipe e sul da Bahia. A Figura 29 mostra o gráfico boxplot da condutividade elétrica dos aquíferos e ratifica a informação obtida na comparação múltipla.

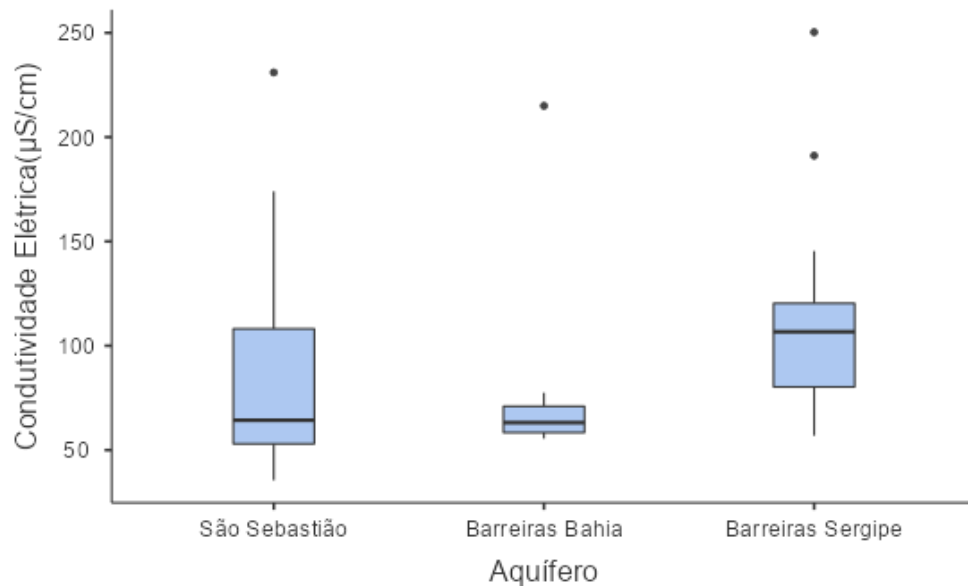


Figura 7: Boxplot da Condutividade Elétrica dos Aquíferos.

Observou-se que os aquíferos São Sebastião e Barreiras Bahia apresentam valores de mediana semelhantes, com o São Sebastião apresentado uma maior variabilidade entre seus valores, e é essa variabilidade que iguala estatisticamente o aquífero com o Barreiras Sergipe. Através da Figura 29 também foi possível observar que o aquífero Barreiras Sergipe e o Barreiras Bahia apresentam-se diferentes, com o Barreiras Bahia apresentando maiores valores de condutividade.

4.5.2. Temperatura

A Tabela 22 representam a comparação múltipla da temperatura dos aquíferos.

Tabela 22- Comparações múltiplas para a Temperatura.

Aquífero 1	Aquífero 2	W	p
São Sebastião	Barreiras Bahia	-4.73	0.002
São Sebastião	Barreiras Sergipe	2.85	0.109
Barreiras Bahia	Barreiras Sergipe	5.41	<.001

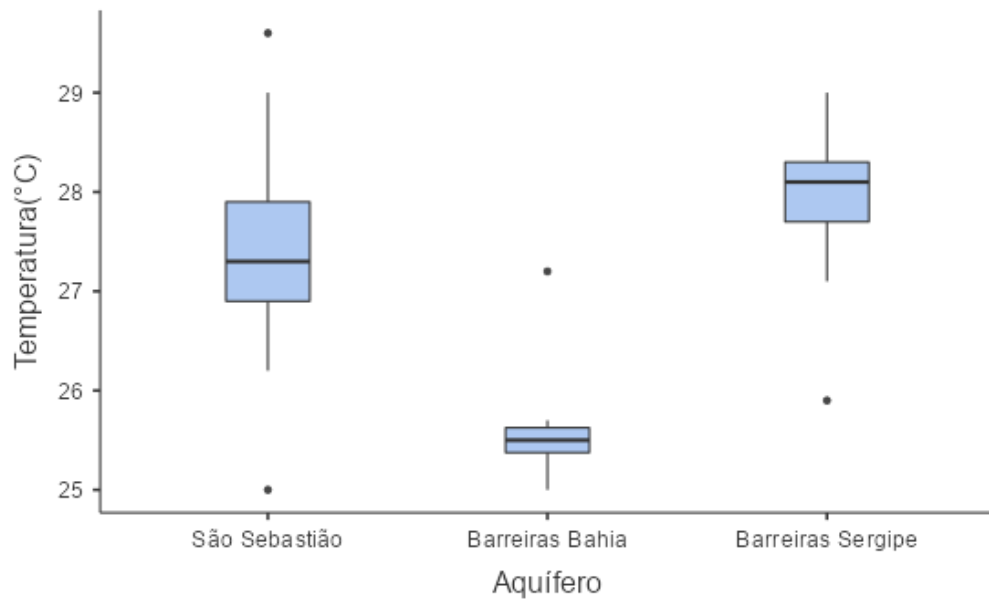


Figura 8: Boxplot da Temperatura dos Aquíferos.

O aquífero Barreiras no Sul da Bahia apresentou diferença em relação aos outros aquíferos analisados, observou-se menores valores de temperatura para o Barreiras na Bahia, com uma menor variabilidade de seus dados quando comparado aos outros 2(dois) aquíferos. Já os aquíferos Barreiras Sergipe e São Sebastião não apresentaram diferença significativa entre si.

4.5.3. Radioatividade

A Tabela 23 representam a comparação múltipla da radioatividade dos aquíferos.

Tabela 23- Comparações múltiplas para a Radioatividade.

Aquífero 1	Aquífero 2	W	p
São Sebastião	Barreiras Bahia	3.59	0.030
São Sebastião	Barreiras Sergipe	6.73	<0.001
Barreiras Bahia	Barreiras Sergipe	3.93	0.015

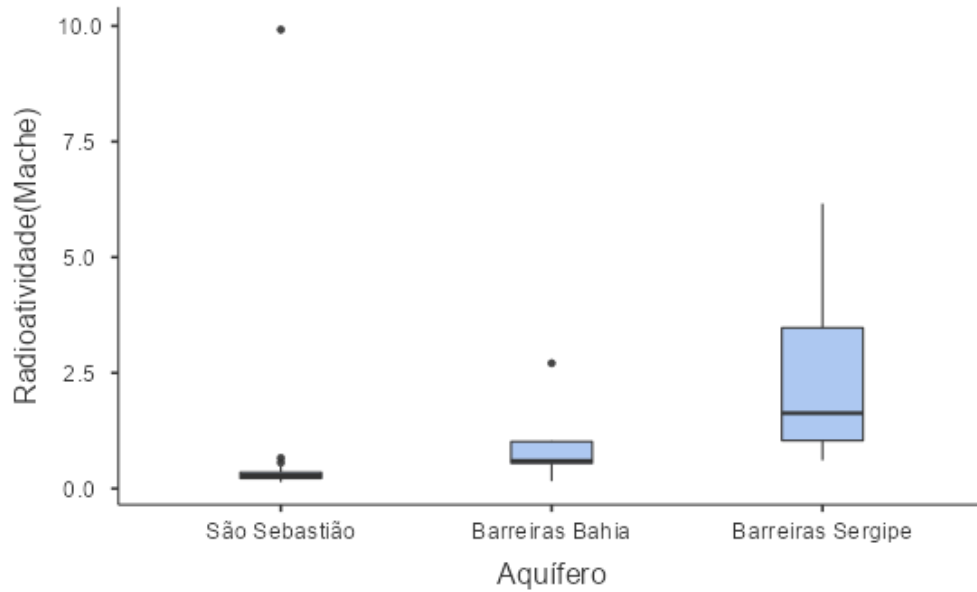


Figura 9: Boxplot da Radioatividade dos Aquíferos.

Quanto a radioatividade, os 3(três) aquíferos apresentaram diferenças, com o aquífero São Sebastião apresentando menores valores de radioatividade e menor variabilidade entre seus dados, e o aquífero Barreiras Sergipe apresentou os maiores valores e maior variabilidade entre os dados.

4.5.4. Cloreto

A Tabela 24 representam a comparação múltipla do cloreto dos aquíferos

Tabela 24- Comparações múltiplas para o Cloreto.

Aquífero 1	Aquífero 2	W	p
São Sebastião	Barreiras Bahia	-0.138	0.995
São Sebastião	Barreiras Sergipe	4.025	0.012
Barreiras Bahia	Barreiras Sergipe	4.007	0.013

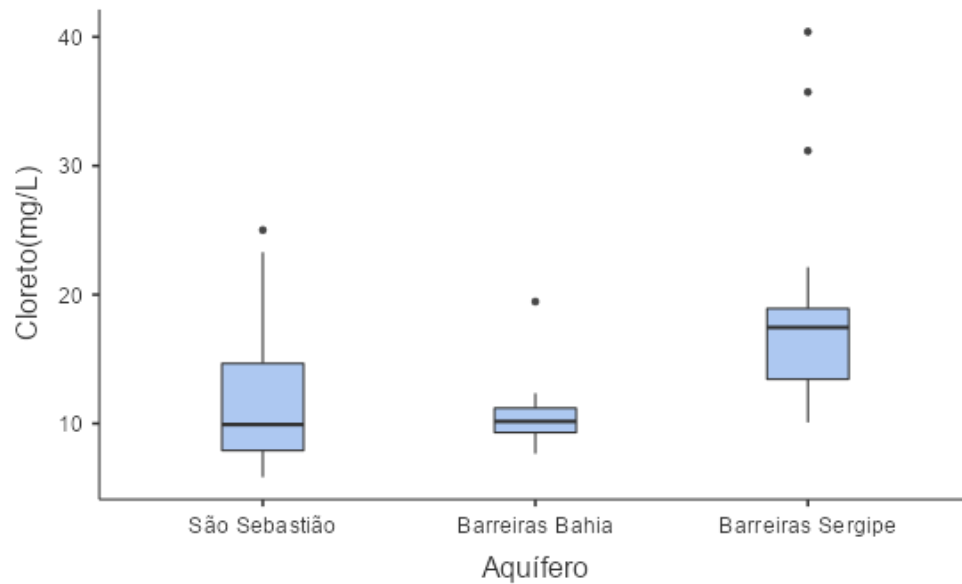


Figura 10: Boxplot do Cloreto dos Aquíferos.

Para o cloreto, encontrou-se igualdade apenas entre o aquífero Barreiras Bahia e o São Sebastião, com o aquífero Barreiras Bahia apresentando a menor dispersão entre as concentrações encontradas. O aquífero Barreiras Sergipe mostrou-se diferente entre os aquíferos, com uma maior presença de cloreto.

4.5.5. Brometo

A Tabela 25 representam a comparação múltipla do brometo dos aquíferos

Tabela 25- Comparações múltiplas para o Brometo.

Aquífero 1	Aquífero 2	W	p
São Sebastião	Barreiras Bahia	-0.708	0.871
São Sebastião	Barreiras Sergipe	4.385	0.005
Barreiras Bahia	Barreiras Sergipe	4.658	0.003

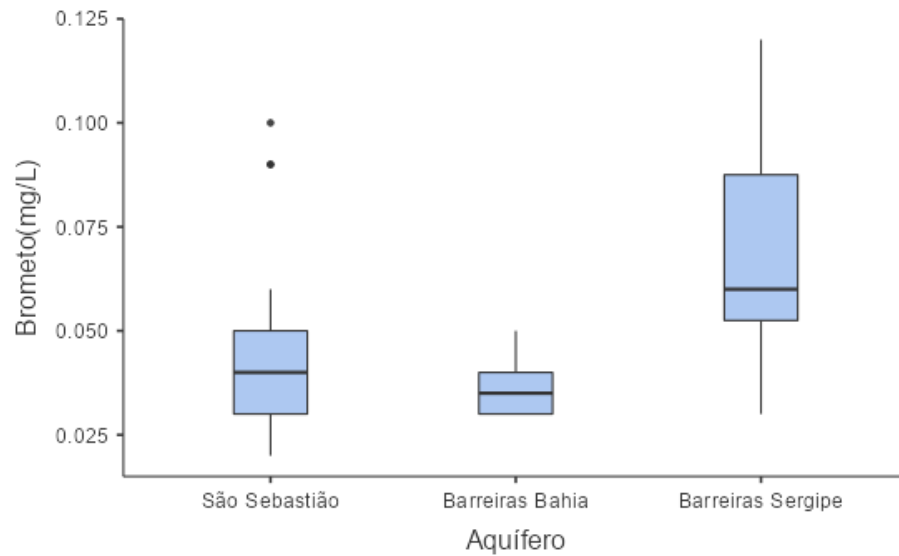


Figura 11: Boxplot do Brometo dos Aquíferos.

A Tabela 25 e a Figura 33 demonstram que há uma diferença entre o aquífero Barreiras Sergipe e os outros aquíferos, com relação a concentração de brometo, apresentando maiores valores de brometo e maior variabilidade entre as concentrações das fontes. Os aquíferos São Sebastião e o Barreiras Bahia apresentam semelhança entre suas medianas e o Barreiras Bahia apresenta a menor dispersão entre as concentrações de brometos em suas fontes.

4.5.6. Nitrato

A Tabela 26 representam a comparação múltipla do nitrato dos aquíferos

Tabela 26- Comparações múltiplas para o Nitrato.

Aquífero 1	Aquífero 2	W	p
São Sebastião	Barreiras Bahia	2.48	0.184
São Sebastião	Barreiras Sergipe	4.76	0.002
Barreiras Bahia	Barreiras Sergipe	2.51	0.177

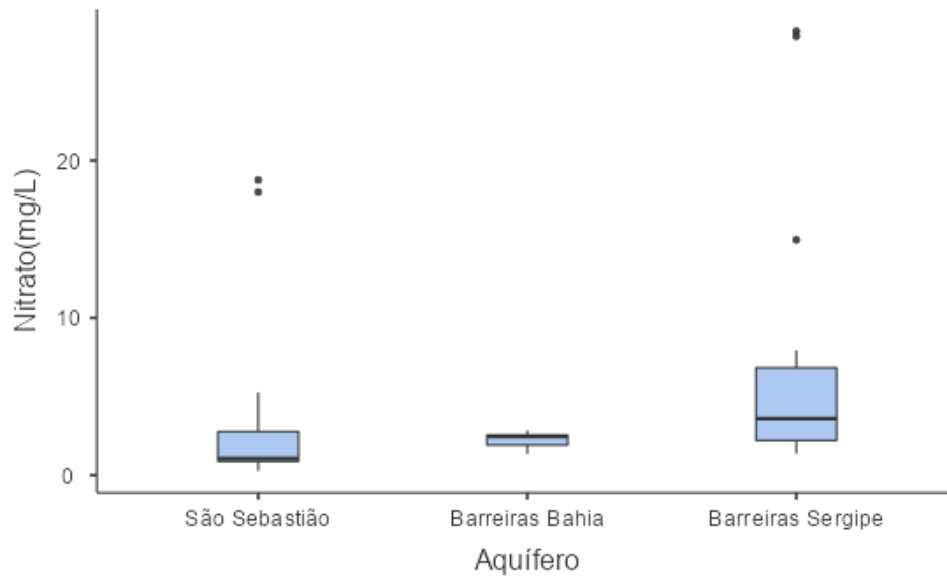


Figura 12: Boxplot do Nitrato dos Aquíferos.

Para o íon nitrato, há diferença apenas entre o aquífero São Sebastião e o Barreiras Sergipe, com o Barreiras Sergipe apresentando maiores valores de concentração de nitrato, apresentando a maior variabilidade entre os dados.

4.5.7. Potássio

A Tabela 27 representam a comparação múltipla do potássio dos aquíferos

Tabela 27- Comparações múltiplas para o Potássio.

Aquífero 1	Aquífero 2	W	p
São Sebastião	Barreiras Bahia	-3.174	0.064
São Sebastião	Barreiras Sergipe	-3.227	0.058
Barreiras Bahia	Barreiras Sergipe	0.864	0.814

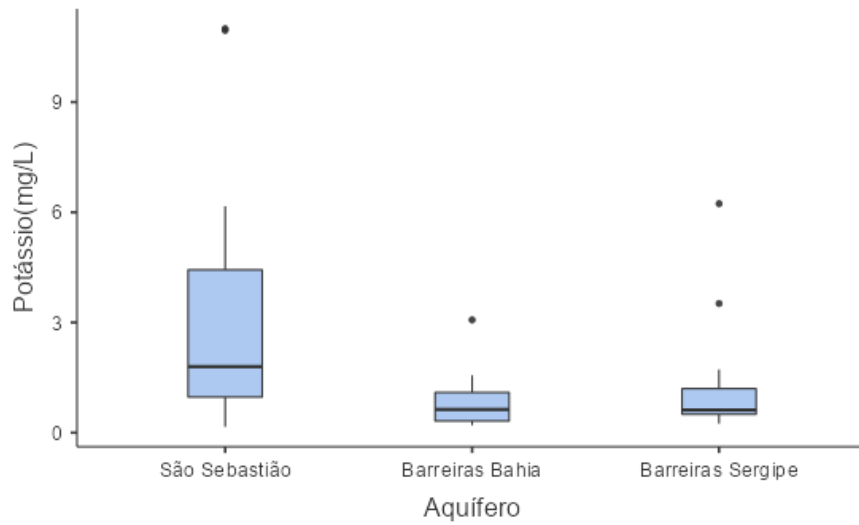


Figura 13: Boxplot do Potássio dos Aquíferos.

A diferença encontrada para o potássio foi entre os aquíferos São Sebastião e o Barreiras Sergipe, com o São Sebastião apresentando valores de concentração de potássio mais elevadas e uma maior dispersão entre os dados.

4.5.8. Sódio

A Tabela 28 representam a comparação múltipla do sódio dos aquíferos

Tabela 28- Comparações múltiplas para o Sódio.

Aquífero 1	Aquífero 2	W	p
São Sebastião	Barreiras Bahia	0.828	0.828
São Sebastião	Barreiras Sergipe	3.865	0.017
Barreiras Bahia	Barreiras Sergipe	3.300	0.051

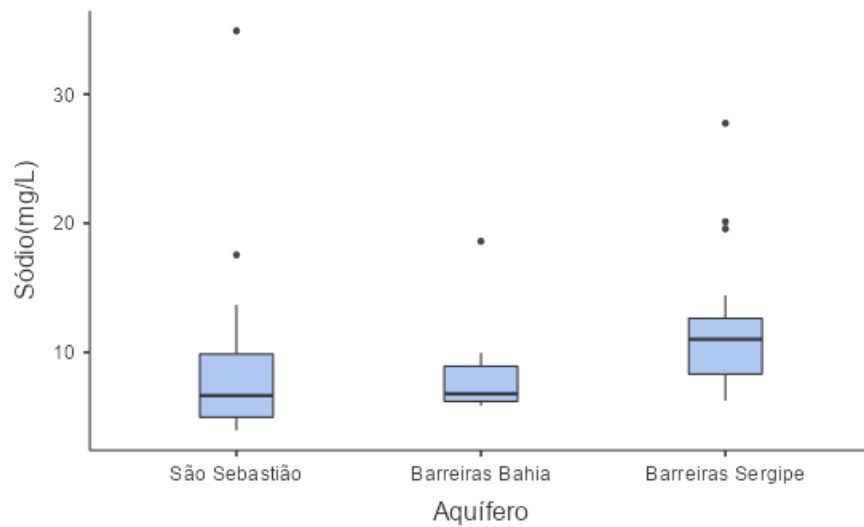


Figura 14: Boxplot do Sódio dos Aquíferos.

Com relação ao sódio, os aquíferos São Sebastião e Barreiras Sergipe apresentaram-se distintos entre si, com o Barreiras Sergipe apresentando maiores valores de concentrações de sódio.

4.5.9. Outros parâmetros

O parâmetro pH e os elementos fluoreto, sulfato, bicarbonato, bário, cálcio e magnésio não apresentaram diferenças estatisticamente relevantes, os gráficos box plot desses elementos estão no Apêndice B.

Os aquíferos Barreiras Sergipe e Barreiras no sul da Bahia quando comparados mostraram diferença nos parâmetros condutividade, temperatura e radioatividade, com o aquífero Barreiras Sergipe apresentando valores mais elevados. Também apresentaram diferenças quanto aos elementos cloreto, brometo e nitrato, com Sergipe apresentando concentrações superiores em relação ao sul da Bahia.

O Aquífero Sedimentar do Grupo Barreiras, se apresenta como a maior das unidades regionais em extensão com 2750 km². O Aquífero Barreiras por possuir uma grande extensão territorial e uma diversa variedade de litotípos (ARAI, 2006), os seus aspectos hidrodinâmicos e hidroquímicos acabam apresentando valores diferentes dependendo da região estudada.

Quando comparados os aquíferos São Sebastião e Barreiras no sul da Bahia, apenas 2 (dois) parâmetros apresentaram diferenças significativas, a temperatura e a radioatividade, com o Barreiras Bahia apresentando menores temperaturas e maiores valores de radioatividade.

As diferenças encontradas nos aquíferos Sergipe e São Sebastião foram no parâmetro radioatividade, com Barreiras apresentando maior valor, e os elementos cloreto, brometo, nitrato, potássio e sódio, com o Barreiras apresentando maiores valores de cloreto, brometo, nitrato e sódio.

5. CONCLUSÃO

O estudo caracterizou e comparou 2 (duas) áreas em diferentes estados do aquífero Barreiras com o aquífero São Sebastião na Bahia, baseado em fontes com água classificada como mineral. Encontrou-se que na região do Barreiras no estado de Sergipe, 62% das águas minerais são classificadas como sódicas cloretadas, 19% sódicas mistas e 19% bicarbonatadas sódicas. Na região sul da Bahia, para o aquífero Barreiras, encontrou-se 88% sódicas cloretadas e 12% bicarbonatadas mistas. Já para o São Sebastião encontrou-se que as águas são 94% sódicas cloretadas e 6% bicarbonatadas cálcicas.

Seguindo a classificação do CAM, obteve-se que dentro do aquífero Barreiras Sergipe, 16,67% das fontes são classificadas como fracamente radioativa e 66,7% são classificadas como fluoretadas. No aquífero Barreiras no sul da Bahia, encontrou-se que 50% das fontes de água mineral são fluoretada. Já para o aquífero São Sebastião, encontrou-se que 4,8 são fracamente radioativa e 66,7% classificadas como fluoretadas.

Após estimativa dos STD com os resultados das condutividades, seguiu-se a classificação da Resolução CONAMA 357/2005, todas as águas das fontes foram classificadas como água doce, o que já era esperado por essas serem água mineral.

Os resultados das análises dos parâmetros físico-químicas e das composições químicas das fontes de água mineral, foram comparados valores com dos VMPs da Portaria Consolidada nº5/2017 do Ministério da Saúde e com dos VMPs da Portaria 717/22 da ANVISA. Com relação ao pH encontrou-se que apenas 17% das águas das fontes se enquadram nos padrões de pH, sendo 5,5% na região do Barreiras Sergipe, 12,5% no Barreiras Bahia e 28,6% no São Sebastião, com todas as águas apresentando um caráter ácido.

Os elementos Cálcio e Magnésio por não apresentarem VMPs nas Portarias nº5/2017 e 717/22 foram comparados com os VMPs emitidos pela OMS, com todas as fontes apresentando-se abaixo dos valores máximos. Já os elementos Ferro, Zinco e Lítio, apresentaram-se quantificáveis em poucas fontes, 36% das fontes continham ferro em valor quantificável, sendo que 1(uma) fonte apresentou valor superior ao VPM na Portaria nº5/2017, a fonte que apresentou concentração de ferro superior ao VPM possui apenas 1 análise em seu histórico, assim, impossibilitando uma confirmação desse valor tão diferente quando

comparado com fontes ao seu redor. Para o Zinco, 31,9% das fontes apresentaram valores quantificáveis e o Lítio apenas 23,4% das fontes, sendo que todos apresentaram-se dentro dos VMPs. Já os elementos Bário, Fluoreto, Nitrato, Brometo, Sulfato, Nitrito, Fosfato e Sódio, encontraram-se todos com valores de concentrações abaixo dos valores máximos permitidos.

O balanço iônico mostrou a consistência dos resultados das análises e o teste de normalidade de Shapiro-Wilk revelou a não normalidade dos dados, necessitando de análises não paramétricas para comparação dos dados dos aquíferos.

Na comparação entre os aquíferos através do método de Kruskal-Wallis, encontrou-se que os parâmetros pH e os elementos fluoreto, sulfato, bicarbonato, bário, cálcio e magnésio não apresentaram diferenças estatisticamente relevantes entre os 3(três) aquíferos. Já comparando os demais elementos e parâmetros físico-químicos, verificou-se que entre os aquíferos Barreiras no sul da Bahia e em Sergipe, mostraram diferença nos parâmetros condutividade, temperatura e radioatividade, também apresentaram diferenças quanto aos elementos cloreto, brometo e nitrato, com Sergipe apresentando maiores valores em todas as variáveis.

Quando comparados os aquíferos São Sebastião e Barreiras no sul da Bahia, apenas 2 (dois) parâmetros apresentaram diferenças significativas, a temperatura e a radioatividade, com o Barreiras Bahia apresentando menores temperaturas e maiores valores de radioatividade.

As diferenças encontradas nos aquíferos Sergipe e São Sebastião foram no parâmetro radioatividade, com Barreiras apresentando maior valor, e os elementos cloreto, brometo, nitrato, potássio e sódio, com o Barreiras apresentando maiores valores de cloreto, brometo, nitrato e sódio.

Observou-se também que as águas subterrâneas associadas a esse sistema um tanto agressivas, com pH ácido, que predominam águas cloretadas, e ricas em cálcio, sódio e magnésio, caracterizando uma água dura, ideal para servir de nutriente para as leveduras fermentativas na produção de cerveja e sua característica ácida melhora a ação das enzimas e potencializa o efeito do cloro na bebida, sendo muito utilizada como matéria-prima na produção da cerveja e que suas características são essenciais para qualidade do produto final.

REFERÊNCIAS

ABINAM – Associação Brasileira da Indústria de Águas Minerais, Qualidade da Água. Disponível em: <[https:// https://www.abinam.com.br/empresa/abinam/](https://www.abinam.com.br/empresa/abinam/)>. Acesso em: 25/01/2023.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUA (ANA, 2005) - **Panorama da Qualidade das Águas Subterrâneas no Brasil**: Superintendência de Planejamento de Recursos Hídricos e Superintendência de Conservação de Água e Solo. Brasília/DF: maio, 2005.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUA (ANA, 2011) - **Estudos hidrogeológicos para subsidiar a gestão sustentável dos recursos hídricos subterrâneos na região metropolitana de Maceió**, Brasília/DF: setembro, 2011.

ALMEIDA, Talita Alves; MOTTIN, Vanessa Daniele; DOS SANTOS, Jarbas R. **Parâmetros físico-químicos e microbiológicos de duas marcas de água mineral comercializadas no município de Vitória da Conquista-BA**. C&D-Revista Eletrônica da Fainor, v. 9, n. 2, p. 84–95, 2016.

AL-MUTAZ, I. S. Water desalination in the Arabian Gulf region. In: GOOSEN, M. F. A.; SHAYYA, W. H. eds. **Water management, purification and conservation in arid climates**. Vol. 2. Water purification. Basel, Technomic Publishing, p.245–265. 2000.

ALVES, M. G.; COSTA, A. N.; POLIVANOV, H.; SILVA JUNIOR, G.C.; COSTA, M. C. O. **Qualidade das águas de poços rasos provenientes de áreas urbanas e rurais de campos dos Goytacazes(RJ)**. In: XIV Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, São Luis, 2010.

ARAI, MITSURU. **A Grande elevação eustática do mioceno e sua influência na origem do grupo barreiras**. Revista do Instituto de Geociências - USP, São Paulo, v. 6, n. 2, p. 1-6, out. 2006.

BABA, R. K.; VAZ, M. S. M. G.; COSTA, J. **Correção de dados agrometeorológicos utilizando métodos estatísticos**. Revista Brasileira de Meteorologia, 29(4), 515-526. 2014.

BAIRD, C, CANN, M. **Environmental Chemistry**. Universidade do Tennessee. 3ª Edição. Knoxville, 2006. 217p.

BARRETO, J. C. F. **Água Mineral na Região Metropolitana do Recife: Risco de Contaminação nos aquíferos**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Pernambuco. Recife, 2011.

BASSOI, L J. Poluição da Águas. In: JÚNIOR, Arlindo Philippi; PELICIONI, Maria Cecília Focesi (Orgs.) **Educação Ambiental e Sustentabilidade**. Barueri, São Paulo: Manole, 2014.

BEZERRA, E. A. **Falta de água potável ameaça a humanidade**. Webartigos. Categoria: Meio Ambiente. 03/02/2008.

BORBA, A. L. S. et. al. **Qualidade das águas do aquífero Beberibe na região metropolitana de Recife/PE**. Congresso Brasileiro de Geoquímica, Gramado/RS, 2011.

BRASIL, Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância -ANVISA. **Resolução - RDC nº 717, de 1 de Julho de 2022. Regulamento Técnico para Águas Envasadas e Gelo**. Órgão emissor: ANVISA – Agência Nacional de de Vigilância Sanitária. Disponível em: <http://antigo.anvisa.gov.br/documents/10181/2718376/RDC_717_2022_.pdf/46974199-1976-43d8-8a0d-565152cbeada>.

BRASIL, Ministério da Saúde. **Portaria de Consolidação nº 5, de 28 de setembro de 2017**. Disponível em:<http://www.portalsinan.saude.gov.br/images/documentos/Legislacoes/Portaria_Consolidacao_5_28_SETEMBRO_2017.pdf>. Acesso em 10/01/2023.

BRASIL. Constituição (1988). **Constituição da República Federativa do Brasil**. Art.20 IX. Disponível em <https://www.dnpm-pe.gov.br/Legisla/Ind_Cro.php> Acesso em 23/01/23.

BRASIL, **Decreto Lei nº 227 de 28 de fevereiro de 1967**. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto-lei/1937-1946/del7841.htm>. Acesso em 11/04/2022.

BRASIL, **Portaria N° 2.914, de 12 de dezembro de 2011**. Disponível em: <https://bvsmis.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2011/prt2914_12_12_2011.html>. Acesso em 10/04/2022.

BRASIL, **Portaria nº540/MME de 18 de dezembro de 2014**. Disponível em: <<http://antigo.anvisa.gov.br/documents/33916/394219/Portaria%2B540%2B-%2B18%2B12%2B2014-%2BElementos%2Bdignos%2Bde%2Bnota.pdf/501ba2dc-e6c1-496e-a522-1eb6ccd691cd/>>. Acesso em 20/09/2022.

BRASIL, **Resolução CONAMA nº 396, de 3 de abril de 2008**. Disponível em: <<http://portalpnqa.ana.gov.br/Publicacao/RESOLU%C3%87%C3%83O%20CONAMA%20n%C2%BA%20396.pdf>> acesso em 10/04/2022.

BRANDÃO, A. T. **Análise Estratigráfica e Hidrogeologia da Fm. São Sebastião no Campo de Araçás, Bacia do Recôncavo/Bahia**. Dissertação (Mestrado em Geologia), 120f. Universidade Federal da Bahia, 2011.

BREZONIK, P. L; ARNOLD, W. A. Water. **Chemistry An Introduction to the Chemistry of Natural and Engineered Aquatic Systems**. New York: Oxford University Press. 2011.

CAMPOS, R. F. **Análise da qualidade das águas subterrâneas e determinação do índice de vulnerabilidade do aquífero**. Serra Geral no município de medianeira – PR. Dissertação de mestrado. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2015.

CETESB- Divisão de Toxicologia Humana e Saúde Ambiental. **Ficha de informação tecnológica-barrio**. Janeiro de 2012. Atualizado em março de 2017. Disponível em: <<https://cetesb.sp.gov.br/laboratorios/wp-content/uploads/sites/24/2013/11/Barrio.pdf>> Acesso em 30/01/2023.

CLEARY, R.W. **Águas Subterrâneas**. Clean Environment. Brasil, 2007.

CLESCERI, L. S.; GREENBERG, A. E. and EATON, A. D. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 20th ed. American Public Health Association, Washington, 1998; p.1325.

Constituição Federal - DNPM-PE <https://www.dnpm-pe.gov.br>

COSTA GONÇALVES, J. A., & VIEIRA, E. M. (2021). **Aquífero barreiras: alto potencial hídrico subterrâneo na porção do baixo rio doce no estado Espírito Santo**. *Águas Subterrâneas*. Recuperado de <<https://aguassubterraneas.abas.org/assubterraneas/article/view/29371>> Acesso em 23/01/23.

CPRM, **Águas subterrâneas: o que é e qual a importância?** 2011. Disponível em: <https://aguamineral.cprm.gov.br/agua_mineral.html>. Acesso em 18/11/2022.

CPRM. **Hidrologia conceitos e aplicações**. 3^o edição, 2008.

CPRM, **Aquíferos**. 2010. Disponível em: < [DI BERNARDO, L. Métodos e técnicas de tratamento de água. Rio de Janeiro: ABES, 1993.](http://www.cprm.gov.br/publique/SGB-Divulga/Canal-Escola/Aquiferos-1377.html#:~:text=Aqu%C3%ADfero%20%C3%A9%20uma%20forma%C3%A7%C3%A3o%20geol%C3%B3gica,areias%20e%20exemplos%20de%20aqu%C3%ADferos.>. Acesso em 12 de abril de 2022.</p>
</div>
<div data-bbox=)

EPA. **Monitoring & Assessment - Phosphorus**. Disponível em: <<http://water.epa.gov/type/rsl/monitoring/vms56.cfm>> Acesso em: 10 de abril de 2022.

FEITOSA, A. C. F.; MAOEL FILHO, J. **Hidrogeologia – Conceitos e Aplicações**; CPRM – Serviço Geológico do Brasil. Editora Gráfica LCR; Fortaleza, 1997. 389p.

FEITOSA, F.A.C & MANOEL FILHO, J. (ed.). **Hidrogeologia: Conceitos e Aplicações**. 3^a edição, Rio de Janeiro: CPRM/LABHID, 2008. 821 p.

FENZL, N. **Introdução à hidrogeoquímica**. Belem: UFP, 1986.

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

FUNDAÇÃO CEARENSE DE METEOROLOGIA E RECURSOS HÍDRICOS - FUNCEME. **Guia do Usuário para Qualigraf**. FUNCEME/PROURB-RH. Fortaleza-Ceará, 2014.

GAILLARDET, J.; VIERS, J.; DUPRÉ, B. **Trace elements in river waters**. In: Drever, J. I. *Treatise on Geochemistry, Volume 7: Surface and Ground Water Weathering, and Soils*. 2 ed. Londres: Elsevier, 2014. p. 225-272.

HAUSER, B. A. Drinking Water. **Chemistry: A Laboratory Manual**. Lewis publishers, CRC Press Company. Florida-USA. 2002.

HIRATA, R., SUHOGUSOFF A. V., MARCELLINI, S. S., PILAR, C. V., MARCELLINI L. **A Revolução das águas subterrâneas no Brasil: Importância do recurso e os riscos pela falta de saneamento básico.** Realizado pelo Instituto Trata Brasil e de autoria de do Centro de Pesquisa de Águas Subterrâneas (CEPAS-USP), 2011.

HOUNSLOW, A. 1995. **Water quality data: analysis and interpretation.** CRC Press LLC, Lewis Publishers, Boca Raton. Pg.416.

Instituto Água e Terra. **Aquíferos.** Disponível em <<https://www.iat.pr.gov.br/Pagina/Aquifero>> Acesso em 30/01/23.

KATO, M. T. **Sulfatos. Curso Qualidade da Água, do Ar e do Solo.** Escola de Engenharia Mauá. São Caetano do Sul/SP, 1983.

LEE, J.D. **Química inorgânica não tão concisa.** Tradução da 5ª ed. Inglesa/Henrique E. Toma, Koiti Araki, Reginaldo C. Rocha. São Paulo; Bucher, 1999.

LECLERC, H.; MOREAU, A. Microbiological safety of natural mineral water. FEMS Microbiology Reviews, v. 26, n. 2, p. 207-222, 2002.

LEITE, D. C. **Possibilidades de água subterrânea na bacia do recôncavo baiano.** PETROBRAS, Relatório interno, DEPEX, Salvador, 1964.

LIBÂNIO, M. **Fundamentos da qualidade e tratamento de água.** 2º edição Campinas: Editora Átomo, 2008.

LIMA, A. A. et. al. **Monitoramento dos aquíferos Barreiras e Beberibe em parte da região metropolitana norte do Recife.** Recife, 2005.

LIMA, O. A. L. de. 1999. **Caracterização hidráulica e padrões de poluição no aquífero Recôncavo na região de Camaçari** – Dias D'Ávila. 123f. Tese (Concurso para professor Titular) – CPGG, UFBA, Salvador.

MANOEL FILHO, J. (2000) – **Contaminação das Águas Subterrâneas.** Cap.06. In: Feitosa, C. A. F. & Filho, J. M. 109-132p.

MARTINEZ, M. **Aquífero.** Disponível em: <<https://www.infoescola.com/hidrografia/aquifero/>>. Acesso em: 12/01/2023.

MAVRIDOU, A. Study of the bacterial flora of a non-carbonated natural mineral water. Journal of Applied Microbiology, v. 73, n. 4, p. 355-361, 1992.

MAZOR E. **Chemical and Isotopic Groundwater Hydrology.** Third Edition Books in Soils Plants and the Environment, 2004. 453 p.

MCNEELY, R. N.; NEIMANIS, V. P.; DWYER, L. **Water quality sourcebook: a guide to water quality parameter.** Ottawa, Canadá: [s.n.], 1979.

MELO, José Geraldo de et al. **Avaliação dos recursos hídricos do Aquífero Barreiras na Bacia do Rio Maxaranguape - RN.** Águas Subterrâneas, São Paulo, v. 27, n. 1, jan. 2013.

MESTRINHO, S. S. P. **Qualidade de águas subterrâneas e hidrogeoquímica para o agronegócio**. 2005.

Ministério de Minas e Energia, **MME e o Dia Mundial da Água**. Disponível em:<<https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/noticias/mme-e-o-dia-mundial-da-agua>> Acesso em 05/01/2023.

MORGANO, M. A.; SCHATTI, A. C.; ENRIQUES, H. A.; MANTOVANI, D. M. B. Avaliação físico-química de águas minerais comercializadas na região de Campinas, SP. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, v. 22, n. 3, p. 329–343, 2002.

MOTTA P.N.S.D. **Bacia do rio Subaé, Bahia: características hidrográficas, geomorfológicas e hidroquímicas**. Dissertação (mestrado em Geociências Aplicadas). Universidade Federal do recôncavo da Bahia, UFRB. Cruz das Almas, 2015. 100p.

MOURA-FÉ.M.M. **Caracterização Geral da Formação Barreiras na Região Metropolitana de Fortaleza (RMF)**, Ceará - Brasil. In: Simpósio Nacional de Geomorfologia, 7., 2008, Belo Horizonte, MG. Anais de Trabalhos Completos do VII Simpósio Nacional de Geomorfologia / 2º Encontro Latino-Americano de Geomorfologia, 2008.

NASCIMENTO, S. (2006) **Avaliação quantitativa e qualitativa das Águas subterrâneas como componente do plano municipal de saneamento ambiental de Alagoinhas**, Bahia. Congresso Internacional do Meio Ambiente e Desenvolvimento Humano: Biodiversidade, Recursos Hídricos e Responsabilidade Social – modelhuman.

NASCIMENTO, S. A. de M.; ALVES J. E. **Caracterização hidrogeoquímica e evolução da água subterrânea na área do polo industrial de Camaçari – Bahia**. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO NORDESTE, 24, Aracaju, 2011. Anais 2011, p.316.

NASCIMENTO, S. A. de M., Leal, L. R. B., & Purificação, C. G. C. da. (2016). **A utilização da análise de variância (ANOVA) na distinção de aquíferos sedimentares na região do Recôncavo Norte, Estado da Bahia**. *Águas Subterrâneas*, 30(3), 411–426. <https://doi.org/10.14295/ras.v30i3.28654>.

NEWHOUSE, M.W.; HANSON, R.T.; WENTWORTH, C.M.; EVERETT, R. R.; WILLIAMS, C.F.; TINSLEY, J.C.; NOCE, T.E.; CARKIN, B.A. **"Geologic, Water-Chemistry, and Hydrologic Data from Multiple-Well Monitoring. Sites and Selected Water-Supply Wells in the Santa Clara Valley, California, 1999–2003"**. USGS Scientific Investigation Report 2004-5250. 2004.

NOLLET, M.L.; GELDER, L.S. P. **Handbook of Water Analysis**. Boca Raton: CRC Pres, 2013. p. 995.

NORMAN G, STREINER D, editores. **Biostatistics: the bare essentials**. 3. ed. Hamilton: B.C. Decker; 2014.

PACKHAM, R. F. **Public health and regulatory aspects of inorganic nitrogen compounds in drinking water**. *Water Supplly*. Hamburg, v.10, n. 3, p.1-6, 1992.

PAIS, I.; JONES JR., J.B. **The handbook of trace elements**. Boca Raton: St. Lucie Press, 1997. 223p.

PIÑEIRO DI BLASI, J. I.; MARTÍNEZ TORRES, J.; GARCÍA NIETO, P. J.; ALONSO FERNÁNDEZ, J. R.; DÍAZ MUÑIZ, C.; TABOADA, J. **Analysis and detection of outliers in water quality parameters from ‘different automated monitoring stations in the Miño river basin (NW Spain)**. *Ecological Engineering*, v. 60, p. 60–66, 2013. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoleng.2013.07.054>.

PIVELI, R. P. ; KATO, M. T. **Qualidade das Águas e Poluição: Aspectos Físico- Químicos**. 01. ed. São Paulo/SP: ABES - Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2005. v. 01. p.285.

PONTARA, A. V.; OLIVEIRA, C. D. D.; BARBOSA, A. H.; SANTOS, R. A.; PIRES, R. H.; MARTINS, C. H G. Microbiological monitoring of mineral water commercialized in Brazil. *Brazilian Journal of Microbiology*, v. 42, n. 2, p. 554-559, 2011.

RAMIRES I, GREC RH, CATTAN L, MOURA PG, LAURIS JR, BUZALAF MA. **Avaliação da concentração de flúor e do consumo de água mineral**. *Rev Saúde Pública*. 2004; 38:459-65. <http://dx.doi.org/10.1590/S0034-89102004000300018>.

RIFFEL, E. S.; SILVA, J. L. S. **Caracterização dos recursos hídricos subterrâneos no município de Santa rosa-RS**. *Revista do Departamento de Geografia-USP*, v.22, p.3-28, 2011.

REIS, R. A. dos; SANCHES, M. C.; MALDONADO, A. C. D. **Brazilian Journal of Development**. Curitiba, v.7, n.3, p. 28287-28296, 2021.

RESENDE, A.; PRADO, C. N. Perfil microbiológico da água mineral comercializada no Distrito Federal. *Revista de Saúde e Biologia*, v. 3, n. 2, p. 16-22, 2008.

RIFFEL, E. S.; SILVA, J. L. S. **Caracterização dos recursos hídricos subterrâneos no município de Santa rosa-RS**. *Revista do Departamento de Geografia-USP*, v.22, p.3-28, 2011.

ROCHA T.S. **Avaliação da qualidade das águas dos poços tubulares da bacia do rio do peixe equipados com dessalinizadores**. Dissertação (mestrado em Gerenciamento e Tecnologia Ambientais). Universidade Federal da Bahia, UFBA. Salvador, 2008. 95p.

SANTOS, A. C., 1997. **Noções de Hidroquímica**. In: Feitosa, F. A. C. & Manuel Filho, J., 1997. *Hidrogeologia: Conceitos e Aplicações*. CPRM, LABHID-UFPE.

SANTOS, F. S. (2004). Portal do professor. **Água Subterrânea**. [Pdf de apoio à disciplina de Ciência e Tecnologia. Disponível em <https://www.fernandosantiago.com.br/aguasub.pdf>> Acesso em 30/01/2023

SANTOS R.A. **Hidrogeoquímica das águas subterrâneas do município de Iraquara, Bahia**. Dissertação (mestrado em Geologia). Universidade Federal da Bahia, UFBA. Salvador, 2011. 114p.

SENA, s. f. m. **Estudos hidroquímicos da água produzida de um determinado campo de petróleo da Bacia Potiguar**. 2011. 127p. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal. 2011.

SIAGAS. **Sistema de Informações de Águas Subterrâneas. Poços cadastrados no Brasil**. Disponível em < http://siagasweb.cprm.gov.br/layout/pesquisa_complexa.php> Acesso em 10 de abril de 2022.

SILVA FILHO, Edmilson Dantas; BRAZ, Airton Silva; CHAGAS, Renalle Cavalcante Oliveira. **Avaliação dos parâmetros físico-químicos de águas minerais comercializadas no município de Campina Grande–PB**. Revista Principia, v. 1, n. 30, p. 9–17, 2016.

SILVA M.B. **Análise dos níveis de metais potencialmente tóxicos e análise microbiológica nas águas da bacia do Educandos (Manaus - AM)**. Dissertação (mestrado em Biotecnologia e Recursos Naturais). Universidade Estadual do Amazonas, UEA. Manaus, 2010. 58p.

SOUZA, J. C. S.; **Captação de Águas Subterrânea**. In: TSUTIYA, M. T. Abastecimento de Água. 3º Ed. São Paulo: Departamento de engenharia hidráulica e sanitária da escola politécnica da universidade de São Paulo, 2006. 643p.

STATON, J. S. QI, S. L., **Ground-water quality of the Northern High Plains aquifer, 1997, 2002-04**: U.S. Geological Survey Scientific Investigations Report. 2007.

STEIN, P., DE LUCENA, L. R. F., CABRAL, N. M. T., FIGUERÊDO, E. M., & QUEIROZ, M. A. **Aspectos hidrogeológicos e hidroquímicos de um setor do aquífero Barreiras no município de Nísia Floresta/RN**. *Águas Subterrâneas*, 2015. Recuperado de <https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/28323>

TUNDISI, J. G.; MATSUMURA TUNDISI, T. **Limnologia**. São Paulo: Oficina de Textos, 2008. 632 p.

ZOBY, J. L. G. **Panorama da qualidade das águas subterrâneas no Brasil**. *Águas Subterrâneas* (2008). Disponível em: <<https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/23802>> Acesso em 05/01/2023.

APÊNDICES

APÊNDICE A: DADOS DAS ANÁLISES REALIZADAS PELO LAMIN

A.1. AQUÍFERO BARREIRAS SERGIPE

Fonte	pH	C.E (µS/cm)	Res (mg/L)	Temp (°C)	Rad.(Maches)
BS01	4,37	105,8	77,37	27,2	1,01
BS02	4,37	97,1	71,87	27,1	0,62
BS03	4,60	78,3	59,96	28,3	3,10
BS04	4,95	79,0	60,41	2,8	5,15
BS05	5,80	122,5	87,94	27,5	1,43
BS06	5,09	191,1	131,37	25,9	1,03
BS07	5,23	112,8	81,80	28,1	3,60
BS08	5,78	117,7	84,91	28,0	6,16
BS09	5,74	112,4	81,55	28,1	6,14
BS10	5,96	107,6	78,51	28,0	5,95
BS11	4,88	145,4	102,44	27,7	1,06
BS12	5,13	79,4	60,66	28,5	2,37
BS13	4,80	88,5	66,42	28,3	1,33
BS14	6,07	121,2	87,12	28,1	2,26
BS15	4,34	65,6	51,93	29,0	1,83
BS16	4,56	56,9	46,42	29,0	0,61
BS17	4,55	82,8	62,81	28,4	0,70
BS18	4,52	250,3	188,84	27,1	1,14

C.E= Condutividade Elétrica; Res=Resíduo de Evaporação a 180°C; T=Temperatura; Rad.=Radioatividade

Fonte	Fluoreto (mg/L)	Cloreto (mg/L)	Nitrito (mg/L)	Brometo (mg/L)	Nitrato (mg/L)	Sulfato (mg/L)	Fosfato (mg/L)	Bicarbonato (mg/L)
BS01	0,02	18,41	0,000	0,08	6,15	2,94	<0,01	2,71
BS02	0,02	16,95	<0,007	0,08	5,21	2,73	<0,01	3,47
BS03	0,02	13,48	0,008	0,03	2,04	1,85	0,13	5,12
BS04	0,02	13,43	<0,007	0,06	3,66	1,81	<0,12	5,73
BS05	0,04	13,56	<0,007	0,06	27,90	1,70	<0,12	8,73
BS06	0,02	35,72	<0,007	0,10	14,96	1,27	<0,12	7,33
BS07	0,07	22,13	0,008	0,08	3,54	1,95	<0,10	10,44
BS08	0,01	19,09	<0,007	0,09	7,94	2,08	<0,10	13,69
BS09	0,01	18,39	<0,007	0,09	7,05	2,08	<0,01	12,51
BS10	0,02	17,96	<0,007	0,09	4,44	2,15	<0,01	19,90
BS11	0,01	31,16	<0,005	0,06	1,37	2,83	<0,12	10,41
BS12	0,01	13,22	0,008	0,05	2,34	1,83	<0,12	12,34
BS13	0,02	18,28	<0,007	0,06	1,98	2,00	<0,12	5,91
BS14	0,02	10,61	<0,007	0,05	2,43	2,54	<0,10	44,44
BS15	<0,01	12,29	0,005	0,03	2,17	1,65	<0,12	0,21
BS16	0,02	10,09	<0,007	0,05	1,64	2,80	<0,12	0,00
BS17	0,01	15,41	<0,007	0,06	3,33	2,03	<0,10	1,74
BS18	0,02	40,39	<0,007	0,12	28,22	2,40	<0,12	3,77

Fonte	Bário (mg/L)	Cálcio (mg/L)	Ferro (mg/L)	Lítio (mg/L)	Magnésio (mg/L)	Potássio (mg/L)	Sódio (mg/L)	Zinco (mg/L)
BS01	0,058	0,259	<0,010	0,006	1,499	0,518	12,879	0,014
BS02	0,052	0,371	<0,010	0,007	1,393	0,482	11,883	<0,010
BS03	0,081	1,836	<0,010	<0,005	1,071	0,444	7,910	0,013
BS04	0,031	2,211	<0,010	<0,005	0,996	0,401	8,376	<0,010
BS05	0,041	3,360	<0,010	<0,005	3,794	1,719	10,979	0,017
BS06	0,169	0,871	<0,010	<0,005	3,709	6,235	20,128	0,014
BS07	0,404	1,601	<0,010	0,019	1,949	1,248	14,413	<0,010
BS08	0,037	5,453	<0,010	<0,005	1,755	0,765	11,328	<0,010
BS09	0,034	4,743	<0,010	<0,005	1,774	0,752	10,882	<0,010
BS10	0,028	5,927	<0,010	<0,005	1,838	0,592	11,040	<0,010
BS11	0,103	0,558	0,039	<0,005	2,001	3,517	19,570	<0,010
BS12	0,052	4,272	<0,010	0,008	0,702	0,513	8,288	0,021
BS13	0,045	2,237	<0,010	0,005	0,884	0,528	11,143	0,011
BS14	0,031	12,565	<0,010	<0,005	2,034	0,498	7,302	<0,010
BS15	0,014	<0,200	0,016	<0,005	0,772	0,248	7,930	<0,010
BS16	0,018	<0,200	0,035	<0,005	0,565	0,643	6,249	0,010
BS17	0,097	0,477	0,011	0,005	1,098	1,475	9,497	<0,010
BS18	0,067	1,690	0,013	<0,005	4,851	1,054	27,753	<0,010

A.2. AQUÍFERO BARREIRAS BAHIA

Fonte	pH	Cond ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Res (mg/L)	Temp ($^{\circ}\text{C}$)	Rad.(Maches)
BB01	4,51	67,0	52,81	25,6	0,16
BB02	4,81	77,5	59,46	25,7	1,01
BB03	4,38	59,2	47,87	25,5	1,03
BB04	4,28	59,3	47,94	25,5	0,56
BB05	4,65	55,5	45,53	25,3	0,56
BB06	6,05	215,0	146,5	27,2	2,71
BB07	4,76	55,9	45,79	25,0	0,64
BB08	5,57	68,8	53,82	25,4	0,51

C.E= Condutividade Elétrica; Res=Resíduo de Evaporação a 180°C; T=Temperatura; Rad.=Radioatividade

Fonte	Fluoreto (mg/L)	Cloreto (mg/L)	Nitrito (mg/L)	Brometo (mg/L)	Nitrato (mg/L)	Sulfato (mg/L)	Fosfato (mg/L)	Bicarbonato (mg/L)
BB01	0,02	10,74	<0,005	0,04	2,85	3,21	<0,01	6,42
BB02	0,04	12,35	<0,005	0,04	2,46	3,19	<0,01	12,54
BB03	0,01	7,66	<0,005	0,03	2,46	2,71	<0,01	4,87
BB04	0,01	9,57	<0,007	0,03	2,51	3,18	<0,10	0,00
BB05	0,02	8,50	<0,007	0,03	2,69	1,91	<0,12	4,01
BB06	0,11	19,46	<0,005	0,03	1,68	14,69	0,12	69,05
BB07	<0,01	9,58	<0,005	0,04	1,36	2,25	<0,12	6,10
BB08	0,01	10,81	<0,007	0,05	2,00	2,17	<0,01	0,00

Fonte	Bário (mg/L)	Cálcio (mg/L)	Ferro (mg/L)	Lítio (mg/L)	Magnésio (mg/L)	Potássio (mg/L)	Sódio (mg/L)	Zinco (mg/L)
BB01	0,090	0,468	0,038	<0,005	1,225	0,939	8,577	0,027
BB02	0,097	1,546	<0,010	0,007	1,37	1,563	9,958	0,013
BB03	0,085	0,273	0,014	<0,005	0,875	0,783	6,607	0,015
BB04	0,011	0,385	0,077	<0,005	0,766	0,342	5,863	0,012
BB05	<0,010	0,505	<0,010	<0,005	0,928	0,484	6,198	<0,010
BB06	0,153	11,177	<0,010	<0,005	6,970	3,071	18,604	<0,010
BB07	0,018	0,683	<0,010	<0,005	1,163	0,253	6,966	0,048
BB08	<0,010	0,200	<0,010	<0,005	0,730	0,201	6,187	<0,010

A.3. AQUÍFERO SÃO SEBASTIÃO BAHIA

Fonte	pH	Cond ($\mu\text{S/cm}$)	Res (mg/L)	Temp ($^{\circ}\text{C}$)	Rad.(Maches)
SB01	4,46	126,7	90,60	27,1	0,17
SB02	4,63	59,2	47,87	27,0	0,23
SB03	4,54	122,4	87,88	27,9	0,28
SB04	5,56	50,5	42,37	28,6	0,27
SB05	5,70	53,0	43,94	29,0	0,32
SB06	5,05	55,5	45,53	25,0	0,31
SB07	4,58	40,0	35,72	26,2	0,34
SB08	6,51	108,1	78,83	29,6	0,221
SB09	6,40	67,9	53,41	28,9	0,48
SB10	6,19	231,0	156,62	26,9	9,92
SB11	4,75	59,9	48,32	27,1	0,20
SB12	4,85	64,3	51,10	26,7	0,24
SB13	4,99	35,5	32,87	27,4	0,24
SB14	4,60	39,3	35,28	27,3	0,14
SB15	6,20	131,1	93,39	27,3	0,35
SB16	5,18	50,3	42,24	27,7	0,31
SB17	5,52	63,8	50,79	28,3	0,45
SB18	4,84	82,2	62,43	26,4	0,15
SB19	4,98	78,7	60,22	26,4	0,20
SB20	6,05	174,0	120,54	27,5	0,56
SB21	6,02	105,6	77,25	27,6	0,66

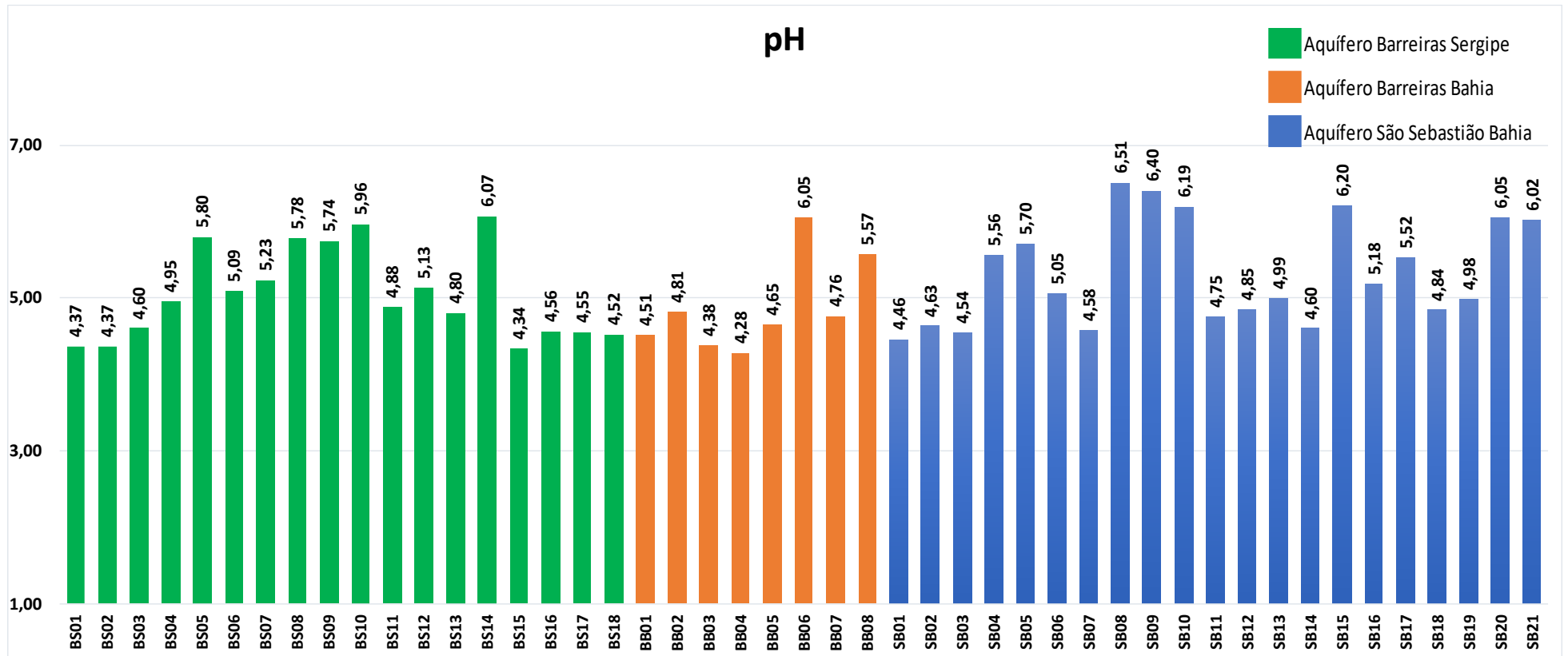
C.E= Condutividade Elétrica; Res=Resíduo de Evaporação a 180°C; T=Temperatura; Rad.=Radioatividade

Fonte	Fluoreto (mg/L)	Cloreto (mg/L)	Nitrito (mg/L)	Brometo (mg/L)	Nitrato (mg/L)	Sulfato (mg/L)	Fosfato (mg/L)	Bicarbonato (mg/L)
SB01	0,01	18,58	<0,007	0,05	18,77	2,52	<0,12	0,00
SB02	0,01	9,84	<0,007	0,04	5,27	0,95	<0,12	4,43
SB03	0,01	15,19	<0,007	0,05	18,00	4,82	<0,12	5,92
SB04	0,03	6,96	<0,007	0,02	1,24	1,07	<0,01	11,48
SB05	0,04	5,84	<0,007	0,02	0,61	1,00	<0,01	11,35
SB06	0,02	9,92	<0,005	0,03	1,04	1,30	<0,12	6,75
SB07	<0,01	6,27	<0,005	0,02	0,96	0,87	<0,12	1,46
SB08	0,19	8,75	<0,007	0,03	0,45	1,55	0,76	24,76
SB09	0,05	9,23	<0,007	0,04	0,28	0,25	<0,01	14,64
SB10	0,30	23,29	<0,005	0,10	1,26	19,13	0,50	61,52
SB11	0,02	13,01	<0,007	0,05	1,37	2,45	<0,01	2,98
SB12	0,01	11,37	<0,007	0,04	1,06	2,22	<0,01	1,96
SB13	<0,01	6,66	<0,005	0,02	0,41	1,06	<0,12	3,58
SB14	<0,01	6,66	<0,007	0,03	1,32	1,05	<0,01	0,00
SB15	0,09	13,48	<0,007	0,04	0,88	2,21	0,30	41,13
SB16	0,02	7,91	<0,007	0,03	2,77	0,99	<0,02	50,20
SB17	0,03	9,22	<0,007	0,03	0,41	1,44	1,44	14,11
SB18	0,02	14,66	<0,007	0,05	3,32	4,76	<0,12	6,65
SB19	0,02	13,73	<0,007	0,06	4,59	5,02	<0,12	2,88
SB20	0,05	25,01	<0,007	0,09	1,03	9,48	<0,01	43,60
SB21	0,04	19,09	<0,005	0,09	0,99	2,50	<0,12	26,23

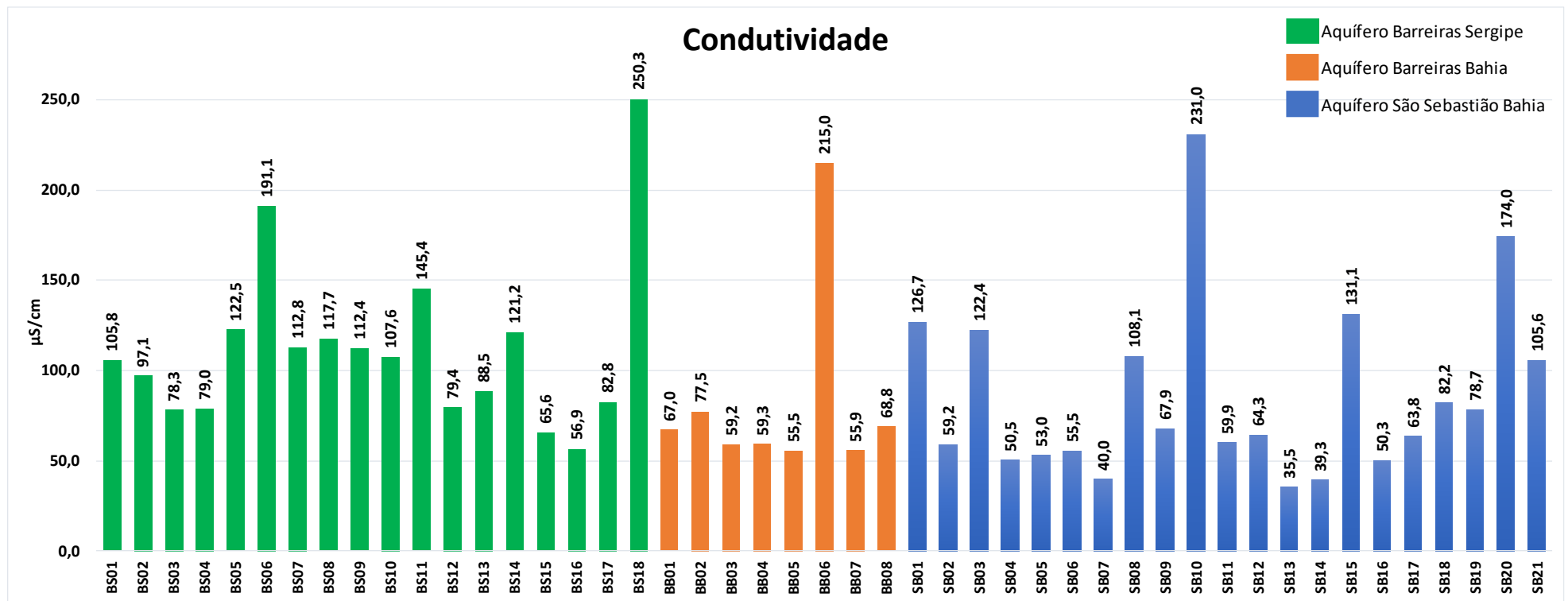
Fonte	Bário (mg/L)	Cálcio (mg/L)	Ferro (mg/L)	Lítio (mg/L)	Magnésio (mg/L)	Potássio (mg/L)	Sódio (mg/L)	Zinco (mg/L)
SB01	0,012	0,949	<0,010	<0,005	2,111	0,708	13,672	<0,010
SB02	<0,010	0,498	<0,010	<0,005	0,977	0,363	7,723	<0,010
SB03	0,010	2,333	<0,010	<0,005	2,210	0,971	13,493	<0,010
SB04	0,066	0,271	0,018	<0,005	0,963	4,435	4,911	<0,010
SB05	0,064	0,306	0,017	0,006	0,818	4,634	4,010	<0,010
SB06	0,030	<0,500	<0,010	<0,005	1,299	1,635	6,108	<0,010
SB07	<0,010	<0,500	0,011	<0,005	0,574	0,322	3,947	<0,010
SB08	0,044	0,784	<0,010	<0,005	2,246	10,998	4,978	<0,010
SB09	0,087	<0,200	<0,010	<0,005	0,994	6,166	5,890	<0,010
SB10	0,060	5,071	0,028	<0,005	3,185	3,537	34,917	<0,010
SB11	0,014	0,465	<0,010	<0,005	1,291	1,556	7,531	<0,010
SB12	0,010	0,477	<0,010	<0,005	0,956	1,225	6,652	<0,010
SB13	<0,010	0,561	0,072	<0,005	0,523	0,434	4,394	0,012
SB14	<0,010	0,289	<0,010	<0,005	0,034	0,161	4,247	<0,010
SB15	0,102	2,678	<0,010	0,015	0,011	4,089	9,522	<0,010
SB16	0,058	0,280	<0,010	<0,005	1,046	2,197	4,970	<0,010
SB17	0,038	0,777	0,012	<0,005	1,472	3,313	6,368	<0,010
SB18	0,035	0,452	0,060	<0,005	2,090	1,618	9,857	0,029
SB19	0,037	0,672	0,084	<0,005	2,036	1,799	8,229	0,017
SB20	0,089	5,610	0,525	0,010	5,487	4,818	17,552	<0,010
SB21	0,150	1,327	<0,01	0,006	2,696	10,951	10,858	<0,010

APÊNDICE B: REPRESENTAÇÕES GRÁFICAS DOS VALORES DOS PARÂMETROS E ELEMENTOS ANALISADOS

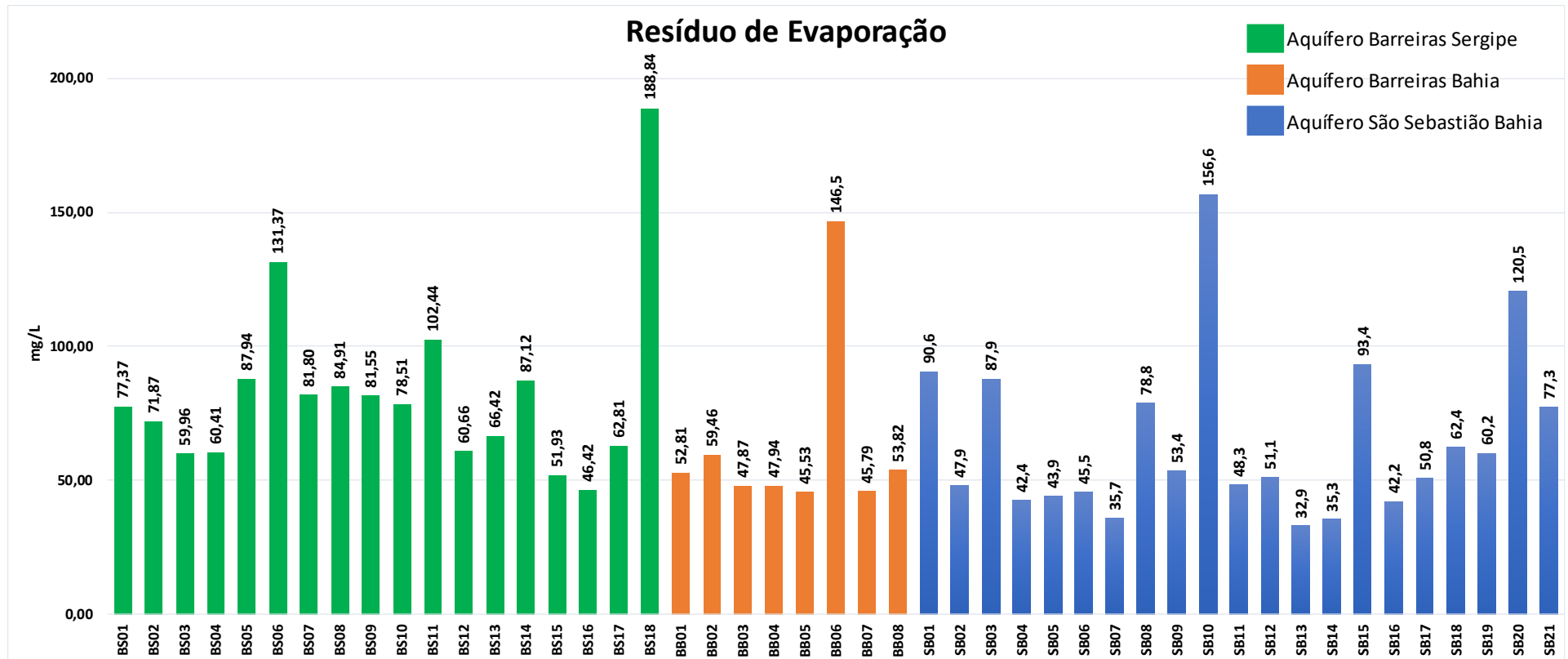
B.1. pH



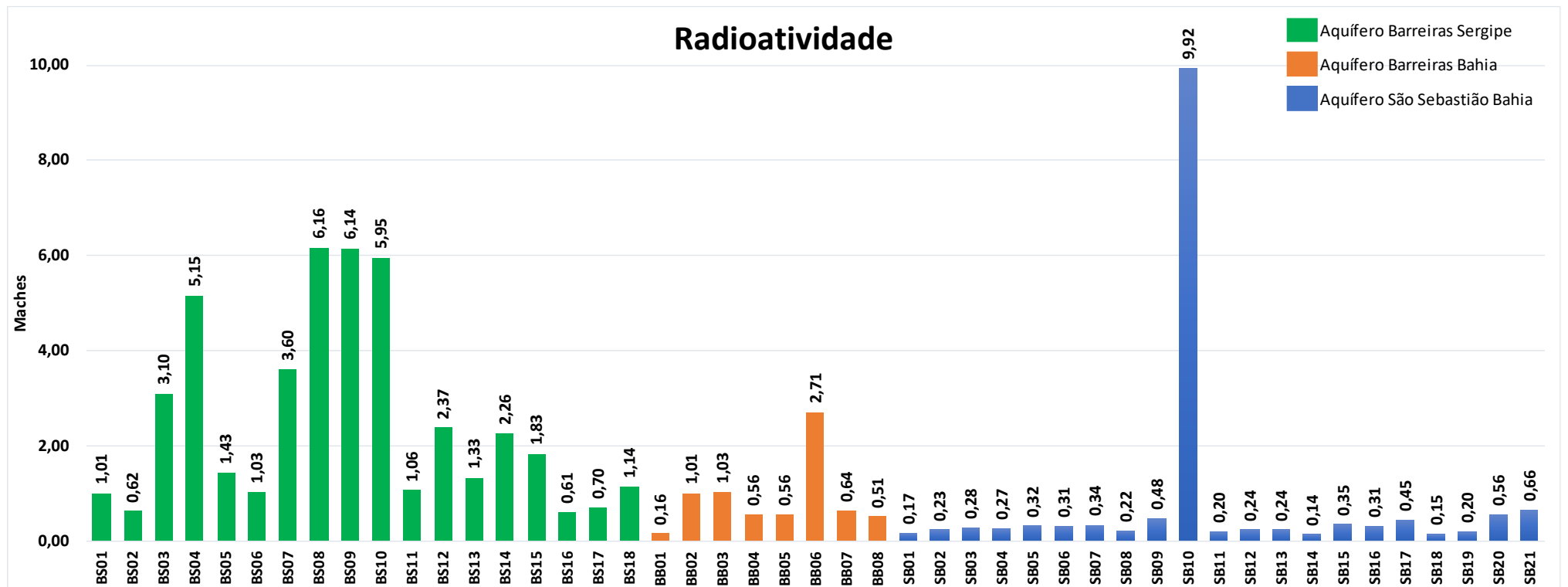
B.2. CONDUTIVIDADE



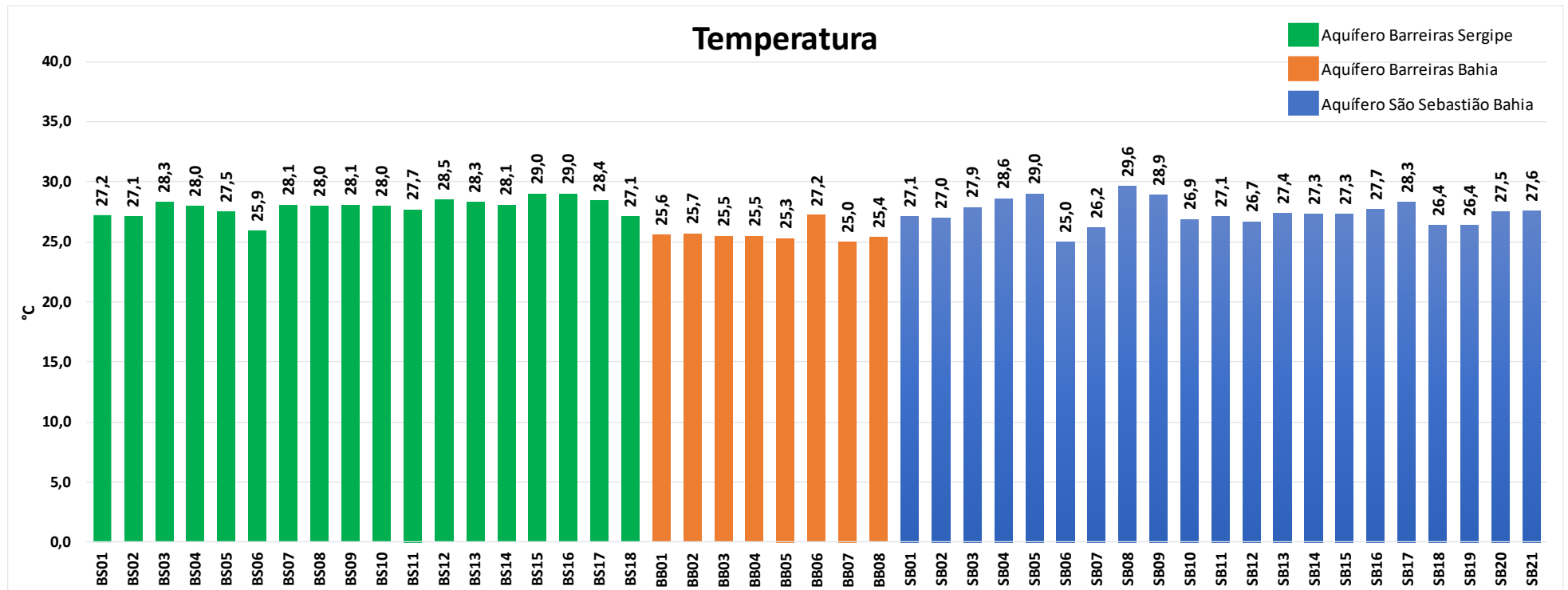
B.3. RESÍDUO DE EVAPORAÇÃO



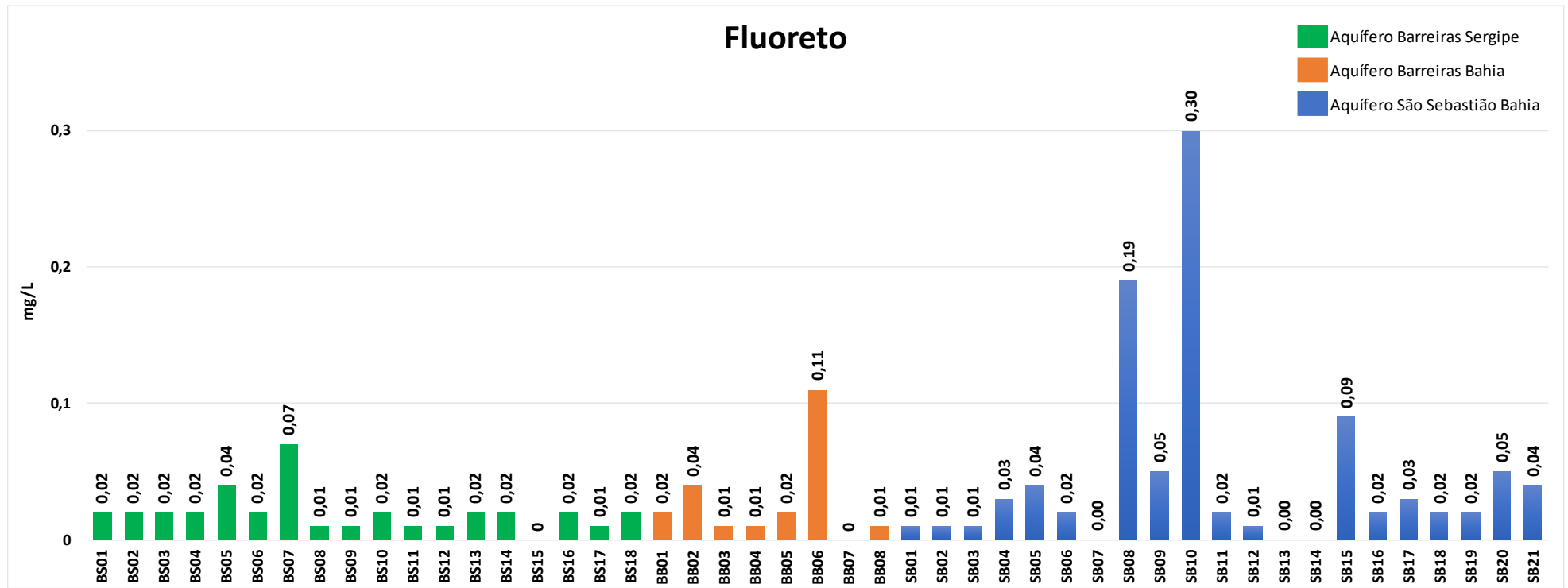
B.4. RADIOATIVIDADE



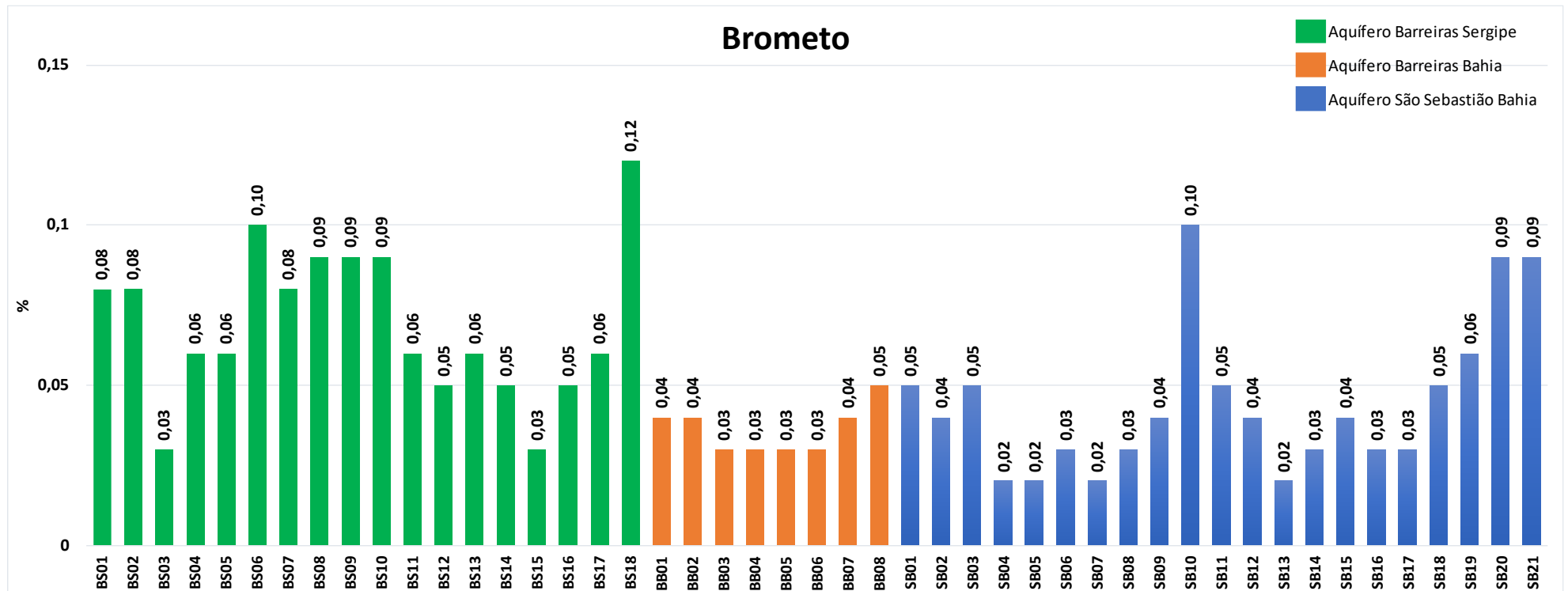
B.5. TEMPERATURA



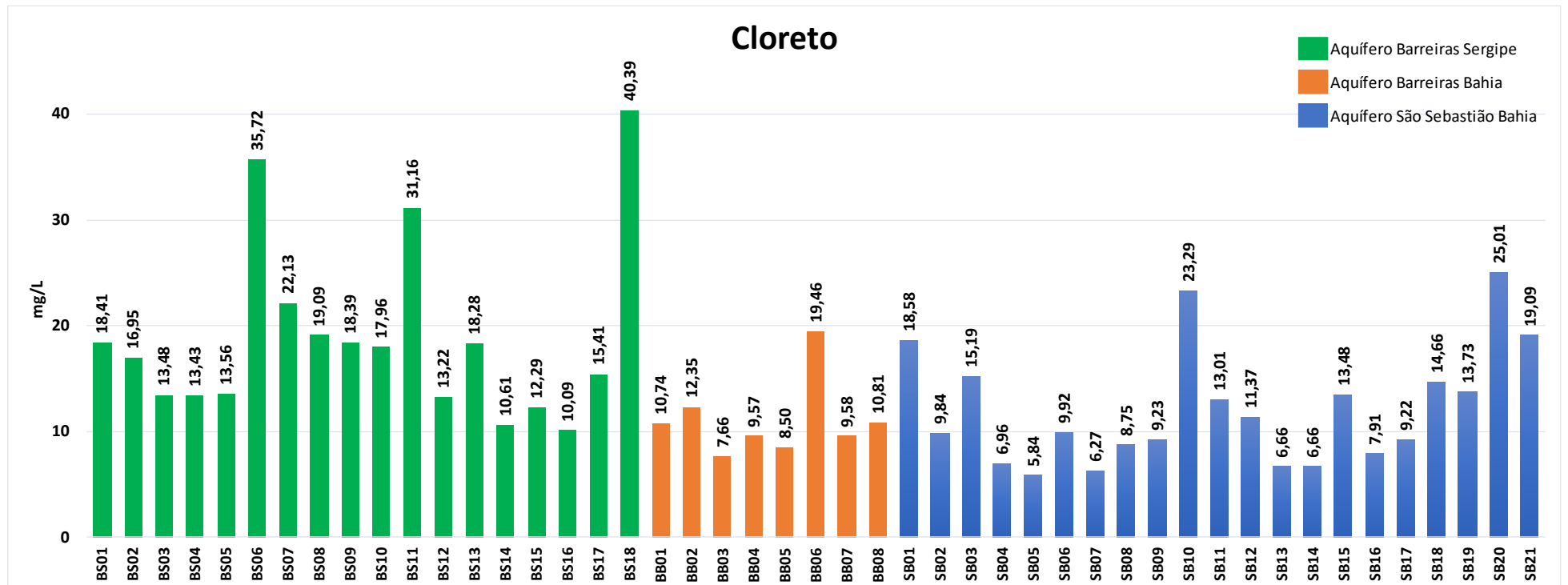
B.6. FLUORETO



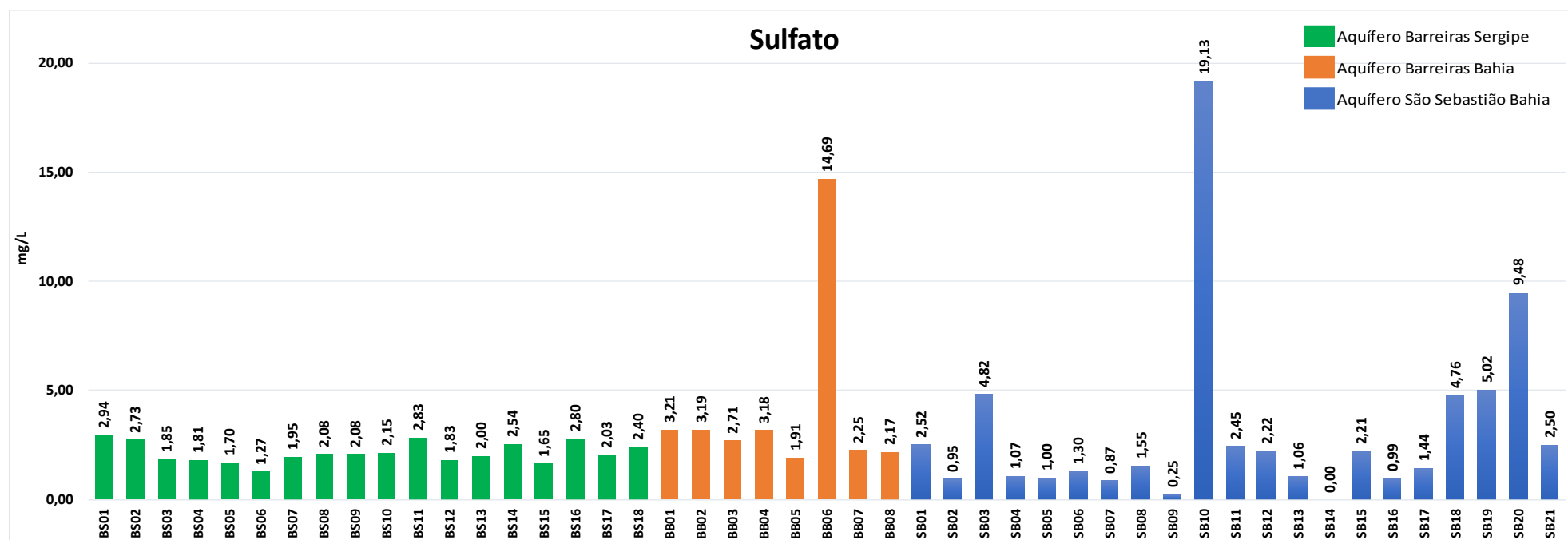
B.7. BROMETO



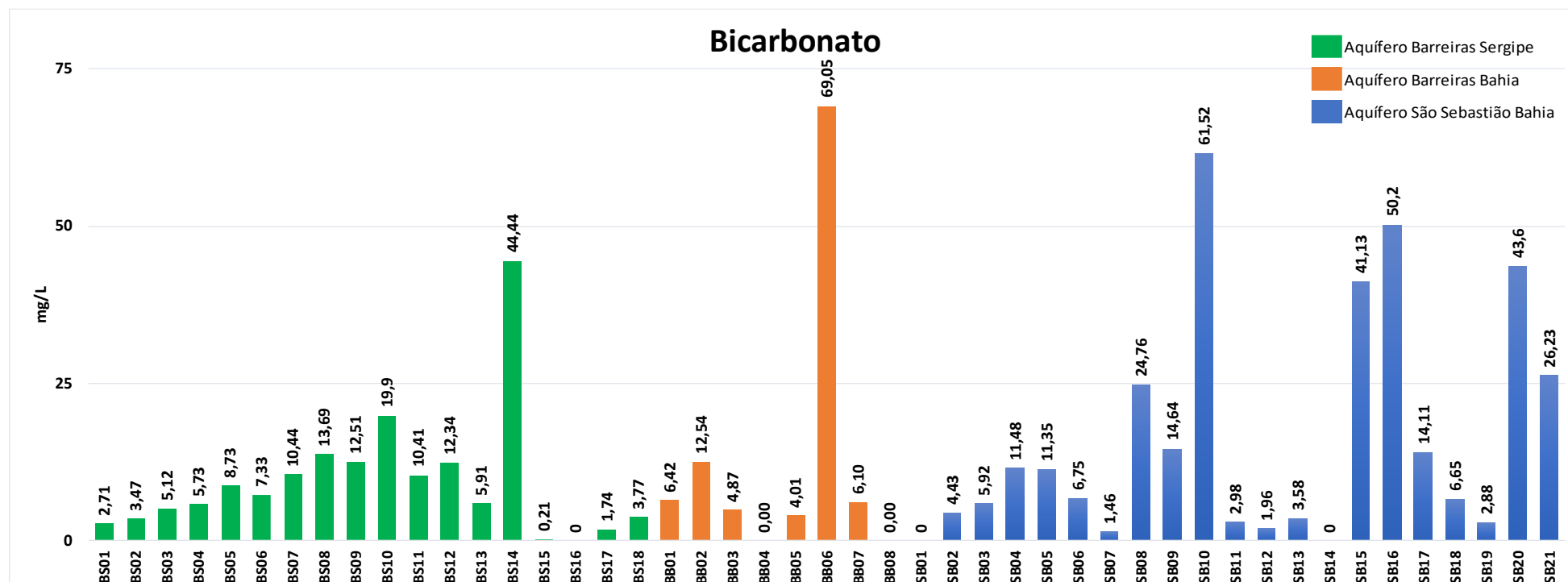
B.8. CLORETO



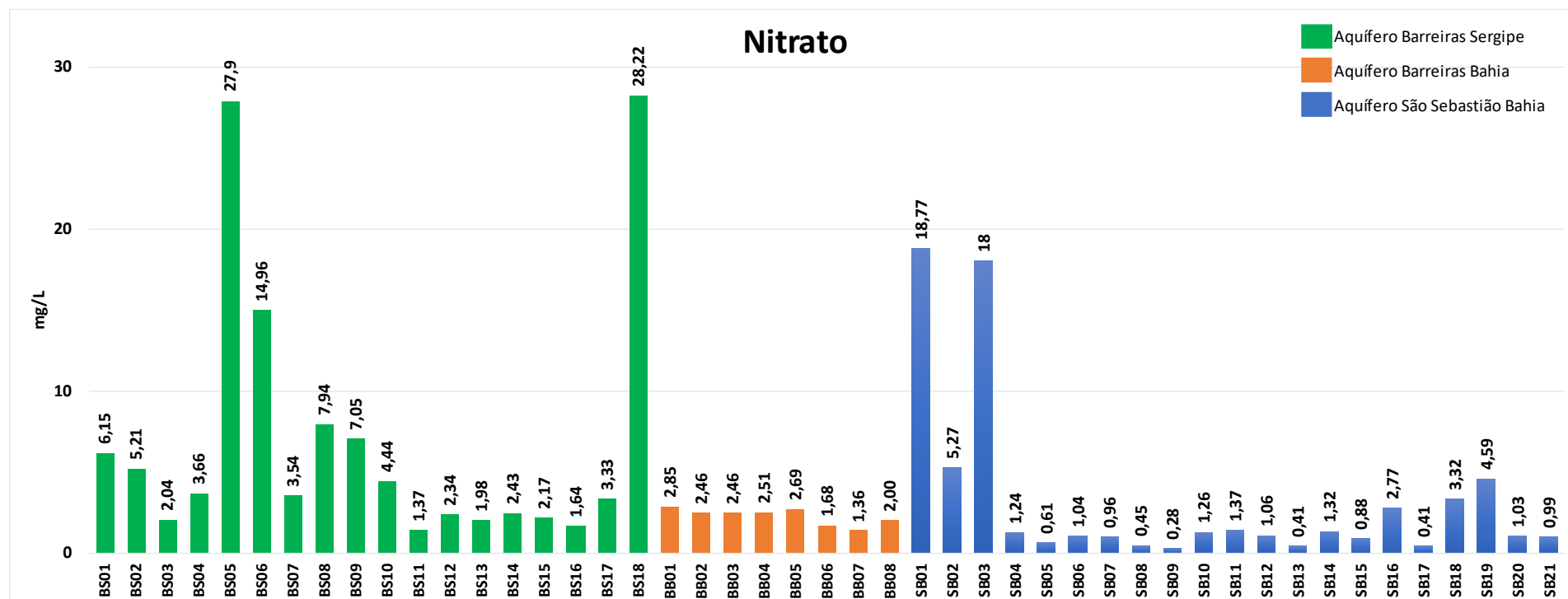
B.9. SULFATO



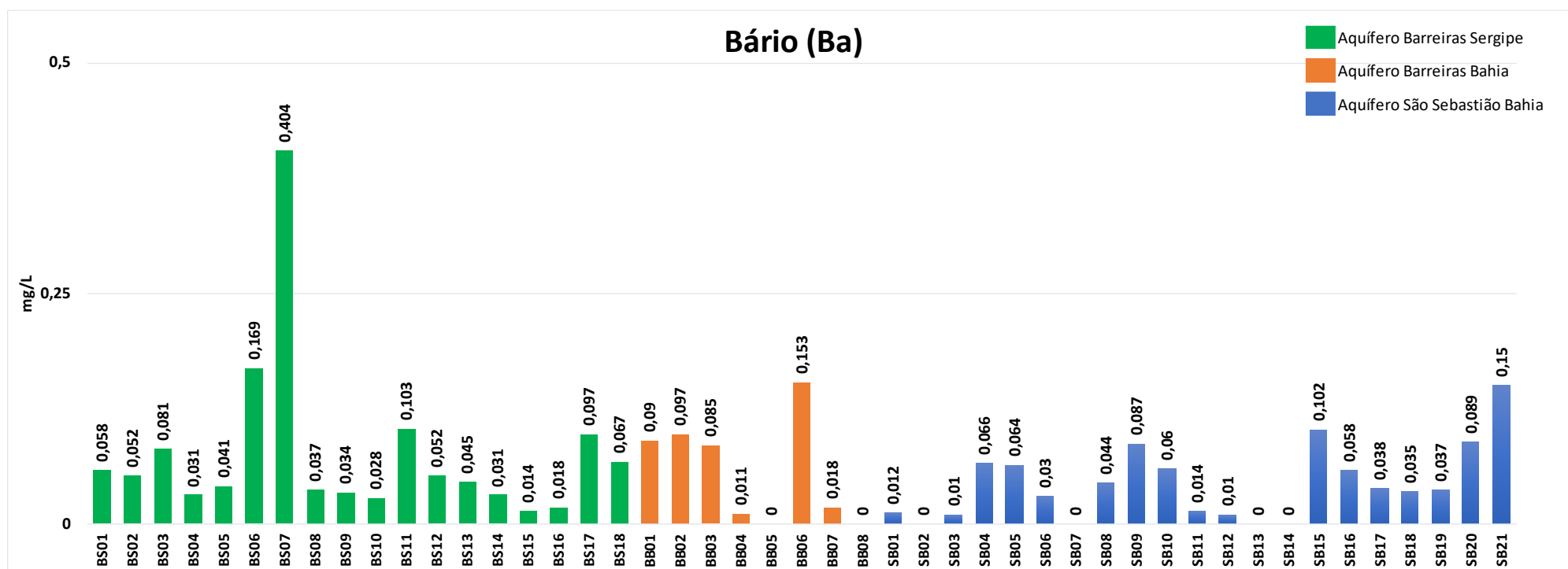
B.10. BICARBONATO



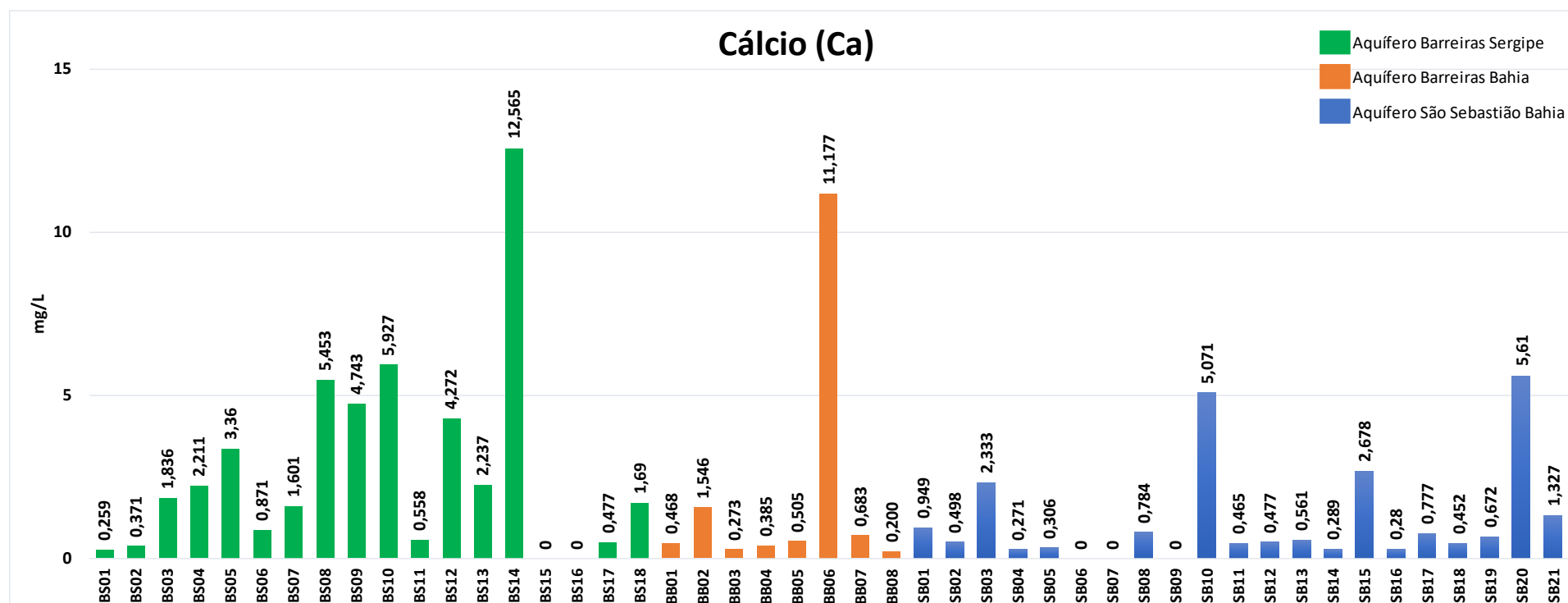
B.11. NITRATO



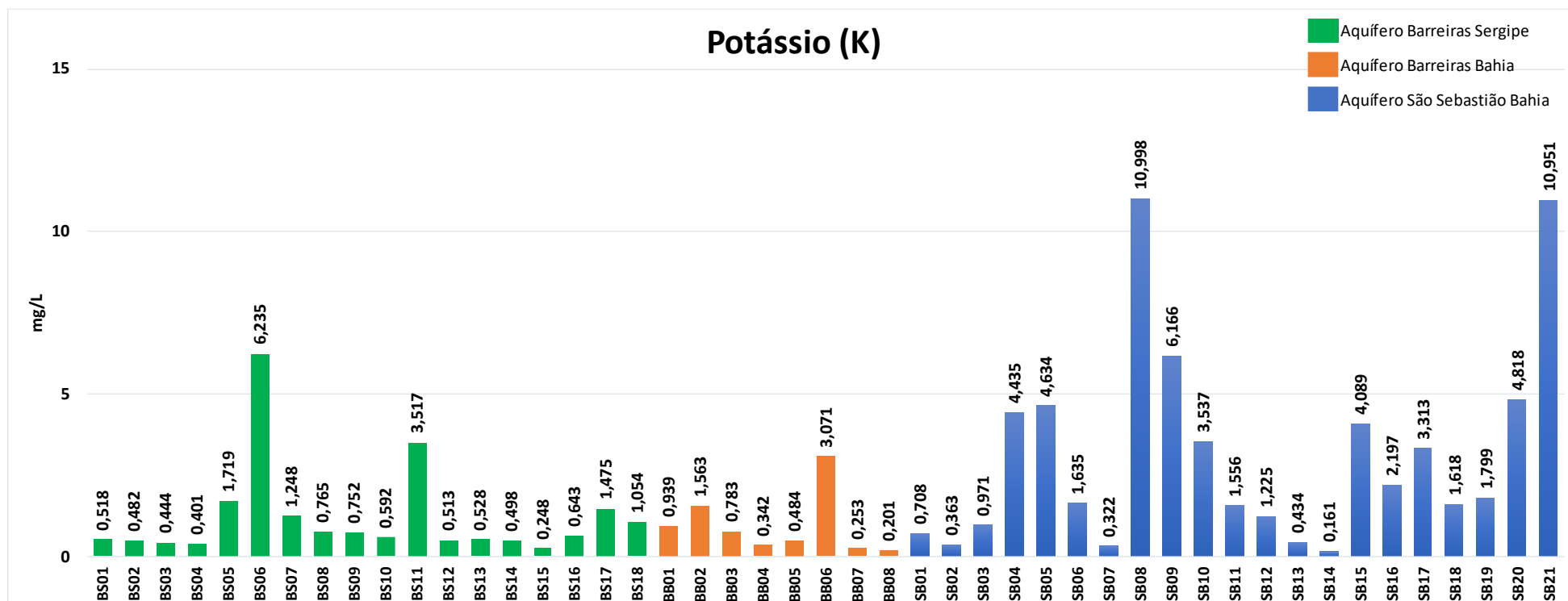
B.12. BÁRIO



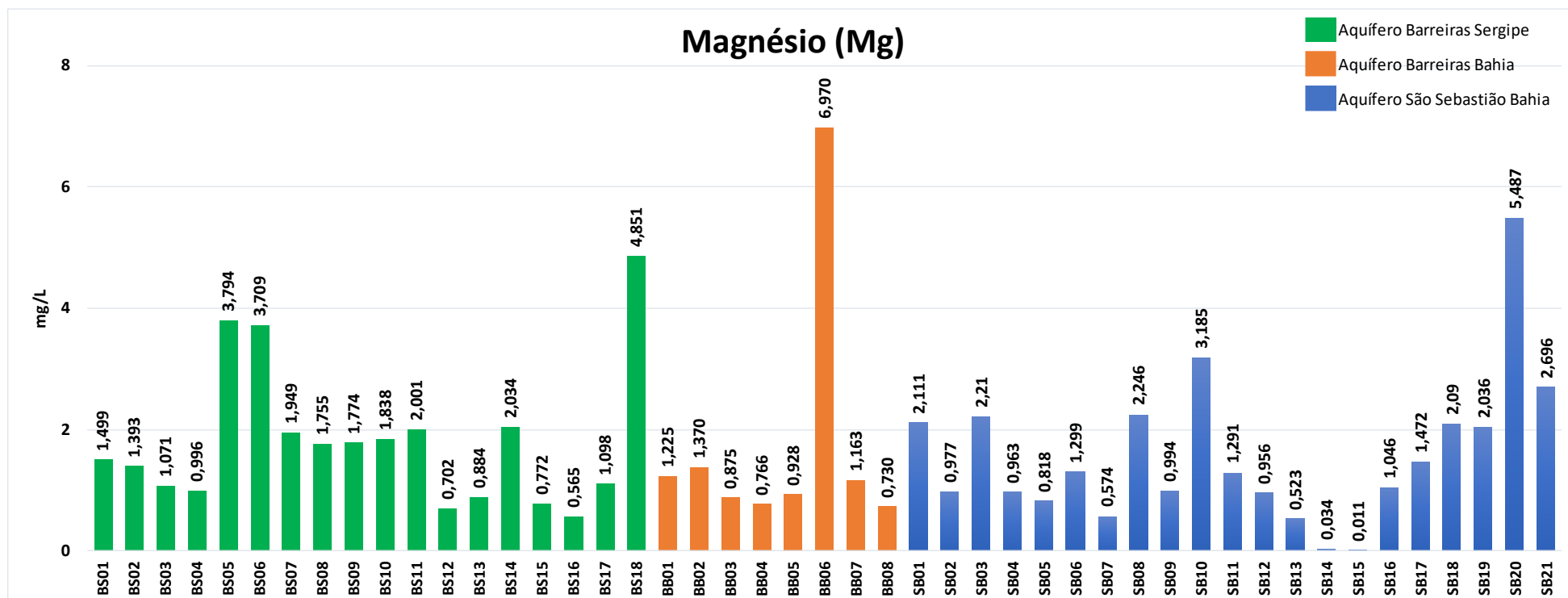
B.13. CÁLCIO



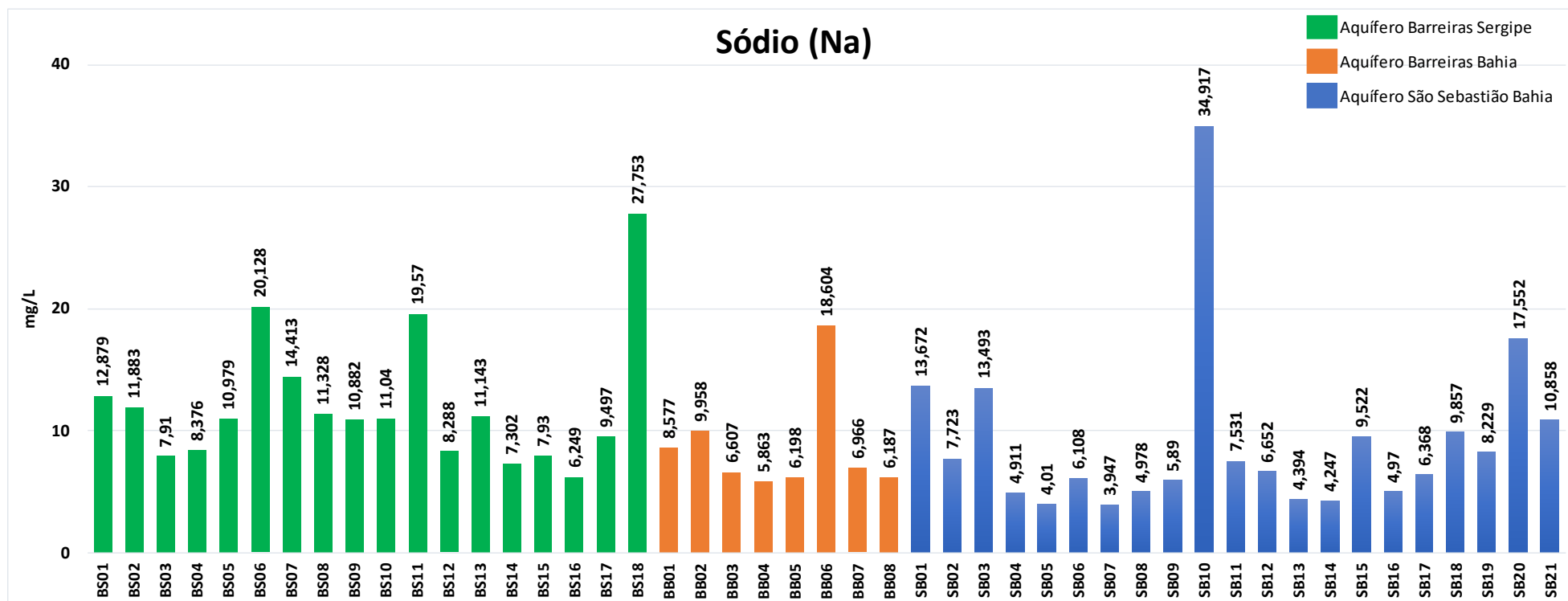
B.14. POTÁSSIO



B.15. MAGNÉSIO

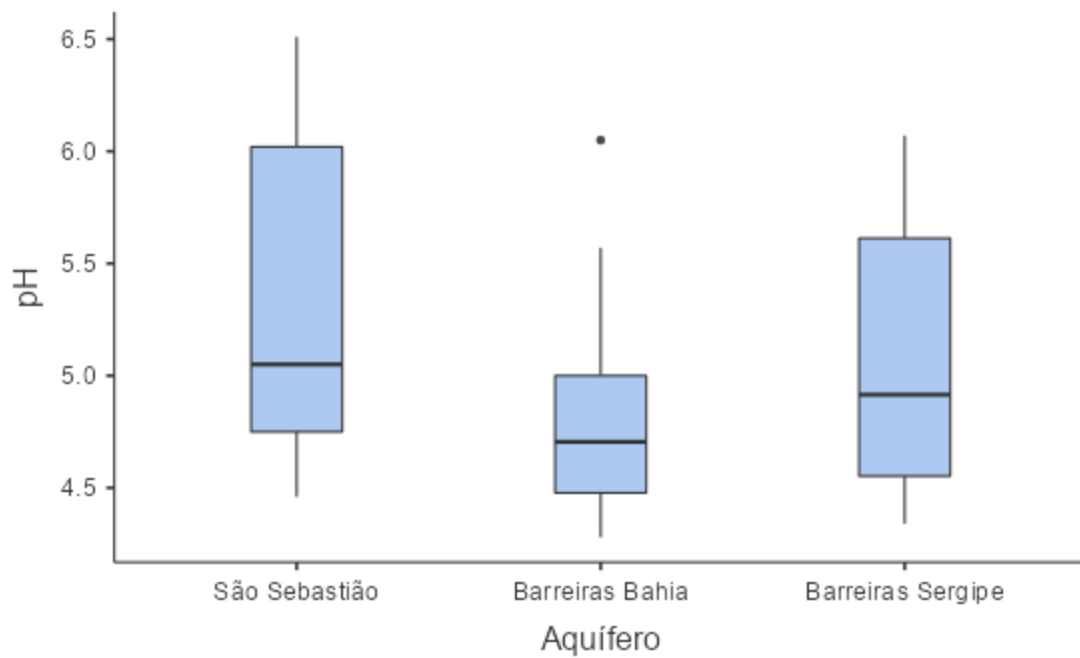


B.16. SÓDIO

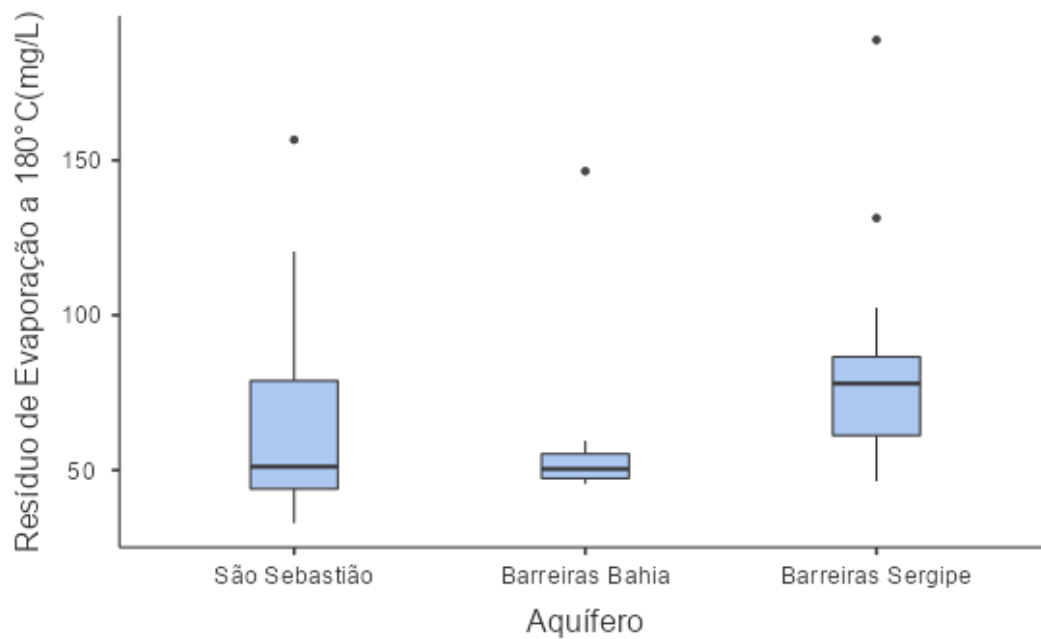


APÊNDICE C: GRÁFICOS BOXPLOT DO PARÂMETRO PH E DOS ELEMENTOS FLUORETO, SULFATO, BICARBONATO, BÁRIO, CÁLCIO E MAGNÉSIO

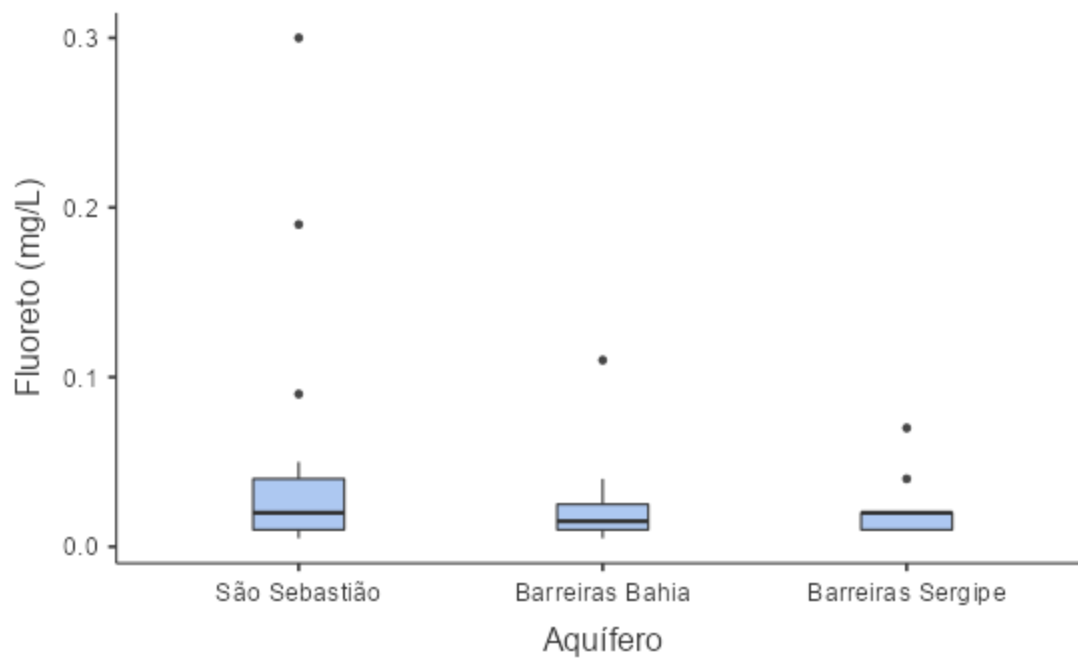
C.1. GRÁFICO BOXPLOT DO pH



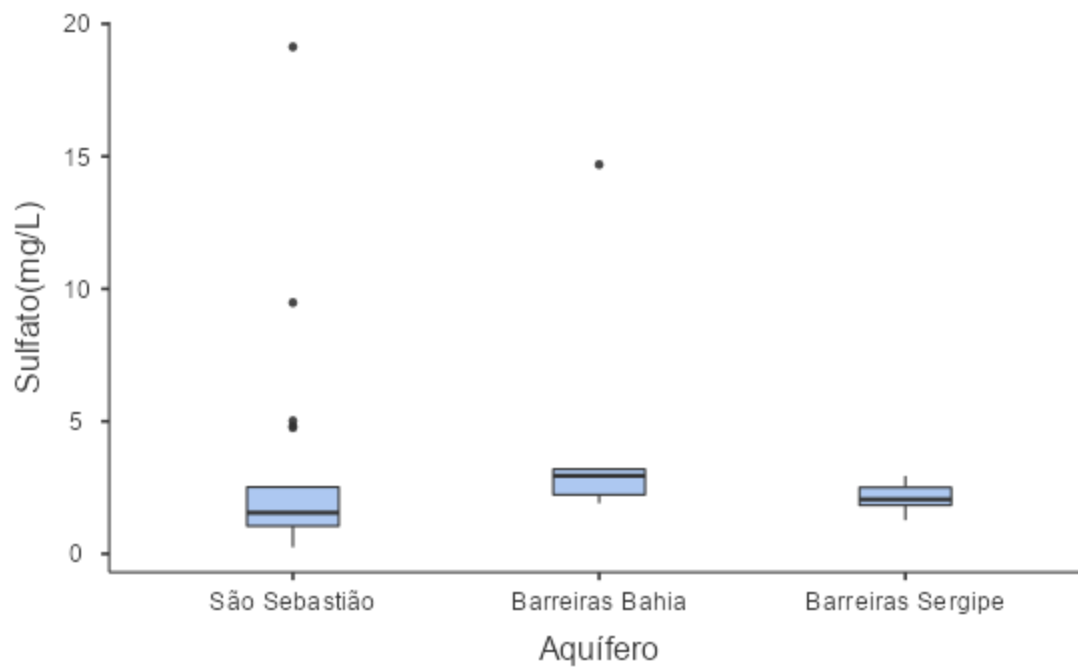
C.2. GRÁFICO BOXPLOT DO RESÍDUO DE EVAPORAÇÃO A 180°C



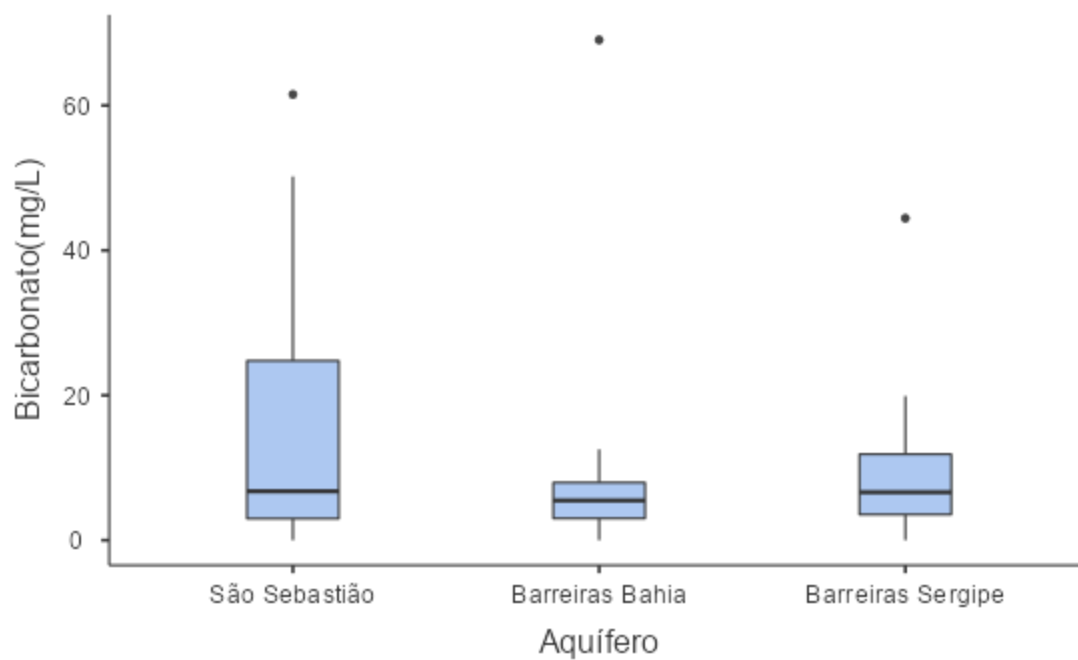
C.3. GRÁFICO BOXPLOT DO FLUORETO



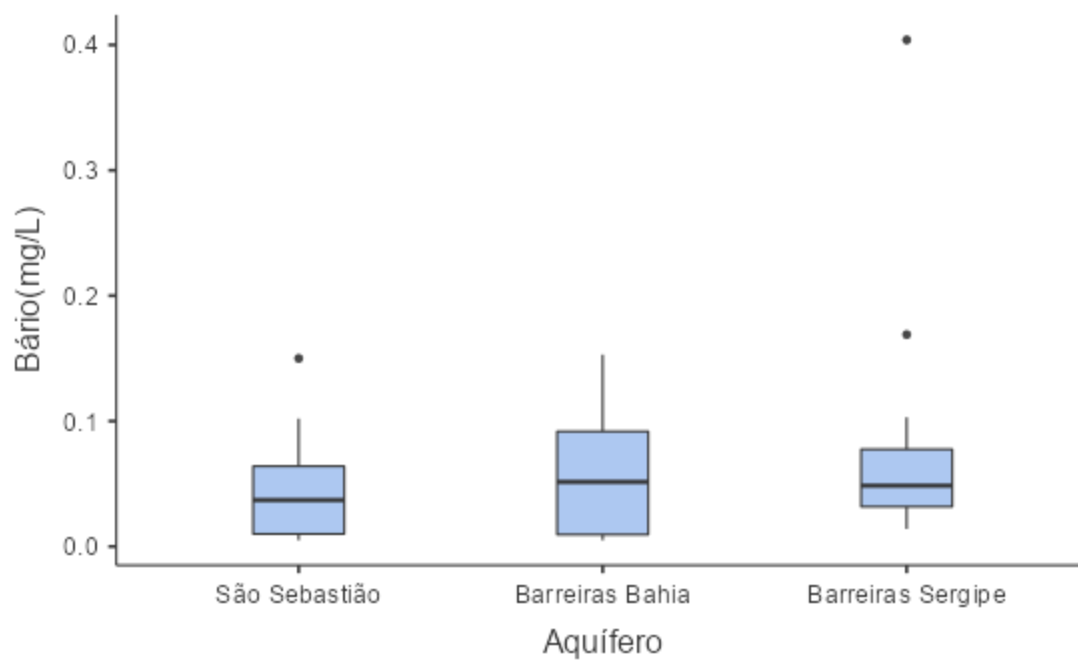
C.4. GRÁFICO BOXPLOT DO SULFATO



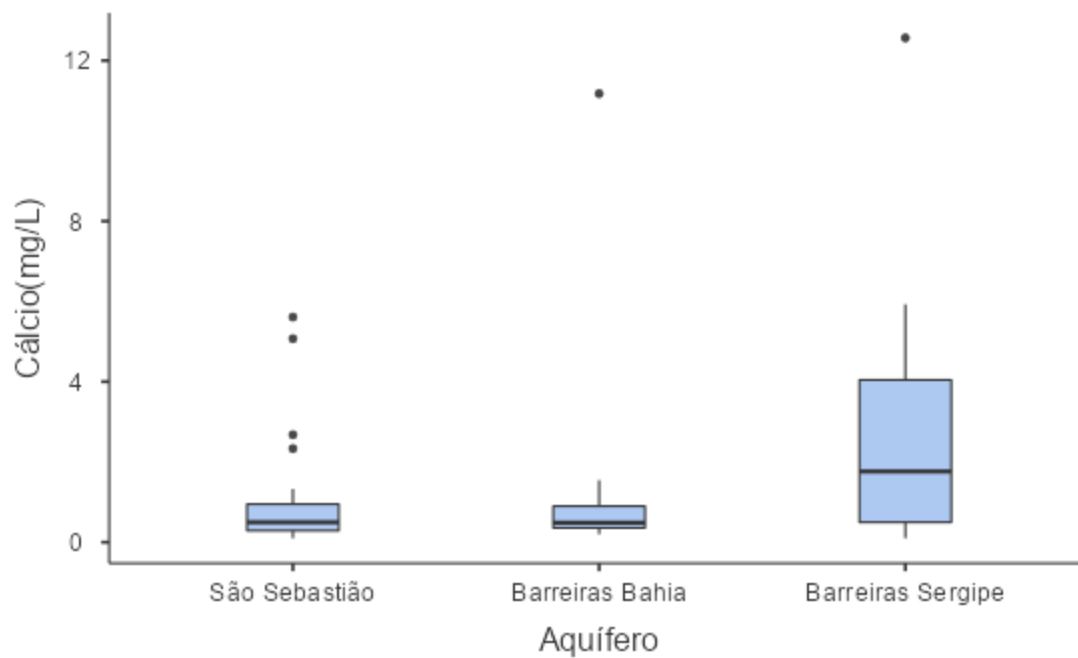
C.5. GRÁFICO BOXPLOT DO BICARBONATO



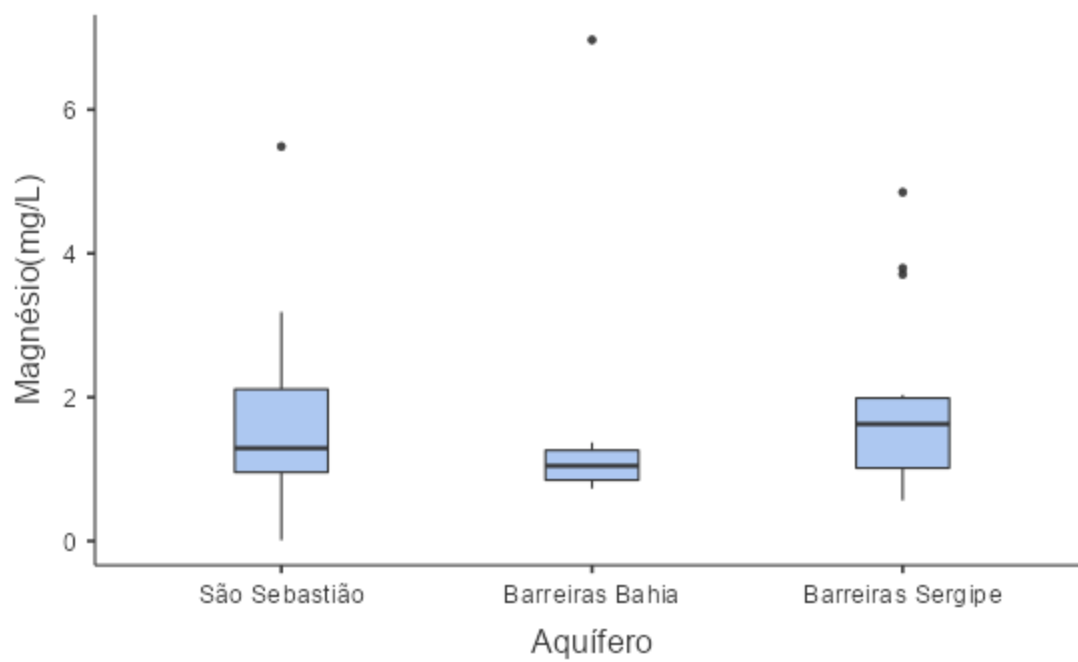
C.6. GRÁFICO BOXPLOT DO BÁRIO



C.7. GRÁFICO BOXPLOT DO CÁLCIO



C.8. GRÁFICO BOXPLOT DO MAGNÉSIO



ANEXOS

ANEXO 1: MODELO DE BOLETIM EMITIDO PELO LAMIN



Laboratório de Análises Minerais - LAMIN
Avenida Pasteur, 404 - Urca
Rio de Janeiro - RJ - CEP: 22.290-24
Tel.: (21) 2295-5297 lamin@cprm.gov.br



BOLETIM DE RESULTADOS APXXXL

Boletim: XX/LAMIN/2023 Plano de amostragem: XX/2023
Referência: Processo DNPM: XXX.XXX/XXXX
Análise: Estudo *in Loco* de fontes hidrominerais em atendimento a ANM.
Interessado: XXX INDÚSTRIA DE ÁGUA MINERAL LTDA.
Logradouro: SÃO CRISTOVÃO/SE
Identificação da amostra: POÇO "FONTE XXX"
Coordenadas geográficas (SIRGAS 2000): LAT S: xx° xx' xx,x" LONG W: xxx° xx' xx,x"
Executor do Estudo In-loco: XXXXX - CRQ: XXXX

Estudo <i>in loco</i>					
Data da Análise in Loco:		XX/XX/2023			
Data da Coleta de Amostras:		XX/XX/2023			
Resultado da Análise		Unidade	LQ (mg L ⁻¹)	VMP (mg L ⁻¹) RDC 717	Métodos utilizados
Aspecto ao natural	Límpida, Incolor	---	---	---	Proc. Int. IT 03-02-01
Odor ao natural	Ausente	---	---	---	
Sólidos em suspensão	Ausentes	---	---	---	
Cor	Ausente	---	---	---	
Turbidez	Ausente	---	---	---	
pH a 25 °C	6,07	---	---	---	
Condutividade a 25 °C	121,2	µScm ⁻¹	---	---	
Resíduo de evaporação a 180°C Calculado	87,12	mg L ⁻¹	---	---	
Temperatura da água na fonte	28,1	°C	---	---	
Temperatura ambiente	27,1	°C	---	---	
Radioatividade na Fonte a 20°C e 760 mmHg	2,26	Maches	---	---	Proc. Int. IT 03-02-03
	0,83	nCi L ⁻¹	---	---	
	30,47	Bq L ⁻¹	---	---	
Bicarbonato Volumétrico	47,26	mg L ⁻¹	---	---	Proc. Int. IT 03-02-01
Carbonato Volumétrico	0,00	mg L ⁻¹	---	---	Proc. Int. IT 03-02-02
Gás carbônico	54,35	mg L ⁻¹	---	---	Kit Spectroquant Merck Ref. 1006070001
Ozônio	< 0,04	mg L ⁻¹	0,04	---	Proc. Int. IT 03-02-01
Nitrito	< 0,007	mg L ⁻¹	0,007	0,02	
Gás Sulfídrico	< 0,02	mg L ⁻¹	0,02	---	Proc. Int. IT 03-02-05
Cloro Livre	< 0,50	mg L ⁻¹	0,50	5	
Monocloramina	< 0,70	mg L ⁻¹	0,70	3	

OBSERVAÇÕES:

- As análises e coletas "in loco" não foram acompanhadas pelo técnico da ANM - SE.
- Registro Fotográfico em Anexo.

0

PLANO E PROCEDIMENTOS DE AMOSTRAGEM (Estudo in Loco)	POP-03-04 POP-03-05 POP-03-06 POP-03-07
---	--



Laboratório de Análises Mineraias - LAMIN
Avenida Pasteur, 404 - Urca
Rio de Janeiro - RJ - CEP: 22.290-24
Tel.: (21) 2295-5297 lamin@cprm.gov.br



BOLETIM DE RESULTADOS APXXXL

ANÁLISE BACTERIOLÓGICA	
Data do recebimento da amostra:	20/10/2022
Data da Análise:	20/10/2022
Executor:	- CRQ: .

Parâmetro	Resultado	VMP*	Métodos utilizados
Coliformes totais	<1/250 mL	ausência	SMEWW 9222B IT 03-03-03
Escherichia coli ⁰	---	ausência	SMEWW 9222D IT 03-03-02
Enterococcus	<1/250 mL	ausência	SMEWW 9230 C IT-03-03-05
Pseudomonas aeruginosa	<1/250 mL	ausência	SMEWW 9213E IT 03-03-07
Esporos de clostrídios sulfito redutores	<1/50 mL	ausência	SMEWW 9213E IT 03-03-04
Esporos Clostrídios perfringens ⁰	---	ausência	SMEWW 9213E IT 03-03-04
Nº UFC/mL	<1	N. A.	SMWEE 9215 IT 03-03-04

N. A. - Não se Aplica

* INTRUÇÃO NORMATIVA ANVISA - IN Nº 161 de 1º DE JULHO DE 2022.

Observações:

- A coleta foi feita em frascos esterilizados.
 - Ocorreu precipitação pluviométrica nas últimas 24 horas
 - Os ensaios bacteriológicos foram realizados pela Técnicas de Membrana Filtrante.
 - Nº UFC/mL: Lê-se como Número de Unidades Formadoras de Colônias por millilitro.
 - <1: Lê-se como **Ausente** no volume considerado.
 - A amostra foi preservada até o início da análise sob refrigeração, conforme Normas Técnicas.
 - Não foi detectada a presença de cloro residual na amostra após ensaio com orto-tolidina no laboratório
 - Os resultados analíticos referem-se unicamente a amostra coletada.
 - Caso o resultado para coliformes totais seja ">1 em 250 ml", deve-se realizar a pesquisa de Escherichia coli em 250 ml
 - Caso o resultado para esporos de clostrídios sulfito redutores seja ">1 em 50 ml" deve-se realizar a pesquisa de esporos de clostrídios perfringens em 50 ml.
 - Os métodos de análise utilizados estão de acordo com o Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 23th edition, APHA, WEF, AWWA e ICR Microbial Laboratory Manual, U.S. EPA, 2017.
- 0

CIANOTOXINAS				
Data da Análise:	24/10/2022			
Parâmetro	Resultado (µg L ⁻¹)	LQ (µg L ⁻¹)	VMP (µg L ⁻¹) RDC 717	Métodos utilizados
Microcistinas	< 0,2	0,20	1	IT-03-04-20



Laboratório de Análises Mineraias - LAMIN
Avenida Pasteur, 404 - Urca
Rio de Janeiro - RJ - CEP: 22.290-24
Tel.: (21) 2295-5297 lamin@cprm.gov.br



**BOLETIM DE RESULTADOS
APXXXL**

ANÁLISE QUÍMICA					
Data da Análise:		20/10/2022			
Parâmetro	Resultado	LQ	VMP RDC 717	Métodos utilizados	
				Aspecto ao natural	Límpida
Aspecto após fervura	Límpida	---	---	SMEWW 2110 IT-03-04-06	
Odor a Frio	Inodoro	---	---	SMEWW 2150A IT-03-04-06	
Odor a Quente	Inodoro	---	---	SMEWW 2150A IT-03-04-06	
Sólidos em Suspensão	0,0	mg L ⁻¹	---	SMEWW 2540D IT-03-04-15	
Cor Aparente	0,0	uH*	---	SMEWW 2120 IT-03-04-14	
Cor Real	0,0	uH*	---	SMEWW 2120 IT-03-04-14	
Turbidez	0,87	uT**	---	SMEWW 2130 IT-03-04-13	
pH	5,54	---	---	SMEWW 4500 H+ IT-03-04-09	
Condutividade a 25°C	117,2	µS cm ⁻¹	---	SMEWW 2510B IT-03-04-07	
Pressão Osmótica calculada	0,00	mmHg a 25°C	---	Proc. Int. IT-03-09-01	
Abaixamento Crioscópico calculado	0,00	°C	---		
Resíduo de evaporação a 180°C Calculado	79,85	mg L ⁻¹	---		
Resíduo de evaporação a 110°C Calculado	81,35	mg L ⁻¹	---		
Dureza (temporária) em mg/L de CaCO ₃	6,0	mg L ⁻¹	---	SMEWW 2340C IT-03-04-11	
Dureza (total) em mg/L de CaCO ₃	41,0	mg L ⁻¹	---	SMEWW 2340C IT-03-04-11	
Dureza (permanente) em mg/L de CaCO ₃	35,0	mg L ⁻¹	---	SMEWW 2340C IT-03-04-11	
Oxigênio consumido (meio ácido)	0,3	mg L ⁻¹	---	IT-03-04-10 NBR 10219/ NBR 10220	
Oxigênio consumido (meio alcalino)	0,3	mg L ⁻¹	---	Proc. Int. IT-03-09-01	
Bicarbonato Estequiométrico	44,44	mg L ⁻¹	---	Proc. Int. IT-03-09-01	
Bicarbonato Titulado	41,38	mg L ⁻¹	---	IT-03-04-17	
Carbonato Titulado	0,00	mg L ⁻¹	---	IT-03-04-17	

* Unidade Hazen (mg Pt-Co/L)

** Unidades de Turbidez



Laboratório de Análises Mineraias - LAMIN
Avenida Pasteur, 404 - Urca
Rio de Janeiro - RJ - CEP: 22.290-24
Tel.: (21) 2295-5297 lamin@cprm.gov.br



BOLETIM DE RESULTADOS
APXXXL

CATIONS					
Data da Análise:		23/11/2022			
Parâmetro	Resultado (mg L ⁻¹)	LQ (mg L ⁻¹)	VMP (mg L ⁻¹)		Métodos utilizados
			RDC 717		
Alumínio	< 0,030	0,030	----		
Antimônio	< 0,002	0,002	0,005		
Arsênio	< 0,005	0,005	0,01		
Bário	0,031	0,010	0,7		
Berílio	< 0,002	0,002	----		
Boro	< 0,100	0,100	5		
Cádmio	< 0,002	0,002	0,003		
Cálcio	12,565	0,200	----		
Chumbo	< 0,005	0,005	0,01		
Cobalto	< 0,005	0,005	----		
Cobre	< 0,005	0,005	1		
Cromo	< 0,005	0,005	0,05		SMEWW 3120
Estanho	< 0,010	0,010	----		Proc. Int.
Estrôncio	0,067	0,010	----		IT-03-06-01
Ferro	< 0,010	0,010	----		IT-03-06-02
Lítio	< 0,005	0,005	----		----
Magnésio	2,034	0,010	----		SMEWW 3114
Manganês	< 0,010	0,010	0,5		IT.SP.03.06.01
Molibdênio	< 0,005	0,005	----		(para selênio)
Níquel	< 0,005	0,005	0,02		
Potássio	0,498	0,100	----		
Selênio	< 0,002	0,002	0,01		
Silício	9,103	0,500	----		
Sódio	7,302	0,200	----		
Titânio	< 0,005	0,005	----		
Vanádio	< 0,005	0,005	----		
Zinco	< 0,010	0,010	----		
Hg inorg. (AA-GVF)	< 0,0003	0,0003	0,001		Proc. Int.
					IT-03-05-02

ANIONS					
Data da Análise:		25/11/2022			
Parâmetro	Resultado (mg L ⁻¹)	LQ (mg L ⁻¹)	VMP (mg L ⁻¹)		Métodos utilizados
			RDC 717		
Fluoreto	0,02	0,01	----		
Cloreto	10,61	0,02	----		
Nitrito	---	0,02	0,02		EPA 300.1
Brometo	0,05	0,01	----		Proc. Int.
Nitrato	2,43	0,01	50		IT-03-07-01
Sulfato	2,54	0,01	----		IT-03-10-01
Fosfato	< 0,10	0,10	----		
Clorito	< 0,01	0,01	0,2		EPA 300.1
Bromato	< 0,01	0,01	0,025		IT-03-10-02
Cianeto Livre	< 0,03	0,03	0,07		Microquant
					Merck
					1.14798.0001



Laboratório de Análises Mineraias - LAMIN
Avenida Pasteur, 404 - Urca
Rio de Janeiro - RJ - CEP: 22.290-24
Tel.: (21) 2295-5297 lamin@cprm.gov.br



BOLETIM DE RESULTADOS
APXXXL

ORGANICOS VOLATEIS					
Data da Análise:		09/11/2022			
Parâmetro	Resultado (µg L ⁻¹)	LQ (µg L ⁻¹)	VMP (µg L ⁻¹) RDC 717	Métodos utilizados	
Cloreto de Vinila	< 1,0	1,0	5	EPA 5021A EPA 8260B Proc. Int. IT-03-08-05 GC-MS	
1,1-Dicloroetano	< 1,0	1,0	30		
Diclorometano	< 1,0	1,0	20		
1,2-Dicloroetano (trans)	< 3,0	3,0	---		
1,2-Dicloroetano (cis)	< 3,0	3,0	---		
1,2-Dicloroetano	< 1,0	1,0	10		
Benzeno	< 1,0	1,0	5		
tetracloreto de Carbono	< 1,0	1,0	2		
Tricloroetano	< 1,0	1,0	70		
Iolueno	< 3,0	3,0	---		
Tetracloreto	< 1,0	1,0	40		
Etilbenzeno	< 3,0	3,0	---		
Estireno	< 3,0	3,0	20		
Xilenos Totais (o+m+p)	< 2,0	m+p=2,0	---		
	< 3,0	o=3,0	---		
Triclorobenzenos (1,2,3+ 1,2,4+ 1,3,5)	< 1,0	1,0	20		
Trihalometanos Totais (Bromodichlorometano ¹ + Dibromodichlorometano ² + Clorofórmio ³ + Bromofórmio ⁴)	< 5,0	1 = 5,0 2 = 5,0 3 = 3,0 4 = 5,0	100		
ORGANICOS SEMIVOLATEIS					
Data da Análise:		09/11/2022			
Parâmetro	Resultado (µg L ⁻¹)	LQ (µg L ⁻¹)	VMP (µg L ⁻¹) RDC 717		Métodos utilizados
Acilamida	< 0,3	0,3	0,5	EPA 8270E IT 03-08-14 GC-MS	
Hexaclorobenzeno	< 0,01	0,01	1		
Simazina	< 0,10	0,10	2		
Atrazina	< 0,10	0,10	2		
Lindano (γ-BHC)	< 0,01	0,01	2		
Heptacloro	< 0,01	0,01	0,03		
Heptacloro Epóxido (A e B)	< 0,01	0,01			
Aldrin	< 0,01	0,01	0,03		
Dieldrin	< 0,01	0,01			
Clordano (isômeros)	< 0,02	0,02	0,2		
Endrin	< 0,01	0,01	0,6		
DDT (isômeros)	< 0,02	0,02	2		
Benzopireno	< 0,10	0,10	0,7		
Molinato	< 0,5	0,5	6		
Trifluralina	< 1,5	1,5	20		
Propanil	< 1,2	1,2	20		
Alaclor	< 0,5	0,5	20		
Metolacoloro	< 0,5	0,5	10		
Pendimetalina	< 1,2	1,2	20		
Endossulfan	< 1,2	1,2	20		
Metoxicloro	< 1,2	1,2	20		
Permetrina	< 1,2	1,2	20		
2,4,6 Triclorofenol	< 5,0	5,0	200	Proc. Int. IT-03-11-07 HPLC	
2,4 D	< 5,0	5,0	30		
Pentaclorofenol	< 2,0	2,0	9		
Bentazona	< 5,0	5,0	300	Proc. Int. IT-MA-03-05-01	
Glifosato	< 10,0	10,0	500		



Laboratório de Análises Mineraias - LAMIN
Avenida Pasteur, 404 - Urca
Rio de Janeiro - RJ - CEP: 22.290-24
Tel.: (21) 2295-5297 lamin@cprm.gov.br



BOLETIM DE RESULTADOS APXXXL

Observações:

1. Os resultados referem-se única e exclusivamente às amostras coletadas e entregue para análise neste laboratório.
2. Os dados de identificação da amostra foram fornecidos pelo interessado.
3. Este documento é confidencial, sendo a sua circulação de inteira responsabilidade do interessado.
4. A divulgação destes resultados de análise, assim como sua utilização, em quaisquer circunstâncias e para quaisquer fins, é de inteira e exclusiva responsabilidade do interessado.
5. Bicarbonato estequiométrico - teor do íon bicarbonato associado aos cátions alcalinos e alcalino-terrosos, obtido por cálculo estequiométrico em conformidade com o Código de Águas.
6. Bicarbonato titulado - teor do íon bicarbonato obtido, experimentalmente, quando aplicadas as metodologias específicas.
7. Regra de decisão: Neste boletim constam somente os valores encontrados para cada parâmetro, sem a incerteza do ensaio. Os valores das incertezas dos resultados estão disponíveis caso sejam solicitados pelo interessado.
8. Este resultado refere-se ao plano de amostragem nº. XXX/2023

0

Conferência dos registros:

Aprovadores:

Rio de Janeiro, sexta-feira, XX de novembro de 2023.