

VALORES BACKGROUND E AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA SUBTERRÂNEA DO SISTEMA AQUÍFERO COSTEIRO NA REGIÃO LITORAL MÉDIO E NORTE DO RS

Suzy Darley de Lima¹
Pedro Antonio Roehe Reginato²
Alfonso Risso³

Resumo: Este estudo investigou a relação entre geologia, uso e ocupação do solo e a composição da água subterrânea no Sistema Aquífero Costeiro do Rio Grande do Sul (SAC), analisando 17 parâmetros físico-químicos. Os resultados permitiram definir valores de *background* e anômalos para os diferentes parâmetros, bem como avaliar a qualidade com base na comparação com padrões de potabilidade. Elementos como STD, Al, Fe e Mn apresentaram *range* do *background* acima dos limites de potabilidade (515,6; 0,5; 2,0 e 0,7 mg/L), associados às características geológicas locais, indicando uma composição natural do sistema, enquanto os valores anômalos de nitrato (2,1 a 16,1 mg/L) apontaram para contaminação antrópica. Os resultados contribuem para entender a origem da contaminação da água subterrânea.

Palavras-chave: Valores anômalos. Contaminação. Recursos Hídricos Subterrâneos. Medidas de Proteção.

BACKGROUND VALUES AND ASSESSMENT OF GROUNDWATER QUALITY OF THE COASTAL ACQUIFER SYSTEM IN THE MIDDLE AND NORTHERN COAST REGION OF RS

Abstract: This study investigated the relationship between geology, land use and occupation and the composition of groundwater in the Rio Grande do Sul Coastal Aquifer System (SAC), analyzing 17 physicochemical parameters. The results allowed defining background and anomalous values for the different parameters, as well as evaluating quality based on comparison with potability standards. Elements such as STD, Al, Fe and Mn presented a background range above the potability limits (515.6; 0.5; 2.0 and 0.7 mg/L), associated with local geological characteristics, indicating a natural composition of the system, while the anomalous nitrate values (2.1 to 16.1 mg/L) pointed to anthropogenic contamination. The results contribute to understanding the origin of groundwater contamination.

Keywords: Anomalous values. Contamination. Groundwater resources. Protection Measures.

VALORES ANTECEDENTES Y EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA SUBTERRÂNEA DEL SISTEMA ACUÍFERO COSTERO EN LA REGIÓN DE LA COSTERA MEDIA Y NORTE DE RS

¹ Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, Instituto de Pesquisas Hidráulicas (IPH), Porto Alegre, Brasil, suzyd.lima@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-9431-8949>

² Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Departamento de Hidromecânica e Hidrologia (DHH), Porto Alegre, Brasil, pedro.reginato@ufrgs.br, <https://orcid.org/0000-0002-9739-7256>

³ Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Departamento de Obras Hidráulicas (DOH), Porto Alegre, Brasil, alfonso.risso@ufrgs.br, <https://orcid.org/0000-0003-1504-6127>

Resumen: Este estudio investigó la relación entre la geología, el uso y ocupación del suelo y la composición de las aguas subterráneas en el Sistema Acuífero Costero (SAC) de Rio Grande do Sul, analizando 17 parámetros fisicoquímicos. Los resultados permitieron definir antecedentes y valores anómalos para los diferentes parámetros, así como evaluar la calidad a partir de la comparación con estándares de potabilidad. Elementos como STD, Al, Fe y Mn presentaron un rango de fondo por encima de los límites de potabilidad (515,6; 0,5; 2,0 y 0,7 mg/L), asociado a características geológicas locales, indicando una composición natural del sistema, mientras que los valores anómalos de nitratos (2,1 a 16,1 mg/L) apuntaba a contaminación antropogénica. Los resultados contribuyen a comprender el origen de la contaminación de las aguas subterráneas.

Palabras clave: Valores anómalos. Contaminación. Recursos hídricos subterráneos. Medidas de protección.

Introdução

O entendimento da relação da geologia local com os elementos químicos presentes na água subterrânea contribui para identificação da origem de determinada contaminação.

Segundo Eby (2004) o melhor entendimento das relações que ocorrem entre os elementos químicos naturais e os produzidos pelo homem com o meio ambiente, é conhecida como o estudo da geoquímica ambiental e contribui na identificação, prevenção e controle das fontes potenciais de poluição do ar, do solo, dos sedimentos, das águas superficiais e subterráneas.

Neste contexto, observa-se a complexidade e importância das pesquisas em torno da qualidade da água subterrânea para consumo humano, visto que as altas concentrações acima dos limites aceitáveis para potabilidade, podem indicar contaminação de origem natural devido ao tipo de sedimento e/ou rocha e não necessariamente devido às pressões das atividades antrópicas que ocorrem no entorno de uma determinada captação, por exemplo. Assim, torna-se necessário, o entendimento de outros valores orientadores utilizados para distinguir a concentração natural de um determinado elemento químico e os efeitos da atividade antrópica nas concentrações, conhecido como *background* (Matschullat; Ottenstein; Reimann, 2000a).

Conforme apresentado por Rodrigues e Nalini Junior (2009), o termo *background* tem recebido conceitos diferentes em vários estudos, porém os autores apontam que os termos “*background* ambiental”, “*background* antropogênico” e “*background* local” são sinônimos e que se referem às substâncias poluentes oriundas de fontes antropogênicas em escala regional não identificadas.

Assim, a compreensão destes valores é uma importante ferramenta para a qualidade das águas e pode tornar as ações de captação de água potável menos onerosa e menos impactante ao meio ambiente, reduzindo as tentativas de perfurações de poços em locais com elevados teores de elementos químicos devido à geologia do meio, bem como a implantação de medidas de proteção das captações e das áreas de recarga de aquíferos direcionadas para a origem do problema, garantindo que essas zonas-chave sejam preservadas para manter a sustentabilidade hídrica a longo prazo.

No estudo desenvolvido por Troian (2020) é destacado o caso de poços abandonados devido a problemas de qualidade da água, cuja causa estava associada tanto a fontes naturais (em geral com excesso de ferro e manganês ou salinidade), como as fontes antrópicas.

No Brasil, os padrões de potabilidade da água são determinados pela Portaria do Ministério da Saúde (Brasil, 2021), enquanto os valores de referência de qualidade, bem como os valores máximos permitidos para avaliação da água subterrânea em diversos usos preponderantes, são definidos pelo Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA), conforme a resolução CONAMA 396/2008 (Brasil, 2008). Contudo, alguns estados têm aplicado metodologias diferentes quanto aos valores orientativos.

O estado de São Paulo tem utilizado valores de *background* na compreensão dos fatores condicionantes que influenciam as alterações na qualidade da água subterrânea, e geralmente é aplicada nos principais Sistemas Aquíferos do Estado. Isso ocorre porque diferentes aquíferos podem apresentar características geológicas, hidrogeológicas e de uso do solo distintas, o que influencia nos níveis naturais de elementos químicos na água. Segundo Lemos (2001), a metodologia utilizada envolve o cálculo do terceiro quartil (75%) dos resultados analisados. O método permite

identificar um ponto de referência que representa a concentração natural ou de fundo de determinadas substâncias químicas na água subterrânea.

O estudo de *background* é crucial para estabelecer os Valores de Referência de Qualidade e o Enquadramento das águas subterrâneas. Além disso, é relevante ressaltar que essa abordagem ainda não foi adotada em todos os estados do Brasil, o que confere um caráter original e inovador ao trabalho, possibilitando uma avaliação mais precisa dos impactos ambientais e uma gestão adequada dos recursos hídricos subterrâneos.

A área de interesse deste trabalho está inserida nos sistemas laguna-barreira III e IV, que pertence ao cordão arenoso entre a Lagoa dos Patos e o Oceano Atlântico. O sistema laguna-barreira III é o mais antigo, de idade pleistocênica, com depósitos de sedimentos praias e marinhos, com areias quartzosas finas a muito finas e de colorações diferenciadas. Já o sistema laguna-barreira IV é mais recente, de idade holocênica, caracterizado por areias praias e eólicas, que se desenvolveu por meio de cordões litorâneos regressivos, com a conservação de suas características em quase toda a planície costeira (Villwock & Tomazelli, 1995).

Esses depósitos de sedimentos são encontrados em diferentes profundidades, mas abaixo estão outras camadas de sedimentos mais antigos (terciárias), sendo também unidades aquíferas captadas pelos poços tubulares instalados na planície costeira (Troian, 2021).

Conforme o mapa hidrogeológico do Brasil apresentado por Machado & Freitas (2005), a região contempla os sistemas aquífero quaternário costeiro I e II (qcl e qcII), caracterizados como importante reserva de água para toda a faixa litorânea do Estado do Rio Grande do Sul, que se estende desde o município de Chuí (no Sul) até o município de Torres ao Norte da planície costeira, com probabilidade alta para encontrar água subterrânea (Machado & Freitas, 2005).

Municípios localizados no litoral do estado, como Arroio do Sal, Balneário Pinhal, Capão da Canoa, Capivari do Sul, Cidreira, Imbé, Maquiné, Mostardas, Osório, Palmares do Sul, São José do Norte, Tavares, Terra de Areia, Tramandaí, Xangri-lá, tem como o principal uso consuntivo das águas subterrâneas o abastecimento público, doméstico e irrigação. A demanda varia conforme a época do ano, em função do

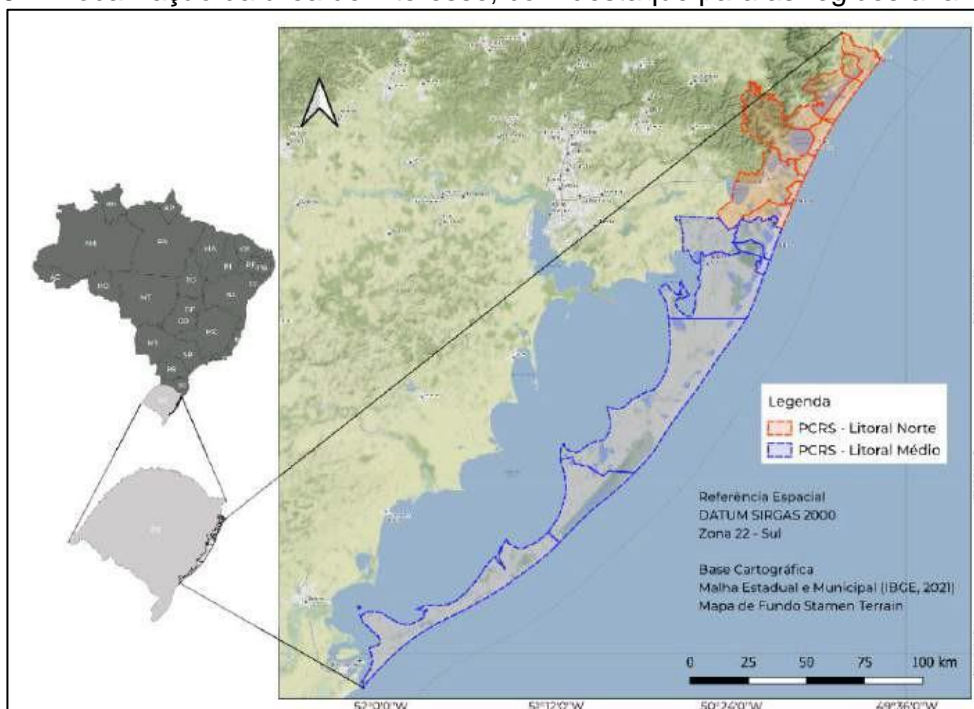
período de veraneio que provoca um aumento acentuado no número de habitantes da bacia, conforme citados no Plano de Bacia Hidrográfica do Rio Tramandaí (Furini; Lessa; Marques, 2005).

Neste sentido, o presente estudo foi desenvolvido visando avaliar a composição da água, os valores de *background* e a qualidade da água subterrânea oriundas do Sistema Aquífero Costeiro do Rio Grande do Sul (SAC) para os parâmetros pH, condutividade elétrica, sólidos totais dissolvidos, alcalinidade, bicarbonato, dureza total, sódio, potássio, cálcio, magnésio, cloretos, sulfato, alumínio, ferro, manganês, fluoreto, nitrato e estimar valores anômalos presentes no sistema aquífero analisado.

Materiais e métodos

A área de estudo situa-se na Planície Costeira do Rio Grande do Sul (PCRS) que se estende do município de Chuí (ao sul) até o município de Torres (ao Norte). Os dados do estudo são, especificamente, da região do litoral Médio e Norte da planície entre os municípios de São José do Norte a Torres, com aproximadamente 406 km de extensão (Figura 01).

A área é constituída pelo Sistema Aquífero Costeiro (SAC), que se caracteriza por aquíferos porosos, com comportamento livre, semiconfinado e confinados, localizados em diversas camadas de areia recobertas por sedimentos siltosos, argilosos e orgânicos (turfas) (Troian, 2021; Machado & Freitas, 2005).

Figura 01 - Localização da área de interesse, com destaque para as regiões analisadas.

Fonte: Elaborado pela autora.

De acordo com o banco de dados elaborados para este estudo, as águas subterrâneas na área de interesse são principalmente utilizadas para fins públicos e domésticos, representando cerca de 37% dos poços. Além disso, aproximadamente 17% são destinados a irrigação, enquanto outros usos constituem 16% do total. É importante ressaltar que 30% dos poços não têm uma descrição específica de uso. Observa-se que mais da metade da captação de água ocorre por meio da perfuração de poços ponteira (41%) e tubulares (38%), com 21% dos poços restantes sem descrição específica de tipo. A construção de poços fora dos requisitos técnicos e sanitários e instalados próximos a fossas, bem como o uso e ocupação irregular do solo podem alterar a composição das águas subterrâneas, agravando a sua poluição (Reginato; Michalski; Paim, 2017).

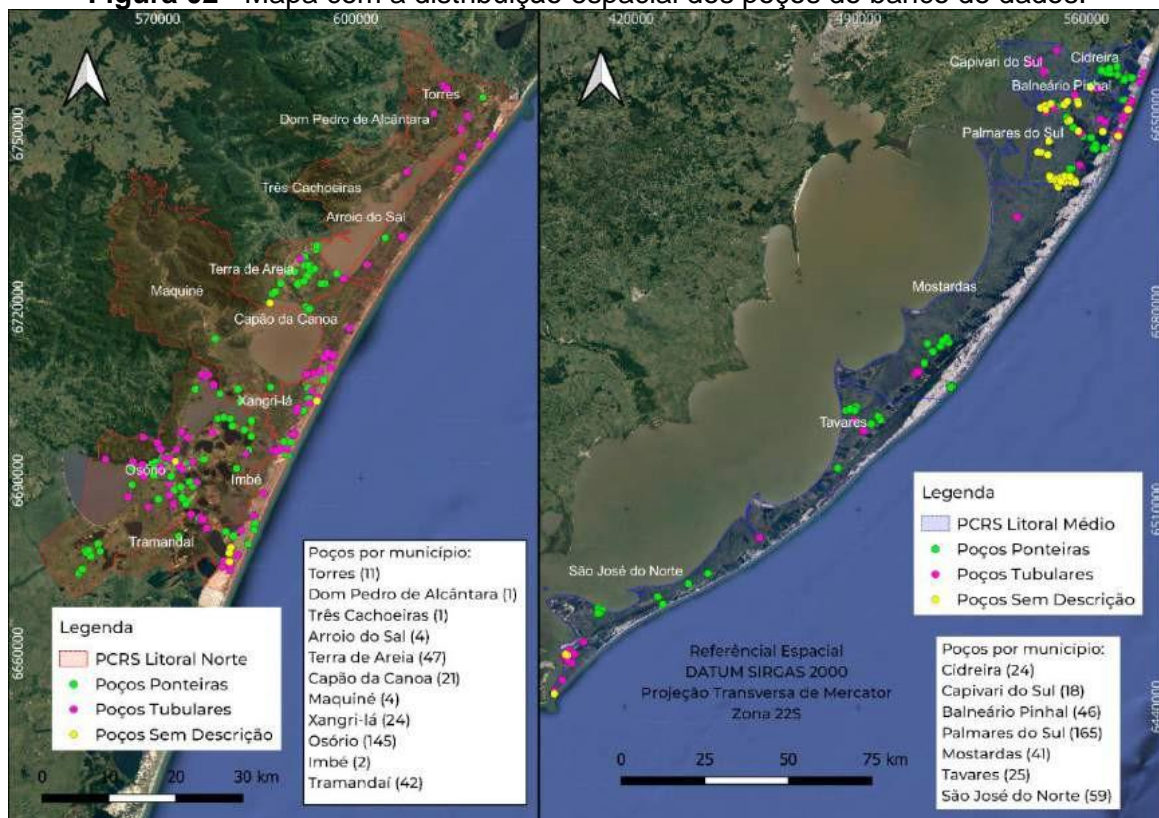
Os poços analisados possuem profundidade média de 39 m com apenas 26% dos poços atingindo profundidades maiores que 50 m. As seções filtrantes se encontram em diferentes profundidades.

A primeira etapa do trabalho consistiu na elaboração de um banco de dados em uma planilha do Excel contendo informações sobre o perfil geológico e construtivo

dos poços (camadas aquíferas, posição das secções filtrantes), bem como os dados físico-químicos disponibilizados nos boletins ou relatórios de análises físico-químicas para análise da qualidade da água e valores de *background* na área de estudo, contendo 680 pontos de captação de água.

Os dados foram obtidos junto à Companhia Riograndense de Saneamento (CORSAN); Sistema de Informações de Águas Subterrâneas (SIAGAS); Secretaria do Meio Ambiente e Infraestrutura (SEMA); empresas de perfuração; banco de dados de projetos desenvolvidos pelo grupo do Instituto de Pesquisas Hidráulicas (IPH) na região (Figura 02).

Figura 02 - Mapa com a distribuição espacial dos poços do banco de dados.



Fonte: Elaborado pela autora.

A consistência dos dados envolveu a seleção de poços com coordenadas de localização e parâmetros físico-químicos. Foram descartados parâmetros físico-químicos com poucos resultados analíticos disponíveis e dados que apresentaram valores discrepantes. A escolha dos parâmetros físico-químicos foi fundamentada em

uma combinação de referências e das características específicas locais como geologia, hidrogeologia e uso e ocupação do solo na região estudada.

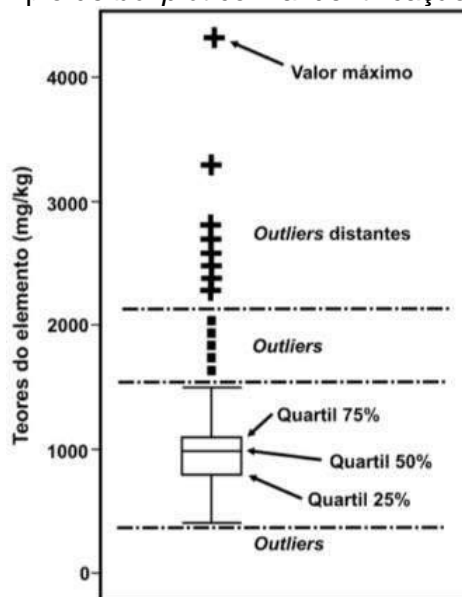
Para análise e interpretação dos resultados, os dados foram tabulados com o auxílio do programa Microsoft Excel, bem como a elaboração de gráficos, tabelas e análises estatísticas descritivas (média, mediana, desvio padrão, valor mínimo e máximo) para fins de caracterização da qualidade da água subterrânea na área de estudo.

Posteriormente, foram feitas avaliações dos ranges de *background* e identificação das anomalias, através do cálculo de diferentes quartis (25%, 50% e 75%) representados em gráficos *boxplot*.

Segundo Rodrigues e Nalini Junior (2009), valores inferiores e superiores a 1,5 vezes o limite do primeiro (25%) e do terceiro (75%) quartil podem ser considerados anômalos. Assim, este intervalo foi definido como o *range* dos valores de *background* e os resultados analíticos superiores ao limite deste *range*, em direção ao valor máximo, foram considerados anômalos incluindo os *outliers*, indicando elementos com comportamento incomum para a área em estudo, podendo ou não estarem relacionados com as alterações provocadas pelo homem no meio ambiente.

Na Figura 03 é apresentado um modelo de *boxplot*, onde o primeiro quartil (25%) e o terceiro quartil (75%) formam os lados de um retângulo (*box*), e entre eles é representado a mediana sendo o quartil 50%. As linhas (*whiskers*) se estendem de ambos os lados dos retângulos até os valores extremos sem incluir os outliers, e neste caso, resultados além das *whiskers* são considerados valores díspares e excessivos, conhecido como *outliers*, *outliers* distantes ou anômalos (Frizzo; Licht, 2007).

Para este estudo, foram feitas análises de parâmetros físico-químicos, apresentando as variações na distribuição dos dados e os limites para valores de *background*, bem como identificação dos dados anômalos.

Figura 03 - Exemplo de *boxplot* com a identificação de cada parte.

Fonte: Modificado de Rodrigues e Nalini Junior (2009).

Os poços que apresentaram anomalias foram plotados no mapa de uso e ocupação do solo e no mapa geológico, visando avaliar a correlação entre os diferentes tipos de sedimentos e seus ambientes de sedimentação, bem como com o tipo de utilização do solo nas áreas de captação com os valores anômalos.

O mapa de uso e ocupação do solo foi elaborado no *software* gratuito Qgis 3.22, com as classes de uso da terra, disponibilizadas na plataforma do MapBiomas e baixados através da plataforma de livre acesso do *Google Earth Engine*, visando realizar uma observação visual do uso da terra na área dos poços. O mapa geológico foi elaborado em ambiente de sistema de informação geográfica (SIG), a partir do arquivo vetorial baixado do site do Serviço Geológico do Brasil (CPRM) com a sobreposição dos poços com anomalias para alguns parâmetros, a partir desta avaliação prévia foram relacionados a geologia das áreas com as anomalias estimadas através da metodologia apresentada por Rodrigues e Nalini Junior (2009).

Resultados e Discussões

Dentre o conjunto de dados disponíveis realizou-se análise estatística descritiva para os parâmetros pH, condutividade elétrica (CE), sólidos totais dissolvidos (STD), alcalinidade, bicarbonato (HCO_3), dureza total, sódio (Na), potássio (K), cálcio (Ca),

magnésio (Mg), cloretos (Cl), sulfato (SO₄), alumínio (Al), ferro total (Fe), manganês (Mn), fluoreto (F) e nitrato (N-NO₃) (Tabela 01). Assim, foi possível determinar as concentrações mínimas, máximas, médias e medianas, além de outras variáveis importantes destes parâmetros, e comparar com os respectivos limites de aceitação de água para consumo humano determinado pela Portaria GM/MS n.º 888/2021.

Tabela 01 – Análise estatística descritiva do conjunto de dados.

Parâmetros	VMP ¹	Amostras	Mínimo	Máximo	Média	Mediana	1ºQuartil	3ºQuartil
pH	6 – 9 ^A	410	4,0	9,0	6,9	7,2	6,2	7,7
CE (µS/cm)		398	24,9	4675,0	394,7	237,5	116,6	497,6
STD (mg/L)	500	292	14,0	2801,0	260,2	194,0	100,0	343,8
Alcalinidade (mg/L)		241	0,98	660,00	110,80	110,20	24,30	166,00
HCO ₃ ⁻ (mg/L)		198	1,1	502,6	149,7	156,5	64,7	206,7
Dureza (mg/L)	300	294	0,03	440,00	86,40	67,20	27,90	124,00
Na (mg/L)	200	308	0,35	1250,00	54,90	24,50	12,00	58,50
K (mg/L)		237	0,01	45,30	4,90	2,30	1,10	5,90
Ca (mg/L)		302	0,39	438,00	27,70	19,00	6,70	38,00
Mg (mg/L)		305	0,07	223,00	9,90	5,39	2,70	9,53
Cl (mg/L)	250	318	0,03	1310,00	62,70	25,00	10,50	55,00
SO ₄ (mg/L)	250	242	0,004	344,000	9,200	3,500	1,300	7,100
Al (mg/L)	0,2	90	0,01	3,10	0,30	0,11	0,05	0,30
Fe (mg/L)	0,3	258	0,001	23,000	1,700	0,400	0,100	1,310
Mn (mg/L)	0,1	210	0,01	5,50	0,30	0,13	0,03	0,43
F (mg/L)	1,5	201	0,01	3,02	0,30	0,20	0,10	0,36
N-NO ₃ (mg/L)	10	155	0,002	16,100	1,200	0,400	0,100	1,400

¹ Valor Máximo Permitido da Portaria GM/MS n.º 888/2021 do Ministério da Saúde.

A Recomendação de pH.

Os valores em vermelho indicam resultados acima do VMP.

Os íons Na, Ca, Mg, K, Cl, HCO₃ e SO₄, representam os principais constituintes das águas subterrâneas, sendo disponibilizados pela dissolução dos minerais que compõem os aquíferos. O sódio, o cálcio e o magnésio tendem a ser liberados na água, mais facilmente por intemperismo e possuem mobilidade elevada, enquanto o potássio é considerado intermediário (Drever, 1997). Estes elementos estão presentes em quase toda a planície, no entanto, os dados apresentam concentrações medianas baixas, sendo 24,50 mg/L, 19,00 mg/L, 5,39 mg/L e 2,30 mg/L, respectivamente. Os elementos cloreto, sulfato e sódio são citados na portaria de potabilidade, onde apresentaram valores elevados, indicando limites não aceitáveis para consumo humano em alguns poços, na maioria tubulares.

Em relação às concentrações de sódio acima do VMP (200 mg/L) foram encontradas em 4 poços tubulares com intervalos entre 209,50 e 1250,00 mg/L e 1

poço ponteira (324,00 mg/L). Já o elemento cloreto (VMP 250 mg/L) estava presente em 10 poços tubulares com concentrações entre 272,00 e 1.310,05 mg/L e 1 ponteira 295,00 mg/L. Quanto aos valores de SO_4 , um poço apresentou águas com concentrações elevadas (344,000 mg/L), sendo acima do VMP 250 mg/L. Estes parâmetros com valores elevados podem estar associados as águas mais profundas interceptando camadas depositadas em ambientes marinhos antigos, também podem ter como origem as atividades antrópicas como contaminação e o avanço da cunha salina por exploração indiscriminada das águas subterrâneas.

Os resultados do pH revelaram uma mediana que se enquadra nos padrões recomendados pela portaria de potabilidade. Entretanto, no conjunto de dados (410), observa-se valores extremos com amplitude variando entre 4,0 e 9,0, indicando a presença tanto de águas ácidas quanto mais alcalinas. Esses extremos foram registrados em Terra de Areia e Balneário Pinhal, ambos provenientes de poços do tipo ponteira com profundidades inferiores a 18 metros. Valores semelhantes foram encontrados por Paim (2018) na região de Osório/RS, por Troian (2021) e Jeske (2022) em toda a PCRS e Rosa (2023) na região de Terra de Areia/RS onde apresentaram médias em torno de 5,43, evidenciando valores mais baixos típicos desse sistema.

Os parâmetros ferro e manganês, apresentaram concentrações de mediana, 0,400 e 0,13 mg/L, respectivamente, acima do indicado pela portaria de potabilidade (0,3 e 0,1 mg/L), evidenciando concentrações elevadas em 47 poços ponteira e em 86 poços tubulares com variações entre 0,3 e 23,000 mg/L para o parâmetro ferro. As maiores concentrações para o metal manganês foram registradas em poços tubulares (67) com variações entre 0,10 e 5,50 mg/L e nos poços ponteira (34) o valor máximo encontrado foi de 2,80 mg/L. A ocorrência de elevados teores de ferro em poços ponteira foi encontrada no trabalho de Bobsin (2013), onde o autor associa as altas ocorrências a depósitos de sedimentos com matéria orgânica.

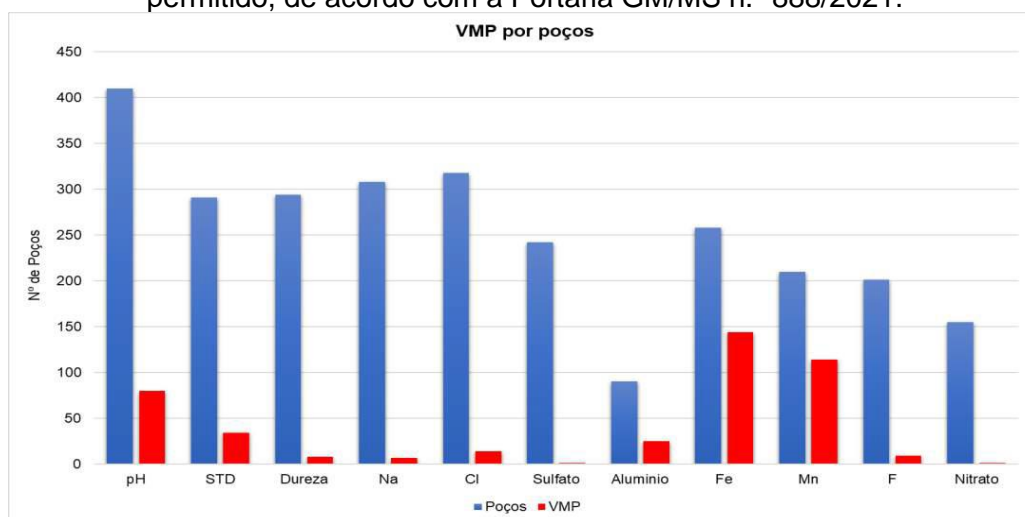
Em relação ao nitrato (N-NO_3), as concentrações são menores que a mediana (< 0,4 mg/L) em 49% dos poços (70), destes 30% são do tipo tubulares variando entre 0,002 e 0,380 mg/L. Valores superiores à mediana foram encontradas nos poços do

tipo ponteiros, variando entre (0,400 e 16,100 mg/L) com entradas d'água mais rasa, equivalente a 37% dos poços.

No contexto geral, foi possível identificar a presença de 267 pontos de captação que exibiram algum parâmetro (STD, Dureza, Na⁺, Cl⁻, SO₄²⁻, Al, Fe, Mn, F⁻, N-NO₃⁻) com valores superiores aos permitidos pela portaria de potabilidade, correspondente a 39% dos pontos de captação contidos no conjunto de dados analisado.

A análise dos dados revelou que os elementos Ferro, Manganês e Alumínio destacam-se como os principais responsáveis por excederem o VMP, quando comparados proporcionalmente ao número de poços avaliados para cada elemento, conforme apresentado na Figura 04 - , onde observa-se que 59% (144 poços), 55% (114 poços) e 31% (25 poços), respectivamente, excederam o VMP.

Figura 04 - Quantidade de poços analisados por parâmetros acima do valor máximo permitido, de acordo com a Portaria GM/MS n.º 888/2021.



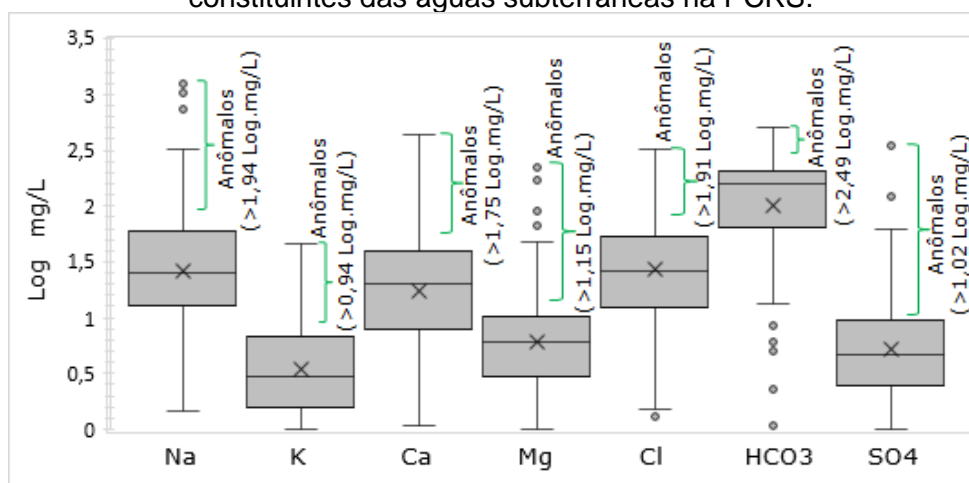
Fonte: Elaborado pela autora.

Em seguida, outros parâmetros também apresentaram valores acima dos limites estabelecidos, tais como pH com 20% (80 poços) dos poços afetados, STD com 12% (34 poços), Cloreto com 4% (14 poços), Fluoreto com 4% (9 poços), Dureza total com 3% (8 poços); Sódio com 2% (7 poços); Nitrato com 0,6% (1 poço) e Sulfato com 0,4% (1 poço).

Os resultados da avaliação do *background* são apresentados na Figura 05, onde é possível visualizar os gráficos *boxplot*, com representação em escala

logarítmica, com a distribuição das concentrações dos principais constituintes da água subterrânea (Na, K, Ca, Mg, Cl, HCO₃ e SO₄) e representação dos dados anômalos, definidos após a aplicação da metodologia. Os respectivos valores de *ranges* de *backgrounds* encontrados foram: 1,26 a 1,94 Log mg/L para Na, 0,20 a 0,94 Log mg/L para K, 1,00 a 1,75 Log mg/L para Ca, 0,60 a 1,15 Log mg/L para Mg, 1,20 a 1,91 Log mg/L para Cl, 1,99 a 2,49 Log mg/L para HCO₃ e para sulfato 0,28 a 1,02 Log mg/L.

Figura 05 - Representação *boxplot* e relação das concentrações anômalas dos principais constituintes das águas subterrâneas na PCRS.

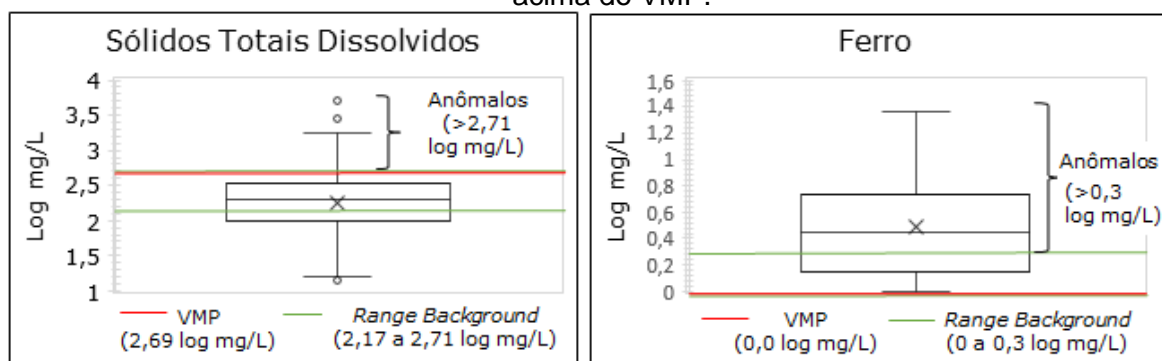


Fonte: Elaborado pela autora.

Os valores de *backgrounds* mostrados na Figura 06 excedem o limite máximo permitido, conforme definido pela Portaria GM/MS n.º 888/2021, que aborda a potabilidade da água para os parâmetros físico-químicos, incluindo sólidos totais dissolvidos e ferro. Os *ranges* dos valores de *background* encontrados foram 2,17 a 2,71 e 0,0 a 0,3 Log mg/L, respectivamente.

O conjunto de dados evidência uma tendência de valores elevados para os elementos analisados, onde os valores de *background* são relacionados com a geologia local sem interferência antrópica, caracterizados como de origem natural. O elemento ferro apresentou *background* 7 vezes acima do valor referência para consumo humano.

Figura 06 - Valores de *background* e valores anômalos dos parâmetros físico-químicos acima do VMP.

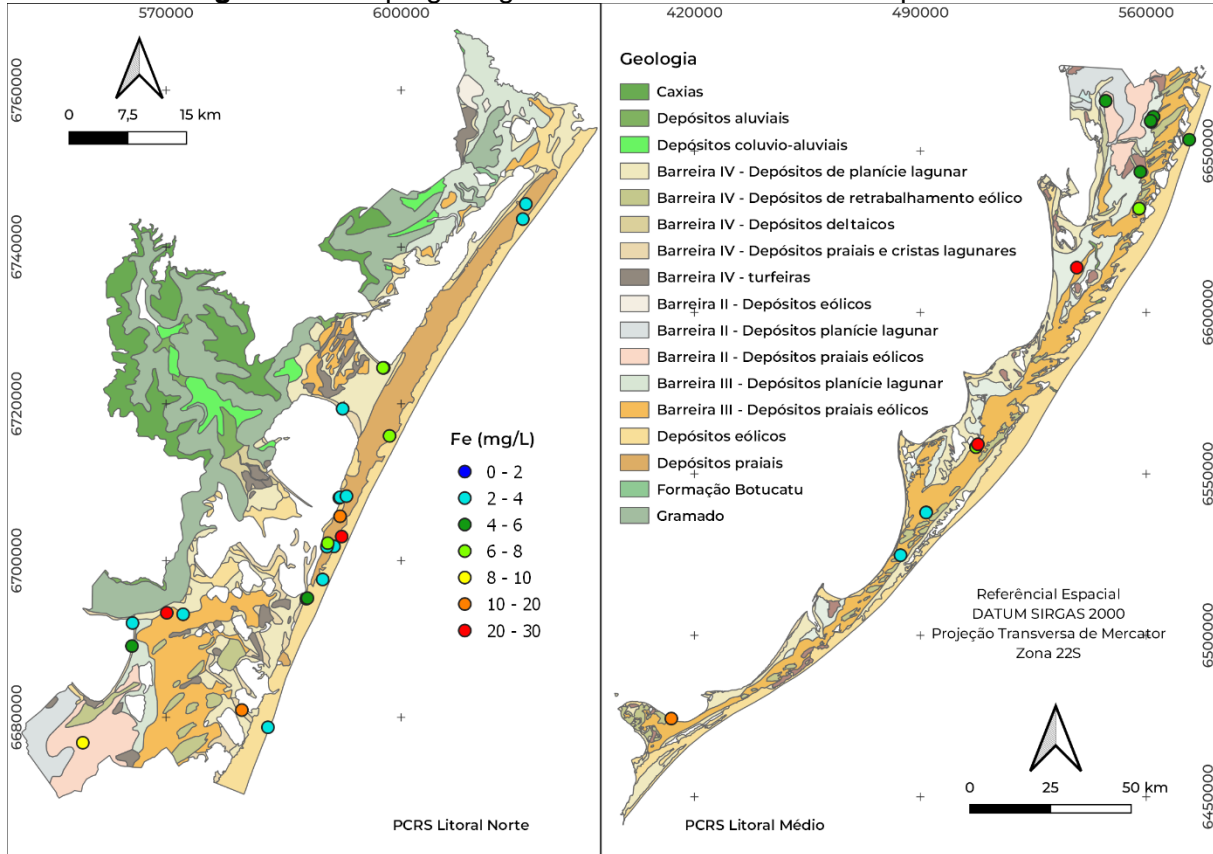


Fonte: Elaborado pela autora.

Nas Figuras 07 e 08, observam-se poços tubulares sobrepostos ao mapa geológico, com anomalias para ferro com concentrações acima de 2,000 mg/L e manganês acima de 0,70 mg/L instalados na PCRS e muitos estão inseridos em regiões com presença de sedimentos do sistema Laguna-Barreira IV (depósitos eólicos, praias e lagunares). No entanto, se considerarmos as profundidades dos poços tubulares, é possível perceber que suas seções filtrantes estão situadas em camadas de sedimentos mais antigas (pleistocênicas), que foram depositadas em diferentes condições ambientais (marinho raso, profundo, lagunar, etc...), conforme evidenciado nos estudos conduzidos por Rosa (2023).

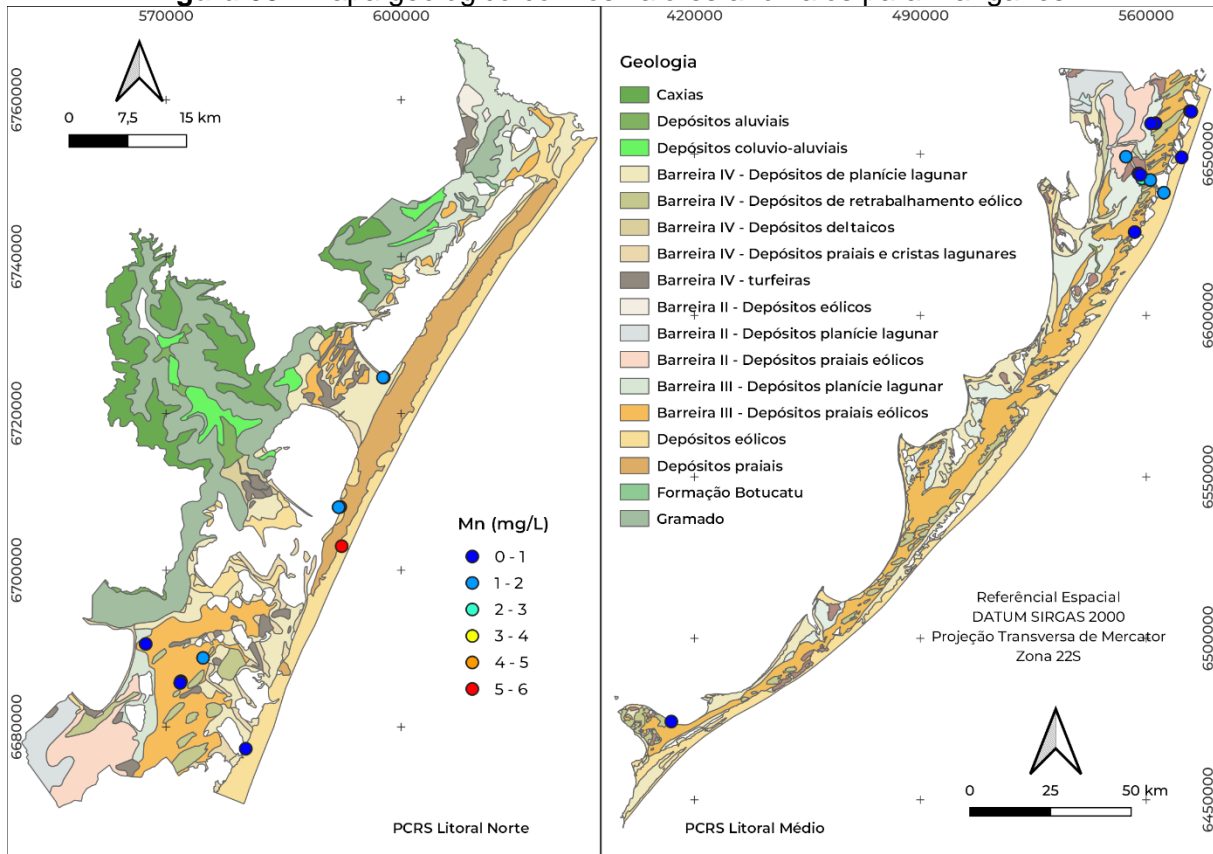
O autor ressalta a ocorrência de elevadas concentrações de elementos como cloreto, ferro e manganês em poços com seções filtrantes localizadas entre 24 e 30m de profundidade, bem como entre 38 a 44m de profundidade, ambas com predomínio da presença de argila arenosa. Já em profundidades mais rasas entre 12 e 20m, as concentrações foram menores.

Figura 07 - Mapa geológico com os valores anômalos para ferro.



Fonte: Elaborado pela autora.

Na porção média da área estudada são encontrados poços tubulares com teores de ferro mais elevados, como 23,000 e 7,000 mg/L inseridos na Barreira III com depósitos praias eólicos, bem como teores de 23,000 e 5,440 mg/L inseridos na Barreira III com depósitos de planície lagunar. Bobsin (2013) apresenta que a região estudada tem possibilidade de ocorrência de águas com maior concentração de ferro, visto que os sedimentos presentes em camadas pleistocênicas tendem a apresentar óxidos e hidróxidos de ferro.

Figura 08 - Mapa geológico com os valores anômalos para manganês.

Fonte: Elaborado pela autora.

Por meio das análises estatísticas, é possível observar que os valores classificados como anômalos são mais incomuns na área de estudo. No entanto, ao sobrepor esses valores ao mapa geológico, nota-se que o aumento pode estar relacionado à origem natural, devido às camadas de sedimentos captados pelos filtros dos poços, e não às alterações do meio ambiente provocadas pelo homem no entorno dos poços, conforme observado nos mapas geológicos.

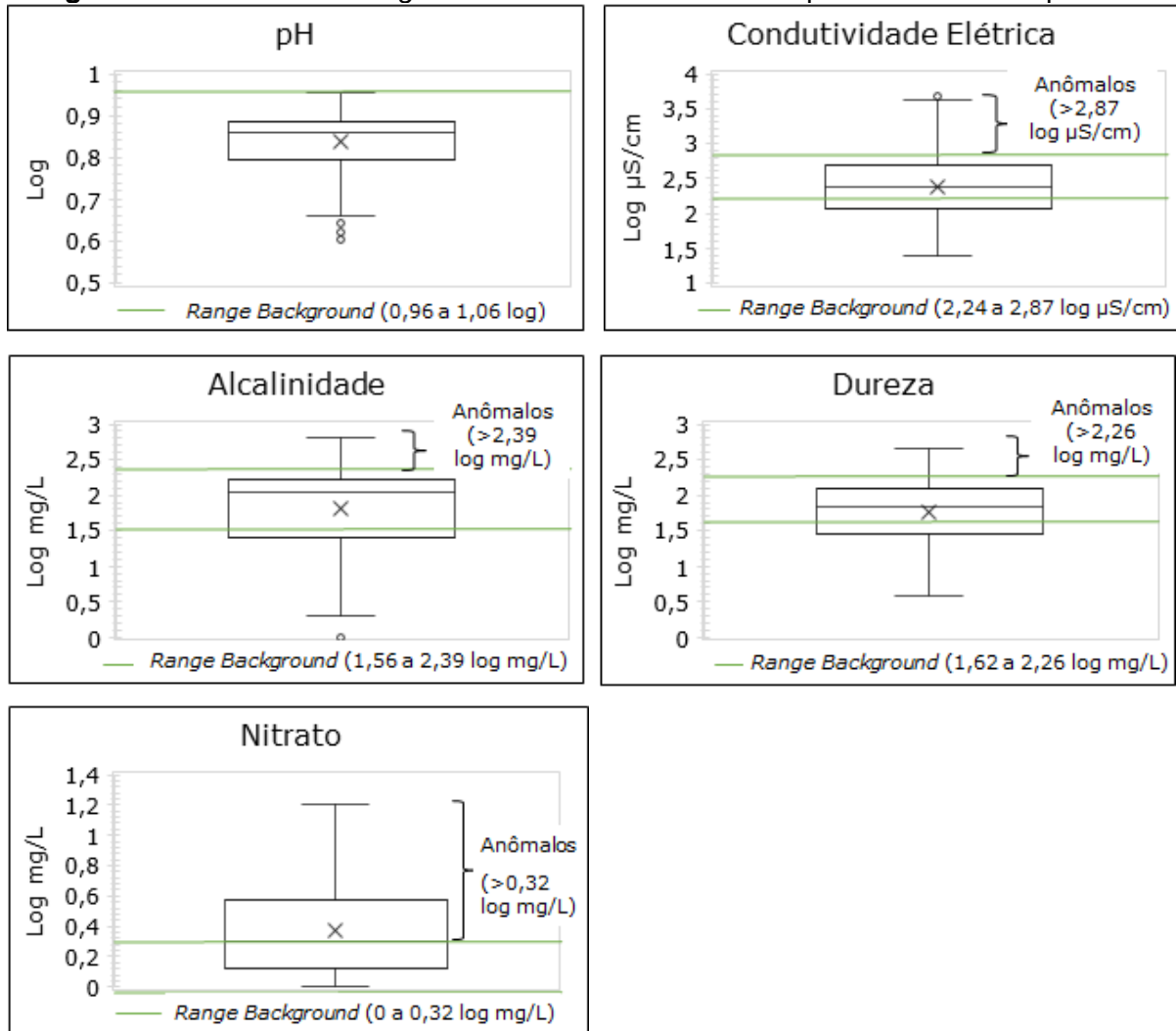
Os valores de condutividade elétrica apresentados na Figura 09, tem uma distribuição por quartis que variam entre 2,06 e 2,69 Log $\mu\text{S}/\text{cm}$, 1º e 3º quartil respectivamente. Valores acima de 2,87 Log $\mu\text{S}/\text{cm}$ que representam 12% (48) dos dados indicam a ocorrência de águas mais mineralizadas sendo que as causas podem estar relacionadas com: maior grau de confinamento e tempo de residência dos aquíferos localizados em camadas mais profundas; influência da cunha salina ou até mesmo processos de contaminação.

Em relação à análise da concentração do parâmetro alcalinidade os valores acima de 2,39 Log mg/L, que representam 5% (11 dados), podem ser considerados como anômalos. Já no caso do parâmetro Dureza, os valores anômalos representam 8% (24) dos dados, com resultados acima de 2,69 Log mg/L. Valores maiores de alcalinidade e de dureza podem ter relação com camadas aquíferas que estão localizadas em camadas de sedimentos que contenham fragmentos de conchas, sendo que as mesmas podem ser fontes de carbonatos e cálcio para a água.

No caso dos fluoretos 12% (23) tem valores anômalos superiores a 0,5 mg/L, indicando que no sistema aquífero costeiro há ocorrência desse elemento dissolvido na água. No entanto valores anômalos mais elevados não é comum e sua origem pode estar associada a possível misturas de água ascendentes vindas do Sistema Aquífero Guarani, visto que na região do litoral Norte, em maior profundidade há ocorrência desse sistema (Paiva, 2014).

Valores inferiores ao segundo quartil ($< 0,3$ mg/L) para o elemento fluoreto, foram encontrados em trabalhos realizados por Troian; Goffermann; De Freitas (2014) em poços de monitoramento instalados na Planície Costeira do Rio Grande do Sul.

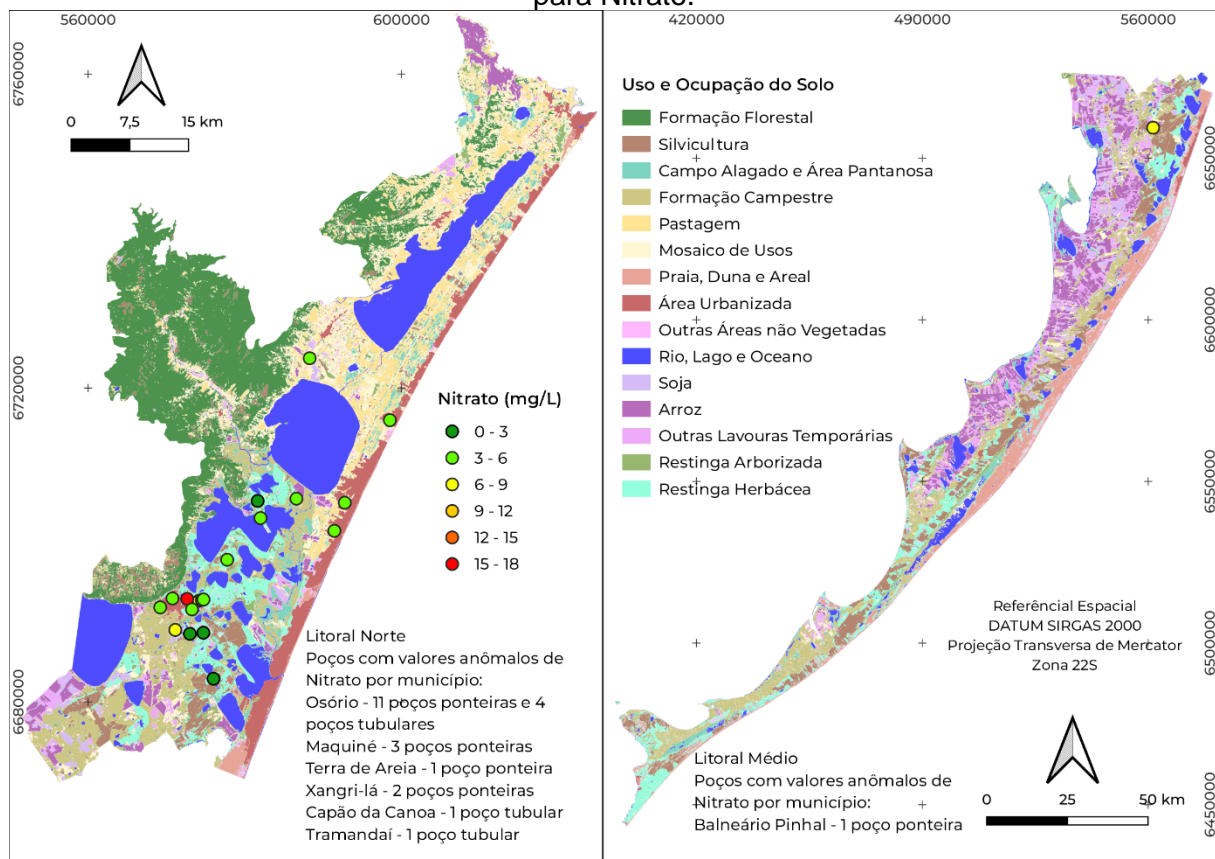
Quanto aos parâmetros de pH e nitrato apresentados na Figura 09, os valores de *background* encontrados estão abaixo dos VMP preconizados pela portaria de potabilidade. Ressalta-se a significativa ocorrência de valores anômalos do Nitrato representando 16% (25) dos dados com valores superiores a 2,1 mg/L (0,32 Log mg/L), os quais ultrapassam o *range* do *background*, ou seja, essas concentrações não são típicas do SAC, podendo ser indicativos de contaminação resultante da intervenção humana, como o uso e ocupação do solo de forma inadequada. Observou-se que concentrações abaixo de 2,1 mg/L (84%) são comuns no SAC, conforme evidenciado por Paim (2018). No entanto, é relevante mencionar que o valor máximo permitido para consumo humano é de 10 mg/L.

Figura 09 - Valores de *background* e anômalos dos demais parâmetros físico-químicos.

Fonte: Elaborado pela autora.

O mapa de uso e ocupação do solo é apresentado na Figura 10 onde foi possível observar 17 poços ponteira com concentrações elevadas de Nitrato e valores anômalos entre 2,8 e 16,1 representando as maiores concentrações e 6 poços tubulares 2,37 e 4,81 mg/L, com a maioria localizados em áreas urbanizadas e em regiões com densidade populacional maior, instalados na porção Norte da PCRS. Por exemplo, poço instalado no município de Osório (16,1 mg/L) e Balneário Pinhal (8,34 mg/L) ambos em área urbana e Terra de Areia (3,53 mg/L) com poço em regiões de agricultura e pastagem, essas fontes de captação apresentaram valores acima dos respectivos *backgrounds*.

Figura 10 - Mapa de uso e ocupação do solo com localização dos poços com anomalias para Nitrato.



Fonte: Elaborado pela autora.

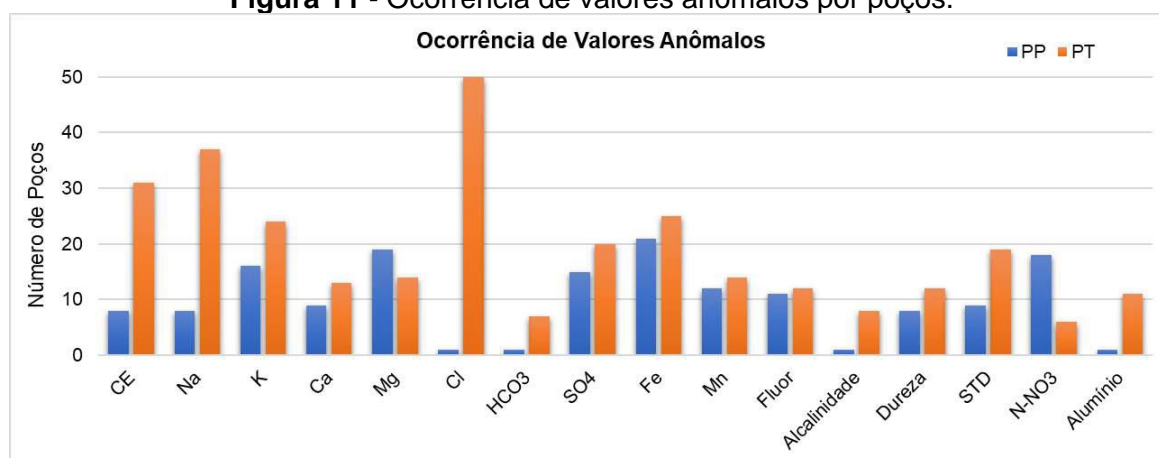
O SAC é um reservatório de água subterrânea de grande importância para o desenvolvimento das comunidades inseridas na PCRS. Suas águas são usadas para abastecimento público em diversas comunidades e são utilizadas para irrigação e atividades industriais locais. Reginato e Michalski (2013) relatam que municípios da PCRS tem como principal fonte de abastecimento a água subterrânea, especialmente nas áreas rurais. A água na região tem boa qualidade, no entanto, podem ocorrer alguns problemas de contaminação, tanto de origem natural quanto antrópica.

Os problemas naturais estão relacionados à presença de elementos como ferro, fluoreto, cor e turbidez, que podem afetar a qualidade organoléptica da água e que inferem na aceitação para consumo humano. Por outro lado, a contaminação antrópica, como a ocorrência de maiores valores de nitrato, pode estar associada à presença de fossas sépticas ou outras atividades humanas.

A Figura 11 apresenta uma síntese da relação da ocorrência de valores anômalos por quantidade e tipo de poços para cada elemento. Observa-se que entre os cinco elementos que mais estão presentes nos poços analisados são: o cloreto em 51 poços (50 poços tubulares - PT e 1 poço ponteira - PP), o ferro em 46 poços (25 PT e 21 PP), o sódio 45 poços (37 PT e 8 PP), o potássio 40 (24 e 16 PP) e a condutividade elétrica 39 (31 PT e 8 PP). A qualidade das águas do SAC varia conforme os sedimentos presentes na região, bem como com a profundidade na qual está ocorrendo a captação.

Os valores anômalos para nitrato têm sido registrados em poços ponteira, corroborando com a possibilidade de contaminação devido às atividades humanas. Em geral os poços ponteira têm pequenas profundidades, não possuem laje de proteção sanitária e estão localizados próximos das residências, que normalmente usam fossas como sistema individual de esgotamento sanitário. Assim, a contaminação por compostos nitrogenados passa a ter mais chance de ocorrer, por isso é mais comum a ocorrência de valores maiores de nitrato nesses poços.

Figura 11 - Ocorrência de valores anômalos por poços.



Fonte: Elaborado pela autora.

Os poços tubulares com anomalias para nitrato estão presentes na região Norte, principalmente em áreas urbanas, conforme descrito nas categorias de classes do MapBiomas. É importante notar que os valores superiores do *background* para STD, o alumínio, o ferro e o manganês excedem os limites máximos permitidos (VMP), possivelmente devido às características geológicas/hidrogeológicas locais. Os poços

instalados em camadas de sedimentos mais recentes, geralmente do período holocênico, tendem a indicar água de melhor qualidade. No entanto, alguns desses poços tubulares captam água tanto de aquíferos livres, como de unidades aquíferas mais profundas, resultando em uma interconexão entre camadas aquíferas e, conseqüentemente, em uma mistura de águas que altera a composição química da água.

Os poços mais profundos geralmente captam águas de aquíferos localizados em camadas de sedimentos pleistocênicos, incluindo depósitos marinhos e lagunares. De acordo com Rosa (2023), aquíferos associados a sedimentos depositados em ambientes lagunares, pantanosos e marinhos podem apresentar águas salobras com elevada concentração de cloretos, sódio e maior condutividade elétrica. O autor identificou vários poços tubulares que captavam água de aquíferos localizados nessas camadas de sedimentos e apresentavam valores elevados para esses parâmetros.

Bobsin (2013) relata que os sedimentos argilosos com matéria orgânica apresentam óxidos e hidróxidos de ferro, contribuindo com o aumento dos teores de ferro na água. Assim, as anomalias podem ser de origem natural características dessas camadas, com exceção para o nitrato que tende a estar relacionadas com atividades humanas, tendo como origem fontes orgânicas como lixões, esgoto doméstico e cemitérios, que também podem ser responsáveis pelo aumento do teor de cloreto nas águas.

Os valores anômalos para potássio foram encontrados em maior número na parte central da área de estudo, envolvendo os municípios de Balneário Pinhal (10) Palmares do Sul (18), Osório (29) e Tramandaí (13). Nessa região a atividade agrícola de cultivo de arroz é muito difundida, sendo que as atividades de adubação e fertilização podem ser fatores responsáveis por essa maior ocorrência desse elemento.

Considerações Finais

Foi possível analisar um conjunto de dados que descrevem o comportamento dos parâmetros físico-químicos no Sistema Aquífero Costeiro do Rio Grande do Sul.

Alguns parâmetros apresentaram uma elevada amplitude nos dados com grandes diferenças entre os valores extremos, tornando a mediana a análise mais indicada para melhor representar o comportamento da distribuição das concentrações dos elementos, devido a heterogeneidade dos dados, fato comprovado com a observação dos valores elevados do desvio padrão, com algumas exceções.

O range de valores do *background* indicam uma tendência de concentrações elevadas para alguns elementos, exemplo do Fe e Mn associados a origem natural devido às seções filtrantes captarem águas de camadas com depósitos de barreira pleistocênica (depósitos marinhos e eólicos) e de planície lagunar, com exceção para o elemento nitrato que tende a ser indicador de contaminação orgânica proveniente de pressões antrópicas oriundas das ações realizadas pelo homem ao redor da área onde os poços estão instalados.

Conforme o mapa de uso e ocupação do solo da região, a maioria dos poços com concentrações mais elevadas para nitrato, se encontram em áreas urbanizadas, como exemplos dos valores encontrados em Osório, Balneário Pinhal e Xangri-lá.

As análises feitas no estudo evidenciam uma água de boa qualidade com tendências de teores elevados para alguns elementos, porém este comportamento é justificado pelas características litológicas locais.

As análises estatísticas ajudam na compreensão do comportamento hidroquímico da água no Sistema Aquífero Costeiro (SAC), visto a apresentação da distribuição das concentrações, bem como dos valores médios, máximo e mínimos de cada parâmetro físico-químico analisado, gerando informações importantes para contribuição na gestão dos recursos hídricos subterrâneo, onde se mostra a importância dos estudos hidrogeológicos para análise dos fatores condicionantes que podem comprometer a qualidade das águas subterrâneas e tomadas de decisões mais eficientes.

REFERÊNCIAS

- BOBSIN, Chert. **Caracterização hidrogeológica do município de Osório, Rio Grande do Sul**. 2013. Trabalho de Conclusão de Curso do Curso de Geologia. Universidade do Vale do Rio dos Sinos. 58 p. São Leopoldo/RS.
- BRASIL, Conselho Nacional de Meio Ambiente – CONAMA. **Resolução CONAMA n.º 396. 2008**. Dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, n.º 66, 7 abr. 2008, Seção 1, p.64-68.
- BRASIL, Ministério da Saúde. Gabinete do Ministro. **Portaria MS n.º 888. 2021**. Altera o Anexo XX da Portaria de Consolidação GM/MS n.º 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. Brasília, 4 mai. 2021.
- CAMARGO, Priscila Silva Silveira. **Avaliação da vulnerabilidade do Sistema Aquífero Quaternário Costeiro na região de Palmares do Sul (RS)**. 2016. Trabalho de Conclusão de Curso do Curso de Engenharia Ambiental – Instituto de Pesquisas Hidráulicas. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
- DREVER, James. **The Geochemistry of Natural Water, Surface and Groundwater Environments**. Prentice Hall, USA, 1997. 436 p.
- EBY, G. Nelson. Principles of environmental geochemistry. **Thomson Brooks**, Cole. 514p. 2004.
- FURINI, Vilmar; LESSA, Gilberto; MARQUES, Antônio Augusto Ungaretti. **Plano de Bacia Hidrográfica do Rio Tramandaí**. Rio Grande do Sul. 2005.
- FRIZZO, Sergio João; LICHT, Otavio Augusto Boni. Estatística uni e bivariadas aplicadas à prospecção geoquímica. In: LICHT, O.A.B., DEMELLO, C.S.B., DA-SILVA, C.R. (eds). **Prospecção geoquímica de depósitos minerais metálicos, não-metálicos, óleo e gás**. Rio de Janeiro: Sociedade Brasileira de Geoquímica (SBGq) e Serviço Geológico do Brasil (CPRM), 2007. 788p.
- GUEDES JUNIOR, Alexandre. **Áreas de proteção ambiental para poços de abastecimento público em aquíferos costeiros**. Florianópolis, 2005. Tese de Doutorado. Programa de Pós – Graduação em Engenharia de Produção, UFSC, Florianópolis, Santa Catarina.
- JESKE, Tailana Bubolz. **Avaliação da ocorrência de sódio e da qualidade das águas subterrâneas do RS**. Dissertação – Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2022.
- LEMOS, Mara Magalhães Gaeta. **Relatório de estabelecimento de valores orientadores para solos e águas subterrâneas no estado de São Paulo**. São Paulo: CETESB, 2001. p. 2001. 73 p.

MACHADO, José Luiz Flores; FREITAS, Marcos Alexandre de. Projeto Mapa Hidrogeológico do Rio Grande do Sul: **relatório final**. Porto Alegre. CPRM. 65p. il. mapa. 2005.

MATSCHULLAT, Joerg.; OTTENSTEIN, Ralf; REIMANN, Clemens. 2000a. Geochemical background - can we calculate it? **Environmental Geology**, 39: 990-1000.

MATSCHULLAT, Joerg; BORBA, Ricardo P.; DESCHAMPS, Eduardo; FIGUEIREDO, Bruno F.; GABRIO, Thomas; SCHWENK, Matthias. 2000b. Human and environmental contamination in the Iron Quadrangle, Brazil. **Applied Geochemistry**, 15(2):181-190.

MESTRINHO, Suely Schuartz Pacheco. Águas Subterrâneas e Poços Tubulares Profundos. **Capítulo 4. Qualidade das Águas**. Editora Signus. 2006.

PAIM, Rosana Alves. **Avaliação da qualidade da água subterrânea de poços ponteira no município de Osório/RS**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 2018.

PAIVA, Mariele Lopes de. **Sistemas Aquíferos Serra Geral e Guarani: Relação com a oceanografia**. 2014. Dissertação de Mestrado. Instituto de Oceanografia Física, Química e Geológica. Universidade Federal do Rio Grande.

REGINATO, Pedro Antonio Roehe; MICHALSKI, Elias Zientarski. Águas Subterrâneas na Região do Balneário Pinhal, Cidreira e Palmares do Sul. In: SCHÄFER, Alois; LANZER, Rosane; SCUR, Luciana (Org.). **Gestão dos Recursos Hídricos dos Municípios de Cidreira, Balneário Pinhal e Palmares do Sul: Recursos Hídricos e Toxicologia**. 1 Ed. Caxias do Sul, 2013, V. 1, P. 3872. Projeto Lagoas Costeiras 2.

REGINATO, Pedro Antonio Roehe; MICHALSKI, Elias Zientarski; PAIM, Rosana Alves. Águas Subterrâneas na Região de Osório. In: SCHÄFER, Alois; LANZER, Rosane; SCUR, Luciana. (Org.). **Atlas socioambiental do município de Osório**. Caxias do Sul, RS: Educs, 2017. 248 p.: il.; 25 cm. ISBN: 978-85-7061-858-0. Projeto Lagoas Costeiras 3.

RODRIGUES, Aline Sueli de Lima; NALINI JUNIOR, Hermínio Arias. Valores de background geoquímico e suas implicações em estudos ambientais. **REM: Revista Escola de Minas**. Ouro Preto, 62(2):155165, abri-jun de 2009.

ROSA, Lucca Maia. **Avaliação da composição, qualidade e concentração de cloretos nas águas dos sistemas aquíferos costeiro e guarani no município de Terra de Areia (RS)**. 2023. Trabalho de Conclusão do Curso. Instituto de Geociências. Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

SIMÃO, Gustavo; PEREIRA, Jader Lima; ALEXANDRE, Nadja Zim; GALATTO, Sergio Luciano; VIERO, Antonio Pedro. Estabelecimento de valores de background geoquímico de parâmetros relacionados a contaminação por carvão. **Revista Águas Subterrâneas**, v. 33, n.2, p. 109-118, 2019. DOI: <http://dx.doi.org/10.14295/ras.v33i2.29207>.

SOARES, Alice Dutra. **Caracterização hidrogeológica e hidroquímica das águas subterrâneas do município de Osório, RS**. 2016. Trabalho de Conclusão de Curso. Geologia. Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

TROIAN, Guilherme Casarotto; GOFFERMANN, Marcelo; DE FREITAS, Marcos Alexandre. Monitoramento quali-quantitativo do aquífero costeiro no litoral norte do estado do Rio Grande do Sul. **Águas Subterrâneas**, 2014.

TROIAN, Guilherme Casarotto; REGINATO, Pedro Antonio Roehe; MARQUEZAN, Ricardo Giumelli; KIRCHHEIM, Roberto Eduardo. Modelo conceitual hidroestratigráfico do sistema aquífero costeiro no litoral norte do Estado do Rio Grande do Sul. **Revista Águas Subterrâneas**. DOI: <http://dx.doi.org/10.14295/ras.v34i3.29883>. 2020.

TROIAN, Guilherme Casarotto. **Compartimentação hidroestratigráfica do sistema aquífero costeiro no estado do Rio Grande do Sul**. Tese de Doutorado. Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2021.

VILLWOCK, Jorge Alberto; TOMAZELLI, Luis José. 1995. Geologia Costeira do Rio Grande do Sul. **Notas Técnicas do CECO-IG-UFRGS**. Porto Alegre 8:1-45.

ZAVOUDAKIS, Elene. “**Impactos da urbanização sobre a qualidade da água freática em áreas de Vitória, ES**”. Tese de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, UFES, Vitória-ES, 2007, 221p.

NOTAS DE AUTOR

CONTRIBUIÇÃO DE AUTORIA

Suzy Darley de Lima - Concepção. Coleta de dados, Análise de dados, Elaboração do manuscrito, revisão e aprovação da versão final do trabalho.

Pedro Antonio Roehe Reginato – Orientação. Coleta de dados, Análise de dados, Elaboração do manuscrito, Participação ativa da discussão dos resultados; Revisão e aprovação da versão final do trabalho.

Alfonso Risso – Orientação. Coleta de dados, Análise de dados, Elaboração do manuscrito, Participação ativa da discussão dos resultados; Revisão e aprovação da versão final do trabalho.

FINANCIAMENTO

Suzy Darley de Lima agradece a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES, pela bolsa concedida.

CONSENTIMENTO DE USO DE IMAGEM

Não se aplica.

APROVAÇÃO DE COMITÊ DE ÉTICA EM PESQUISA

Não se aplica.

CONFLITO DE INTERESSES

Não se aplica.

LICENÇA DE USO –

Este artigo está licenciado sob a [Licença Creative Commons CC-BY](#). Com essa licença você pode compartilhar, adaptar, criar para qualquer fim, desde que atribua a autoria da obra.

HISTÓRICO

Recebido em: 17-10-2023

Aprovado em: 13-07-2024