

HIDROQUÍMICA E QUALIDADE DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DA BACIA HIDROGRÁFICA DO LITORAL MÉDIO, RIO GRANDE DO SUL

Hydrochemistry and groundwater quality in Litoral Médio watershed, Rio Grande do Sul

Milene Priebe e Silva

Mestre em Engenharia Ambiental – Instituto Federal do Piauí, Brasil

milene.priebe@ifpi.edu.br

Bianca Johann Nery

Mestre em Engenharia Ambiental

biancajohannnery@gmail.com

Malva Andrea Mancuso

Doutora em Geociências – Universidade Federal de Santa Maria, Brasil

malvamancuso@ufsm.br

Recebido: 06.02.2023

Aceito: 24.04.2023

Resumo

A Bacia Hidrográfica do Litoral Médio (RS) tem seus recursos hídricos subterrâneos destinados a usos múltiplos, como abastecimento público, agropecuária, plantio florestal, indústria e demandas ecossistêmicas. Considerando a necessidade dos diferentes setores que utilizam a água, este estudo objetivou classificar e caracterizar, do ponto de vista hidrogeoquímico e qualitativo, as águas subterrâneas de 33 poços tubulares, com dados disponíveis no SIAGAS. Foram selecionados 13 parâmetros: sódio, potássio, cálcio, magnésio, cloreto, carbonatos, bicarbonatos, sulfetos, nitrogênio total, potencial hidrogeniônico, condutividade elétrica, temperatura e turbidez. Para a classificação das águas e análise hidroquímica foi utilizado o diagrama de Piper, enquanto a qualidade da água foi avaliada considerando seu uso para consumo humano, conforme a Portaria do MS nº 888/2021 e Resolução CONAMA 396/2008. Os resultados indicam que 71% dos poços instalados no Sistema Aquífero Barreira Marinha apresentam águas sódicas cloretadas; no Sistema Aquífero Quaternário Costeiro I predominam águas sódicas bicarbonatadas (36%), sódicas cloretadas (32%) e águas mistas bicarbonatadas (18%); no Aquífero Quaternário Costeiro II predominaram as águas mistas bicarbonatadas, assim como no poço instalado no Aquífero Serra Geral II. Quanto à qualidade, encontram-se em conformidade para consumo humano, conforme legislação vigente, a exceção de 4 poços que ultrapassaram o limite de turbidez. Aponta-se a necessidade de monitoramento e estudos que possibilitem a gestão das águas para usos múltiplos, incluída a manutenção de ecossistemas dependentes, sem exaurir o seu potencial.

Palavras-chave: usos múltiplos, aquífero costeiro, gestão de recursos hídricos

Abstract

The Litoral Médio watershed (RS) has underground water resources for multiple uses, such as public supply, agriculture, forestry, industry and ecosystem demands. Considering the needs of different sectors that use water, this study aimed to classify and characterize, from a hydrogeochemical and qualitative point of view, groundwater from 33 tubular wells, using data available at SIAGAS. Thirteen parameters were selected: sodium, potassium, calcium, magnesium, chloride, carbonates, bicarbonates, sulfides, total nitrogen, hydrogen potential, electrical conductivity, temperature and turbidity. The Piper diagram was used to classify water and hydrochemical analysis. In contrast, the water quality was evaluated considering its quality for human consumption purposes (Ordinance 888/2021 of the Ministry of Health and CONAMA Resolution 396/2008). The results indicate that 71% of the wells installed in the Barreira Marinha Aquifer System have chloride sodium waters; in the Quaternary Coastal Aquifer System I, there is variability between sodium bicarbonate waters (36%), sodium chloride waters (32%) and mixed bicarbonate waters (18%); in the Quaternary Coastal Aquifer II, bicarbonate mixed waters predominated, as well as in the only well installed in the Serra Geral II Aquifer. As for quality, they comply with human consumption, according to current legislation, except for four wells that exceeded the turbidity limit. It points to the need for monitoring and studies that effectively enable water management for multiple uses, including maintaining dependent ecosystems, without exhausting its potential.

Keywords: multiple uses, coastal aquifer, water resources management

1. INTRODUÇÃO

As águas subterrâneas apresentam disponibilidade estimada em cerca de 13.205 m³/s, e, assim como para águas superficiais, a qualidade é determinante para garantir seus diversos usos (ANA, 2023). A qualidade das águas subterrâneas depende das características das rochas dos aquíferos, e também está relacionada ao uso e ocupação do solo, ao lançamento de efluentes sem tratamento e demais interferências antrópicas.

Dessa forma, monitorar a qualidade das águas é fundamental para identificar possíveis contaminações e, consequentemente, impactos negativos à saúde dos ecossistemas e das populações. Neste sentido, pesquisadores vêm atuando na caracterização hidroquímica das águas subterrâneas, para auxiliar na gestão destes recursos (SOUSA *et al.*, 2022; LEITE *et al.*, 2021; SILVA *et al.*, 2020).

A região Costeira brasileira é uma extensa faixa litorânea que contorna o Brasil desde o Amapá (AM) até o Rio Grande do Sul (RS), constituindo uma zona de fronteira sujeita à influência de processos continentais e oceânicos. No Rio Grande do Sul, a região costeira está inserida na região hidrográfica do litoral, que abrange a porção leste e sul do estado (FEPAM, 2020), onde problemas ambientais comuns são encontrados, como a poluição das águas superficiais e subterrâneas, a disposição inadequada de resíduos sólidos, o rebaixamento do aquífero freático e a retirada de dunas para

expansão de loteamentos imobiliários (BASSO, 2012); que se associam à baixa fertilidade natural e à alta suscetibilidade eólica. A região conta com elevada demanda de água para a irrigação de arroz, para o turismo e a pesca (FEPAM, 2020).

As águas subterrâneas do Litoral Médio e Sul foram classificadas como sendo predominantemente bicarbonatadas sódicas por Reginato *et al.* (2009), enquanto Troian *et al.* (2015) classificaram as águas subterrâneas do Litoral Norte como bicarbonatadas a cloretadas sódicas, assim como Machado e Freitas (2005), no caso do Sistema Aquífero Quaternário I e Sistema Aquífero Quaternário II. A qualidade das águas subterrâneas na bacia é afetada pela concentração de ferro, manganês, cloretos e alumínio que estão comumente acima do valor máximo permitido (VMP) para potabilidade, conforme a antiga Portaria nº 518/2004 do Ministério da Saúde (MARQUES *et al.*, 2009). Troian *et al.* (2015) também verificaram altas concentrações de ferro nas águas subterrâneas do Litoral Norte, e Reginato e Michalski (2013) corroboram que a qualidade da água subterrânea na bacia é afetada pelo ferro, que é decorrente de processos naturais, tais como a circulação da água subterrânea por sedimentos que contém óxidos e hidróxidos de ferro. Outros elementos como o fluoreto, assim como a cor e a turbidez, chamam a atenção dos autores para a alteração da qualidade dessas águas em municípios da bacia.

Ao abordar a qualidade, é importante destacar que, nas águas subterrâneas, é comum encontrarmos constituintes dissolvidos, a maioria em estado iônico (SANTOS, 2008). As análises destes íons auxiliam na compreensão da origem e evolução dessas águas, assim como permitem fazer considerações sobre possíveis contaminantes presentes nos aquíferos.

O comportamento e a presença desses constituintes nos sistemas subterrâneos dependem da água que precipita e percola pela zona não saturada, e da influência mineralógica das rochas do aquífero sobre a água, que ao circular pelo mesmo dissolve minerais, enriquecendo ionicamente (ABAS, 2021).

A caracterização hidroquímica das águas subterrâneas é uma importante forma de entender as relações que ocorrem entre a água que circula nos aquíferos e o meio físico que a contém. Este trabalho tem como objetivo classificar e avaliar a qualidade das águas subterrâneas da bacia hidrográfica do Litoral Médio, Planície Costeira do Rio Grande do Sul, de acordo com os limites estabelecidos na Resolução nº 396/2008 (BRASIL, 2008), indicados para o uso de água subterrânea com fins de consumo humano, e nos padrões de potabilidade definidos pela Portaria do Ministério da Saúde nº 888/2021 (BRASIL, 2021).

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. Área de Estudo

A planície costeira do Rio Grande do Sul se estende desde a foz do rio Mampituba (cidade de Torres), até o Chuí, fronteira entre Brasil e o Uruguai, com a especial característica de apresentar lagoas de água doce próximas ao mar, que influenciam quimicamente as águas subterrâneas da região devido à pressão exercida pelo nível de água das lagoas e seu fluxo natural na direção do Oceano Atlântico (SCHAFFER, 2013).

Na região da planície costeira se encontram depósitos de sedimentos e de matéria orgânica (turfa), relacionados às variações do nível do mar, que também deram origem às lagoas e pântanos pelo acúmulo de água nas depressões, e são conhecidos como Sistema Laguna Barreira (REGINATO; AHLERT, 2013).

A região costeira do Rio Grande do Sul compreende o Sistema Aquífero Quaternário Costeiro I e o Sistema Aquífero Quaternário Costeiro II, que se estendem marginal à linha de costa por aproximadamente 620 km (MACHADO e FREITAS, 2005). A área de estudo é a bacia hidrográfica do Litoral Médio, pertencente à região hidrográfica do Litoral (ou Bacias Litorâneas) (Figura 1), que compreende os municípios de Capivari do Sul (100%), São José do Norte (100%) e Tavares (100%) e grande parte de Mostardas (96%), Palmares do Sul (71%) e Viamão (52%), e uma parcela menor da área de Osório (46%), Cidreira (30%), Tramandaí (29%), Santo Antônio da Patrulha (26%) e Balneário Pinhal (18%) (SEMA, 2020).

Na região, segundo a classificação de Köppen, são definidos dois tipos climáticos, o Cfa (subtropical) e o Cfb (temperado); a temperatura média anual está entre 17 e 19°C e a precipitação é de cerca de 1300 mm/ano (EMBRAPA, 2012). Na área de estudo, o tipo de solo que predomina é o Planossolo, além de Dunas (EMBRAPA, 2011).

A bacia hidrográfica do Litoral Médio está, principalmente, sobre a área de ocorrência de dois tipos de sistemas aquíferos principais, que estão associados aos sedimentos da Planície Costeira: 1) o Sistema Aquífero Quaternário Costeiro I (qc1; 81,65% da área da bacia), composto por uma sucessão de camadas arenosas inconsolidadas de granulometria fina a média, esbranquiçadas, intercaladas com camadas siltico-arenosas e argilosas; e 2) o Sistema Aquífero Quaternário Costeiro II (qc2; 13,4% da área da bacia), composto por uma sucessão de areias finas inconsolidadas, esbranquiçadas e argila cinza (MACHADO; FREITAS, 2005).

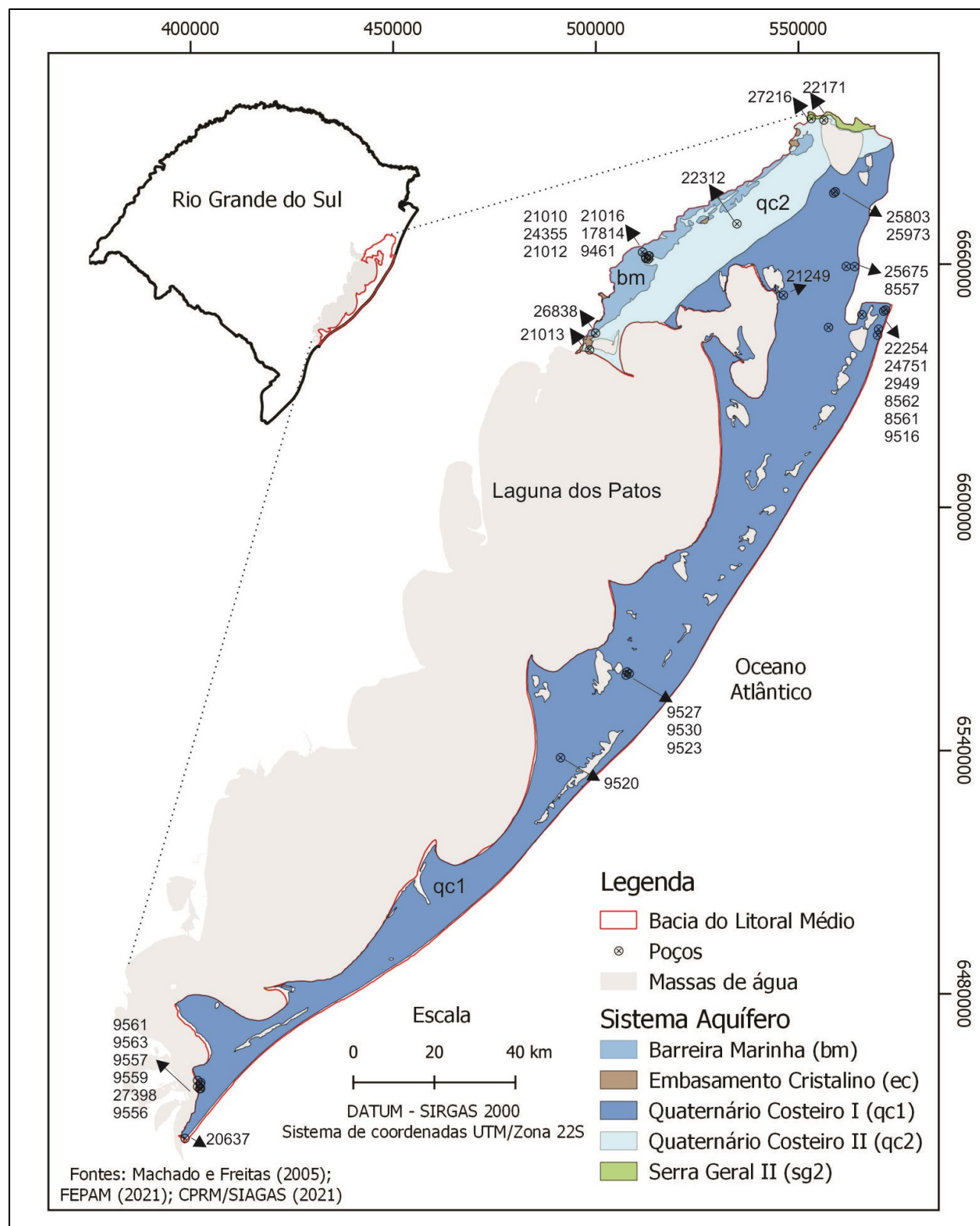


Figura 1 - Localização da Bacia Hidrográfica do Litoral Médio (RS), com respectivos Sistemas aquíferos e os poços utilizados no estudo. **Fonte:** Elaborado a partir de Machado e Freitas (2005), FEPAM (2021) e CPRM/SIAGAS (2021).

Na região de Santo Antônio da Patrulha também ocorre o Sistema Aquífero Quaternário Barreira Marinha (bm; 4,3% da área da bacia), constituído por areias inconsolidadas, de granulometria fina a média, vermelho-claro a esbranquiçadas, com pouca matriz argilosa, capacidades específicas altas e teor salino muito baixo. Observa-se a ocorrência de afloramentos do aquífero fraturado Sistema Aquífero Serra Geral II (sg2; 0,4% da área da bacia), com salinidades próximas a 250 mg/L, que foi caracterizado neste estudo a partir de dados de um único poço. Ainda, com pouca representatividade (0,25% da área da bacia), aflora o Sistema Aquífero Embasamento Cristalino III (ec3), mas não foram obtidos dados de poços cadastrados para a caracterização desse sistema na área (MACHADO; FREITAS, 2005).

O Sistema Aquífero Quaternário Costeiro I e o Sistema Aquífero Quaternário Barreira Marinha, apresentam elevadas capacidades específicas, superiores a 4 m³/h/m, com salinidades gerais inferiores a 400 mg/l, apesar de haver águas cloretadas com maior teor salino no sistema Quaternário Costeiro I, enquanto no aquífero Quaternário Barreira Marinha os teores salinos são inferiores a 50 mg/l. No Sistema Aquífero Quaternário Costeiro II as capacidades específicas são inferiores (entre 0,5 e 1,5 m³/h/m) e se constata a presença de sólidos totais dissolvidos entre 600 e 2000 mg/l (MACHADO; FREITAS, 2005).

A bacia do Litoral Médio é pouco povoada, mas ecologicamente importante por compreender quase toda a restinga localizada entre o oceano e a laguna dos Patos (BASSO, 2012), ecossistemas naturais com influência fluvial e marítima.

Destaca-se o uso do solo para fins agropecuários (40,6% da área total) (MAPBIOMAS, 2020; RIO GRANDE DO SUL, 2021), principalmente na região norte da bacia, nos municípios de Viamão e Palmares do Sul, que tem sua história associada às primeiras lavouras de arroz na região (ALBÉ, 2013). Em Mostardas, mais ao centro da bacia, também é possível verificar o uso para agropecuária, principalmente nas proximidades da Laguna dos Patos. As florestas plantadas estão distribuídas numa faixa estreita próxima à linha de costa, que se estende de norte a sul da bacia e representa 7,6% da sua área. As formações naturais não florestais e as florestas ocupam cerca de 30% do território, enquanto na faixa costeira, na separação com Oceano Atlântico, é possível observar áreas não vegetadas (12,8%) que contornam a linha de costa (Figura 2). Schafer (2013) já relatava que os principais usos do solo que modificavam a paisagem eram as plantações de arroz e as culturas de pinus e de eucalipto, principalmente na região de Cidreira, Balneário Pinhal e em Palmares do Sul (SCHAFFER, 2013). Demandas

importantes de uso das águas subterrâneas na região provêm do atendimento à necessidade da indústria, assim como, menos visível, à necessidade de manutenção de importantes ecossistemas de banhados e lagunares presentes na bacia (FORMENTINI; MANCUSO, 2017a; FORMENTINI; MANCUSO, 2017b).

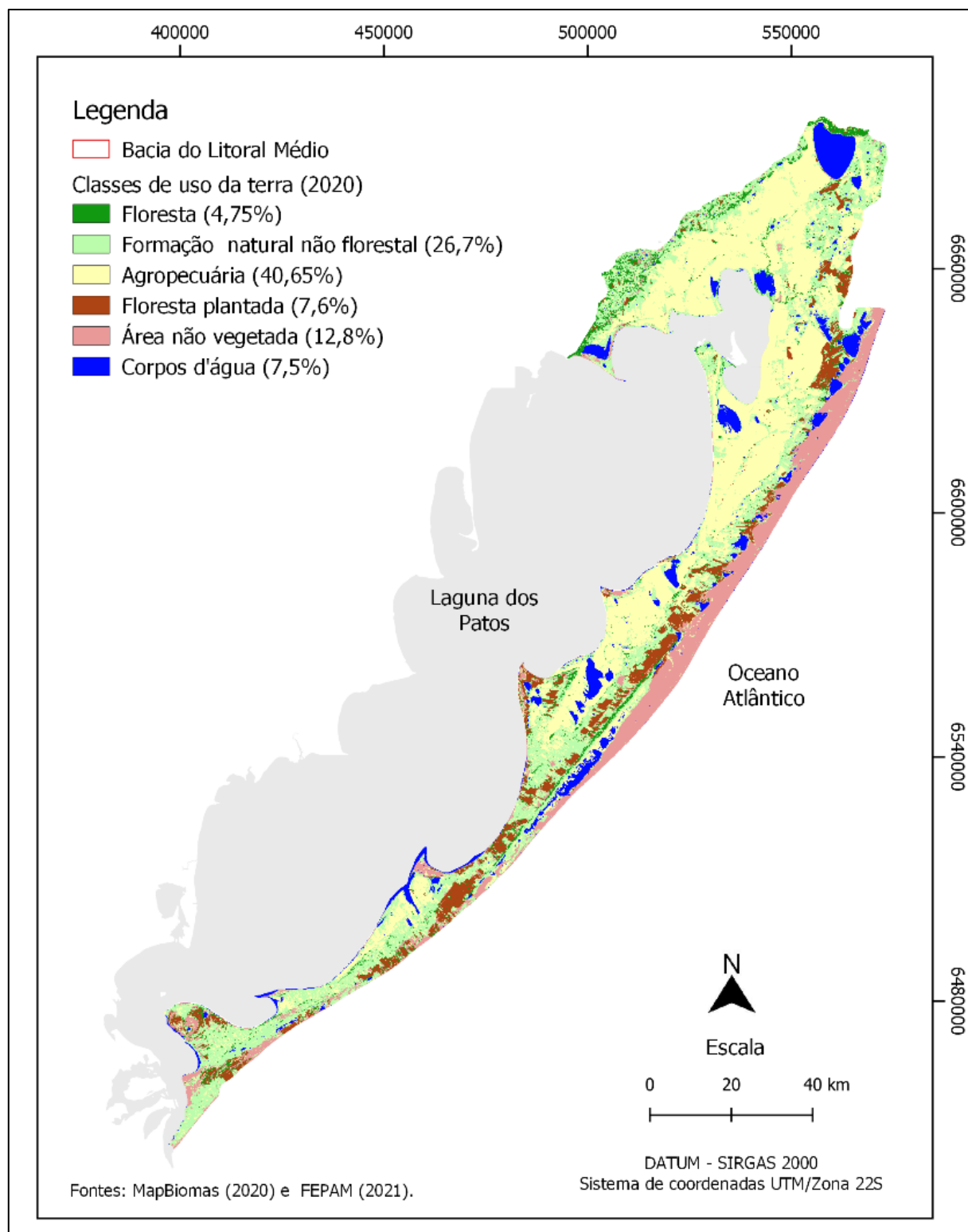


Figura 2 – Distribuição dos diferentes usos da terra na Bacia Hidrográfica do Litoral Médio (RS).
Fonte: Elaborado a partir de MapBiomas (2020) e FEPAM (2021).

2.2. Dados dos poços, classificação e avaliação da qualidade das águas subterrâneas

Os constituintes das águas subterrâneas podem ser denominados como principais (ou maiores), compreendendo o cloreto (Cl), o sulfato (SO₄), bicarbonato (HCO₃), cálcio (Ca), magnésio (Mg), sódio (Na), sílica (Si), além de outros que, geralmente, se apresentam em menor concentração, como o potássio (K) e os carbonatos (CO₃). E, também, os constituintes traços, importantes para a avaliação da qualidade da água, a qual é definida pela sua composição e que também é utilizada para fins de classificação e enquadramento para os diferentes usos (SANTOS, 2008).

Para avaliar a qualidade das águas subterrâneas foi organizada uma base de dados hidroquímicos contemplando os seguintes parâmetros: sódio (Na), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), cloreto (Cl), carbonatos (CO₃), bicarbonatos (HCO₃), sulfetos (SO₄), nitrogênio total (N_{total}), potencial hidrogeniônico, condutividade elétrica (CE), temperatura (T) e turbidez. A seleção dos parâmetros foi baseada na disponibilidade de dados no SIAGAS e necessidade de inserção no QualiGraf (MÖBUS, 2014). Dessa forma, os dados foram inseridos no programa, assim como suas respectivas coordenadas geográficas.

A qualidade das águas subterrâneas na bacia hidrográfica do Litoral Médio (RS) foi avaliada a partir da triagem de dados hidroquímicos de 104 poços cadastrados na base de dados do Serviço Geológico do Brasil – CPRM sendo: 2 poços da Rede Integrada de Monitoramento das Águas Subterrâneas (CPRM/RIMAS, 2021); e 102 poços do Sistema de Informações de Águas Subterrâneas (CPRM/SIAGAS, 2021).

Os dados hidroquímicos dos 104 poços, foram inseridos no programa Qualigraf, versão 1.1, ferramenta utilizada para análises de qualidade da água (MÖBUS, 2014) para avaliação de balanço iônico, considerando que em uma análise hidroquímica completa, a concentração total, expressa em meq/L, de íons positivos (cátions), deve ser aproximadamente igual à concentração de íons negativos (ânions) (CAVALCANTE *et al.*, 2004; FEITOSA *et al.*, 2008). O desvio percentual desta igualdade é determinado pelo coeficiente de erro da análise. O cálculo de balanço iônico, ou erro prático (Ep%), é realizado por meio de duas técnicas, uma proposta por Custódio e Llamas (1983) e outra por Logan (1965). Ambas as técnicas de cálculo foram aplicadas nos dados hidroquímicos dos 104 poços disponíveis na RIMAS e SIAGAS para a bacia em estudo, uma considerando os valores da condutividade elétrica (CE) da água, e outra levando em consideração os valores dos somatórios dos cátions ou ânions. As amostras

que não atenderam o requisito de balanço iônico, considerando os dois testes, foram desconsideradas na análise hidroquímica subsequente.

A partir dessa triagem, para a classificação e avaliação da qualidade das águas subterrâneas foram considerados os dados de qualidade das águas de 33 poços tubulares, instalados na Bacia do Litoral Médio, que preencheram o requisito de balanço iônico (em meq/L) de acordo com a técnica proposta por Custódio e Llamas (1983) e por Logan (1965).

Para a classificação das águas e análise hidroquímica foi utilizada a ferramenta gráfica do diagrama de Piper que permite graficar o percentual de cátions e ânions presente nas amostras de águas subterrâneas. Para ilustrar os resultados da análise estatística básica, foram construídos diagramas de caixa no Programa GraphPad Prism 5 (GraphPad Software Inc., San Diego, CA, EUA), com os extremos correspondendo aos mínimos e máximos. Por fim, foi verificada a qualidade da água considerando seu uso para consumo humano, conforme os parâmetros apresentados na Tabela 1 e valores máximos permitidos pela Resolução CONAMA nº 396/2008 e potabilidade conforme a Portaria do Ministério da Saúde nº 888/2021 (BRASIL, 2008; 2021).

Tabela 1 - Parâmetros de qualidade da água para consumo humano, conforme Resolução CONAMA 396/2008 e Portaria do Ministério da Saúde nº 888/2021.

Parâmetro	Unidade	Valor máximo permitido – Resolução CONAMA 396/2008	Valor máximo permitido - Portaria do Ministério da Saúde nº 888/2021
pH	-	-	-
Condutividade elétrica	µS/cm	-	-
Bicarbonato	mg/L	-	-
Carbonato	mg/L	-	-
Potássio	mg/L	-	-
Magnésio	mg/L	-	-
Cálcio	mg/L	-	-
Sódio	mg/L	200	200
Cloretos	mg/L	250	250
Turbidez	uT	-	5

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Dos 33 poços analisados, 22 estão localizados no Sistema Aquífero Quaternário Costeiro I, apresentando águas, em sua maioria, classificadas como Sódicas Cloretadas e Sódicas Bicarbonatadas; dos 7 poços localizados no Sistema Aquífero Barreira Marinha, 5 apresentam águas classificadas como Sódicas Cloretadas; dos 3 poços instalados no Sistema Aquífero Quaternário

Costeiro II, 2 apresentaram águas Mistas Bicarbonatadas e 1 Sódica Cloretada; e o único poço instalado no Sistema Aquífero Serra Geral II apresentou águas Mistas Bicarbonatadas (Tabela 2).

Tabela 2 - Parâmetros de qualidade e classificação hidroquímica das águas subterrâneas de poços cadastrados no SIAGAS na bacia do Litoral Médio (RS).

¹ Nº Poço	Na+K	Ca	Mg	Cl	CO ₃ +HCO ₃	SO ₄	CE	pH	Turbidez (NTU)	² Classificação	³ Sist. Aquífero
				(mg/L)			(µS/cm)				
9527	18	6	3	23	39	3,5	140,6	6,6	3,4	1	qc1
20637	137	30,5	20,2	192	180,6	0,8	943,8	8,2	0,5	2	qc1
22254	20	2,4	4,6	32,6	-	9,5	145,2	6,1	6,9	2	qc1
25675	125,4	44	5	164	195	0,2	827	-	7,3	2	qc1
9561	112,5	19	4	9	175,7	-	364	7,9	-	2	qc1
8557	104,2	40	5	128	192	1,4	744	7,7	-	2	qc1
25803	11,09	1,51	2,25	25	-	2,9	92,3	4,65	-	2	qc1
25973	5,92	0,601	1,01	10	-	<0,001	45,8	4,6	<0,001	2	qc1
9563	118,5	52,5	20,7	140	285,5	0,7	865,7	7,8	0,2	3	qc1
9557	40	20,4	-	14	125,5	1,3	272	8,1	-	3	qc1
21249	93,9	41	11	96	244	0,43	676	7,5	0,68	3	qc1
24751	104,8	19	6	83	221	1,2	601	8,5	0,5	3	qc1
2949	77,4	14	4,6	41	200,1	0,4	409,2	6,9	1,3	3	qc1
9530	96	8	3	67	200	5,2	517	7,5	0,4	3	qc1
9523	17	6	2	18	44	4,8	131,6	6,9	6,5	3	qc1
8562	105	25	8	107	220	0,1	633	8,3	0,7	3	qc1
8561	15	34,1	9,7	140	111	1	724	7,7	-	5	qc1
9559	29	19	4,7	15	123,2	0,4	553	7,9	-	5	qc1
9516	99	99	19	160	404	0,6	1210	7,3	2,2	5	qc1
27398	29	33	6	28	138	4,2	349	8	1,4	5	qc1
9520	0	20	6	54	-	3,4	354	7,1	37	7	qc1
9556	18,6	25,8	2,8	15	101,2	0,2	1380	7,6	-	8	qc1
21010	5,6	1	1	7	8	1,1	51,9	6	0,7	2	bm
24355	3,4	0,8	0,8	4	5	0,2	36,1	8,1	3,1	2	bm
21012	4,3	1	0,6	11	4	-	41,4	5,2	1,1	2	bm
21016	4,03	1	0,8	6	4	-	40,9	5	1,8	2	bm
17814	4,5	1	0,7	5	5	-	38,1	4,9	0,9	2	bm
26838	4,46	2,6	1,6	7,1	9	<0,001	56,9	5,5	0,41	4	bm
9461	0	16,83	-	9,77	5,88	16	40	5,44	0,67	6	bm
21013	10,9	1	1	12	15	-	66,2	5,9	0,7	2	qc2
22171	33	32	14	21	206	7,4	401	7,1	-	5	qc2
22312	35	23,25	17,5	3,72	243,18	13,34	389,9	7,38	4,87	5	qc2
27216	34,7	32	9	18,6	182	18,6	374	7,7	0,14	5	sg2

¹ Nº poço – acrescidos do prefixo 43000 no cadastro de poços do SIAGAS (SIAGAS/CPRM, 2021).

² Classificação - 1 (Sódica Mista); 2 (Sódica Cloretada); 3 (Sódica Bicarbonatada); 4 (Mista Cloretada); 5 (Mista Bicarbonatada); 6 (Cálcica Mista); 7 (Cálcica Cloretada); 8 (Cálcica Bicarbonatada).

³ Sistema aquífero - qc1 (Quaternário Costeiro I); qc2 (Quaternário Costeiro II); bm (Barreira Marinha); sg2 (Serra Geral II).

A maior concentração dos poços está na região norte da bacia do Litoral Médio, principalmente nos municípios de Viamão e Palmares do Sul, os quais apresentam grandes áreas de usos da terra para atividade agropecuária (MAPBIOMAS, 2020), com destaque nas plantações de arroz que ocorrem nessa região. Há também concentração

de poços em Palmares do Sul, a sul da bacia, em área não vegetada (MAPBIOMAS, 2020).

As águas do Sistema Aquífero Serra Geral II (sg2) apresentam, em geral, baixa salinidade (MACHADO; FREITAS, 2005). Na área de estudo, o único poço (4300027216) localizado no sg2 apresentou 182 mg/L na soma de carbonatos e bicarbonatos, 34,7 mg/L de cálcio e magnésio, enquanto os cloretos e os sulfatos apresentaram, cada um, 18,6 mg/L (Tabela 2). Já a condutividade elétrica foi de 374 $\mu\text{S/cm}$, relativamente baixa, em relação ao valor máximo atingido de 1380 $\mu\text{S/cm}$.

O cloreto variou de 3,72 a 192 mg/L (Tabela 2), com a concentração mais elevada encontrada no Quaternário Costeiro I e a mais baixa no Quaternário Costeiro II. A concentração de cloretos em 26 poços está dentro do esperado para as águas subterrâneas, geralmente até 100 mg/L (SANTOS, 2008), 7 ultrapassando esta concentração. Valores extremos podem estar associados à proximidade do mar, como é o caso de 5 poços entre os 7 situados no Sistema Aquífero Costeiro I que apresentaram teores acima de 100 mg/L de cloretos.

No aquífero Quaternário Costeiro I, conforme Machado e Freitas (2005), as salinidades são inferiores a 400 mg/l, mas indica que eventualmente se encontram águas cloretadas com maior teor salino, condizendo com os resultados obtidos neste estudo. Reginato *et al.* (2009) encontrou risco de salinidade baixo para o município de Mostardas, mas também destacou que a caracterização foi baseada em poucas amostras. Ainda, conforme os mesmos autores, em São José do Norte e Tavares o risco de salinidade é baixo a médio. Os três municípios citados estão inseridos no Quaternário Costeiro I na bacia estudada.

A avaliação hidroquímica da água subterrânea, realizada por Paim *et al.* (2018), em Osório, município que tem 46% de sua área na bacia do litoral médio (SEMA, 2020), aponta que há ocorrência de águas ácidas, com pH abaixo de 6,5 e condutividade elétrica variável (entre 40 e 500 $\mu\text{S/cm}$), mas com predomínio de valores inferiores a 200 $\mu\text{S/cm}$, o que indica a baixa mineralização das águas subterrâneas. Na bacia do Litoral Médio, tanto o pH quanto a condutividade elétrica foram muito variáveis, entre 4,6 e 8,5 e entre 36,1 e 1380 $\mu\text{S/cm}$, respectivamente (Tabela 2; Figura 3), a depender do tipo de aquífero e da localização do poço.

Embora se observem lacunas nos dados, é possível perceber que a turbidez não apresenta valores elevados (Tabela 2; Figura 3), a exceção de um poço que atingiu 37 NTU, que é consideravelmente superior ao segundo maior valor de turbidez (7,3 NTU),

o que pode estar associado a aspectos construtivos ou de estrutura do poço, como filtros ou revestimentos danificados, que podem aumentar a turbidez, interferindo na qualidade da água (ABAS, 2015).

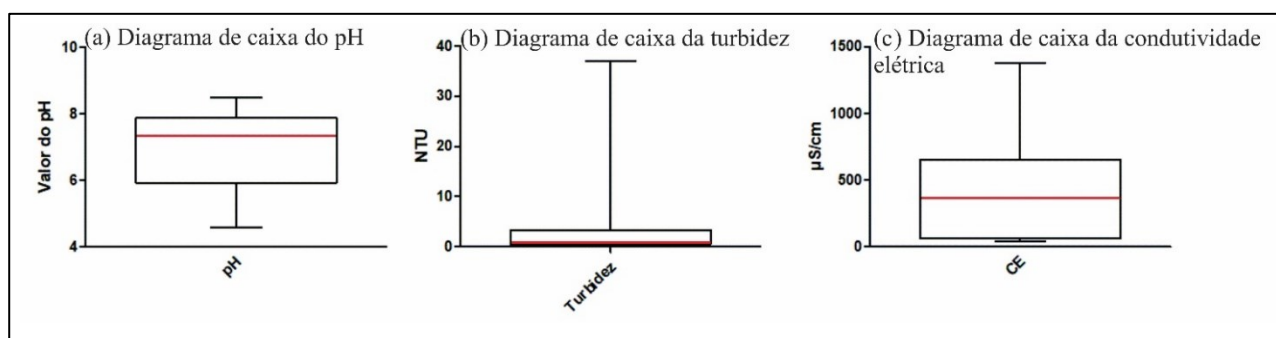


Figura 3 - Valores máximos, mínimos (extremos) e medianas (vermelho) dispostos em diagramas de caixa para valores de (a) pH, (b) turbidez e (c) condutividade elétrica, encontrados nas águas subterrâneas dos poços da bacia hidrográfica do Litoral Médio (RS)

Fonte: Autoras (2022).

O sódio, um dos constituintes mais abundantes nas águas subterrâneas e um dos principais cátions responsáveis pelo aumento da salinidade, está comumente associado ao potássio (Tabela 2; Figura 4) que costuma se apresentar em menores concentrações (SANTOS, 2008). As maiores concentrações desse íon foram obtidas em poços localizados no Sistema Aquífero Quaternário I, atingindo 137 mg/L. As águas da região são utilizadas na irrigação das lavouras de arroz, o que pode, a depender das práticas agrícolas, afetar o solo pelo aumento de sódio (DENARDIN *et al.*, 2018) e, conseqüentemente, as águas subterrâneas, evidenciando a necessidade de monitorar o recurso a fim de garantir a sua qualidade e uso adequado.

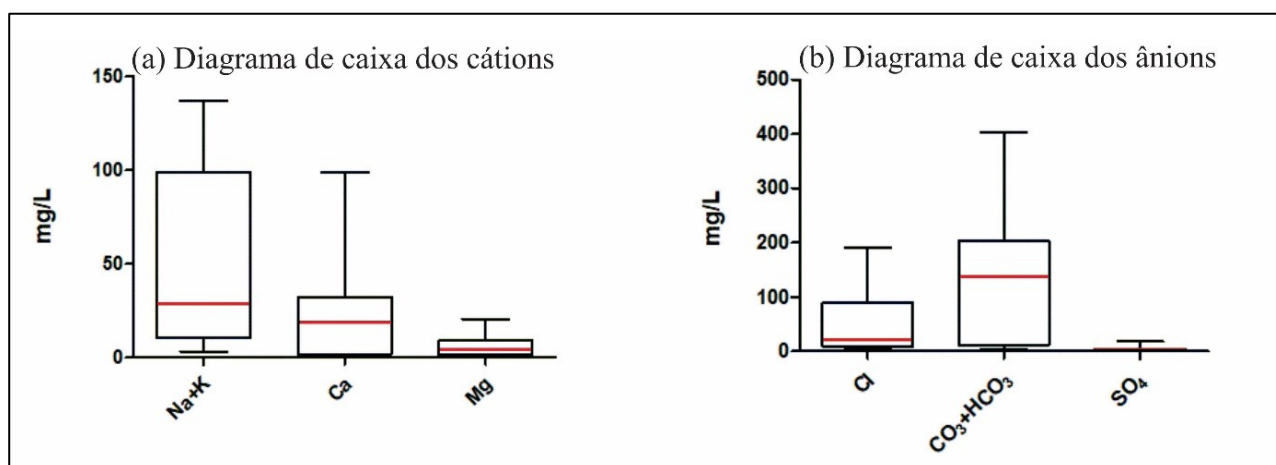


Figura 4 - Valores máximos, mínimos (extremos) e medianas (vermelho) dispostos em diagramas de caixa para as concentrações de (a) cátions e (b) ânions encontrados nas águas subterrâneas dos poços da bacia hidrográfica do Litoral Médio (RS)

Fonte: Autoras (2022).

Quanto ao sulfato, o valor máximo encontrado nas amostras foi de 18,6 mg/L (Tabela 2), o que está de acordo com o esperado para águas subterrâneas, de acordo com Santos (2008), que indicam que o íon se apresenta em concentrações geralmente inferiores a 100 mg/L. No Litoral Norte, Troian *et al.* (2015) encontraram concentrações de sulfato variando de 0,1 a 23,7 mg/L. A maior concentração de Magnésio foi de 20,7 mg/L, sendo que o esperado nas águas subterrâneas pode normalmente variar entre 1 a 40 mg/L (SANTOS, 2008). Já no Litoral Norte, Troian *et al.* (2015) encontraram concentrações de 0,9 a 28,2 mg/L, exceto para 2 poços, que apresentaram concentrações superiores a 100 mg/L. As concentrações medianas de cálcio foram da ordem de 19 mg/L, com o valor extremo de 99 mg/L em poço localizado em qc1 -dentro do intervalo de 10 a 100 mg/L (SANTOS, 2008), que é o normalmente esperado para as águas subterrâneas (Figura 4).

Conforme apresentado na Figura 5, a distribuição de cátions nas águas subterrâneas da Bacia Hidrográfica do Litoral Médio demonstra a predominância de águas sódicas (67%), seguida de águas mistas (24%) e cálcicas (9%), enquanto para os ânions, predominaram águas bicarbonatadas (49%), seguidas de águas cloretadas (45%) e mistas (6%). A classificação hidroquímica das águas subterrâneas realizada a partir do diagrama de Piper, que considera a distribuição das concentrações dos íons dominantes, permitiu identificar três grandes grupos hidroquímicos na bacia: um com predominância de cátions de sódio e potássio e de ânions de cloreto, um segundo grupo onde predominam os cátions de sódio e potássio e ânions de bicarbonatos, e um terceiro grupo em que as águas apresentam distribuição equilibrada entre cátions e que predominam os bicarbonatos (Figura 6). Portanto, as águas subterrâneas da região podem ser classificadas, de forma geral, em três grupos principais: sódicas cloretadas (40%), sódicas bicarbonatadas (24%) e bicarbonatadas mistas (21%) (Figura 6).

As águas sódicas cloretadas podem ser encontradas nos sistemas aquíferos Barreira Marinha (bm), Quaternário Costeiro I (qc1) e Quaternário Costeiro II (qc2), enquanto as amostras classificadas como sódicas bicarbonatadas se encontram apenas no Aquífero Quaternário Costeiro I (qc1).

Nos sete poços instalados no Sistema Aquífero Barreira Marinha (bm), predominam águas sódicas cloretadas (71%), sendo que águas mistas cloretadas e cálcicas mistas foram observadas em apenas um poço cada.

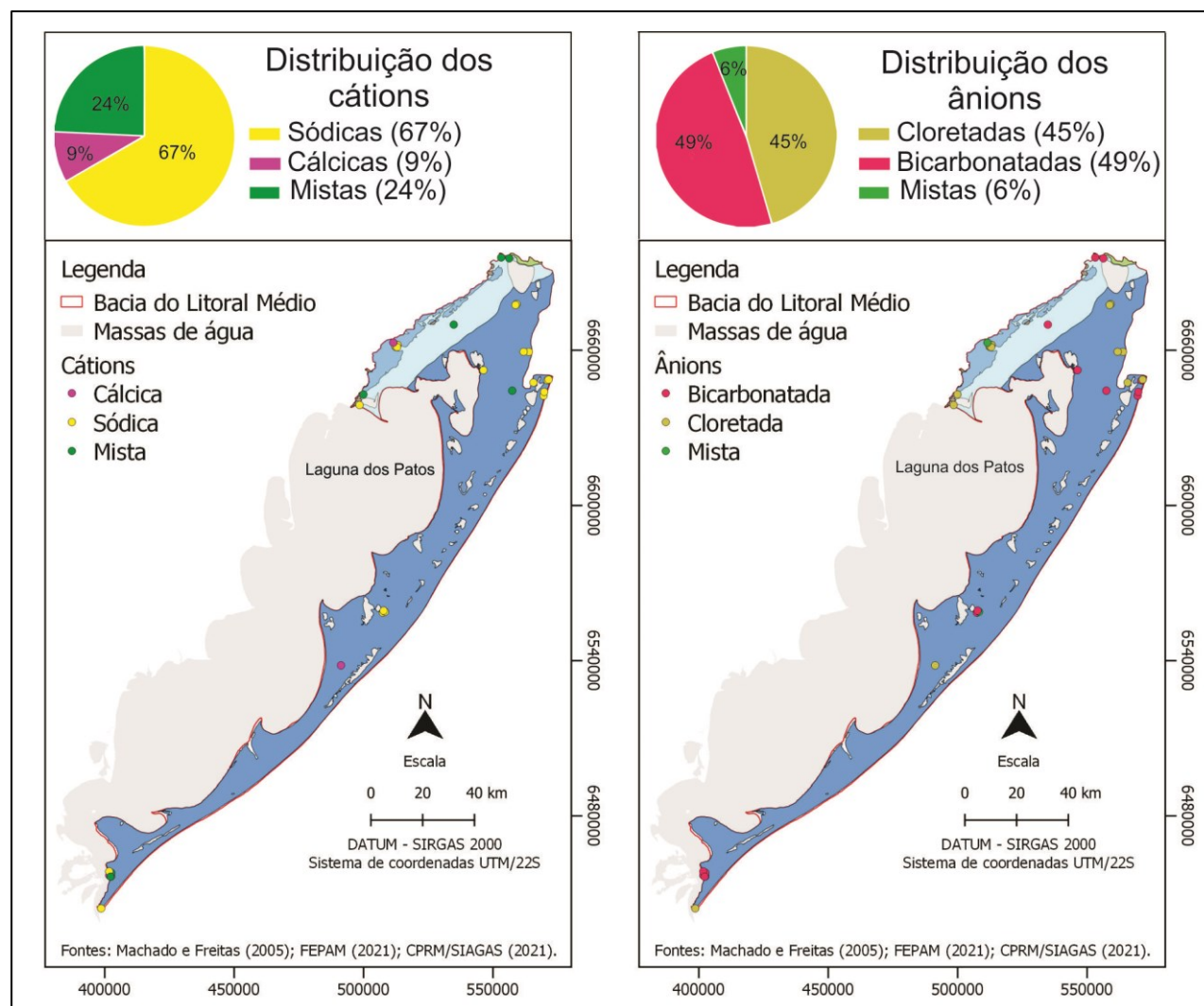


Figura 5 - Distribuição de cátions e ânions nas águas subterrâneas da Bacia Hidrográfica do Litoral Médio (RS). **Fonte:** Base cartográfica elaborada a partir de Machado e Freitas (2005), FEPAM (2021) e CPRM/SIAGAS (2021).

No Sistema Aquífero Quaternário Costeiro I (qc1), entre os 22 poços avaliados, predominam águas sódicas bicarbonatadas (36%) e sódicas cloretadas (32%) e, em menor proporção (18%) mistas bicarbonatadas. Águas sódicas mistas, cálcicas bicarbonatadas e cálcicas cloretadas foram obtidas em apenas um poço cada. Os resultados concordam com o encontrado por Machado e Freitas (2005).

O único poço instalado no Aquífero Serra Geral II apresentou águas mistas bicarbonatadas, assim como dois entre os três poços instalados no Aquífero Quaternário Costeiro II (qc2), sendo que o terceiro desse sistema indica águas sódicas cloretadas.

Outros estudos realizados na região da planície costeira do Rio Grande do Sul indicam a predominância de águas bicarbonatadas sódicas no Litoral Médio e Sul (REGINATO *et al.*, 2009). Estudos realizados na região do Litoral Norte, classificam as águas subterrâneas como bicarbonatadas a cloretadas sódicas (TROIAN *et al.*, 2015),

assim como nos Sistemas Aquíferos Quaternário I e Quaternário II (MACHADO; FREITAS, 2005).

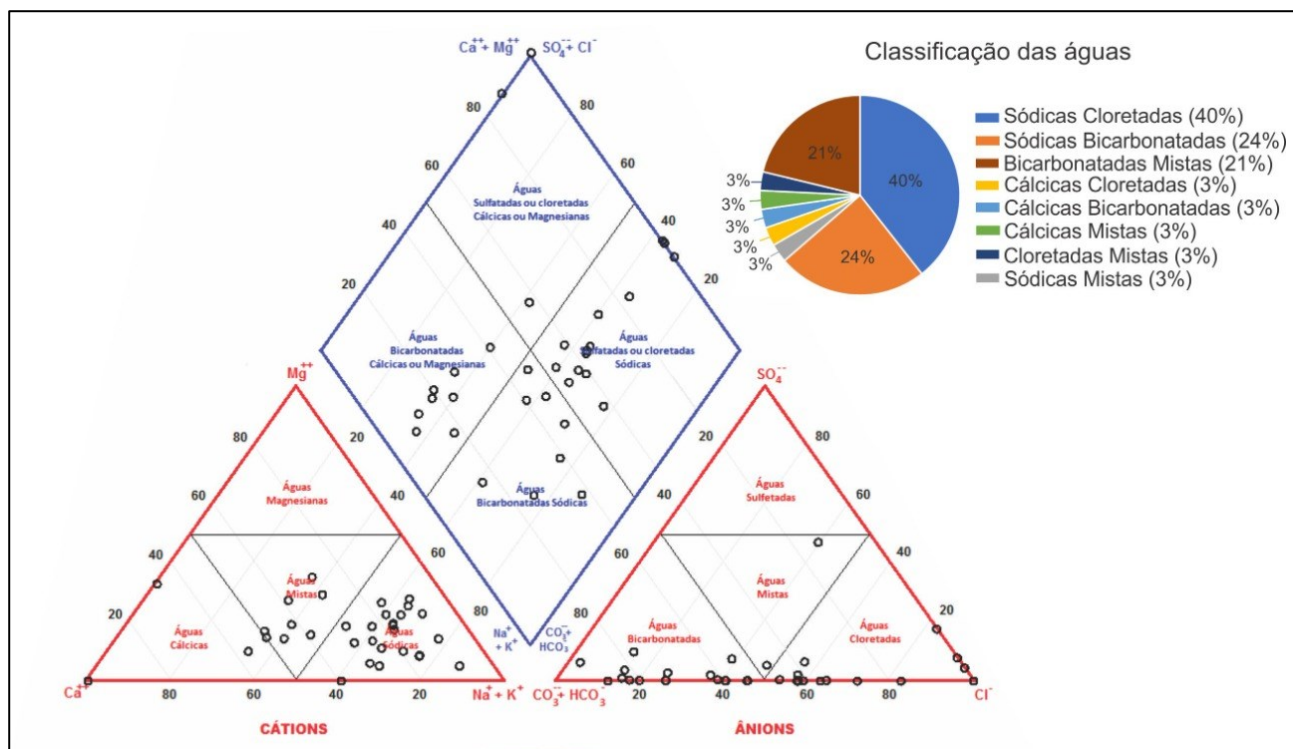


Figura 6 - Classificação hidroquímica das águas subterrâneas da Bacia Hidrográfica do Litoral Médio, a partir do diagrama de Piper. **Fonte:** Autoras (2022).

O monitoramento da qualidade das águas é fundamental para identificar uma eventual contaminação do sistema costeiro, como no caso de intrusão salina, e garantir que a água utilizada para consumo humano se encontre em conformidade com a legislação vigente. Porém, não há dados de monitoramento contínuo dos poços cadastrados o que, conseqüentemente, dificulta a análise evolutiva da qualidade dessas águas que possibilitaria a gestão adequada do recurso que está sendo utilizado. Tanto a resolução CONAMA nº 396/2008 (BRASIL, 2008) como a Portaria do MS nº 888/2021 (BRASIL, 2021), não apresentam VMP para pH, potássio, cálcio, magnésio, bicarbonato e carbonato, e condutividade elétrica. No entanto, essas análises são fundamentais para a classificação hidroquímica das águas e importantes indicadores de qualidade.

No caso das águas subterrâneas da Bacia Hidrográfica do Litoral Médio que foram avaliadas neste estudo (Tabela 2), estão em conformidade em relação aos Valores Máximos Permitidos para Sódio e Cloreto estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 396/2008 (BRASIL, 2008) e pela Portaria do MS nº 888/2021 (BRASIL, 2021), no entanto, dos 33 poços avaliados, 4 (4300022254, 4300025675,

430009523, 430009520) ultrapassaram o limite de turbidez (5 NTU) da Portaria do MS nº 888/2021 (BRASIL, 2021).

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Nesta pesquisa foi utilizado o programa Qualigraf, versão 1.1, de distribuição livre (MÖBUS, 2014). A ferramenta se mostrou muito útil para análises de qualidade da água, com interface intuitiva e amigável. Além disso, o documento fornecido pelo programa facilita seu uso evitando possíveis erros na inserção dos dados.

A partir dos dados analisados, observa-se deficiência na caracterização hidrogeoquímica das águas subterrâneas da Bacia Hidrográfica do Litoral Médio (RS) considerando que em apenas 32% dos poços os resultados das análises de qualidade de águas subterrâneas apresentaram o equilíbrio iônico, permitindo maior confiabilidade na interpretação dos resultados e na classificação hidroquímica.

A análise realizada nos poços instalados nos Sistema Aquíferos Barreira Marinha (bm) (7 poços) e Quaternário Costeiro I (qc1) (22 poços) indicam predomínio de águas sódicas cloretadas (71%) no primeiro sistema; águas sódicas bicarbonatadas (36%) sódicas cloretadas (32%) e mistas bicarbonatadas (18%) no segundo sistema. No Aquífero Serra Geral II (1 poço) e no Quaternário Costeiro II (qc2) (3 poços) observam-se águas mistas bicarbonatadas.

Todas as águas avaliadas se encontram em conformidade com Resolução CONAMA 396/2008 e a Portaria do Ministério da Saúde nº 888/2021, de acordo com os VMP para consumo humano, exceto em 4 poços (4300022254, 4300025675, 430009523, 430009520) que ultrapassaram o limite de turbidez. Ainda assim, cabe ressaltar que, para esse uso, as águas deverão passar por tratamento conforme as normas vigentes.

A Bacia Hidrográfica do Litoral Médio (RS) tem os seus recursos hídricos subterrâneos demandados para usos múltiplos, como o abastecimento público, a agropecuária, o plantio florestal e a indústria, devendo atender, entre outros, as demandas ecossistêmicas. Atualmente, o uso da terra por atividades agropecuárias e para o plantio florestal conformam mais de 53% do território da bacia, o que somado à elevada demanda de outros setores, indicam a necessidade de monitoramento e estudos que possibilitem efetivamente a gestão adequada do recurso para usos múltiplos, incluída a manutenção de ecossistemas dependente das descargas de águas doces e dos níveis rasos dos aquíferos livres, sem exaurir o seu potencial.

REFERÊNCIAS

ABAS - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS. **Águas subterrâneas o que são**. Disponível em: <http://www.abas.org/educacao.php#ind24>. Acesso em: 31 ago. 2021.

ABAS - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS. **Orientações para a utilização de águas subterrâneas no Estado de São Paulo**. 2015. Disponível em: <https://www.abas.org/arquivos/aguasf.pdf>. Acesso em: 28 abr. 2023.

ALBÉ, F. R. Os municípios. In: SCHÄFER, A.; LANZER, R.E; S., L. (Org.). **Atlas Sociambiental dos Municípios de Cidreira, Balneário Pinhal e Palmares do Sul**. Caxias do Sul: EDUCS, 2013. p. 231-238.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO – ANA. **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2022**: informe anual. Brasília, DF: ANA, 2023. Disponível em: <https://www.snirh.gov.br/portal/centrais-de-conteudos/conjuntura-dos-recursos-hidricos>. Acesso em: 29 abr. 2023.

BASSO, L. A. Bacias Hidrográficas do Rio Grande do Sul: implicações ambientais. In: VERDUM, R.; BASSO, L. A.; SUERTEGARAY, D. M. A. (Org.). **Rio Grande do Sul: paisagens e territórios em transformação**. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2012.

BRASIL. MINISTÉRIO DA SAÚDE. **Portaria nº 888, de 4 de maio de 2021**. Altera o Anexo XX da Portaria de Consolidação GM/MS nº 5, de 28 de setembro de 2017, para dispor sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 07 mai. 2021. Disponível em: <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/portaria-gm/ms-n-888-de-4-de-maio-de-2021-318461562>. Acesso em: 03 set. 2021.

BRASIL. CONAMA. CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **Resolução nº 396, de 3 de abril de 2008**. Dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 07 abr. 2008. Disponível em: <http://portalpnqa.ana.gov.br/Publicacao/RESOLU%C3%87%C3%83O%20CONAMA%20n%C2%BA%20396.pdf>. Acesso em: 03 set. 2021.

CAVALCANTE, I, N. et al. Qualidade das águas subterrâneas na Bacia Sedimentar de Iguatu – Área piloto Iguatu e Quixelô, estado do Ceará. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 13., 2004, Cuiabá. **Anais...** Cuiabá: ABAS, 2004.

CPRM/RIMAS - COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS/REDE INTEGRADA DE MONITORAMENTO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS. **Pesquisa Geral (Rimas)**. Serviço Geológico do Brasil / CPRM. 2021. Disponível em: http://rimasweb.cprm.gov.br/layout/pesquisa_complexa.php?rimas=true. Acesso em: 30 ago. 2021.

CPRM/SIAGAS - COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS / SISTEMA DE INFORMAÇÕES DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS (CPRM/SIAGAS). **Pesquisa Geral**. 2021. Pesquisa Geral. Serviço Geológico do Brasil / CPRM. Disponível em: http://siagasweb.cprm.gov.br/layout/pesquisa_complexa.php. Acesso em: 30 ago. 2021.

CPRM/SIAGAS - COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS / SISTEMA DE INFORMAÇÕES DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS. **Pesquisa Geral**. 2022. Pesquisa Geral. Serviço Geológico do Brasil / CPRM. Disponível em: http://siagasweb.cprm.gov.br/layout/pesquisa_complexa.php. Acesso em: 29 ago. 2022.

CUSTODIO, E.; LLAMAS, M. R. **Hidrologia subterrânea**. 2 ed. Barcelona: Omega, 1983. 42p.

DENARDIN, L. G. de O. *et al.* Salt-affected soils of the coastal plains in Rio Grande do Sul, Brazil. **Geoderma Regional**, v. 14, 2018.

EMPRABA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). **O novo mapa de solos do Brasil**: legenda atualizada. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2011. 67p.

EMPRABA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Atlas climático da região Sul do Brasil**: estados do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul. Brasília: Embrapa, 2012. Disponível em: <https://www.agricultura.rs.gov.br/upload/arquivos/202005/13110041-atlas-climatico-da-regiao-sul-do-brasil.pdf>. Acesso em: 30 abr. 2023.

FEITOSA, F. A. C. *et al.* (Org.). **Hidrogeologia**: conceitos e aplicações. 3. ed. Rio de Janeiro, CPRM: LABHID, 2008. 812p.

FUNDAÇÃO ESTADUAL DE PROTEÇÃO AMBIENTAL HENRIQUE LUIZ ROESSLER (FEPAM). **Região Hidrográfica do Litoral**: FEPAM. 2020. Disponível em: http://www.fepam.rs.gov.br/qualidade/bacias_hidro.asp. Acesso em: 30 dez. 2020.

FUNDAÇÃO ESTADUAL DE PROTEÇÃO AMBIENTAL HENRIQUE LUIZ ROESSLER (FEPAM). **Biblioteca digital**. 2021. Disponível em: http://www.fepam.rs.gov.br/biblioteca/geo/bases_geo.asp. Acesso em: 20 mai. 2021.

FORMENTINI, J.; MANCUSO, M.A. Groundwater ecosystem services for industrial use in coastal aquifer. In: SILVA R.; CHÁVEZ V. (Org.). **Water Perspectives in Emerging Countries. Integrating Ecosystems in Coastal Engineering Practice (INECEP)**. Göttingen: Cuvillier Verlag, 2017a, p. 179-188.

FORMENTINI, J.; MANCUSO, M. A. Conexión hídrica entre los bañados y las aguas subterráneas utilizadas por la industria de alimentos, 2017b, Acapulco. In: XXIV CONGRESO NACIONAL DE HIDRÁULICA. 24., Acapulco. **Anais...** Acapulco, 2017b. p.1-5.

LEITE, C. M. de C.; WENDLAND, E.; GASTMANS, D. Caracterização hidrogeoquímica de águas subterráneas utilizadas para abastecimento público na porção nordeste do Sistema Aquífero Guarani. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 26, p. 29-43, 2021.

LOGAN, J. **The Interpretation of Chemical Analyses of Water**. 1. Ed. U.S. Agency for International Development. 1965.

MACHADO, J. L. F.; FREITAS, M. A. de F. **Projeto Mapa Hidrogeológico do Rio Grande do Sul**. Relatório final. Porto Alegre: CPRM. 2005. Disponível em: <https://rigeo.cprm.gov.br/xmlui/handle/doc/5249?show=full>. Acesso em: 18 mai. 2021.

MAPBIOMAS. **Coleção 6 da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso de Solo do Brasil**. 2020. Disponível em: https://mapbiomas.org/colecoes-mapbiomas-1?cama_set_language=pt-BR. Acesso em: 04 set. 2021.

MARQUES, M. B.; SCHCH, C. H.; SIEDENBERG, D. R. Gestão das águas na região do Litoral Médio e Sul do Rio Grande do Sul- Brasil. **Informe GEPEC**, v. 13, n. 2, p. 70-84, 2009.

MMA - MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **MMA divulga municípios da zona costeira**. 2018. Disponível em: <https://www.gov.br/mma/pt-br/noticias/definidos-municipios-da-zona-costeira#:~:text=RIOH%20GRANDE%20DO%20SUL%3A%20Arroio,%2C%20Tramanda%2C%20e%20Xangri%2DL%C3%A1>. Acesso em: 28 jul. 2022.

MÖBUS, G. **Software QualiGraf**. v. 1.1. Ceará: Departamento de Recursos Hídricos, Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos. 2014. Disponível em: <http://www5.funceme.br/qualigraf/mi/midia/show/3>. Acesso em: 11 ago. 2021.

PAIM, R. A. *et al.* Análise hidroquímica e da aplicação de diferentes métodos de avaliação da qualidade da água subterrânea em aquíferos costeiros em Osório - RS. **Águas Subterrâneas**, v. 32, p. 337-345, 2018.

REGINATO, P. A. R.; MICHALSKI, E. Z. Contaminação da Água Subterrânea. In: SCHÄFER, A.; LANZER, R.; SCUR, L. (Org.). **Atlas Sociambiental dos Municípios de Cidreira, Balneário Pinhal e Palmares do Sul**. 1 ed. Caxias do Sul, EDUCS, p. 303-306. 2013.

REGINATO, P. A. R. *et al.* Água subterrânea utilizada para irrigação na Planície Costeira do Rio Grande do Sul e seu risco à salinização. **Águas Subterrâneas**, v. 1, p. 1-9, 2009.

REGINATO, P. A. R.; AHLERT, S. Geologia: Formação Geológica da Planície das Lagoas Costeiras. In: SCHÄFER, A.; LANZER, R.; SCUR, L. (Org.). **Atlas Sociambiental dos Municípios de Cidreira, Balneário Pinhal e Palmares do Sul**. Caxias do Sul: EDUCS, 2013. p. 23-30.

RIO GRANDE DO SUL. SECRETARIA DE PLANEJAMENTO, GOVERNANÇA E GESTÃO. DEPARTAMENTO DE PLANEJAMENTO GOVERNAMENTAL. **Atlas Socioeconômico do Rio Grande do Sul/Rio Grande do Sul**. Secretaria de Planejamento, Governança e Gestão. Departamento de Planejamento Governamental. – 6. Ed. – Porto Alegre: Secretaria de Planejamento, Governança e Gestão. Departamento de Planejamento Governamental, 2021. Disponível em: <https://atlassocioeconomico.rs.gov.br/inicial>. Acesso em: 5 set. 2021.

SANTOS, A. C. Noções de hidroquímica. In: FEITOSA, F. A. C.; MANOEL FILHO, J.; FEITOSA, E. C.; DEMÉTRIO, J. G. A. (Org.). **Hidrogeologia: Conceitos e Aplicações**. CPRM Serviço Geológico do Brasil/LABHID, 2008. p. 325-357.

SCHÄFER, A. A Planície Costeira do Rio Grande do Sul: sistema único. In: SCHÄFER, A.; LANZER, R. SCUR, L. (Org.). **Atlas Sociambiental dos Municípios de Cidreira, Balneário Pinhal e Palmares do Sul**. Caxias do Sul: EDUCS, 2013. p. 13-22. 2013.

SEMA - SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE E INFRAESTRUTURA. **Nota Técnica sobre Inserção de municípios e bacias hidrográficas no Estado do Rio Grande do Sul.** NOTA TÉCNICA nº 002/2020/DIPLA/DRHS Porto Alegre, SEMA. 2020.

Disponível em: <https://sema.rs.gov.br/upload/arquivos/202108/23155725-nt-dipla-2020-002-municipios-e-bacias.pdf>. Acesso em: 22 ago. 2021.

SILVA, J. M. *et al.* Hidroquímica das águas subterrâneas do Sistema Aquífero Barreiras na bacia do Rio Pirangi/RN. **Águas Subterrâneas**, v. 34, n. 1, p. 1-10, 2020.

SOUSA, C. J. da S.; BORGES, W. R.; PINHEIRO, K. S. F. Caracterização hidroquímica das águas subterrâneas do Sistema Aquífero Barreiras-Itapecuru na ilha do Maranhão, no litoral norte do Brasil. **Geociências**, v. 41, n. 02, p. 437-450, 2022.

TROIAN, G. C., GOFFERMANN, M.; FREITAS, M. A. Monitoramento quali-quantitativo do aquífero costeiro no litoral norte do estado do Rio Grande do Sul. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 18., 2015, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: ABAS, 2015. p. 1-10.

Recebido: 06.02.2023
Aceito: 24.04.2023