



Distribuição espacial de parâmetros físico-químicos do Sistema Aquífero Quaternário em Sergipe: estudo de caso no *Sergipe Hydrogeological Research Site (SEHRES)* em São Cristóvão/SE

Spatial distribution of physicochemical parameters of the Quaternary Aquifer System in Sergipe: a case study at the Sergipe Hydrogeological Research Site (SEHRES) in São Cristóvão/SE

C. S. M. Santos¹; M. de F. S. de Jesus²; N. M. S. R. Saturnino²; L. S. S. Dias¹; S. S. L. da Costa²; C. A. B. Garcia²; R. D. Gonçalves^{1,2*}

¹Departamento de Geologia, Universidade Federal de Sergipe, 49107-230, São Cristóvão-Sergipe, Brasil

²Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos, Universidade Federal de Sergipe, 49107-230, São Cristóvão-Sergipe, Brasil

*roger.dias@academico.ufs.br

(Recebido em 05 de maio de 2024; aceito em 28 de agosto de 2024)

A caracterização físico-química de águas subterrâneas é uma abordagem essencial para compreender a hidrogeoquímica regional e local dos aquíferos, detectar contaminações e avaliar impactos ambientais. O uso de sondas multiparâmetros permite uma aferição *in situ*, rápida e fidedigna, sendo um ótimo instrumento de monitoramento da qualidade das águas subterrâneas e das condições de poços e aquíferos, subsidiando assim a gestão hídrica de uma região. O presente trabalho, sem precedentes na região, consiste no levantamento preliminar de parâmetros físico-químicos em 15 poços tubulares localizados no Campus da UFS, em São Cristóvão/SE, escolhidos por já constituírem uma rede de monitoramento periódico do nível d'água. Esta área de estudo foi denominada SEHRES (*Sergipe Hydrogeological Research Site*) e o estudo da qualidade da água subterrânea foi realizado através de levantamento de campo equipada com a sonda multiparâmetros, de monitoramento contínuo, modelo YSI EXO 1, devidamente calibrada. Esta sonda foi selecionada por sua capacidade de fornecer uma caracterização abrangente dos atributos físico-químicos da água e subsidiar detecção de possíveis contaminações. A sonda possui múltiplos sensores que medem de forma instantânea os parâmetros: temperatura, salinidade, OD, STD, pH, turbidez e CE, com GPS integrado. Como resultados foram confeccionados em ambiente SIG mapas de distribuição espacial de todos os parâmetros físico-químicos aferidos, permitindo assim caracterizar as condições naturais do aquífero poroso, raso e livre, além de detectar possíveis contaminações e hidrogeoquímica local. Palavras-chave: sonda multiparâmetros, qualidade da água subterrânea, monitoramento ambiental.

The physicochemical characterization of groundwater is an essential approach for understanding the regional and local hydrogeochemistry of aquifers, detecting contaminations, and assessing environmental impacts. The use of multiparameter probes allows for rapid, reliable *in-situ* measurements, making them excellent instruments for monitoring the quality of groundwater and the conditions of wells and aquifers, thereby supporting the water management of a region. This unprecedented study in the region consists of a preliminary survey of physicochemical parameters in 15 tubular wells located on the UFS Campus in São Cristóvão, SE, chosen for already constituting a network for periodic monitoring of groundwater levels. This study area was named SEHRES (*Sergipe Hydrogeological Research Site*) and the groundwater quality study was conducted through field surveys equipped with a continuously monitoring multiparameter probe, YSI EXO 1 model, properly calibrated. This probe was selected for its ability to provide a comprehensive characterization of the physicochemical attributes of the water and support the detection of potential contaminations. It features multiple sensors that instantly measure parameters such as temperature, salinity, dissolved oxygen (OD), total dissolved solids (TDS), pH, turbidity, and electrical conductivity (EC), with integrated GPS. As a result, GIS-based spatial distribution maps of all measured parameters were produced, allowing for the characterization of the natural conditions of the shallow, porous, and unconfined aquifer, as the detection of potential contaminations and local hydrogeochemistry.

Keywords: multiparameter probe, groundwater quality, environmental monitoring.

1. INTRODUÇÃO

A água é um recurso natural e reconhecidamente limitado, indispensável para a manutenção da vida humana e de outras espécies. Devido às atividades antrópicas, a qualidade deste recurso tem sido comprometida ao longo dos anos. Neste contexto, a relevância das águas subterrâneas como fonte de fornecimento de água para múltiplos usos cresce constantemente, destacando-se assim a importância da preservação dos sistemas hidrogeológicos dentro do panorama da sustentabilidade urbana e governança [1-3].

Nas últimas décadas, observou-se uma deterioração progressiva dos aquíferos, especialmente em áreas urbanas e rurais, além de regiões costeiras [4-6]. O aumento na produção e disseminação de substâncias poluentes tem elevado consideravelmente o risco de contaminação das águas superficiais e subterrâneas [7-9]. No contexto brasileiro, os desafios mais comuns relacionados às águas subterrâneas frequentemente envolvem questões como a superexploração, a impermeabilização do solo (especialmente em áreas de recarga) e a contaminação por agentes poluentes [10, 11]. A contaminação de determinadas regiões é atribuída, em grande parte, à intensa atividade urbano-industrial e do uso frequente de poços de abastecimento privados [12]. Deste modo, a análise da qualidade da água é fundamental não apenas para compreender as consequências de atividades poluentes específicas, mas também para determinar métodos de remediação e prevenção [13, 14].

Como salientado por Gómez-Hernández e Xu (2022) [15], em quatro décadas a pesquisa sobre identificação de fontes de contaminantes cresceu exponencialmente em número, mas parece estar estagnada em relação ao avanço em direção à solução do problema e sua aplicação prática. Nesta revisão, os autores mostram como o tema cresceu em sofisticação quanto à solução do problema de identificação da fonte, mas esqueceu-se que, do ponto de vista prático, esta identificação é inútil a menos que seja acompanhada por uma identificação conjunta dos outros parâmetros que caracterizam o fluxo e transporte em aquíferos.

A avaliação e o gerenciamento de riscos associados à qualidade da água subterrânea envolvem o uso de informações factuais para definir os potenciais efeitos à saúde decorrentes das exposições de seres humanos e do meio ambiente, como abordado por McBean (2023) [7]. Este autor destaca que o gerenciamento de riscos associado à água subterrânea envolve ponderar as alternativas de políticas e remediação; integrar os resultados da avaliação de riscos com dados de engenharia, juntamente com preocupações sociais, econômicas e políticas, e tomar uma decisão sobre o gerenciamento deste risco [7].

Em suma, assim como o paradigma de gestão integrada de recursos hídricos enfatiza a importância de considerar águas superficiais e subterrâneas como um único recurso, também deve ser superada a desconexão artificial entre quantidade e qualidade da água, seja pela depleção por bombeamento ou pela poluição, se tornam um recurso perdido e podem levar a uma falha em atender às necessidades básicas humanas [16]. Por isso a necessidade urgente de se implementar e expandir redes de monitoramento quali-quantitativo.

Nesse contexto, este estudo tem o objetivo de caracterizar os parâmetros físico-químicos das águas subterrâneas rasas do aquífero superficial livre presente no Campus Universitário “José Aloísio de Campos”, pertencente à Universidade Federal de Sergipe (UFS), localizado no município de São Cristóvão. A partir da análise qualitativa de 15 poços que fazem parte da rede de monitoramento na área denominada SEHRES (*Sergipe Hydrogeological Research Site*), produziram-se mapas que permitem observar a distribuição espacial dos parâmetros dentro do chamado Sistema Aquífero Quaternário (SAQ).

Os poços de monitoramento possuem uma profundidade construtiva de 20 metros e vazões de estabilização que variam entre 2,0 e 13 m³/h. Essa área e seu entorno serão continuamente monitorados de forma integrada e ininterrupta com o objetivo de estabelecer um "site experimental" denominado SEHRES.

2. MATERIAL E MÉTODOS

A área de estudo (Figura 1) está inserida na Bacia Hidrográfica do Rio Sergipe, uma das oito bacias hidrográficas que abarcam o estado de Sergipe. A sua nascente está na localidade da Lagoa das Areias, município baiano de Pedro Alexandre e, ao adentrar o território sergipano, passa pelo município de Nossa Senhora da Glória, desaguando no Oceano Atlântico, na capital Aracaju, após percorrer 210 km.

Um dos principais afluentes do Rio Sergipe é o rio Poxim, que corta a área de estudo e é classificado como uma sub-bacia que se estende no sentido NW–SE. O rio Poxim-Açu é o principal corpo d'água da sub-bacia do Rio Poxim e fornece água para órgãos públicos, inclusive para o campus da UFS.

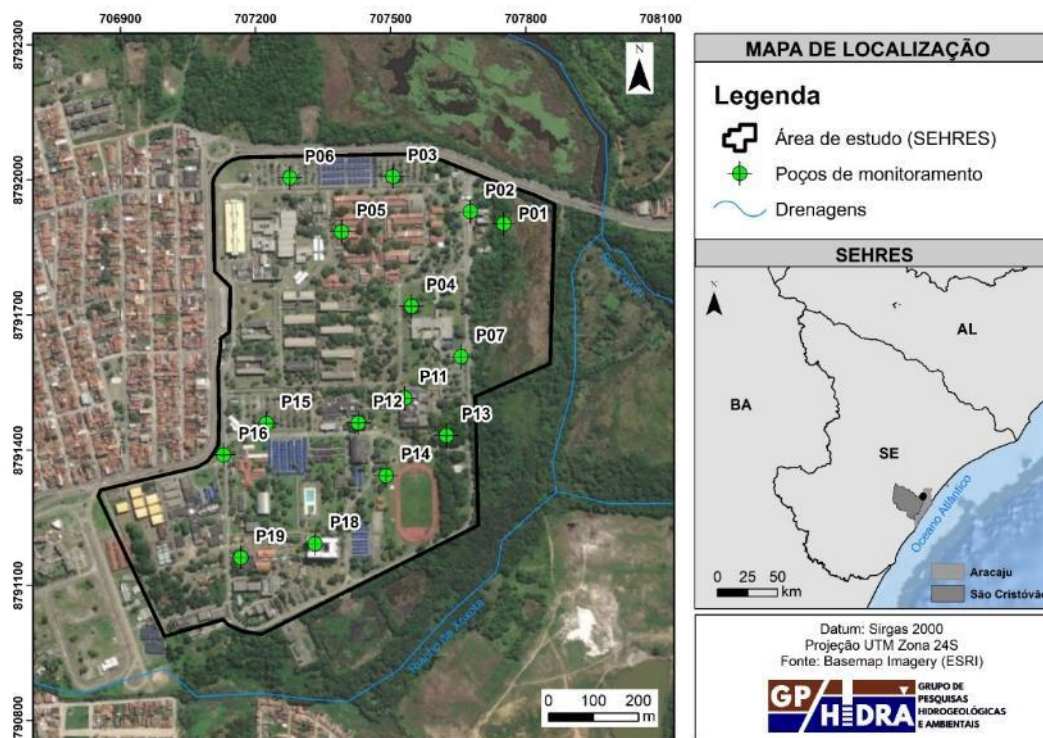


Figura 1: Mapa de localização da área de estudo (SEHRES - Sergipe Hydrogeological Research Site), Campus da Universidade Federal de Sergipe, em São Cristóvão – SE.

Sob o ponto de vista geológico, afloram na região o Grupo Barreiras, depósitos flúvio-lagunares e terraços marinhos pleistocênicos (Figura 2). O Grupo Barreiras é uma unidade sedimentar constituída por uma sequência de sedimentos detríticos, siliciclásticos, de origem fluvial e marinha [17], que são recobertos pelas formações superficiais cenozoicas, compostas por pacotes de rochas sedimentares quaternárias.

Os sedimentos quaternários evidenciam a penúltima e última transgressões ocorridas na região costeira, registradas durante o Pleistoceno e o Holoceno. Os depósitos flúvio-lagunares são constituídos por areias e siltes argilosos, ricos em matéria orgânica, que se estendem-se ao longo da rede de drenagem instalada sobre os terraços marinhos pleistocênicos e abrangem a parte inferior dos vales do Grupo Barreiras [18]. Quanto aos terraços marinhos pleistocênicos, sua litologia é composta por depósitos de areias bem selecionadas, registradas nas porções menos elevadas dos vales e próximas a paleofalésias que foram esculpidas nas rochas sedimentares do Grupo Barreiras durante a penúltima transgressão [18]. A unidade geológica sotoposta às formações continentais superficiais é representada pelo Grupo Piaçabuçu, no qual está inserida a Formação Calumbi. Essa formação marca uma transição significativa na sedimentação da bacia, caracterizada pela mudança de depósitos carbonáticos para siliciclásticos. Este evento ocorreu no

final do Cretáceo, quando houve uma regressão da linha costeira, seguida pela erosão da planície costeira e da plataforma exposta. Com a subsequente transgressão marinha, a plataforma foi novamente coberta, permitindo assim a deposição de sedimentos em um contexto transgressivo, com a predominância de folhelhos na Formação Calumbi, conforme documentado por Campos et al. (2007) [19].

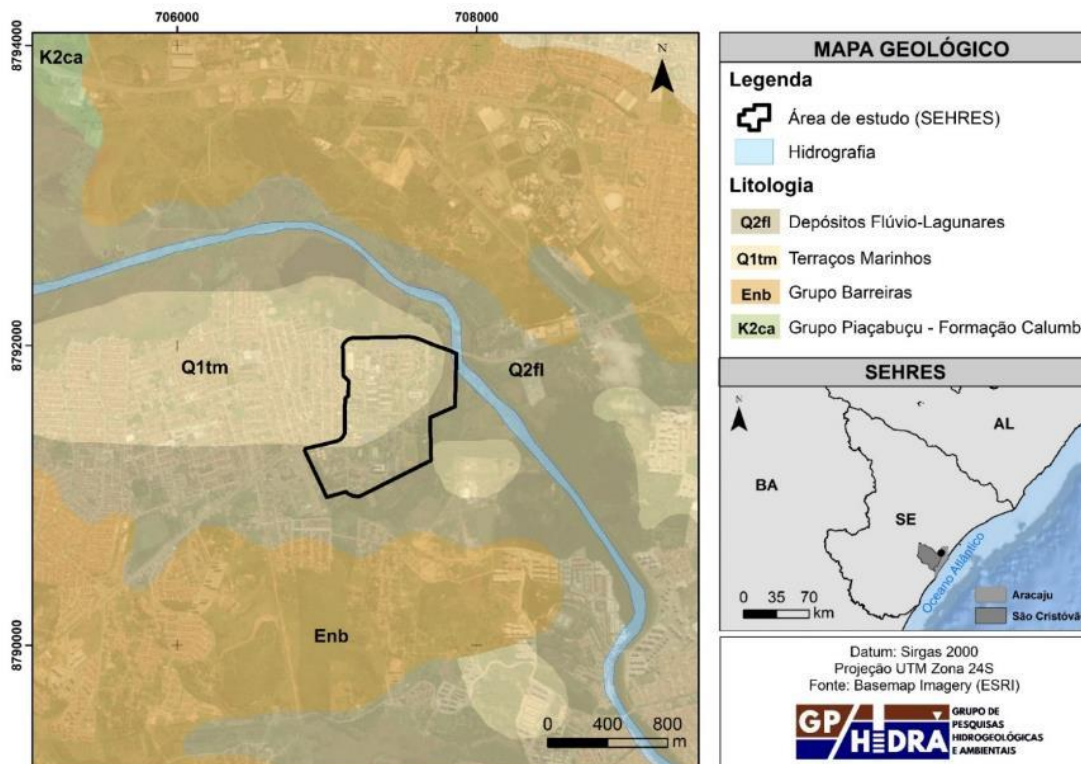


Figura 2: Mapa geológico local, indicando as unidades aflorantes no entorno do SEHRES. Fonte: Adaptado de Mapa geológico e de recursos minerais do Estado de Sergipe (2014) [20].

Por fim, em termos climáticos, segundo a classificação de Köppen e Geiger (1928) [21], a sub-bacia do rio Poxim enquadra-se no clima tropical úmido com seca no verão (tipo As), devido ao baixo relevo e a proximidade com o mar, exposto aos ventos alísios. Conforme os dados da última normal climatológica (1991-2020), fornecidos pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), a umidade relativa mensal na região é cerca de 75,9%. Os meses de abril a junho registram as maiores quantidades de chuva, contribuindo para uma média anual de precipitação de 1189,3 mm. Dezembro é o mês mais seco, com apenas 24 mm de chuva, enquanto maio é o mais chuvoso, com uma média de 226,9 mm. Março apresenta uma temperatura média de 27,7°C, sendo o mês mais quente do ano, enquanto julho e agosto são os mais frios, com uma média de 24,9°C. A diferença entre a precipitação do mês mais chuvoso e o mais seco é de 202,9 mm e, durante o ano, as temperaturas médias variam cerca de 2,8°C.

A coleta dos parâmetros físico-químicos foi realizada na data de 27/10/2023 em 15 poços tubulares no SEHRES. Foi utilizada uma sonda multiparâmetros modelo YSI EXO 1, cedida pelo Instituto Tecnológico e de Pesquisas do Estado de Sergipe (ITPS). Esta sonda é amplamente empregada no monitoramento das propriedades físico-químicas de ambientes aquáticos, incluindo oceanos, estuários, rios e águas subterrâneas, ao longo de longos períodos, devido à sua confiabilidade e precisão. Equipada com quatro sensores digitais inteligentes, a sonda permite a obtenção de leituras rápidas e altamente precisas para os parâmetros medidos.

Para a etapa de coleta de dados, a sonda foi devidamente calibrada e programada para realizar leituras em intervalos de tempo de 1 segundo. Os parâmetros medidos incluem temperatura (°C), oxigênio dissolvido (O.D.; mg/L e %), condutividade elétrica (CE; $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$), sólidos totais

dissolvidos (STD; mg/L), salinidade (ppt), pH, turbidez (NTU), assim como a profundidade (m) da leitura e coordenadas por meio do GPS integrado.

Na etapa de escritório, os dados foram todos tabulados, consistidos e inseridos em um sistema de informações geográficas (SIG), com o auxílio do Software ArcGIS, por meio do ArcMap versão 10.5. Foram então gerados mapas temáticos de distribuição espacial dos parâmetros físico-químicos através de interpolação, aplicando interpoladores como *Inverse Distance Weighting* (IDW), *kriging* e *spline*.

Finalmente, os dados coletados foram submetidos a análises estatísticas, incluindo a criação de uma matriz de correlação. Utilizou-se o coeficiente de correlação de *Pearson* para identificar associações entre os diferentes parâmetros físico-químicos avaliados.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os parâmetros analisados nos poços foram temperatura (°C), O.D. (mg/L e %), C.E. ($\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$), STD (mg/L), salinidade (ppt), pH, turbidez (NTU) e profundidade (m). Todos estes parâmetros apresentaram variações entre os poços amostrados (Tabela 1). No Brasil, as diretrizes e padrões de qualidade da água destinada ao consumo humano são regulamentados pela Portaria GM/MS nº 888, de 4 de maio de 2021 do Ministério da Saúde (MS). Esta legislação estabelece os valores máximos permitidos para uma série de características, abrangendo aspectos bacteriológicos, organolépticos, físicos e químicos com o objetivo de garantir que a água fornecida à população seja potável e segura para consumo humano [22]. Ressalta-se aqui, entretanto, que os poços monitorados não são utilizados atualmente para tal finalidade, mas eventualmente para irrigação dos jardins da universidade. Contudo, poços não monitorados neste estudo, inseridos no mesmo sistema aquífero, são passíveis de serem bombeados para fins de abastecimento.

Tabela 1: Parâmetros físico-químicos no SEHRES (Sergipe Hydrogeological Research Site), Campus da Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão – SE; coleta realizada em 27/10/2023.

POÇO	Temperatura (°C)	O.D. (%)	O.D. (mg/L)	C.E. ($\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$)	STD (mg/L)	Salinidade de (ppt)	pH	NTU
P01	28,97	0,03	0,25	191,90	124,70	0,09	5,36	0,03
P02	27,77	7,90	0,62	233,70	151,87	0,11	4,57	0,00
P03	27,33	7,6	0,59	403,20	262,10	0,19	5,62	0,00
P04	29,17	0,05	0,37	114,80	74,64	0,05	5,69	0,22
P05	28,28	0,04	0,34	160,40	104,28	0,07	5,73	0,04
P06	29,05	3,20	0,24	408,60	265,59	0,19	5,66	0,94
P07	28,80	0,03	0,23	82,90	53,89	0,04	5,29	0,05
P11	28,45	0,03	0,26	160,20	104,00	0,07	4,73	0,05
P12	29,81	0,10	0,73	160,40	104,31	0,07	6,39	0,50
P13	29,23	3,50	0,27	110,70	71,98	0,05	5,07	0,00
P14	29,06	0,23	1,74	161,40	104,92	0,07	4,88	0,04
P15	29,61	3,90	0,30	436,20	283,55	0,21	5,62	0,77
P16	30,18	97,4	7,33	453,50	294,75	0,22	7,11	0,00
P18	28,36	0,03	0,22	425,50	276,58	0,20	5,48	0,02
P19	28,57	7,3	0,56	414,16	269,16	0,20	5,14	16,3

Conforme apresentado na Tabela 1, a temperatura da água subterrânea variou de 27,3 a 30,2 °C. Essa variabilidade térmica pode ser atribuída às profundidades rasas do nível d'água (N.A.), devido à proximidade com a superfície do solo (Tabela 2). O valor médio obtido foi de 28,8°C. Apesar da legislação não estabelecer limites para a temperatura das águas destinadas ao consumo humano, altas temperaturas aumentam as perspectivas de rejeição ao uso [23].

Tabela 2: Dados dos 15 poços monitorados; medição do nível d'água subterrâneo estático (N.A.) do SEHRES (Sergipe Hydrogeological Research Site), Campus da Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão – SE; coleta realizada em 27/10/2023.

POÇO	Cota Altimétrica (m)	N.A. (m)
P01	8,520	3,983
P02	9,708	4,934
P03	9,802	3,558
P04	9,419	3,331
P05	9,608	2,360
P06	9,399	1,983
P07	9,578	4,364
P11	9,409	3,506
P12	9,108	2,690
P13	8,170	2,829
P14	8,911	3,030
P15	9,315	2,391
P16	9,477	2,512
P18	8,308	2,125
P19	9,107	2,796

Os valores de oxigênio dissolvido (OD) variaram de 0,22 (P18) a 7,73 (P16) mg/L (Figura 3). De acordo com Feitosa et al. (2008) [24], o OD na água subterrânea geralmente apresenta concentrações reduzidas, variando entre 0 e 5 mg/L, uma vez que a maior parte do oxigênio dissolvido na água, que penetra no solo, é consumida na oxidação da matéria orgânica ao longo do percurso da água subterrânea na zona de aeração. O poço com o maior valor de OD (P16) pode indicar contaminação de origem antrópica, como esgoto, e necessita de uma análise mais cautelosa.

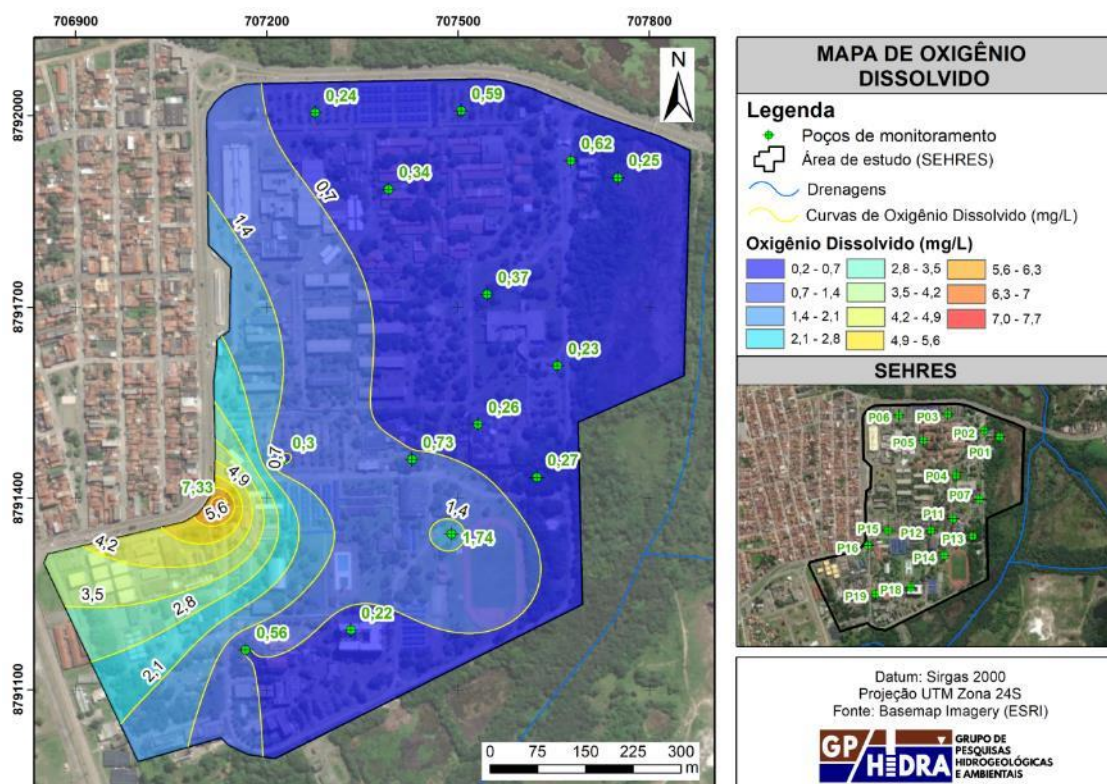


Figura 3: Mapa de distribuição espacial do parâmetro Oxigênio Dissolvido (mg/L) no SEHRES (Sergipe Hydrogeological Research Site), Campus da Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão – SE.

A condutividade elétrica (CE) mede a capacidade que a água tem de conduzir corrente elétrica e está diretamente ligada à presença de íons dissolvidos na água, especialmente íons inorgânicos. Os resultados de CE apresentam valor máximo de $453,5 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ no poço P16, com média de $261,2 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ (Figura 4). Águas doces variam entre 10 a $100 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ [25] e valores que ultrapassam $100 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ podem estar relacionados a ambientes impactados negativamente [26]. A medida de CE está diretamente relacionada com a concentração de STD na água, e comumente detecta alterações causadas pelo lançamento de efluentes ou outros poluentes na água.

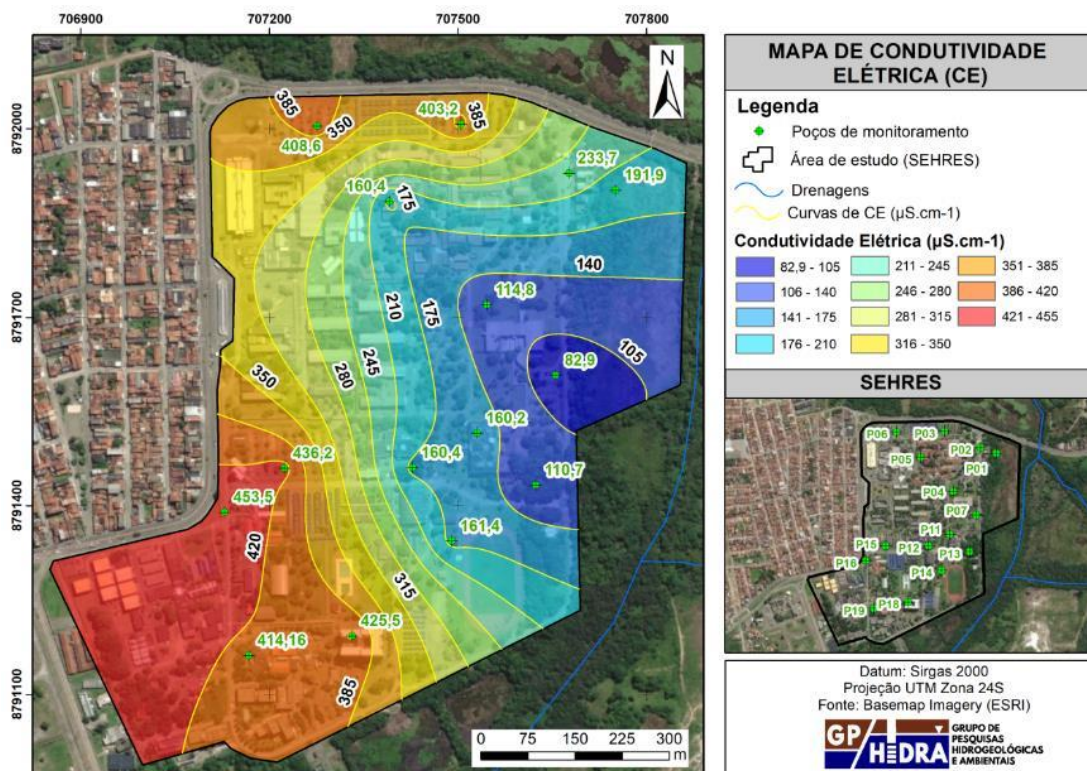


Figura 4: Mapa de distribuição espacial do parâmetro Condutividade Elétrica ($\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$) no SEHRES (Sergipe Hydrogeological Research Site), Campus da Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão – SE.

Observa-se nas Figuras 4 e 5 que os aumentos nas concentrações de STD são compatíveis com aumentos na CE. A espacialidade revela uma tendência de diminuição da CE e da concentração de STD na direção do fluxo subterrâneo. Este fenômeno sugere que a rocha que compõe o aquífero atua diminuindo o STD, e conseqüentemente CE, da água à medida que ela se desloca em direção ao Rio Poxim. A variação desses parâmetros no sentido do movimento da água pode ser resultado da influência da geologia local na qualidade das águas subterrâneas rasas. Contudo, ressalta-se que é comum de se observar na literatura águas subterrâneas aumentando sua CE conforme interagem com as rochas, produto esse da interação dos minerais com as águas. Por isso, é necessário cautela nessa análise pois devido ao ambiente costeiro tem-se influência de spray marinho, altas taxas de evaporação e influência de maré no Rio Poxim, diretamente conectado ao sistema analisado, além da possibilidade, sempre existente em ambientes urbanos, de fontes difusas de contaminação. Conforme Portaria GM/MS nº 888/2021 do Ministério da Saúde do Brasil, o valor máximo permitido de STD na água para consumo humano é de 500 mg/L [22], assim verifica-se que todos os poços estão adequados, apresentando valores abaixo do valor máximo permitido.

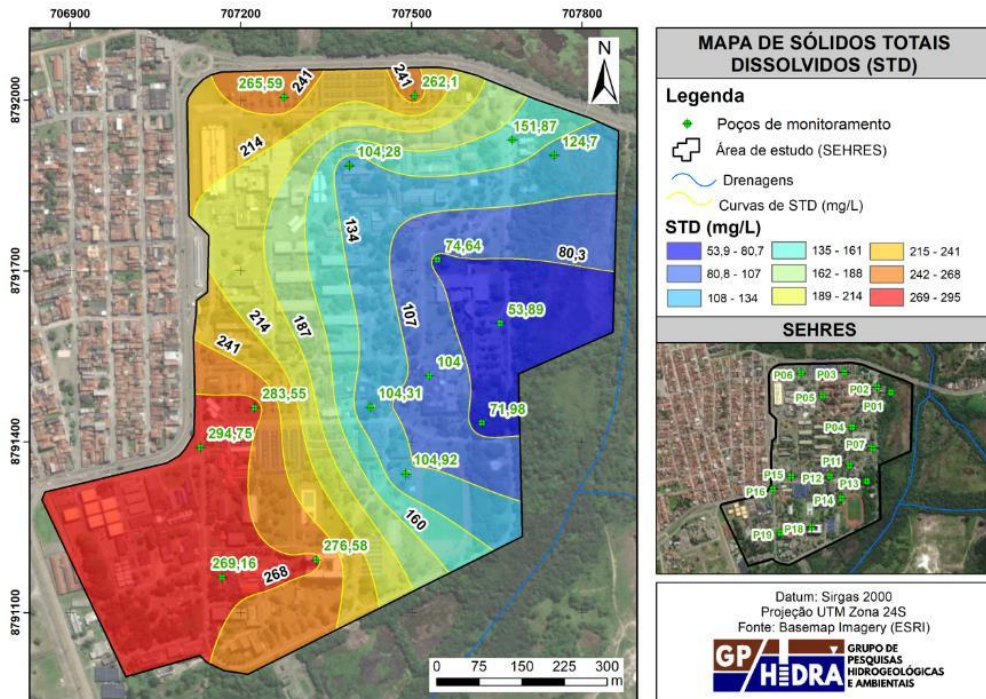


Figura 5: Mapa de distribuição espacial do parâmetro Sólidos Totais Dissolvidos (STD) no SEHRES (Sergipe Hydrogeological Research Site), Campus da Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão – SE.

Em relação à salinidade, os valores variaram de 0,04 (P07) a 0,22 (P16) (Figura 6). Observa-se que os valores mais altos estão localizados a montante, estando em consonância com as concentrações de CE e STD. A variação na salinidade pode ser atribuída à presença de água com maior teor de sais ou à interação com formações rochosas que contribuem para o aumento da concentração de íons.

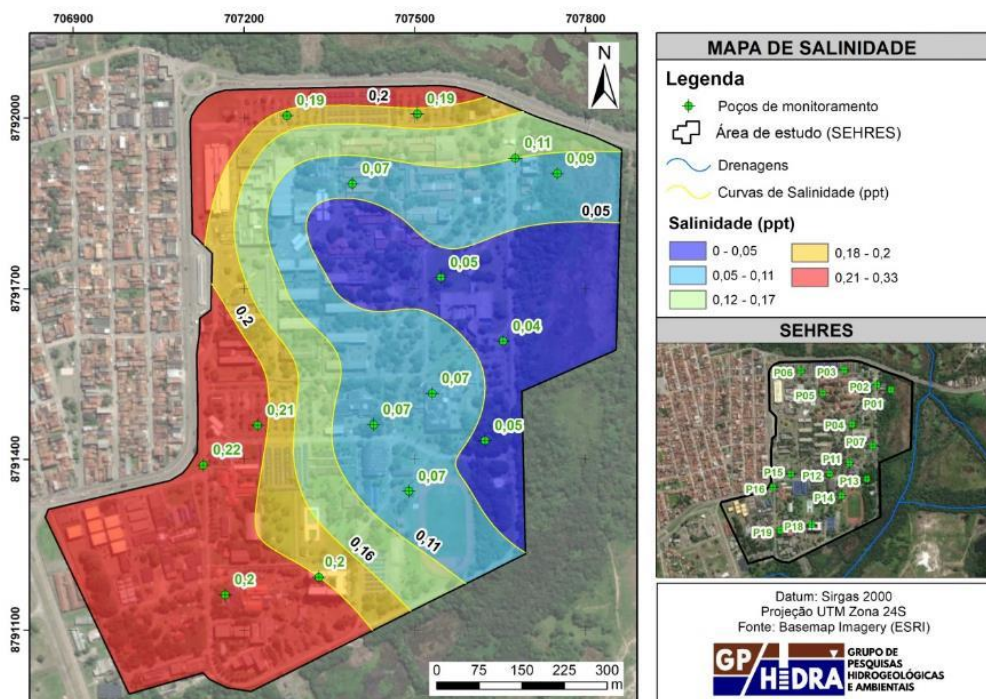


Figura 6: Mapa de distribuição espacial do parâmetro Salinidade no SEHRES (Sergipe Hydrogeological Research Site), Campus da Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão – SE.

Observa-se que para o parâmetro pH os resultados ficaram no intervalo entre 4,57 e 7,11 (Figura 7), ou seja, em sua maioria ácidos. Baixos valores de pH em águas subterrâneas (ácidas) podem ser ocasionados por fatores naturais ou antropogênicos, como infiltração de águas ácidas, processos de oxidação e de decomposição de matéria orgânica, presença de minerais ácidos ou presença de efluentes urbanos. Portanto, este é um ponto que deve ser explorado em conjunto estes outros fatores.

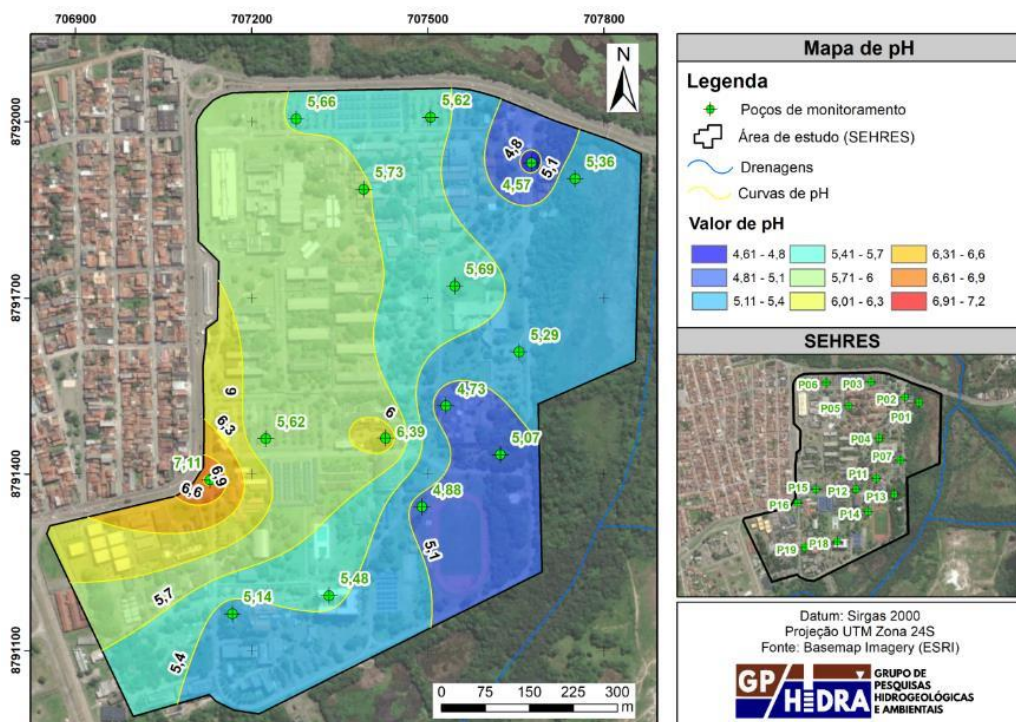


Figura 7: Mapa de distribuição espacial do parâmetro pH no SEHRES (Sergipe Hydrogeological Research Site), Campus da Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão – SE.

A turbidez da água é atribuída à presença de materiais sólidos em suspensão, que afetam sua transparência. Essa condição pode ser influenciada pela presença de matéria orgânica e diversas substâncias, incluindo zinco, ferro, manganês e areia. A Portaria de Consolidação GM/MS nº 888 define que o valor máximo permitido para a turbidez da água subterrânea é de 1,0 NTU, enquanto para qualquer ponto da rede de distribuição, o padrão organoléptico de potabilidade estabelecido é de 5,0 NTU [22]. Os poços apresentaram valores até 0,94 NTU (P06), exceto o P19 com 16,33 NTU, estando fora dos padrões estabelecidos pela legislação, o que pode indicar interferência antrópica. Ademais, os poços P18 e P19 estão localizados próximos à antiga lagoa de estabilização, onde eram depositados os efluentes do campus. Essa proximidade sugere a possibilidade de contaminação residual, exigindo uma investigação mais aprofundada para avaliar o impacto na qualidade da água subterrânea.

Na Tabela 3, são apresentadas as variáveis analisadas nas águas dos poços da área de estudo. A matriz de correlação foi calculada para identificar relações relevantes entre os parâmetros, considerando valores de correlação $\geq 0,6$ como indicativos de correlações expressivas. A análise revelou uma correlação forte e positiva entre os parâmetros C.E., STD e salinidade, indicando que o aumento na concentração de STD está diretamente relacionado ao aumento da C.E. nas águas dos poços e, conseqüentemente, à salinidade.

A correlação positiva entre O.D. e o pH também é significativa, embora menos pronunciada. Valores mais altos de O.D. tendem a estar associados a valores de pH mais elevados, sugerindo uma maior oxigenação da água. Essa associação pode ser explicada pela influência de processos biológicos e decomposição da matéria orgânica na água subterrânea, afetando sua composição química.

Tabela 3: Matriz de correlação entre os parâmetros físico-químicos das águas subterrâneas no SEHRES (Sergipe Hydrogeological Research Site), Campus da Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão – SE.

Parâmetros	Temp. (°C)	O.D. (%)	O.D. (mg/L)	C.E.	STD	Salinidade	pH	NTU
Temperatura		0,4366	0,4888	-0,0097	-0,0096	-0,0002	0,5920	-0,0717
O.D. (%)	0,4366		0,9705	0,4337	0,4337	0,4493	0,6702	-0,0283
O.D. (mg/L)	0,4888	0,9705		0,3408	0,3407	0,3525	0,6548	-0,0719
C.E.	-0,0097	0,4337	0,3408		1	0,9991	0,3530	0,3215
STD	-0,0096	0,4337	0,3407	1		0,9990	0,3532	0,3214
Salinidade	-0,0002	0,4493	0,3525	0,9991	0,9990		0,3554	0,3323
pH	0,5920	0,6702	0,6548	0,3530	0,3532	0,3554		-0,1338
NTU	-0,0717	-0,0283	-0,0719	0,3215	0,3214	0,3323	-0,1338	

4. CONCLUSÃO

Os parâmetros físico-químicos observados nas águas dos poços do SEHRES servem de apoio para as futuras pesquisas, voltadas para o entendimento das interações naturais e antrópicas no ciclo hidrológico, além do planejamento e gestão dos recursos hídricos subterrâneos, uma vez que alterações e anomalias identificaram possíveis (e diferentes) fontes de contaminação.

Olhando para o futuro, certos parâmetros, como C.E., temperatura e pH, são adequados para monitoramento contínuo nos poços tubulares. Para isso, pode-se utilizar uma sonda submersível, posicionada dentro do poço, que fica suspensa e conectada a um registrador de dados e um sistema de telemetria. As sondas mais comumente utilizadas medem a CE, que é um excelente indicador para salinidade e sensível a outras mudanças que possam indicar a aproximação de uma pluma de poluição e é a medição mais confiável quando deixada sem supervisão por longos períodos, como levantado em estudo recente do Banco Mundial [16]. Os autores concordam com a opinião do documento citado, de que esse tipo de monitoramento deve ser visto como um complemento, não como uma alternativa, ao monitoramento convencional, a fim de rastrear tendências e flutuações e para acionar futuras investigações de campo.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Instituto Tecnológico e de Pesquisas do Estado de Sergipe (ITPS) pela cessão da sonda multiparâmetros utilizada na coleta dos parâmetros físico-químicos.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Megdal SB. Invisible water: the importance of good groundwater governance and management. *npj Clean Water*. 2018 Sep 3;1(1):15. doi: 10.1038/s41545-018-0015-9
- La Vigna F. Review: Urban groundwater issues and resource management, and their roles in the resilience of cities. *Hydrogeol J*. 2022 Sep 5;30(6):1657-83. doi: 10.1007/s10040-022-02517-1
- Reginaldo Pereira L, Coutinho Maciel Mendes G, Ridan Pires de Melo S. Análise descritiva das águas superficiais e subterrâneas e a utilização das geociências nesse contexto: Uma revisão. *Rev Geogr - PPGeo - UFJF*. 2023 May 3;13(1):1-16. doi: 10.34019/2236-837X.2023.v13.39673
- Dyring M, Rohde MM, Froend R, Hofmann H. Coastal Groundwater-Dependent Ecosystems are Falling Through Policy Gaps. *Groundwater*. 2024 Mar 28;62(2):184-94. doi: 10.1111/gwat.13352
- Ravish S, Setia B, Deswal S. Groundwater quality in urban and rural areas of north-eastern Haryana (India): A review. *ISH J Hydraul Eng*. 2021 Apr 3;27(2):224-34. doi: 10.1080/09715010.2018.1531070

6. Hassan AM, Firat Ersoy A. Statistical assessment of seasonal variation of groundwater quality in Çarşamba coastal plain, Samsun (Turkey). *Environ Monit Assess.* 2022 Feb 28;194(2):135. doi: 10.1007/s10661-022-09791-2
7. McBean E. Groundwater quality and examples of risk interpretation procedures. Groundwater quality and examples of risk interpretation procedures. Ontario (CA): The Groundwater Project; 2023.
8. Khan N, Malik A, Nehra K. Groundwater hydro-geochemistry, quality, microbiology and human health risk assessment in semi-arid area of Rajasthan, India: A chemometric approach. *Environ Monit Assess.* 2021 Apr 27;193(4):234. doi: 10.1007/s10661-021-08979-2
9. Scheiber L, Jurado A, Pujades E, Criollo R, Suñé EV. Applied multivariate statistical analysis as a tool for assessing groundwater reactions in the Niebla-Posadas aquifer, Spain. *Hydrogeol J.* 2023 Mar 6;31(2):521-36. doi: 10.1007/s10040-022-02580-8
10. Brasil. Ministério do Meio Ambiente. Águas subterrâneas: Um recurso a ser conhecido e protegido. Brasília (DF): MMA; 2007.
11. Teramoto EH, Engelbrecht BZ, Gonçalves RD, Chang HK. Probabilistic backward location for the identification of multi-source nitrate contamination. *Stoch Environ Res Risk Assess.* 2021 Apr 7;35(4):941-54. doi: 10.1007/s00477-020-01966-y
12. Bertolo RA, Hirata R, Aly Junior O. Método de valoração da água subterrânea impactada por atividades contaminantes no Estado de São Paulo. *Águas Subterrâneas.* 2019 Aug 26;33(3):303-13. doi: 10.14295/ras.v33i3.29479
13. Von Sperling M. Introdução a qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. 4. ed. Belo Horizonte (MG): DESA/UFMG; 2014.
14. Ha QK, Tran Ngoc TD, Le Vo P, Nguyen HQ, Dang DH. Groundwater in Southern Vietnam: Understanding geochemical processes to better preserve the critical water resource. *Sci Total Environ.* 2022 Feb;807:151345. doi: 10.1016/j.scitotenv.2021.151345
15. Gómez-Hernández JJ, Xu T. Contaminant source identification in aquifers: A critical view. *Math Geosci.* 2022 Feb 27;54(2):437-58. doi: 10.1007/s11004-021-09976-4
16. Ravenscroft P, Lytton L. Practical manual on groundwater quality monitoring. Washington (US): World Bank; 2022. doi: 10.1596/37196
17. Arai M. A grande elevação eustática do mioceno e sua influência na origem do grupo barreiras. *Geol USP Sér Cient.* 2006 Out 1;6(2):1-6. doi: 10.5327/S1519-874X2006000300002
18. Bittencourt ACSP, Martin L, Dominguez JML, Ferreira YA. Evolução paleogeográfica quaternária da costa do estado de Sergipe e da costa sul do estado de Alagoas. *Rev Bras Geociências.* 1983;13(2):93-7.
19. Campos Neto OPA, Lima WS, Cruz FEG. Bacia de Sergipe-Alagoas. *Bol Geociências da Petrobras.* 2007;15(2):405-15.
20. Mapa geológico e de recursos minerais do Estado de Sergipe. (Escala 1:250.000). Aracaju (SE): Companhia de Pesquisa e Recursos Minerais (CPRM); 2014.
21. Köppen W, Geiger R. *Klimate der Erde.* Gotha (DE): Verlag Justus Perthes; 1928.
22. Brasil. Ministério da Saúde. Portaria GM/MS nº 888 de 04 de maio de 2021. Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade [Internet]. Brasília (DF): Diário Oficial da União; 2021. Disponível em: <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/portaria-gm/ms-n-888-de-4-de-maio-de-2021-318461562>
23. Brasil. Ministério da Saúde, Fundação Nacional de Saúde (FUNASA). Manual de controle da qualidade da água para técnicos que trabalham em ETAS. Brasília (DF): FUNASA; 2014.
24. Feitosa FAC, Manoel Filho J, Feitosa EC, Demetrio JGA. *Hidrogeologia: Conceitos e aplicações.* 3. ed. Rio de Janeiro: CPRM - Serviço Geológico do Brasil; 2008.
25. Brasil. Ministério da Saúde, Secretaria de Vigilância em Saúde. *Vigilância e controle da qualidade de água para consumo humano.* Brasília (DF): Ministério da Saúde; 2006.
26. Aguilar Piratoba AR, Campos Ribeiro HM, Morales GP, e Gonçalves WG. Caracterização de parâmetros de qualidade da água na área portuária de Barcarena, PA, Brasil. *Ambient e Agua - An Interdiscip J Appl Sci.* 2017 May 2;12(3):435-56. doi: 10.4136/ambi-agua.1910