

Vulnerabilidade natural à contaminação do aquífero da Ilha de Colares (PA): subsídios para a gestão dos recursos hídricos

**Natural vulnerability to contamination of the aquifer of Island de Colares (PA): subsidies for the
management of groundwater resources**

**Vulnerabilidad natural a la contaminación del acuífero de la Isla de Colares (PA): subsidios para la
gestión de los recursos hídricos subterráneos**

Recebido: 05/04/2022 | Revisado: 12/04/2022 | Aceito: 18/04/2022 | Publicado: 22/04/2022

Arnon Luiz da Costa e Silva

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0958-5135>

Universidade Federal do Pará, Brasil

E-mail: arnonluiz@outlook.com

Raimundo Nonato do Espírito Santo dos Santos

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6272-2621>

Universidade Federal do Pará, Brasil

E-mail: nato@ufpa.br

Resumo

Avaliar a vulnerabilidade natural à contaminação do aquífero consiste em um relevante instrumento para a proteção da qualidade da água de mananciais subterráneos, bem como serve para auxiliar na gestão dos recursos hídricos local. Esta pesquisa teve como objetivo analisar e mapear a vulnerabilidade natural à contaminação do aquífero da Ilha de Colares – PA, utilizando o método GOD (*Groundwater occurrence, Overall Lithology of the unsaturated zone, Depth of the water table*), bem como identificar fontes potenciais de contaminação. A aplicação do método GOD possibilitou o mapeamento do grau de vulnerabilidade e o método de avaliação de impacto ambiental, listagem de controle (check-list) proporcionou o levantamento das fontes potenciais de contaminação. Os resultados indicaram que a classe de vulnerabilidade média apresentou maior representatividade com 95,49% (44,10 km²), seguida pela classe baixa vulnerabilidade com 2,59% (1,20 km²) e alta vulnerabilidade à contaminação 1,92% (0,89 km²). A predominância da classe média de vulnerabilidade na área de estudo desperta uma preocupação, mas, principalmente pela presença de fonte potencial de contaminação situada em área com alto grau de vulnerabilidade, como também em função da direção do fluxo subterrâneo. Os resultados das análises dos parâmetros físico-químico revelaram que estão em conformidade com a Portaria GM/MS n.º 888/2021 que define a potabilidade da água e a Resolução CONAMA n.º 396/2008. Por fim, conclui-se que a elaboração do mapa de vulnerabilidade natural à contaminação do aquífero pode contribuir no diagnóstico da qualidade das águas subterráneas e para auxiliar no manejo e conservação da água.

Palavras-chave: Água subterrânea; Método GOD; Direção de fluxo; Impacto ambiental.

Abstract

Assessing the natural vulnerability to aquifer contamination is a relevant instrument for protecting the quality of groundwater water, as well as helping to manage local water resources. This research aimed to analyze and map the natural vulnerability to contamination of the aquifer of Island de Colares - PA, using the GOD (*Groundwater occurrence, Overall Lithology of the unsaturated zone, Depth of the water table*) method, as well as to identify potential sources of contamination. The application of the GOD method made it possible to map the degree of vulnerability and the method of environmental impact assessment, checklist (checklist) provided the survey of potential sources of contamination. The results indicated that the medium vulnerability class was more representative with 95.49% (44.10 km²), followed by the low vulnerability class with 2.59% (1.20 km²) and high vulnerability to contamination 1.92% (0.89 km²). The predominance of the middle class of vulnerability in the study area raises a concern, but mainly due to the presence of a potential source of contamination located in an area with a high degree of vulnerability, as well as due to the direction of the underground flow. The results of the analysis of the physicochemical parameters revealed that they are in accordance with Ordinance GM/MS n.º 888/2021, which defines the potability of water and CONAMA Resolution n.º 396/2008. Finally, it is concluded that the elaboration of the map of natural vulnerability to aquifer contamination can contribute to the diagnosis of groundwater quality and to assist in the management and conservation of water.

Keywords: Subterranean water; GOD method; Flow direction; Environmental impact.

Resumen

La evaluación de la vulnerabilidad natural a la contaminación de los acuíferos es un instrumento relevante para proteger la calidad de las aguas subterráneas, así como para ayudar a gestionar los recursos hídricos locales. Esta investigación tuvo como objetivo analizar y mapear la vulnerabilidad natural a la contaminación del acuífero de la Isla de Colares - PA, utilizando el método GOD (Ocurrencia de agua subterránea, Litología general de la zona no saturada, Profundidad del nivel freático), así como identificar potenciales fuentes de contaminación. La aplicación del método GOD permitió mapear el grado de vulnerabilidad y el método de evaluación de impacto ambiental, lista de verificación (check-list) proporcionó el levantamiento de posibles fuentes de contaminación. Los resultados indicaron que la clase de vulnerabilidad media fue más representativa con 95,49% (44,10 km²), seguida de la clase de vulnerabilidad baja con 2,59% (1,20 km²) y la vulnerabilidad alta a la contaminación 1,92% (0,89 km²). Preocupa el predominio de la clase media de vulnerabilidad en el área de estudio, pero principalmente por la presencia de una potencial fuente de contaminación ubicada en un área con alto grado de vulnerabilidad, así como por la dirección del flujo subterráneo. Los resultados del análisis de los parámetros fisicoquímicos revelaron que están de acuerdo con la Ordenanza GM/MS n.º 888/2021, que define la potabilidad del agua y la Resolución CONAMA n.º 396/2008. Finalmente, se concluye que la elaboración del mapa de vulnerabilidad natural a la contaminación de acuíferos puede contribuir al diagnóstico de la calidad de las aguas subterráneas y ayudar en la gestión y conservación del agua.

Palabras clave: Agua subterránea; Método DIOS; Dirección del flujo; Impacto ambiental.

1. Introdução

Segundo a Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA, 2017) as fontes de águas subterrâneas exercem um relevante papel para atender as demandas dos vários usos da água no Brasil, como abastecimento público de água, dessedentação animal, irrigação, geração de energia, indústria, entre outros (Crispim et al., 2017). Também, pelo fato de ter alta capacidade de armazenamento e resiliência em períodos prolongados de seca, ocasionados pelas mudanças climáticas, fazem dos mananciais subterrâneos uma importante opção estratégica no período de escassez de água (ANA, 2017).

No Brasil, o uso da água de fonte subterrânea apresenta um crescimento, visto que em janeiro de 2008, foram cadastradas cerca de 145 mil fontes de abastecimento de mananciais subterrâneos, dos quais em sua maioria representados por poços tubulares. No entanto, até outubro de 2016, a quantidade de poços cadastrados foram aproximadamente 278 mil (ANA, 2017). Logo, este crescimento significativo no número de poços perfurados foi influenciado pelos problemas ocasionados pela escassez de água enfrentado em vários locais do país (ANA, 2017).

Em geral, as águas subterrâneas no país apresentam boa qualidade e têm propriedades físico-químicas e bacteriológicas apropriadas a vários usos, incluindo o consumo de águas minerais (Hirata et al., 2019; ANA, 2017). Também, quando relacionadas aos mananciais superficiais, possuem várias vantagens como melhor qualidade da água, reservas com grandes volumes de água, pouca perda de água por evaporação, pequeno custo com infraestrutura, impactos ambientais menores, entre outros (Albuquerque Filho et al., 2011).

Embora as fontes de águas subterrâneas sejam mais protegidas que as fontes superficiais, não estão completamente livres de contaminação (Silva et al., 2014). Na zona urbana, as águas subterrâneas estão sujeitas a diversas fontes de poluição (Crispim et al., 2017), como a destinação ambientalmente inadequada dos resíduos sólidos, fossas rudimentares (fossas negras), postos combustíveis, cemitérios, lançamento de esgoto a céu aberto, entre outros, colocam em risco a qualidade natural dos mananciais subterrâneos.

De acordo com Borba et al. (2014) a contaminação dos aquíferos subterrâneos tem sido um grave problema na gestão das águas subterrâneas, porque são apontados como fontes estratégicas para a sociedade. Logo, para amenizar este problema são utilizadas, em diversos lugares do planeta, em especial nos países mais industrializados, ações preventivas, visto que uma vez o aquífero contaminado, a sua recuperação é bastante onerosa e complicada.

Para Carvalho et al. (2020) um dos principais mecanismos para preservar os mananciais subterrâneos, baseia-se em identificar a vulnerabilidade natural à contaminação do aquífero, que mostra sua susceptibilidade a ser adversamente prejudicado por uma carga contaminante. Logo, estudos sobre a vulnerabilidade da água subterrânea por mapeamento têm sido

realizadas no estado do Pará como Carvalho et al. (2020), De Matos e Mendes (2012), com a finalidade de proporcionar uma estratégia para evitar a contaminação da água subterrânea.

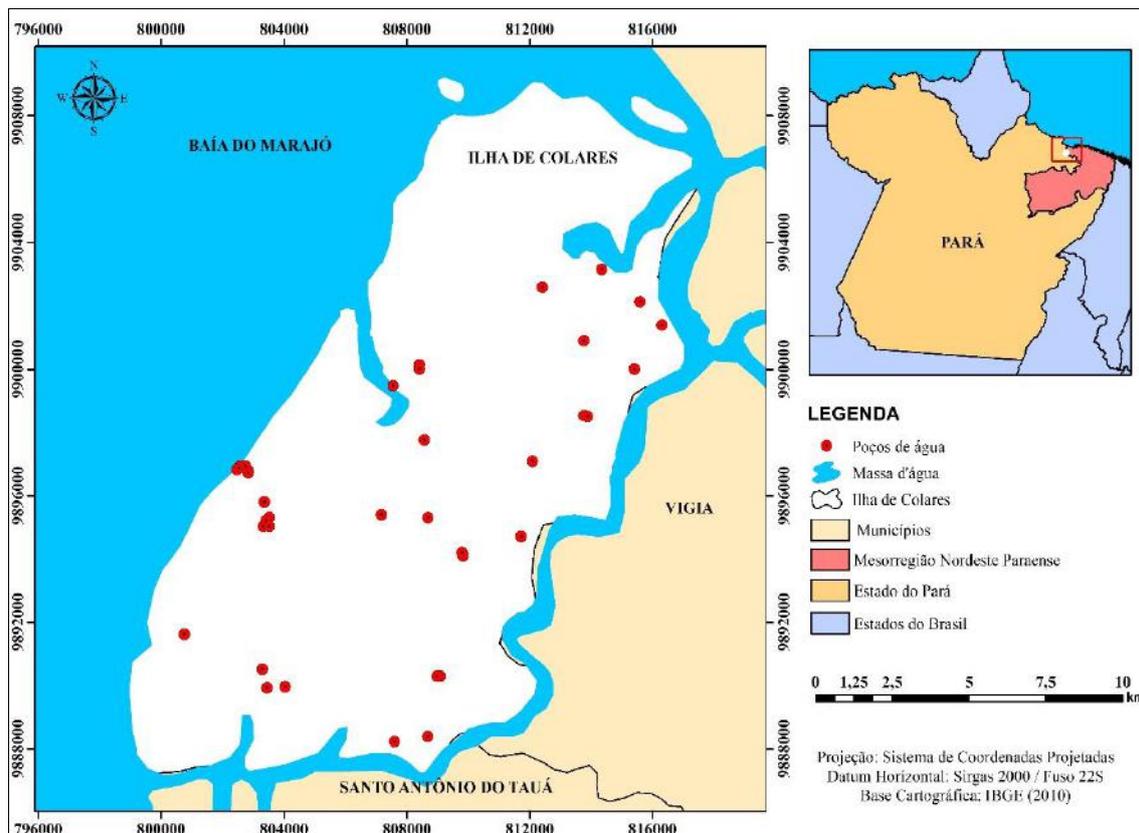
Neste contexto, o objetivo deste trabalho foi analisar e mapear a vulnerabilidade natural à contaminação do aquífero da Ilha de Colares – PA, por meio de dados disponibilizados pela Companhia de Pesquisas de Recursos Minerais/CPRM, através do Sistema de Informações de Águas Subterrâneas (SIAGAS), empregando o método GOD (*G - groundwater occurrence, O - overall litology of aquifer e D - deph of water*) sugerido por Foster (1987). Além disto, também foi realizado um levantamento e identificação de fontes potenciais de contaminação na área de estudo com a finalidade de gerar informações para apoiar ações preventivas de controle de uso e qualidade das fontes de água subterrânea.

2. Metodologia

2.1 Área de estudo

O estudo foi realizado no município de Colares, localizado no estado do Pará, região Norte do Brasil (Figura 1). Este município encontra-se situado na mesorregião do Nordeste do Paraense, ficando cerca de 93,9 km de Belém capital do estado do Pará, com acesso pelas rodovias BR-316, PA-140 e PA-238, onde na localidade de Penha-Longa, a travessia é feita através de balsa (IDESP, 2013).

Figura 1 – Mapa de localização da Ilha de Colares-PA.



Fonte: Autores (2022).

O município de Colares limita-se ao norte com a Baía do Marajó, ao leste, com o município de Vigia, ao sul, com o município de Santo Antônio do Tauá e a oeste com a Baía do Marajó (Braga et al., 2018). No ano de 2020, sua área de unidade territorial era de 384,068 km² e o número de habitantes estimado para 2021 foi aproximadamente 12.175 pessoas, conforme

dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2022). As principais atividades econômicas realizadas no município são oriundas dos setores da pesca e comércio (Brito et al., 2016).

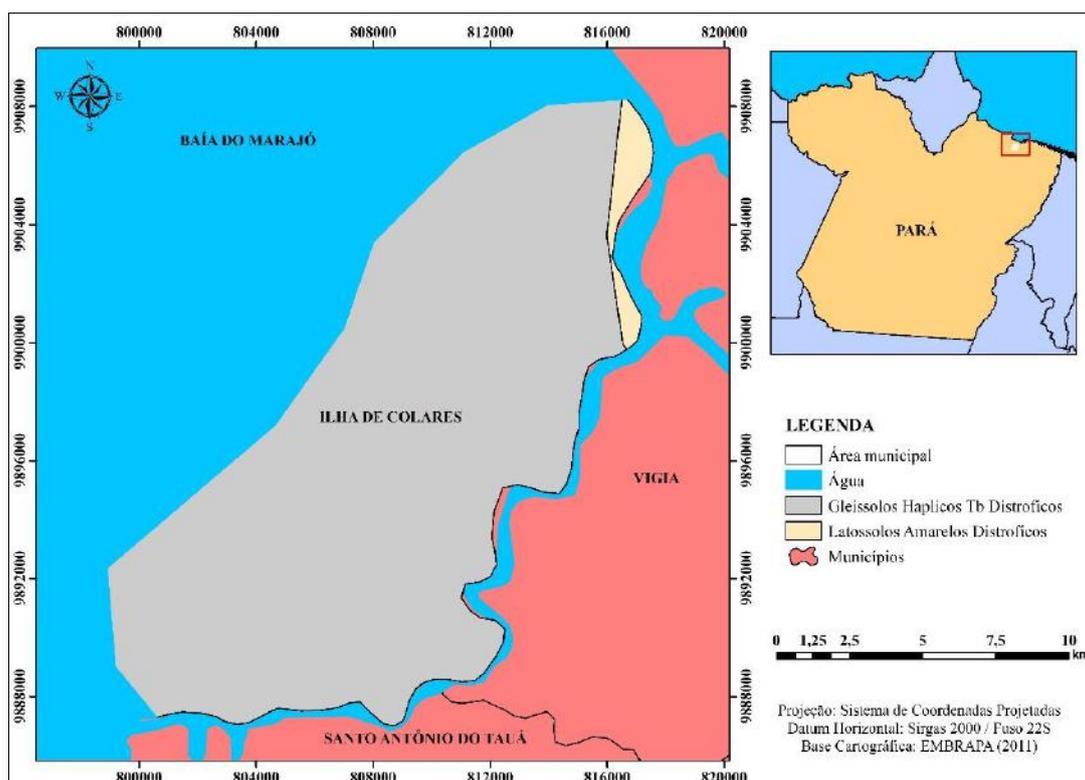
A região onde está localizado o município de Colares apresenta clima equatorial amazônico tipo Am, segundo a classificação de Köpper, com temperaturas relativamente elevadas, com média anual de 26 °C. O município apresenta sazonalidade na precipitação pluviométrica, com duas estações bem definidas, uma chuvosa que ocorre nos meses de dezembro a julho, e outra menos chuvosa que vai de agosto a novembro, com uma precipitação acumulada anual de 2.500 mm (Braga et al., 2018) e uma média anual de umidade relativa do ar de 82% (Silva et al., 2001).

2.2 Geologia e tipos de solo

A área de estudo é composta por sedimentos Terciários da Formação Barreiras e Quaternárias Recentes e Antigos. Deste modo, o município de Colares apresenta características geológicas similares da região Bragantina, somente com influência maior das Microrregiões do Salgado, nas suas baixadas. Por isso, seu relevo apresenta a singeleza de formas do leste paraense com áreas de tabuleiros aplainados, algumas dissecações nos topos levemente colinosos e presença de baixadas litorâneas inundáveis ao lado dos terraços e várzeas nas margens dos rios. Insere-se na unidade morfoestrutural do Planalto Rebaixado do Baixo Amazonas (Pimentel et al., 2012).

Quanto aos tipos de solos predominantes na área do município, destacam-se as classes Latossolo Amarelo distrófico e Gleissolos Haplicos TB Distróficos (Figura 2). Os Latossolos Amarelos Distróficos são solos bastante uniformes em termos de cor, textura e estrutura, são profundos e muito profundos, bem drenados, com predominância de textura argilosa e muito argilosa, com avançado estágio de intemperização, mas, apresentam baixa fertilidade, precisando da correção da acidez e da adubação para alcançar boas colheitas. Quanto a classe Gleissolos Haplicos TB Distróficos são solos formados principalmente por sedimentos, estratificados ou não, sujeitos a constante ou periódico excesso d'água, presentes sobretudo em planícies ou várzeas inundáveis (EMBRAPA, 2011; IBGE, 2012).

Figura 2 – Mapa de classes de solos predominantes na Ilha de Colares-PA.



Fonte: Autores (2022).

2.3 Dados utilizados na pesquisa

Os dados necessários para analisar cada parâmetro que integram o método GOD, foram obtidos do relatório de poços do município de Colares-PA. Estes dados são fornecidos pela Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais / Sistema de Informações de Águas Subterrâneas – CPRM / SIAGAS, na página eletrônica (<http://www.cprm.gov.br>). Esta base de dados apresenta informações atualizadas e confiáveis de poços de toda área do território nacional, com acesso gratuito, possibilitando a utilização do método GOD em qualquer lugar do país, em particular com a finalidade de planejamento municipal.

Dos 37 poços cadastrados, somente 20 foram escolhidos para o estudo, devido à carência de informações sobre o tipo de substrato geológico, grau de confinamento e a distância do nível de água subterrânea para analisar a vulnerabilidade dos aquíferos, conforme metodologia sugerida por Foster (1987). Em contrapartida, os outros 17 poços foram desconsiderados por não possuírem dados completos ou por estarem próximos um dos outros e apresentarem particularidades similares.

2.4 Método GOD

Para avaliar a vulnerabilidade natural do aquífero Barreiras na Ilha de Colares-PA foi empregado a metodologia sugerido por Foster (1987), denominada GOD (*Groundwater occurrence, Overall lithology of the unsaturated zone, Depth to the water table*), em razão de sua simplicidade e de necessitar de uma quantidade pequena de parâmetros, o que possibilita sua utilização em contextos em que não existe muita informação disponível.

A metodologia GOD é constituída de quatro fases interligadas e sucessivas para informações de cada poço (Figura 3):

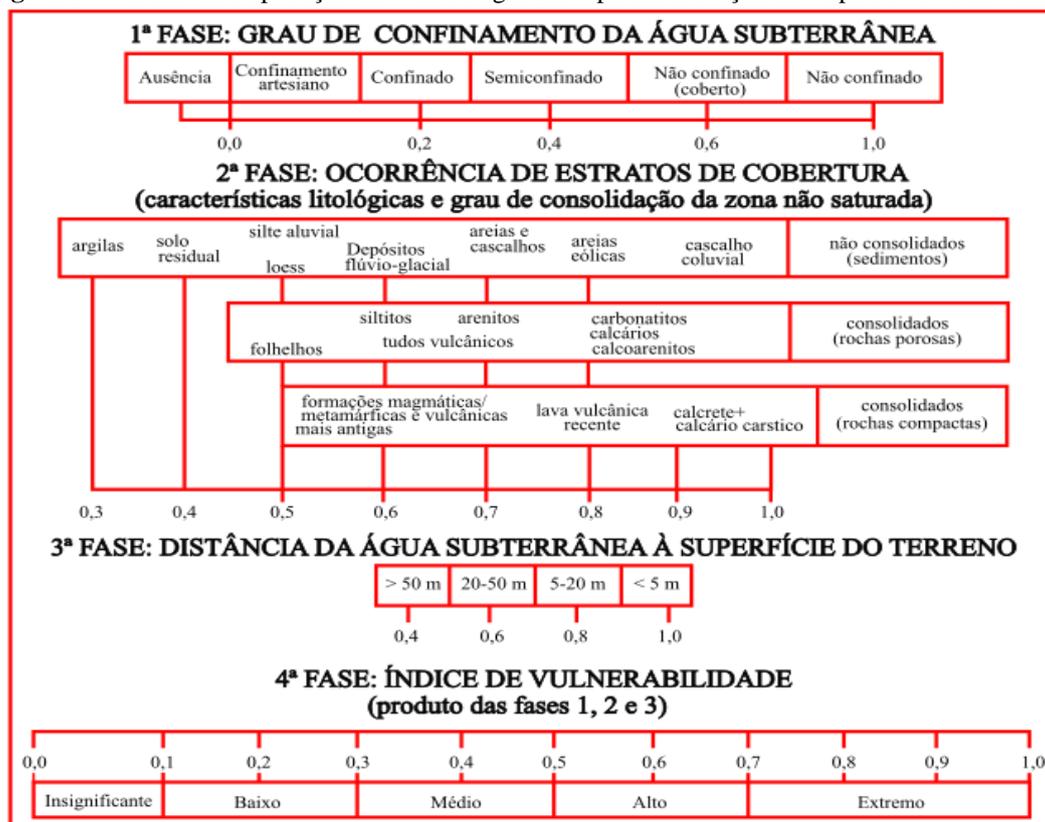
1ª Fase: Identificação do tipo e grau de confinamento hidráulico da água subterrânea (Índice G: ground water occurrence), em que os valores são obtidos em um intervalo entre 0 e 1;

2ª Fase: Caracterização geológica da zona não saturada (Índice O: overall litology of aquifer), índice representado numa escala de 0,3 - 1,0;

3ª Fase: Determinação da profundidade do nível da água (Índice D: depth of water), índice analisado numa de escala de 0,6 - 1,0;

4ª Fase: Multiplicação de todos os parâmetros que integram a metodologia GOD para obtenção de um valor específico de vulnerabilidade.

Figura 3 – Estrutura de aplicação da Metodologia GOD para elaboração do mapa de vulnerabilidade.



Fonte: Adaptado de Foster (1987).

De acordo com Crispim et al. (2021) interpretar o índice é essencial para compreender a lógica dos parâmetros e valores obtidos pelo método. O método GOD é composto por cinco classes de vulnerabilidade que variam de Insignificante à Extremo. Logo, cada classe tem uma definição particular que representa a situação da vulnerabilidade natural (Tabela 1).

Tabela 1 – Classificação dos níveis de vulnerabilidade e suas definições.

GOD	Classes de vulnerabilidade	Definição
0,0 – 0,1	Insignificante	Aquífero pouquíssimo vulnerável, visto que existem camadas confinantes sem fluxo vertical significativo de água subterrânea.
0,1 – 0,3	Baixo	Aquífero vulnerável apenas a contaminantes conservadores, a longo tempo, quando são continuamente lançados ou lixiviados.
0,3 – 0,5	Médio	Aquífero vulnerável a poucos contaminantes, mas somente, quando são continuamente lançados ou lixiviados.
0,5 – 0,7	Alto	Aquífero vulnerável a vários contaminantes (com exceção aos que são fortemente adsorvidos ou rapidamente transformados) em diversos cenários de contaminação.
0,7 – 1,0	Extremo	Aquífero vulnerável à maioria dos contaminantes com impacto rápido em diversos contextos de contaminação.

Fonte: Adaptado de Foster et al. (2002).

Para determinar o nível de vulnerabilidade dos 20 poços estudados e melhorar a análise do método GOD, foi utilizado uma planilha de cálculo do programa (Excel 2013) para realizar a modelagem matemática recomendada por Borba et al. (2014). Este procedimento tem com finalidade analisar as escalas de pontuação para vulnerabilidade das águas subterrâneas determinada pelo método GOD. Em contrapartida, a litologia, profundidade do aquífero e seu grau de confinamento foram analisados com os dados das características do local pesquisado (Kapelinski et al., 2018).

As informações requeridas para a determinação dos índices foram obtidas por meio de investigações de campo e em bases de dados disponíveis em instituições públicas e órgãos de pesquisa, ligados à hidrogeologia, a citar: Secretaria Estadual de Meio Ambiente e Sustentabilidade do Pará (SEMAS), Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM) e Companhia de Pesquisa e Recursos Minerais (CPRM).

2.5 Elaboração do mapa de vulnerabilidade natural à contaminação

A elaboração dos mapas referentes a cada índice foi através da utilização do software de propriedade da ERIS, o ArcGIS versão 10.5 que possibilita a interpolação de valores, produzindo, como resultado, mapas em formato GRID, que representam a organização da informação espacial por conjuntos de células, visualizadas através de um gradiente de cores.

O método de interpolação utilizado foi Inverso Ponderado da Distância (Inverse Distance Weighted - IDW) que estima um valor para um local específico não medido, utilizando os valores medidos ao redor do local de previsão. Deste modo, os valores próximos do local de estimativa terão mais influência no valor estimado daquelas mais distantes (De Vargas et al., 2019). Assim, o IDW considera que cada ponto estimado possui uma influência de posição que diminui com a distância. Logo, os valores são calculados de acordo com a seguinte equação:

$$\hat{Z}(x) = \frac{\sum_{i=1}^n Z(x_i) \frac{1}{d_{ij}^\alpha}}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{d_{ij}^\alpha}} \quad (1)$$

Em que:

z = valores previstos;

x = número de amostras;

xi = valores conhecidos;

di = distâncias entre os valores conhecidos e previstos.

2.6 Levantamento e identificação de fontes potenciais de contaminação

Para o levantamento e identificação das fontes potenciais de contaminação realizou-se visita de campo sendo utilizado o método de avaliação de impacto ambiental, listagem de controle (check-list). Esta técnica de avaliação de impacto ambiental é uma evolução do método *Ad-Hoc*. Assim, especialistas, técnicos e consultores (*Ad-Hoc*) fazem listas de componentes (ou elementos) ambientais que provavelmente são impactados pelas ações descritas (Braga et al., 2005). Este método é apropriado em situações com carência de dados e quando a avaliação deve ser disponibilizada em curto intervalo de tempo. Quando esta técnica for empregada deve ser de forma simples e com fácil entendimento (Cremonez et al., 2014).

Após o levantamento das atividades potenciais de contaminação foi realizada a plotagem de cada uma na área de estudo. Logo, o perigo à contaminação do aquífero foi definido pela combinação dos mapas de vulnerabilidade e de fontes potenciais de contaminação. Além disto, foram feitas visitas de campo visando constatar os mapas de vulnerabilidade e fontes potenciais de contaminação, com a finalidade de adequar a realidade da Ilha de Colares-PA.

2.7 Fluxo das águas subterrâneas

Para a elaboração do mapa de fluxo água subterrânea, utilizou-se dados de 20 poços cadastrados no site do SIAGAS, disponível pelo CPRM. Logo, utilizando os dados de cotas altimétricas e do nível estático do poço. Primeiramente, para a extração das cotas altimétricas dos poços, foi utilizada uma imagem SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) disponível no

projeto TOPODATA do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE, com resolução espacial de 30 metros. Posteriormente, esses dados foram tabulados no software Excel 2013. Além disso, as imagens SRTM também foram utilizadas para a elaboração do modelo digital de elevação - MDE e do perfil topográfico da área de estudo.

Para o cálculo da superfície potenciométrica foi realizado a diferença da cota altimétrica e o nível estático de cada poço para estimar a tendência do fluxo das águas subterrâneas, conforme metodologia sugerida por Barros et al. (2016). Além disso, para fazer a interpolação dos dados foi utilizado o método de Krigagem no software Surfer 13. A krigagem é um método geostatístico que se baseia em várias técnicas de análise de regressão para estimar valores em qualquer posição da área de estudo, sendo considerado um excelente estimador para este tipo de análise (Mello; Oliveira, 2016). Os dados foram exportados para um software de sistema de informação geográfica - SIG para a elaboração dos mapas. O tratamento dos dados e a elaboração do mapa foi realizado em um software de SIG. Neste estudo foi utilizada a projeção UTM 22S e o datum horizontal SIRGAS 2000.

2.8 Avaliação da qualidade das águas subterrâneas

A análise da qualidade da água foi feita em nove poços tubulares (freáticos, artesianos jorrantes e não jorrantes), cuja suas localizações foram descritas na Tabela 2 e Figura 4. Optou-se por estes nove poços em razão da logística de acesso e estarem em funcionamento. Foi identificado que os poços analisados estavam distribuídos geograficamente no centro da cidade, local que concentra a maior parte da população e a maior parte dos poços cadastrados, e em comunidades dispersas pelo território da ilha de Colares.

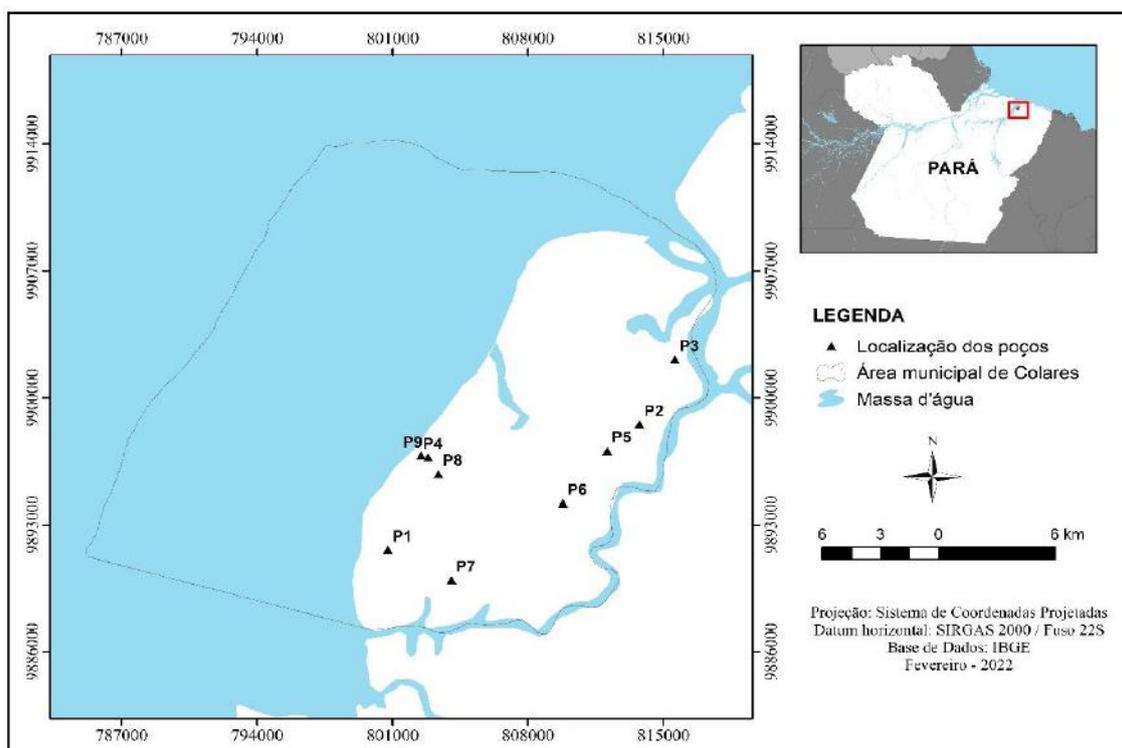
Tabela 2 – Localização dos poços com avaliação preliminar da qualidade das águas subterrâneas.

Poço	Código	Identificação	Latitude	Longitude
P 01	1500007141	ADE do Ariri	800758,2	9891620,6
P02	1500007150	ADE do Candeúba	813759,3	9898526,5
P03	1500007151	ADE do Guajará	815587,8	9902121,7
P04	1500007158	ADE do Jancolândia	802835,2	9896721,4
P05	1500007149	ADE do Maracajó	812087,2	9897082,9
P06	1500007147	ADE Fazenda	809826,0	9894103,1
P07	1500007142	ADE Genipaúba Dalaura	803294,4	9890512,0
P08	1500007162	Minha casa, minha vida	803360,6	9895798,8
P09	1500002638	Rua Principal	801938,3	9897060,2

Fonte: Dados da pesquisa (2018).

A pesquisa de campo ocorreu entre os dias 28 e 29 de junho de 2018, caracterizado como o período menos chuvoso na região. Apesar de a qualidade da água sofrer efeitos com a sazonalidade da precipitação, o período de amostragem teve como objetivo fazer uma avaliação preliminar da situação qualitativa da água por meio de parâmetros físico-químicos e microbiológicos. Logo, para avaliação qualitativa da água foi utilizado um Medidor Multiparâmetros (modelo HANNA HI 9828). Todos os procedimentos de preparo dos recipientes, coleta, acondicionamento das amostras e transporte seguiram as recomendações do Manual Prático de Análise de Água (Brasil, 2006).

Figura 4 – Distribuição espacial dos poços com avaliação preliminar da qualidade das águas subterrâneas.



Fonte: Autores (2022).

Para a interpretação dos resultados obtidos foram considerados os limites preconizados na Portaria GM/MS n.º 888/2021 que define a potabilidade da água (BRASIL, 2021) e a Resolução CONAMA n.º 396, de 03 de abril de 2008, de acordo com a Tabela 3.

Tabela 3 – Padrões de potabilidade nacional.

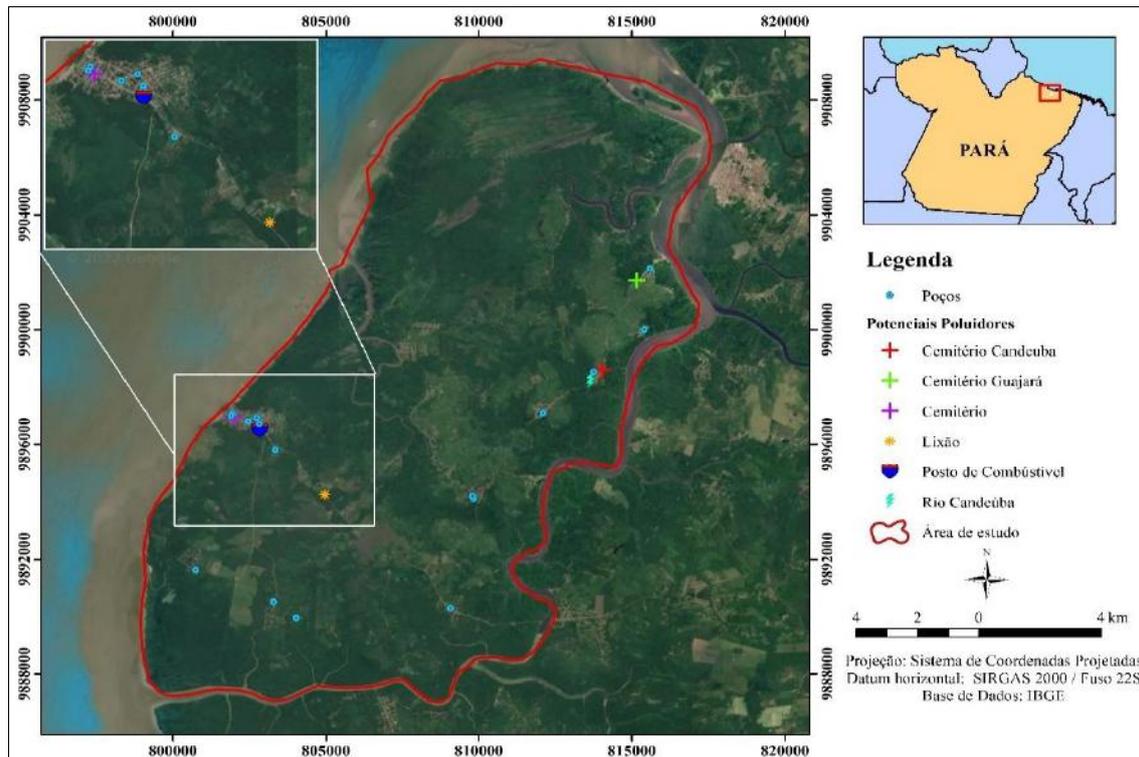
Parâmetros	Unid.	Portaria GM/MS n.º 888/2021	CONAMA 396/2008
		VMP	VMP
Oxigênio dissolvido (OD)	mg/L	-x-	-x-
Condutividade elétrica (CE)	($\mu\text{S}/\text{cm}$ à 20 °C)	-x-	-x-
Salinidade	Adimensional	-x-	-x-
Sólidos totais dissolvidos (STD)	mg/L	500	1000 mg/L
Temperatura da água	°C	-x-	-x-

Nota: VMP - Valor máximo permitido; -x- Valor não preconizado pela Portaria GM/MS n.º 888/2021 e Resolução CONAMA 396/2008.

3. Resultados e Discussão

As visitas de campo na ilha de Colares – PA possibilitaram formar uma ideia do contexto ambiental da área, onde foram identificadas preliminarmente fontes potenciais de contaminação que podem causar degradação ambiental. Logo, nesta fase de identificação preliminar, foram observadas as seguintes fontes pontuais de contaminação: 3 cemitérios, 1 posto de combustível e 1 lixão (Figura 5). De posse dos dados obtidos, foi elaborado um mapa espacializando suas localizações no território da Ilha, com a finalidade de auxiliar a construção de políticas públicas apropriadas ao aproveitamento sustentável das fontes de águas subterrâneas.

Figura 5 – Localização das fontes potenciais de contaminação na Ilha de Colares – PA.



Fonte: Autores (2022).

Os três cemitérios identificados na fase de campo, são cemitérios antigos e não apresentam nenhuma característica de controle ambiental, mostrando fortes indícios de serem uma fonte real de contaminação. De acordo com Nascimento et al. (2018) quando os cemitérios não são planejados podem representar um problema socioambiental significativo. No país, os cemitérios na maior parte, apresentam grandes riscos à saúde da população e afetam a qualidade do meio ambiente (Cerqueira; De Albuquerque, 2021). Outro problema recorrente consiste na implantação de cemitérios que tem sido realizada em áreas com baixo valor imobiliário ou em condições geológicas, hidrológicas, hidrogeológicas e geotécnicas que não são legalmente adequadas (Cerqueira; De Albuquerque, 2021; Nascimento et al., 2018).

No que tange a questão do lixão, consiste em uma forma de destinação inapropriada, em que é depositado diretamente no solo e a céu aberto, sem considerar nenhuma norma de controle. Para Crispim et al. (2016) o manejo e a destinação inapropriada dos resíduos sólidos ligados com carência de políticas públicas voltadas a sua gestão, representa um problema significativo nos municípios do país, causando graves problemas ao meio ambiente, a saúde pública e afetando o bem-estar e a qualidade de vida da população. Logo, este problema necessita de uma atenção especial por parte dos tomadores de decisão e da sociedade civil.

Para Moraes e Oliva (2019) os postos de gasolina são empreendimentos que representam um alto potencial de contaminação do subsolo e das águas subterrâneas em razão de vazamentos dos tanques de armazenamento (substâncias orgânicas voláteis), derramamento e/ou transbordamento de combustível situados nestes estabelecimentos, apontadas como um risco à saúde humana e com impacto ambiental negativo ao meio ambiente.

Os resultados alcançados referentes à identificação das atividades, aspectos ambientais e impactos ambientais negativos, resultantes dos postos de combustíveis, cemitérios e lixão na Ilha de Colares-PA, foram apresentados em forma de listagem (check-list), conforme observado no Quadro 1:

Quadro 1. Listagem (*check-list*) das atividades, aspectos ambientais e os impactos negativos.

Atividade	Aspecto Ambiental	Impactos Negativos	Fonte
Postos de combustíveis	Vazamento na bomba de combustíveis	Contaminação da água da rede drenagem pluvial	Moraes e Oliva (2019) Souto e Penner (2020)
		Poluição e/ou Contaminação do Solo	
		Risco a saúde pública	
	Presenças de óleos e graxas na água do Lava-Jato	Poluição e/ou Contaminação do Solo	
		Poluição e/ou Contaminação da Água	
		Contaminação da água da rede de drenagem pluvial	
	Derramamento de óleo no momento da troca	Poluição e/ou Contaminação do Solo	
		Contaminação humana	
		Contaminação do Lençol Freático	
		Riscos à saúde pública	
	Vazamentos no reservatório de Combustível	Contaminação do solo e das águas subterrâneas	
		Riscos à saúde pública	
	Água utilizada na limpeza do posto	Contaminação do solo	
		Contaminação das águas subterrâneas	
		Redução da disponibilidade hídrica	
Riscos à saúde pública			
Contaminação da rede de drenagem pluvial			
Cemitérios	Presença de microrganismos na decomposição dos corpos	Contaminação da água subterrânea	Feitosa et al. (2020) Nascimento et al. (2018)
		Contaminação do solo	
		Riscos à saúde pública	
	Extravasamento de necrochorume	Risco à saúde humana	
		Contaminação microbiológica do lençol freático por vírus e bactérias	
		Contaminação do solo	
		Alteração da qualidade da água	
Danificação dos túmulos devido às raízes das árvores	Contaminação do lençol freático pela infiltração do necrochorume		
Lixão	Queima e fumaça	Emissão de gases atmosféricos como metano e dióxido de carbono (CO ₂ e CH ₄)	Ferreira (2017) Crispim et al. (2016)
		Surgimento de doenças respiratórias	
	Lixiviados e chorume	Poluição e/ou Contaminação do Solo	
		Poluição e/ou Contaminação da água	
		Risco a saúde pública	
	Presença de óleos, solventes, gorduras, metais pesados e ácidos, entre outros resíduos contaminantes	Poluição e/ou Contaminação do Solo	
		Poluição e/ou Contaminação da água	
		Risco a saúde pública	
Proliferação de micro e macrovetores	Risco a saúde pública		
	Dispersão dos resíduos sólidos	Poluição visual	
	Contaminação dos catadores sem equipamentos de proteção individual	Risco a saúde pública	

Fonte: Autores.

Na Tabela 4 são apresentadas algumas características gerais dos poços analisados no estudo, assim como os respectivos índices GOD. Logo, pode-se observar que o nível estático (NE) dos poços monitorados apresentou uma variação de 0,8 a 14,9 m. Vale ressaltar, que a pequena profundidade do nível das águas subterrâneas é uma particularidade a ser considerada porque são mais vulneráveis a todo e qualquer tipo de contaminação (Duarte et al., 2017).

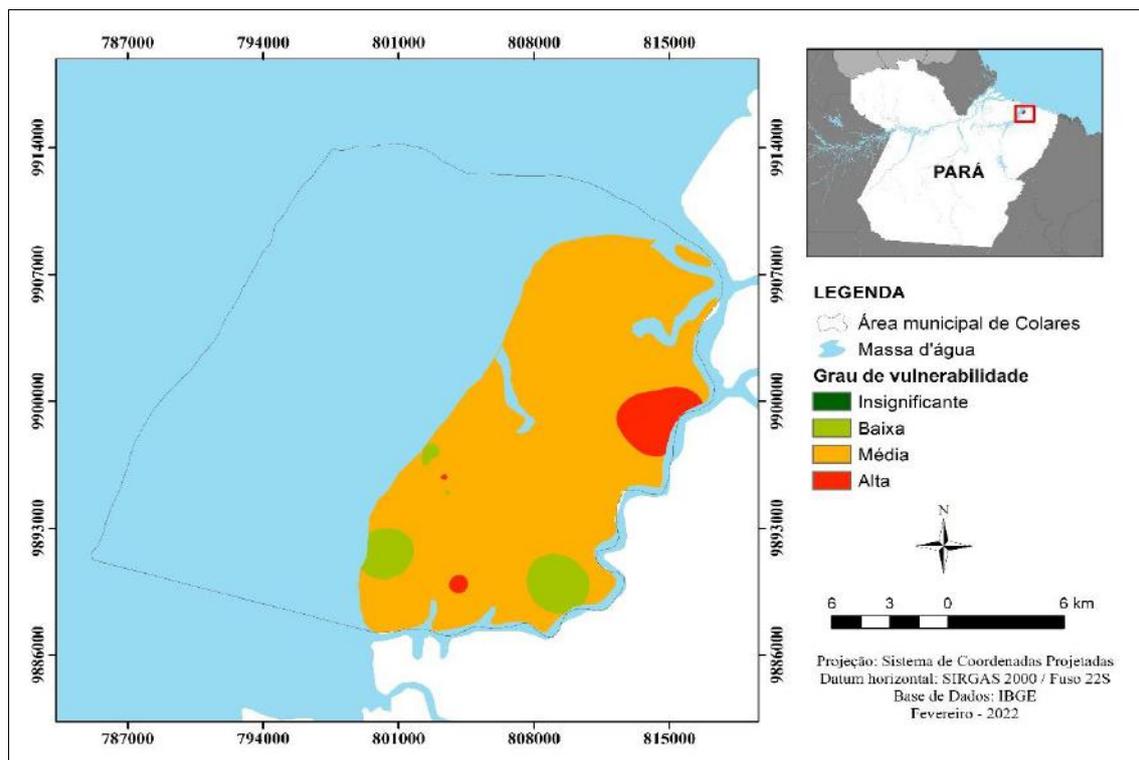
Tabela 4 – Dados dos poços cadastrados no SIAGAS utilizados no estudo e com seus respectivos graus de vulnerabilidade.

Poços	Cadastro SIAGAS	Nível Estático (NE)	Uso da água	GOD	Vulnerabilidade
P 01	1500001333	2,0 m	Urbano	0,50	Média
P 02	1500001334	3,0 m	Urbano	0,43	Média
P 03	1500001335	2,0 m	Urbano	0,22	Baixa
P 04	1500001336	2,0 m	Urbano	0,21	Baixa
P 05	1500002639	12,0 m	Urbano	0,19	Baixa
P 06	1500002638	14,9 m	Urbano	0,17	Baixa
P 07	1500002641	7,7 m	Urbano	0,18	Baixa
P 08	1500002642	5,9 m	Urbano	0,19	Baixa
P 09	1500007141	6,4 m	Urbano	0,48	Média
P 10	1500007142	3,7 m	Urbano	0,52	Alta
P 11	1500007144	6,3 m	Urbano	0,45	Média
P 12	1500007147	5,7 m	Urbano	0,48	Média
P 13	1500007149	0,8 m	Urbano	0,54	Alta
P 14	1500007150	5,4 m	Urbano	0,46	Média
P 15	1500007151	4,55 m	Urbano	0,53	Alta
P 16	1500007157	10,0 m	Urbano	0,45	Média
P 17	1500007158	6,7 m	Urbano	0,45	Média
P 18	1500007161	3,8 m	Urbano	0,53	Alta
P 19	1500007162	3,6 m	Urbano	0,51	Alta
P 20	1500007164	5,0 m	Urbano	0,47	Média

Fonte: Dados da pesquisa (2018).

A multiplicação dos índices que compõem o método GOD permitiu obter o índice de vulnerabilidade à contaminação das águas subterrâneas na Ilha de Colares – PA, o que proporcionou identificação de três classes de vulnerabilidade, tais como: baixa, média e alta vulnerabilidade à contaminação (Figura 6). Pode-se observar que existem áreas no sentido sul com baixo grau vulnerabilidade na Ilha de Colares, em contrapartida, também no sentido sul e leste da Ilha foram observadas áreas com alto grau de vulnerabilidade, visto que os atributos naturais de proteção do aquífero não possuem consideráveis resistências que possam impedir a percolação por carga contaminante.

Figura 6 – Mapa de vulnerabilidade natural à contaminação das águas subterrâneas na Ilha de Colares – PA.



Fonte: Autores (2022).

O risco médio foi predominante na área de estudo, principalmente nos aquíferos de menor permeabilidade, em especial em áreas com predominância da camada superficial arenosa. Estas camadas constituídas predominantemente por areia não servem como proteção natural ao aquífero, agregando maiores índices de vulnerabilidade pelo método empregado. Informações disponíveis no Plano Estadual de Recursos Hídricos (PERH) do Pará corroboraram com os resultados desta pesquisa, visto que os dados apresentados no plano indicaram uma predominância do grau de vulnerabilidade média à contaminação das águas subterrâneas no território paraense (PARÁ, 2021), em especial na mesorregião do Nordeste Paraense, onde está localizado o município de Colares. No entanto, no estudo realizado por Carvalho et al. (2020) no Distrito de Industrial de Icoaraci em Belém-PA, observaram uma predominância de vulnerabilidade à contaminação baixa, em razão da existência de argila no perfil do solo (principalmente areno argilosa), elementos recorrentes na formação de barreiras e que exerce importante função na proteção das águas subterrâneas.

Nota-se que uma área localizada no setor leste da Ilha apresentou uma alta vulnerabilidade natural à contaminação, sendo que neste local está localizada o cemitério Candeúba. Logo, a presença do cemitério pode causar diversos problemas como contaminação da água subterrânea, contaminação do solo, contaminação microbiológica do lençol freático por vírus e bactérias, e a contaminação do lençol freático pela infiltração do necrochorume, o que pode ocasionar riscos à saúde pública e alterar a qualidade da água, tornando-a imprópria para o consumo humano.

O poder público deve ter cuidado com a instalação de empreendimentos potencialmente poluidores nas áreas com alto grau de vulnerabilidade e necessita adotar medidas mitigadoras com relação ao cemitério Candeúba. Logo, este cenário mostra o quanto é importante o planejamento de uso e ocupação do solo na Ilha de Colares, assim como análises mais específicas das avaliações e proteção das zonas de captação de água subterrânea.

Baseado na análise da área de cada classe do grau de vulnerabilidade (Tabela 5), pode-se observar uma predominância da classe moderada, com uma área de 44,10 km² (95,49%), seguida da classe baixa, com uma área de 1,20 km² (2,59%), e a classe de vulnerabilidade alta, com uma área de aproximadamente 0,89 km² (1,92%). A somatória do grau de vulnerabilidade

média e alta corresponde em 97,41% da área da pesquisa, o que pode ser justificado pelo fato de ser um aquífero livre, com nível estático com pequena profundidade, em conjunto com a camada vadosa composta por sedimentos arenosos. Logo, estes locais têm um maior potencial à contaminação das águas subterrâneas, visto que a acessibilidade hidráulica é maior em razão dos atributos geológicos e hidrogeológicas da área.

Tabela 5 – Áreas referentes as classes de vulnerabilidade na área de estudo.

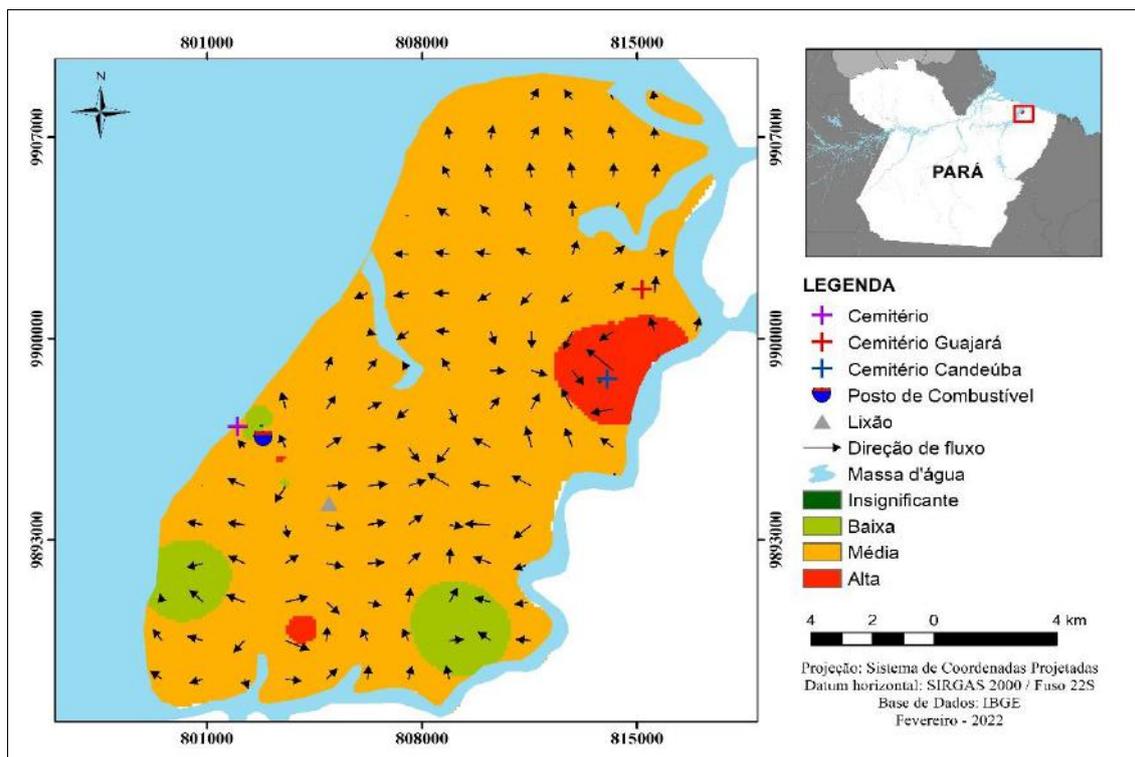
Classe	Área (km²)	(%)
Insignificante	0,00	0,00
Baixa	1,20	2,59
Média	44,10	95,49
Alta	0,89	1,92
Área total	46,18	100,00

Fonte: Dados da pesquisa (2022).

De acordo com Duarte et al. (2017) a representação de fontes potenciais de contaminação em mapas, como também a possível direção de fluxo subterrâneo no aquífero é de fundamental importância, visto que é provável identificar os locais com maior perigo à contaminação, permitindo um melhor planejamento e gestão dos recursos hídricos. Assim, foi elaborado um mapa mostrando o fluxo subterrâneo com os principais pontos potenciais de contaminação, no qual se percebe que a direção de fluxo ocorre em vários sentidos no território da área de estudo, mas, há uma pequena predominância da direção de fluxo no sentido do extremo norte da Ilha de Colares – PA.

Ainda na Figura 7, observa-se que existe uma tendência de direção de fluxo para fontes pontuais que podem causar contaminação do solo e águas subterrâneas, como no caso do cemitério Candeúba, situado em uma área com alto grau de vulnerabilidade natural à contaminação da água subterrânea. De acordo com Foster et al. (2013), locais com alta grau de vulnerabilidade e possuam fontes potenciais de contaminação como, por exemplo, postos de combustíveis e cemitérios, necessitam passar por vistorias e monitoramentos contínuos, visto que existe um perigo real de contaminação e deterioração da qualidade da água de fonte subterrânea.

Figura 7 – Mapa de direção de fluxo e principais fontes contaminantes na Ilha de Colares – PA.



Fonte: Autores (2022).

Segundo Duarte et al. (2017) é necessário diminuir, extinguir e manter um controle sobre as fontes potenciais de contaminação, bem como o monitoramento dos poços instalados com a finalidade de impedir a propagação de contaminantes. Igualmente é de fundamental importância que sejam feitas análises da qualidade da água com periodicidade regular, visto que pode ajudar na identificação previa de anomalia que possa causar degradação generalizada.

Quanto aos resultados obtidos dos parâmetros de qualidade da água que foram determinados in loco por um medidor multiparâmetro, foram comparados com os valores máximos permitidos (VMP) da Portaria GM/MS n.º 888/2021, sobre controle e da vigilância da qualidade da água para uso humano e seu padrão de potabilidade e a Resolução CONAMA n.º 396/2008, no que concerne ao enquadramento das águas subterrâneas.

Para o parâmetro Oxigênio Dissolvido (OD) não tem na Portaria GM/MS n.º 888/2021 e na Resolução CONAMA n.º 396/08 valores estabelecidos. As concentrações de OD nas amostras de água dos poços variaram de 16,2 mg/L (Minha casa minha vida) à 7,7 mg/L (ADE do Ariri), com média de 11,5 mg/L (Tabela 6). Os resultados alcançados na pesquisa divergiram dos obtidos por Simões et al. (2020) que realizaram um estudo sobre a qualidade da água de poços domésticos em comunidades rurais situadas no Arquipélago de Marajó – PA, que obtiveram baixos valores de OD, entre 2,03 e 4,8 mg/L, com média de 3,35 mg/L.

O parâmetro Condutividade Elétrica (CE) não tem um valor preconizado pela Portaria GM/MS n.º 888/2021 e a Resolução CONAMA n.º 396/2008, visto que se refere as características de cada região do país. Os valores de CE das amostras de água variaram de 20,0 a 157,0 $\mu\text{S cm}^{-1}$, com média de 53,0 $\mu\text{S cm}^{-1}$, mostrando uma baixa quantidade de sais dissolvidos e ionizados que conduzem corrente elétrica pela água. Carvalho et al. (2015) analisaram a qualidade das águas subterrâneas de Belém – PA, os quais encontraram valores de condutividade elétrica entre 45,0 e 340,2 $\mu\text{S cm}^{-1}$. Simões et al. (2020) avaliando os parâmetros físico-químicos de fontes de águas subterrâneas em comunidades rurais de Salvaterra – PA, encontraram valores entre 15,00 e 64,15 $\mu\text{S cm}^{-1}$, com média de 32,80 $\mu\text{S cm}^{-1}$, valores peculiares de poços da região amazônica.

Tabela 6 – Resultados dos parâmetros físico-químicos analisados.

Poço	Parâmetros				
	OD (mg/L)	Condutividade Elétrica - CE (μ S/cm)	Salinidade	STD (ppm)	Temperatura ($^{\circ}$ C)
ADE do Ariri	7,7	24,0	0,01	12,0	28,7
ADE do Candeúba	13,5	62,0	0,03	31,0	28,5
ADE do Guajará	9,6	28,0	0,01	14,0	28,1
ADE do Jancolândia	14,1	79,0	0,04	39,0	27,1
ADE do Maracajó	11,9	157,0	0,07	78,0	31,3
ADE da Fazenda	9,4	27,0	0,01	13,0	27,2
Genipaúba da laura	10,0	20,0	0,01	10,0	29,0
Minha casa minhavida	16,2	26,0	0,01	13,0	28,4
Rua principal	11,6	54,0	0,02	27,0	30,2

Fonte: Dados da pesquisa (2022).

Os valores encontrados para o parâmetro Salinidade mostram uma baixa concentrações de teores de sais nas águas subterrâneas da Ilha de Colares – PA, as amostras variaram de 0,01 a 0,07, com média de 0,02. Para o parâmetro sólidos totais dissolvidos (STD), o valor médio foi de 26,3 ppm, variando de 10,0 a 39,0 ppm, respectivamente. Os valores dos STD obtidos mostraram ser relativamente baixos quando comparados com os preconizados pela Portaria GM/MS n.º 888/2021 e a Resolução CONAMA n.º 396/2008. Carvalho et al. (2015) encontraram valores de STD entre 31,5 e 244,5 mg L⁻¹, sendo superior aos obtidos neste estudo. Simões et al. (2016) em comunidades rurais de Salvaterra obtiveram valores de STD entre 14,8 e 21,50 ppm, com valor médio de 19,08 ppm.

O parâmetro temperatura da água não possui um valor estabelecido pela Portaria GM/MS n.º 888/2021 e a CONAMA 396/2008, visto que se refere as características de cada região do país. A temperatura da água dos poços variou entre 27,1 e 31,3 $^{\circ}$ C, com valor médio de 28,7 $^{\circ}$ C. Estes valores são similares ao obtido por Simões et al. (2020) que obtiveram um valor médio de 27,29 $^{\circ}$ C na temperatura das águas subterrâneas. Também são similares com os valores encontrados na pesquisa de Ferreira et al. (2021) que analisaram a qualidade da água subterrânea em áreas rurais no município de Humaitá/AM, que obtiveram valores de temperatura da água entre 26,5 e 32,5 $^{\circ}$ C. De acordo com Santos (2008) a amplitude térmica das águas subterrâneas no decorrer do ano, geralmente é baixa, entre 1 e 2 $^{\circ}$ C. No entanto, a amplitude térmica da água dos poços foi de 4,2 $^{\circ}$ C. Logo, estas variações de temperatura são particularidades de aquíferos freáticos com pouca profundidade (Ferreira et al., 2021).

4. Considerações Finais

A confecção do mapa da vulnerabilidade natural à contaminação do aquífero empregando o método GOD colaborou para a espacialização na Ilha de Colares – PA, mostrando ser um relevante instrumento para gestão das águas subterrâneas neste lugar, podendo contribuir no diagnóstico da qualidade das águas subterrâneas e para auxiliar no manejo e conservação da água, a fim de garantir fontes de águas subterrâneas em condições adequadas para atender a demanda dos diferentes usos da água das atuais e futuras gerações.

A vulnerabilidade natural à contaminação do aquífero na Ilha de Colares – PA apresentou uma predominância da classe média, correspondendo em 95,49% do total da área estudada. Logo, fica evidente a relevância da conservação de áreas específicas na Ilha, em especial, as que apresentaram alto grau de vulnerabilidade e possuem fontes potenciais de contaminação situadas próximas ou dentro desta área, que pode se agravar com a tendência de direção de fluxo para as fontes de contaminação.

A análise in loco das fontes de água subterrânea pelo medidor portátil multiparâmetro mostrou que os parâmetros

físico-químicos dos nove poços apresentaram resultados abaixo dos valores máximos permitidos pela Portaria GM/MS n.º 888/2021 e a Resolução CONAMA n.º 396/2008. Além disto, os resultados desta pesquisa foram corroborados por outros estudos realizados na região Norte.

Para pesquisas futuras, a sugestão é realizar o monitoramento da qualidade da água subterrânea considerando o período chuvoso e menos chuvoso na região, para se obter resultados mais robustos, considerando a influência da sazonalidade da precipitação pluviométrica sobre a qualidade da água subterrânea. Além disto, apesar de o método GOD apresentar uma simplicidade conceitual e de aplicação para avaliar a vulnerabilidade natural à contaminação de aquífero, bem como requer uma quantidade menor de variáveis quando comparado com os métodos Aquífer Vulnerability Index (AVI) e o DRASTIC, observou-se que cerca do total de 37 poços cadastrados no SIAGAS, 17 não foram utilizados na pesquisa por não apresentarem dados completos dos parâmetros que integram o método GOD. Assim, recomenda-se que quando os dados desses parâmetros estiverem disponíveis, seja realizado uma atualização do presente trabalho.

Referências

- Albuquerque Filho, J. L., Barbosa, M. C., Azevedo, S. D., & Carvalho, A. D. (2011). O papel das águas subterrâneas como reserva estratégica de água e diretrizes para a sua gestão sustentável. *Revista de Recursos Hídricos*, 32(2), 53-61.
- Agência Nacional de Águas. (2017). *Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2017*. ANA. 169 p.
- Barros, C. G. D., da Rosa, A. L. D., da Silva, J. L. S., Oliveira, G. A., Teixeira, L. G., & da Silva Sampaio, R. B. (2016). Superfície potenciométrica e possíveis fontes de contaminação do aquífero Parecis no município de Vilhena-RO, BR. *Revista Monografias Ambientais*, 15(1), 74-84.
- Borba, W. F., da Cunha Kemerich, P. D., Vicato Filho, L. L. D., Pretto, P. R. P., Flores, C. E. B., França, J. R., & Hinteholz, D. (2014). Vulnerabilidade do aquífero à contaminação no município de Seberi/RS. *Revista Monografias Ambientais*, 13(1), 2960-2966.
- Braga, T. G. M., da Silva, G. M., Lima, M. O., Silva, A. L. P., Costa, M. D. S. S., Pinheiro, P. F. V., & Ferreira, O. O. (2018). Caracterização e análise dos fragmentos florestais e uso do solo no município de Colares, nordeste do Pará, Brasil. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi-Ciências Naturais*, 13(3), 383-407.
- Braga, B., Hespagnol, I., Conejo, J. G. L., Mierzwa, J. C., Barros, M. T. L., Spencer, M., & Eiger, S. (2005). *Introdução à engenharia ambiental: o desafio do desenvolvimento sustentável*. 2. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall. 336p.
- Brasil. (2008). Conselho Nacional do Meio Ambiente. *Resolução CONAMA n.º 396. 03 de abril de 2008*. Dispõe sobre a Classificação e Diretrizes Ambientais para o Enquadramento das Águas Subterrâneas e dá outras providências. Brasília.
- Brasil. (2006). Fundação Nacional de Saúde. *Manual prático de análise de água*. (2a ed.), Fundação Nacional de Saúde. 146 p.
- Brasil. (2021). Ministério da Saúde/Gabinete do Ministro. *Portaria GM/MS Nº 888, de 4 de maio de 2021*. Disponível em: <https://www.in.gov.br/web/dou/-/portaria-gm/ms-n-888-de-4-de-maio-de-2021-318461562>.
- Brito, T. P., Lima, A. L. R., Sena, C. S. O., & dos Santos, G. B. (2016). A pesca artesanal e o conhecimento ecológico sobre peixes-boi (ordem sirenia) na ilha de Colares-Pará-região norte-Brasil. *Revista Ouricuri*, 6(1), 027-049.
- Carvalho, A. C. L., Vinagre, M. V. A., Mendes, R. L. R., Lopes, D. F., Lopes, M. D. S. B., & da Silva Pereira, M. (2020). Estudo da vulnerabilidade da água subterrânea no distrito industrial de Icoaraci (Belém-PA)(Estudo de caso). *Brazilian Journal of Development*, 6(2), 5649-5661.
- Carvalho, F. I. M., Lemos, V. P., Dantas Filho, H. A., & Kelly das Graças, F. D. (2015). Avaliação da qualidade das águas subterrâneas de Belém a partir de parâmetros físico-químicos e níveis de elementos traço usando análise multivariada. *Revista Virtual de Química*, 7(6), 2221-2241.
- Cerqueira, J. D. S., & De Albuquerque, H. N. (2021). Impactos ambientais de um cemitério não sustentável na Paraíba. *Revista Multidisciplinar de Educação e Meio Ambiente*, 2(3), 49-49.
- Cremonez, F. E., Cremonez, P. A., Feroldi, M., de Camargo, M. P., Klajn, F. F., & Feiden, A. (2014). Avaliação de impacto ambiental: metodologias aplicadas no Brasil. *Revista Monografias Ambientais*, 13(5), 3821-3830.
- Crispim, D. L., Coelho, L., de Oliveira, A. M. B. M., de Andrade, S. O., & Chaves, A. D. C. G. (2017). Análise físico-química das águas de três poços amazonas no centro da cidade de Pombal-PB. *Geografia Ensino & Pesquisa*, 21(2), 155-163.
- Crispim, DL, Pimentel Da Silva, GD, & Fernandes, LL (2021). Rural water sustainability index (RWSI): an innovative multicriteria and participative approach for rural communities. *Impact Assessment and Project Appraisal*, 39 (4), 320-334.
- Crispim, D. L., Rodrigues, R. S. S., de Abreu Vieira, A. S., de Oliveira Silveira, R. N. P., & Fernandes, L. L. (2016). Espacialização da cobertura do serviço de saneamento básico e do índice de desenvolvimento humano dos municípios do Marajó, Pará. *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável*, 11(4), 112-122.

- De Vargas, T., Gomes, M. G., Belladonna, R., & Adami, M. V. D. (2019). Aplicação do interpolador IDW para elaboração de mapas hidrogeológicos paramétricos na região da Serra Gaúcha. *Scientia cum industria*, 6(3), 38-43.
- De Matos, D. M., & Mendes, R. L. R. (2012). Mapeamento da vulnerabilidade natural de aquífero a partir do método eletroresistividade no campus da universidade federal do oeste do Pará – UFOPA. *Águas Subterrâneas*, <https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/27748>.
- Duarte, M. L., Locatelli, M., da Silva, T. A., & da Silva Filho, E. P. (2017). Vulnerabilidade à contaminação das águas subterrâneas do sistema de aquífero Içá/Fraturado norte na área urbana do município de Porto Velho/Rondônia. *REA Revista de estudos ambientais (Online)*, 19(2), 40-54.
- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. (2011). EMBRAPA SOLOS. *O novo mapa de solos do Brasil: legenda atualizada*. Rio de Janeiro: Embrapa Solos. 67 p.
- Feitosa, J., Campos, T., & Bandeira, J. (2020). Gestão ambiental de cemitérios: uma revisão da literatura e sugestão de pesquisa: uma revisão sobre gestão ambiental de cemitérios. *Revista Acta Ambiental Catarinense*, 17(1), 162-174.
- Ferreira, L. A., Pimentel, E. T., da Silva, R. B. P., & de Almeida Santos, A. (2021). Avaliação da qualidade de potabilidade da água subterrânea em áreas rurais no município de Humaitá/AM. *Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais*, 12(1), 721-729.
- Ferreira, R. G. (2017). Proposta de padronização cartográfica para carta-imagem emergencial de inundação Impactos ambientais decorrentes do lixão da cidade de Condado-PB. *Geografia, Ensino & Pesquisa*, 21(3), 142-151.
- Foster, S.S.D. (1987). *Fundamental Concepts in Aquifer Vulnerability, Pollution Risk and Protection Strategy: International Conference, 1987, Noordwijk Aan Zee, the Netherlands Vulnerability of Soil and Groundwater to Pollutants The Hague, Netherlands Organization for Applied Scientific Research*. Netherlands Organization for Applied Scientific Research, 69-86.
- Foster, S., Hirata, R., Gomes, D., D'Elia, M., & Paris, M. (2002). *Groundwater quality protection: a guide for water utilities, municipal authorities, and environment agencies*. Washington, DC: World Bank. <https://openknowledge.worldbank.org/.../250710PU>.
- Foster, S., Hirata, R., & Andreo, B. (2013). The aquifer pollution vulnerability concept: aid or impediment in promoting groundwater protection? *Hydrogeology Journal*, 21(7), 1389-1392.
- Hirata, R., Suhogusoff, A. V., Marcellini, S. S., Villar, P. C., & Marcellini, L. (2019). A revolução silenciosa das águas subterrâneas no Brasil: uma análise da importância do recurso e os riscos pela falta de saneamento. São Paulo: Trata Brasil. https://tratabrasil.org.br/images/estudos/itb/aguas-subterraneas-e-saneamento-basico/Esudoaguassubterraneas_FINAL.pdf.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2022). *Panorama*. IBGE, <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pa/colares/panorama>.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2012). *Diretoria de geociências, mapas-tematicos_pedologia/unidades_federação/pa_pedologia*. 2012. IBGE, Rio de Janeiro. <http://www.ibge.gov.br/cidadesat/topwindow.htm>.
- Instituto de Desenvolvimento Econômico, Social e Ambiental do Pará. (2013). *Município de Colares*. Estatística municipal. www.idesp.pa.gov.br/paginas/produtos/EstatisticaMunicipal/pdf/Colares.pdf.
- Kapelinski, F. L., Machado, J. D., Pereira, R. N., Bernardi, E. C. S., & Swarowsky, A. (2018). Índice de vulnerabilidade das águas subterrâneas do município de Cerro Largo/RS. *Disciplinarum Scientia| Naturais e Tecnológicas*, 19(2), 219-229.
- Moraes, Y. G., & Oliva, P. C. (2019). Estudo integrado para identificação por hidrocarbonetos na subsuperfície de postos de combustíveis no município de Baião (Pará, Brasil). *Brazilian Journal of Development*, 5(12), 30252-30271.
- Nascimento, F. L., Senhoras, E. M., & Falcão, M. T. (2018). Necrópoles e os impactos ambientais: cemitério público municipal, Boa Vista-RR. *Revista Barú-Revista Brasileira de Assuntos Regionais e Urbanos*, 4(2), 236-256.
- Mello, Y. R. D., & Oliveira, T. M. N. D. (2016). Análise estatística e geoestatística da precipitação média para o município de Joinville (SC). *Revista Brasileira de Meteorologia*, 31(2), 229-239.
- Pará. Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Sustentabilidade. (2021). *Plano Estadual de Recursos Hídricos do Pará*. SEMAS.
- Pimentel, A. R. C., Pacheco, J. J., Palheta, M. V. O., Costa Júnior, R. N. da F., Ribeiro, S, de O., & Tostes, W. S. (2012). *Estatística Municipal*, Colares.
- Santos, A. C. *Qualidade das águas subterrâneas*. In: Feitosa, F. A. C., Manoel Filho, J, Feitosa, E. C., & Demetrio, J. G. A. (2008). Hidrogeologia: conceitos e aplicações. 3. ed. revisada e ampliada. CPRM: LABHID, 812 p.
- Silva, D. D. D., Migliorini, R. B., Silva, E. D. C., Lima, Z. M. D., & Moura, I. B. D. (2014). Falta de saneamento básico e as águas subterrâneas em aquífero freático: região do Bairro Pedra Noventa, Cuiabá (MT). *Engenharia Sanitária e Ambiental*, 19(1), 43-52.
- Silva, J. M. L. da, Gama, J. R. N. F., Rodrigues, T. E., Valente, M. A., dos SANTOS, P. L., Rolim, P. A. M., & Lobo, W. T. (2001). Zoneamento agroecológico do Município de Colares, Estado do Pará. Belém: Embrapa Amazônia Oriental. 77 p.
- Simões, M. C., Morales, G. P., & Bichara, C. N. C. (2020). Avaliação da qualidade da água de poços domésticos em comunidades rurais no Arquipélago de Marajó-PA. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 13(05), 2462-2475.
- Souto, C. K. B., & Penner, G. C. (2020). Postos de venda de orgânicos em Belém-PA: o licenciamento ambiental e os à apreciação do solo da água potável. *Research, Society and Development*, 9(10), e6529109100-e6529109100.