



UTILIZAÇÃO DO MÉTODO GOD PARA ANÁLISE DA VULNERABILIDADE NATURAL DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS NA COMUNIDADE DE XAVIER E SEU ENTORNO EM CAMOCIM/CE

USE OF THE GOD METHOD TO ANALYZE THE NATURAL VULNERABILITY OF GROUNDWATER IN THE COMMUNITY OF XAVIER AND ITS SURROUNDINGS IN CAMOCIM/CE

USO DEL MÉTODO GOD PARA ANALIZAR LA VULNERABILIDAD NATURAL DEL AGUA SUBTERRÁNEA EN LA COMUNIDAD DE XAVIER Y SUS ALREDEDORES EN CAMOCIM / CE

Antonio Patrick Meneses de Brito ¹
Raquel Morais Silva ²
Ítalo Magno de Melo Santos ³

RESUMO

Ao longo de sua sistematização, a avaliação ambiental tem se apropriado cada vez mais das Geotecnologias para ampliar seu olhar sobre as análises socioeconômicas e naturais. O uso do Geoprocessamento, Sensoriamento Remoto, GNSS e *softwares* que utilizam bancos de dados para gerar mapas, gráficos, tabelas e outros produtos tem se tornado comum na atualidade. Esta pesquisa objetiva destacar o uso das Geotecnologias como ferramentas nos estudos de vulnerabilidade das águas subterrâneas das áreas no entorno da comunidade de Xavier, localizada no município de Camocim – CE, por meio da produção de mapas de localização, mapa de vulnerabilidade e o cadastro dos poços. Os dados calculados pelo método GOD foram trabalhados em ambiente SIG (Sistema de Informações Geográficas) para a confecção do mapa de vulnerabilidade, além de identificar os aquíferos (não confinados), as litologias predominantes na área de estudo (areias eólicas e Formação Barreiras) e gerar os índices de vulnerabilidade. Mapeou-se 25 poços em toda a área de estudo, percebeu-se que a região do aquífero que apresentou maior índice de vulnerabilidade foi a região sul, notou-se que o índice para essa região está concentrado entre 0,50 a 0,54. As principais formas de uso da água são, abastecimento humano, atividade agrícola e dessedentação animal. Analisou-se a água para os parâmetros pH, condutividade elétrica, cloreto, STD, dureza total e turbidez.

Palavras-chave: geoprocessamento; recurso hídrico; impacto ambiental.

ABSTRACT

Throughout its systematization, environmental assessment has increasingly appropriated Geotechnologies to broaden its view on socioeconomic and natural analyzes. The use of Geoprocessing, Remote Detection, GNSS and software that utilize databases to generate maps,

¹ Graduando em Agronomia da Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira, UNILAB, Redenção, Ceará. patrickmeneses675@gmail.com.

² Mestranda em Geografia da Universidade Federal do Ceará, UFC, Fortaleza, Ceará. raquelmorais325@gmail.com.

³ Graduando em Engenharia de energias da Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira, UNILAB, Redenção, Ceará. iitalomagno@gmail.com.

graphics, tables and other products has become more common current days. This research goals to highlight the use of Geotechnologies as a tool in studies of vulnerability of groundwater in the surrounding areas in the community of Xavier, located in the city of Camocim - CE through the production of location maps, vulnerability map and the register of water wells. The data calculated by the GOD method were worked in a GIS environment - Geographic Information System for the preparation of the vulnerability map, and identifying aquifers (not confined), the predominant lithologies in the study area (wind sands and Barreiras Formations) and generate vulnerability indexes. 25 water wells were mapped across the study area, it was realized that the region of the aquifer that had the highest vulnerability index was the southern region, it was realized, then, that the index for that region was concentrated between 0.50 to 0, 54. The main forms of water use are human supply, agricultural activity and animal. Water was analyzed for the pH parameters, electrical conductivity, chloride, STD, total hardness and turbidity.

Keywords: geoprocessing; water resource; environmental impact.

RESUMEN

A lo largo de su sistematización, la evaluación ambiental se ha apropiado cada vez más de las geotecnologías para ampliar su visión de los análisis socioeconómicos y naturales. El uso de geoprocésamiento, sensoriamiento remoto, GNSS y software que utilizan bases de datos para generar mapas, gráficos, tablas y otros productos se ha vuelto más común en la actualidad. Esta investigación tiene como objetivo resaltar el uso de las geotecnologías como herramienta en los estudios de vulnerabilidad de las aguas subterráneas en las áreas que rodean la comunidad de Xavier, ubicada en el municipio de Camocim - CE a través de la producción de mapas de ubicación, mapas de vulnerabilidad y el registro de pozos. Los datos calculados por el método GOD se trabajaron en el ambiente SIG: Sistema de Información Geográfica para la preparación del mapa de vulnerabilidad, además de identificar los acuíferos (no confinados), las litologías predominantes en el área de estudio (arenas eólicas y Formación Barreiras) y generar índices de vulnerabilidad. Se mapearon 25 pozos en toda el área de estudio, se observó que la región del acuífero que tenía el índice de vulnerabilidad más alto fue la región sur, se observó que el índice para esa región se concentró entre 0,50 y 0, 54). Las principales formas de uso del agua son el suministro humano, la actividad agrícola y la animal. En el agua se analizó los parámetros pH, conductividad eléctrica, cloruro, STD, dureza total y turbidez.

Palabras clave: geoprocésamiento; recurso hídrico; impacto ambiental.

INTRODUÇÃO

A complexidade das relações sociais com os recursos naturais tem se tornado danosas nas últimas décadas, o que promove a degradação de seus componentes ambientais (solos, ar, vegetação, relevo, águas superficiais e subterráneas) e suas inter-relações. O uso e a ocupação do solo de forma irregular e indiscriminada em desrespeito às leis ambientais, a poluição atmosférica em larga escala, o desmatamento e as queimadas, a contaminação dos corpos hídricos superficiais e subterráneos são alguns exemplos de processos que devem ser monitorados. Assim, auxiliando em tomadas de decisões por parte das autoridades competentes e buscando promover maior divulgação de informações sobre seus impactos com o objetivo de

sensibilizar a sociedade de suas práticas, em suas mais variadas dimensões e segmentos, bem como possibilitar medidas e ações de conservação do ambiente e seus recursos.

Nessa perspectiva, o monitoramento, a espacialização, o controle e a remediação de tais processos são possíveis por meio de conhecimentos cartográficos que, por sua vez, são a base para os avanços geotecnológicos que abrem possibilidades amplas para os estudos sociais, econômicos e ambientais.

Diante da diversidade de estudos ambientais existentes na atualidade, as Geotecnologias surgem como ferramentas de análise, coleta, processamento e oferta de informações georreferenciadas sobre fenômenos que ocorrem no sistema Terra-Atmosfera. Englobam tecnologias de sensoriamento remoto, geoprocessamento e sistema de posicionamento global, com base no sistema de coordenadas geodésicas que permite a localização dos dados, fenômenos e processos na superfície terrestre (POLETO *et al.* 2010). Os dados podem ser utilizados em um Sistema de Informação Geográfica e são classificados como primários (levantamento direto no campo ou produtos obtidos por sensores remotos) e secundários (mapas e estatísticas), que são derivados das fontes primárias (ROSA, 2005).

Os estudos de vulnerabilidade de águas subterrâneas ganham maior destaque na contemporaneidade diante da insegurança hídrica, tanto por escassez e comprometimento de sua qualidade, quanto por contaminação e poluição, e podem ser desenvolvidos com o uso das Geotecnologias, através do geoprocessamento de dados georreferenciados por meio de *softwares* gráficos e sensoriamento remoto, por exemplo. A água subterrânea é um recurso hídrico indispensável e estratégico para a sobrevivência humana e suas atividades, embora seja negligenciada, desvalorizada e degradada, o que intensifica sua vulnerabilidade natural.

Para Amaral e Bayer (2015), a água subterrânea é um recurso natural vital para o abastecimento econômico e seguro de água potável nos meios urbano e rural, e desempenha papel fundamental para o bem-estar dos seres humanos e de muitos ecossistemas aquáticos (FOSTER, 1987). Cada vez mais aquíferos (formação geológica que armazena água subterrânea adequada para o consumo) estão em perigo de contaminação, devido à urbanização, industrialização, mineração, agricultura (AMARAL e BAYER, 2015), além de empreendimentos eólicos e suas obras de instalação.

Foster (1987), define vulnerabilidade de um aquífero a contaminação como o conjunto de características intrínsecas dos estratos que separam o aquífero saturado da superfície do solo, o que determina sua suscetibilidade a sofrer os efeitos adversos de uma carga contaminante aplicada na superfície. Existem vários métodos para avaliar a vulnerabilidade de um aquífero.

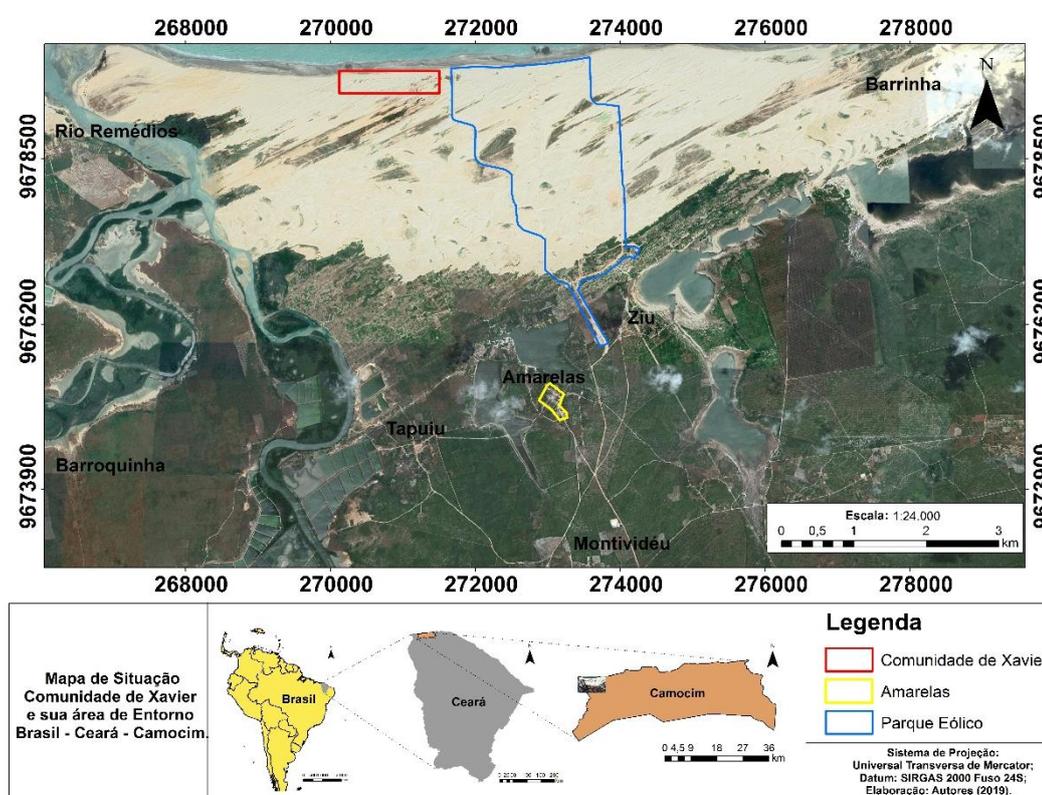
O escolhido para este trabalho foi o GOD, onde foi amplamente testado na América Latina e no Caribe durante a década de 1990, por conta de sua simplicidade conceitual e de aplicação no ambiente SIG, o que possibilita gerar mapas de vulnerabilidade com mais segurança e confiabilidade.

Diante do exposto, este estudo tem como objetivo destacar o uso das Geotecnologias como ferramentas nos estudos da vulnerabilidade das águas subterrâneas das áreas do entorno da comunidade de Xavier, localizada no município de Camocim – CE.

ÁREA DE ESTUDO

A Praia de Xavier é uma comunidade tradicional de pescadores que dista 370 km da capital do estado, Fortaleza. Situa-se no extremo oeste do litoral cearense, no município de Camocim e integra a zona rural de um dos três distritos do município, o Amarelas (Figura 1), que atualmente possui 24 famílias e 65 habitantes que vivem basicamente da agricultura de subsistência, pesca marítima, extração de moluscos e crustáceos do manguezal.

Figura 1 – Mapa de localização da Praia de Xavier, Camocim, Ceará, Brasil.



Fonte: Autores, (2019).

A comunidade de Xavier e seu entorno são drenadas pelo rio Remédios que se localiza no limite com o município de Barroquinha, à oeste, e ao sul na divisa do município de

Revista Homem, Espaço e Tempo, nº 14, volume 1, p. 145-163, Jan/Dez/2020.
ISSN: 1982-3800

Granja. O acesso à comunidade pode ser feito pela rodovia estadual CE-085 e vias secundárias que margeiam o distrito de Amarelas e demais comunidades adjacentes.

A comunidade de Xavier e seu entorno não possuem saneamento básico, rede de esgoto e água tratada nas residências e demais estabelecimentos. Assim, o abastecimento de água é feito por meio da escavação de poços rasos construídos pelos próprios moradores que, por sua vez, não possuem outorga para uso da água subterrânea. O lançamento de dejetos é realizado em fossas secas que, se forem construídas fora dos padrões de segurança, podem atingir o lençol freático e contaminá-lo.

Destaca-se que não existe atendimento à demanda de abastecimento humano por meio de cisternas de placas, mas existem 14 poços profundos com bombas submersas instaladas para facilitar a captação de água em profundidades maiores na Formação Barreiras onde se localizam as comunidades de Ziu, sede do distrito de Amarelas, Tapuiu e Montevideú.

As águas subterrâneas por natureza apresentam grande vulnerabilidade, principalmente aquelas armazenadas em unidades geológicas com grande permeabilidade e porosidade, como nas dunas eólicas, e que se encontram a poucos metros de profundidade, como as reservas hídricas do lençol freático da área em questão. Tais aspectos contribuem para acentuar a suscetibilidade desses recursos hídricos subsuperficiais às cargas contaminantes provenientes da dinâmica populacional local, como uso das fossas secas e despejo de esgotos domésticos.

Para Hirata et al. (2009), as águas subterrâneas são passíveis de serem afetadas pela má exploração ou pela contaminação causada por atividades antrópicas. Essa contaminação está associada às atividades em superfície, que lançam substâncias que poluem as águas, e também à má construção de captações subterrâneas, que permite o ingresso de contaminantes no poço.

Para agravar a situação de vulnerabilidade do aquífero, em 2009 foi construído no extremo leste da Praia de Xavier um grande parque eólico (Figura 1), um dos maiores centros de geração de energia eólica do Ceará até então. Segundo Mendes et al. (2016), a usina eólica tem capacidade de 104,4 MW e 50 aerogeradores numa área de aproximadamente 1.040 ha e ocasiona diversos problemas socioambientais na área. As obras de implantação e instalação dos aerogeradores desconfiguraram o ecossistema de dunas e intensificaram ainda mais a vulnerabilidade do aquífero que abastece a comunidade de Xavier e seu entorno.

MATERIAL E MÉTODOS

As Geotecnologias utilizadas neste trabalho, como o Geoprocessamento de imagens/shapes em ambiente SIG, possibilitaram a elaboração do mapa de localização da

comunidade de Xavier por meio da ferramenta QGIS, versão Las Palmas 2.18, que é um *software* livre com código-fonte aberto que permite a visualização, edição e análise de dados georreferenciados.

A delimitação da área de estudo e espacialização dos dados foi realizada a partir de imagem espacial obtida do programa Google Earth referente a data de 11/2018. Esta imagem foi georreferenciada com 18 pontos de controle no qual configuraram um erro total de 0,2 durante o processo de georreferenciamento.

Os *shapes* utilizados foram obtidos no *site* do IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Estes *shapes* foram recortados e sobrepostos para compor os elementos do mapa final da área de estudo. As imagens SVG foram utilizadas para localizar o parque eólico que, por sua vez, foi vetorizado com a união de pontos e linhas demarcando um polígono para delimitar sua área de abrangência.

Ressalta-se a importância dos elementos obrigatórios num mapa, como o título, a legenda, a escala, o Norte, as coordenadas, o sistema de projeção utilizado, o *datum*, a fonte de obtenção dos *shapes* e autoria/elaboração. O conjunto desses elementos permite a compreensão do assunto abordado no mapa, facilita sua representação, leitura e interpretação das informações expostas.

O método GOD foi utilizado para avaliar a vulnerabilidade dos aquíferos na área de estudo, sendo constituído por três parâmetros (Foster e Hirata, 1991): **G** – Grau de confinamento da água subterrânea e varia de 0,0 – 1,0; **O** – Ocorrência de estratos de cobertura (litologia) e varia de 0,4 – 1,0; **D** – Distância do lençol freático até a superfície e varia de 0,6 – 1,0 (Figura 2). Os valores atribuídos são multiplicados entre si, fornecendo uma medida relativa da vulnerabilidade do aquífero à poluição (Quadro 1).

Os parâmetros G e O foram obtidos de perfis construtivos/litológicos dos poços adquiridos no SIAGAS (Sistema de Informações de Águas Subterrâneas) e o parâmetro D obtido através das medidas de nível d'água de poços *in situ* (fevereiro/2019).

Mapeou-se os poços da comunidade de Xavier e sua área de entorno com o uso de GPS Garmin Etrex para localizar suas respectivas coordenadas geográficas que, por sua vez, foram convertidas em coordenadas UTM no próprio receptor móvel de navegação.

Para a interpolação dos parâmetros G, O e D foi utilizado o método de *krigagem*, em ambiente SIG por meio da ferramenta *Geostatistic Wizard* do *Arc Gis 10.3*. Este *software* é um Sistema de Informações Geográficas (*Geographic Information System – GIS*) utilizado para criar, gerenciar, compartilhar e analisar dados espaciais. A coleta de dados de campo, preparação de arquivo de dados, importação no *ArcGIS* e interpolação permitiram a geração de mapas de distribuição espacial ponderada pela distância entre os pontos georreferenciados.

Vale salientar que a *krigagem* é um método comum de regressão, muito utilizado em Geoestatística, para realizar a interpolação espacial. A extensão *Geostatistical Analyst*, do *ArcGIS*, oferece ferramentas para a exploração de dados geográficos, permite modelar fenômenos geoespaciais, avaliar riscos e prever com grande precisão os valores dentro das áreas de estudo. Com esta extensão é possível analisar todos os dados da amostra, avaliar as incertezas, produzir visões únicas e criar superfícies interpoladas, para fomentar melhores tomadas de decisão (NOGUEIRA et al, 2009).

Para as análises de água realizou-se a seleção de 10 pontos amostrais para representar a área total do aquífero. Os referidos pontos foram escolhidos pois estes caracterizam todas as comunidades dentro da área de estudo, assim, apresentam alta distribuição espacial em toda a área. A determinação dos poços se deu principalmente com base no uso da água, buscando a melhor caracterização e maior representação da área do aquífero.

As análises realizadas foram interpretadas de acordo com Brasil, (2017). A referida legislação estima os valores toleráveis (valor mínimo e/ou máximo permitido) para os parâmetros da água, afins de assegurar os padrões de potabilidade. Avaliou-se os parâmetros pH, condutividade elétrica, cloreto, dureza total, sólidos totais dissolvidos e turbidez.

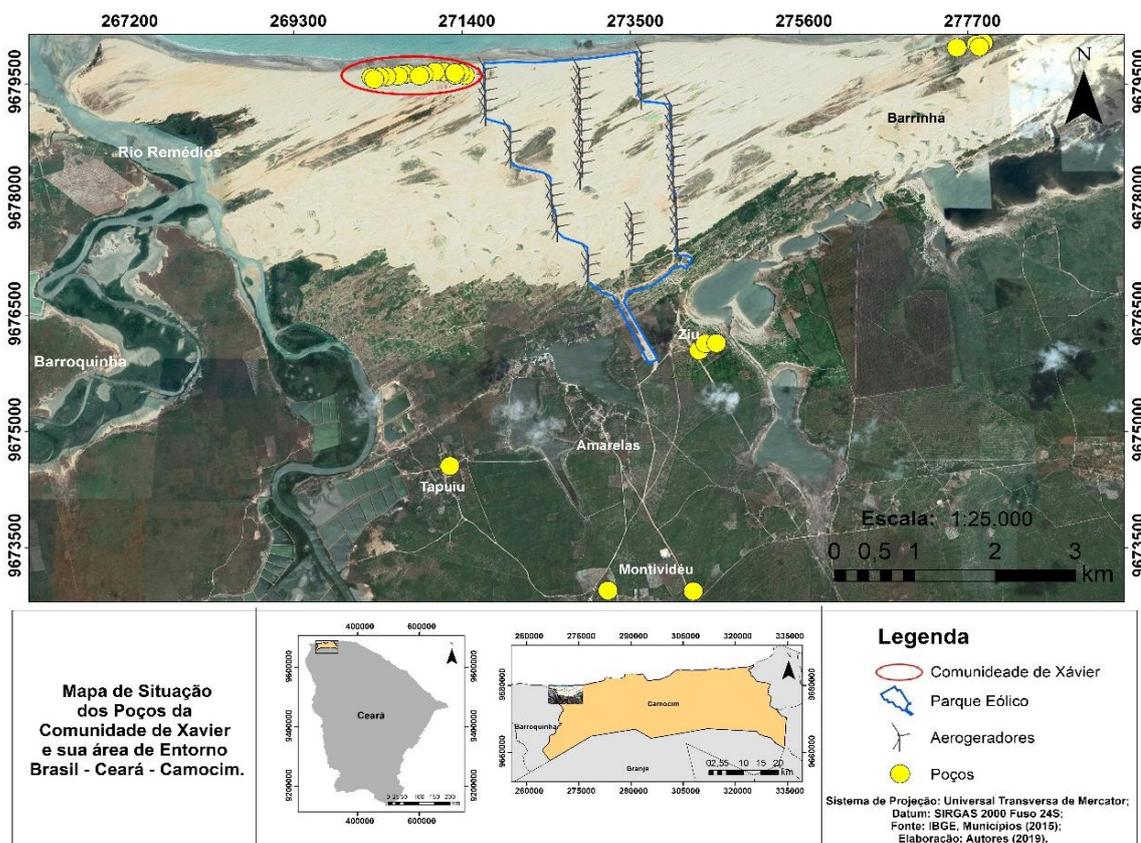
RESULTADOS E DISCUSSÃO

Uso da água e vulnerabilidade do aquífero

Foram mapeados 25 poços (figura 3) em toda a área de estudo, espacializando-se na comunidade de Xavier e sua região de entorno. A distribuição foi a seguinte: na comunidade da Barrinha (4), na comunidade de Ziu (3), na comunidade da Praia de Xavier (15), Tapuiu (1), Montevidéu (1) e no distrito de Amarelas (1), sendo que um dos poços da comunidade de Xavier é o mais raso apresentando 1,23 metros de profundidade, e o poço localizado na comunidade

de Montevideu é o mais profundo e possui 22 metros. Esses poços foram analisados de modo individual, sendo os pontos de análise para avaliação da vulnerabilidade da água.

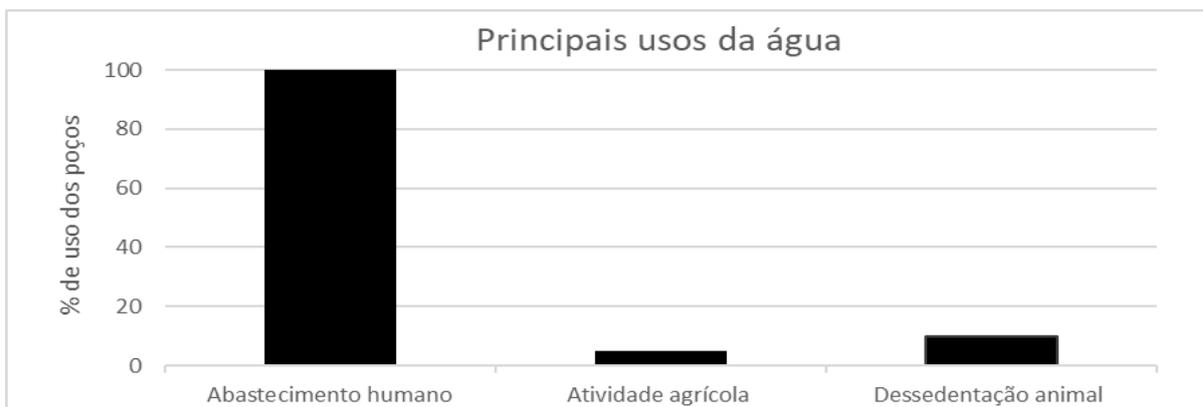
Figura 3- Distribuição espacial dos poços na comunidade de Xavier e seu entorno.



Fonte: Autores, (2019).

Em todos os poços percebeu-se que a principal destinação da água captada se dá para o abastecimento humano, onde identificou-se as atividades domésticas em geral e o consumo. Outras categorias de uso consultivo identificadas, foram atividade agrícola e dessedentação de animais. Notou-se que a água é utilizada para abastecimento humano em 100% dos poços, uma vez que as cacimbas são a única fonte de água potável encontrada. Aproximadamente 5% dos poços são destinados a dessedentação animal e 10% para a agricultura (figura 4).

Figura 4- Principais formas de usos da água subterrânea na área de estudo.



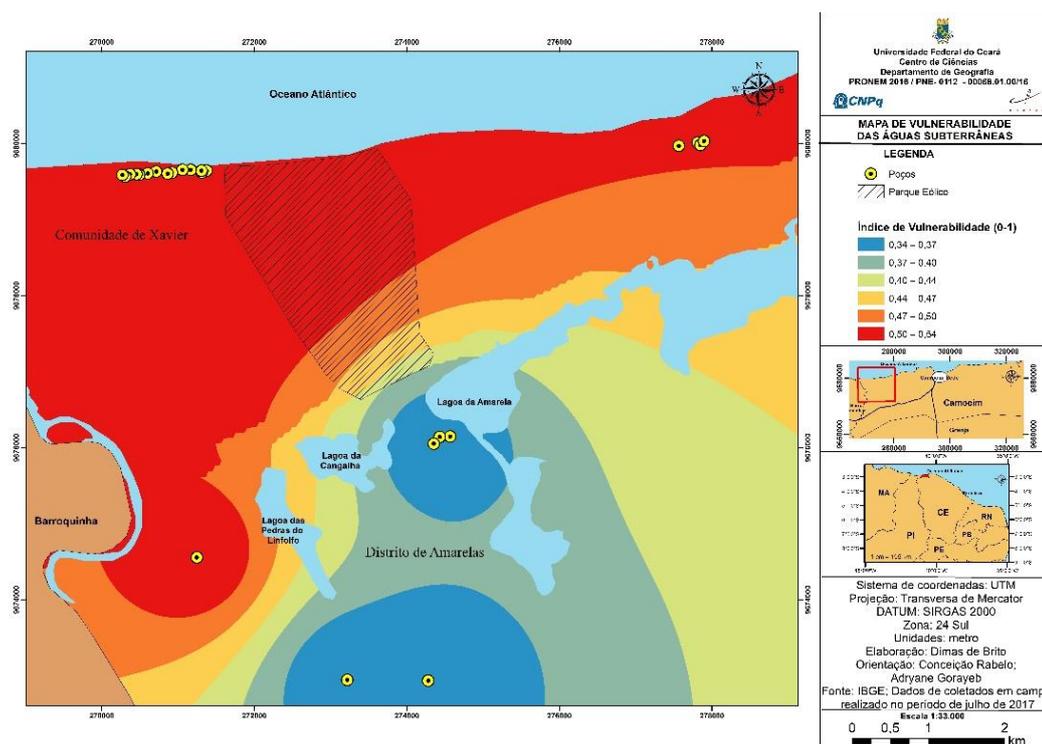
Fonte: Autores, (2019).

As comunidades não dispõem de abastecimento de água encanada, tratamento de efluentes e saneamento básico. Portanto, utilizam-se fossas artesanais constituídas pelos próprios moradores para destinação dos efluentes produzidos. Identificou-se que todas as fossas estão localizadas nas proximidades dos poços, podendo ser essa uma fonte de contaminação da água.

Ao longo da sistematização da ciência geográfica, notadamente nas últimas décadas, tem-se percebido uma maior apropriação das Geotecnologias para análises espaciais de fenômenos ambientais e socioeconômicos. Kerski (2015) afirma que as Geotecnologias têm encontrado larga utilização de estudos ambientais, permitindo mapear e analisar uma grande variedade de fenômenos, com uma rapidez e precisão sem precedentes.

Neste contexto, para execução desta pesquisa e obtenção de resultados, foram utilizados o Geoprocessamento de imagens em ambiente SIG para elaboração dos mapas de localização (Figura 1) e mapa de vulnerabilidade dos aquíferos livres que abrangem a área de estudo (Figura 5). Utilizando-se de *softwares* (QGIS e ArcGis) e ferramentas específicas (*Krigagem*, por exemplo) que permitam a identificação do objeto de estudo e a análise da vulnerabilidade das águas subterrâneas ali presentes, com o uso dos dados obtidos em campo e lançados nas plataformas para manipulação das imagens necessárias à obtenção dos mapas.

Figura 5 – Mapa de Vulnerabilidade das Águas Subterrâneas do distrito de Amarelas, Camocim – CE.



Fonte: Autores, (2019).

De acordo com os resultados obtidos, percebe-se que a região do aquífero que apresenta maior índice de vulnerabilidade foi a região norte, onde se localiza a comunidade de Xavier, nota-se que o índice para essa região se concentra entre 0,50 a 0,54. Mediante os resultados observa-se que a comunidade de Xavier apresenta maior probabilidade de contaminação do corpo hídrico, uma vez que o manancial apresenta altas taxas de susceptibilidade as formas de degradação e principalmente contaminação da água.

Corroborando com Linhares et al., (2013) várias são as fontes que podem ocasionar contaminação hídrica das águas subterrâneas, o que estão fortemente associadas as formas de uso e ocupação irregular na localidade. Nessa perspectiva, entende-se que as áreas que apresentaram maiores vulnerabilidades constituem espaços que necessitam de monitoramento e análise, afim de uma observação mais precisa, para que dessa forma possíveis contaminações possam ser evitadas.

Identificou-se que na área de alta vulnerabilidade há presença de 18 poços, que servem de subsídio para as atividades da comunidade (figura 5). Notou-se que na referida comunidade está localizado um parque eólico. Dessa forma percebeu-se que o parque pode apresentar influência direta ou indireta na vulnerabilidade da água subterrânea local, uma vez que a magnitude das obras de engenharia, como escavações do solo para instalações das bases das

torres eólicas, abertura de estradas de acesso, remoção de dunas e demais intervenções interferem na compactação do solo arenoso, na sua permeabilidade, na infiltração da água e no nível estático do aquífero.

Figura 6- Representação de alguns dos poços que apresentaram alta vulnerabilidade.



Fonte: Autores, (2019).

Outro resultado relevante foi o cadastro dos 25 poços mensurados, com sua localização, nível estático da água, identificação do relevo onde se encontram e sua litologia, de acordo com o Índice GOD, como está descrito na tabela 1.

Tabela 1-Cálculo do índice de GOD.

Poços	D/NE(m)	G	O	D	GOD
1	2,13	1	0,6	0,9	0,54
2	3	1	0,6	0,9	0,54
3	2,69	1	0,6	0,9	0,54
4	2,08	1	0,6	0,9	0,54
5	1,58	1	0,6	0,9	0,54
6	1,58	1	0,6	0,9	0,54
7	3,04	1	0,6	0,9	0,54
8	4,2	1	0,6	0,9	0,54
9	2,98	1	0,6	0,9	0,54
10	3,83	1	0,6	0,9	0,54
11	2,38	1	0,6	0,9	0,54
12	3,32	1	0,6	0,9	0,54
13	3,36	1	0,6	0,9	0,54
14	4,92	1	0,6	0,9	0,54
15	4,47	1	0,6	0,9	0,54

16	1,6	1	0,6	0,9	0,54
17	2,43	1	0,6	0,9	0,54
18	2,4	1	0,6	0,9	0,54
19	2,84	1	0,6	0,9	0,54
20	11	1	0,6	0,8	0,48
21	13	1	0,6	0,8	0,48
22	14,4	1	0,6	0,8	0,48
23	12	1	0,8	0,8	0,64
24	22	1	0,8	0,7	0,56
25	18	1	0,8	0,8	0,64

Fonte: Autores, (2019).

A análise dos produtos finais gerados por meio da aplicação das Geotecnologias no presente estudo nos permite perceber que a comunidade de Xavier e seu entorno caracterizam-se pela ocorrência da água subterrânea de forma não confinada (aquíferos livres), cujo valor de índice \underline{G} é igual a 1,0. Quanto aos estratos de cobertura, constata-se o predomínio de areias eólicas sobrepostas por arenitos cujo índice \underline{O} está entre 0,6 e 0,7. Com relação ao nível da água subterrânea, o índice \underline{D} foi 0,7, 0,8 e 0,9.

De acordo com o método GOD, a vulnerabilidade dos aquíferos na área de pesquisa varia de 0,48 (baixa) a 0,64 (alta), com predomínio de vulnerabilidade média a alta (Figura 5). As litologias predominantes são sedimentos arenosos (dunas) que compreendem as comunidades de Xavier (noroeste) e Barrinha (nordeste) representadas na cor vermelha do mapa de vulnerabilidade (Figura 5) e Formação Barreiras que compreende a sede do distrito de Amarelas e aglomerações adjacentes mais ao sul do mapa.

Ambas litologias apresentam alto grau de vulnerabilidade (dunas) e médio grau de vulnerabilidade (Formação Barreiras), tendo suscetibilidade alta e mediana a poluentes devido à elevada permeabilidade e porosidade que facilitam a percolação destes no subsolo, podendo atingir os aquíferos que abastecem as comunidades e elevam o risco de contaminação da água subterrânea e, conseqüentemente, sua vulnerabilidade natural é intensificada.

Análise físico-química da água

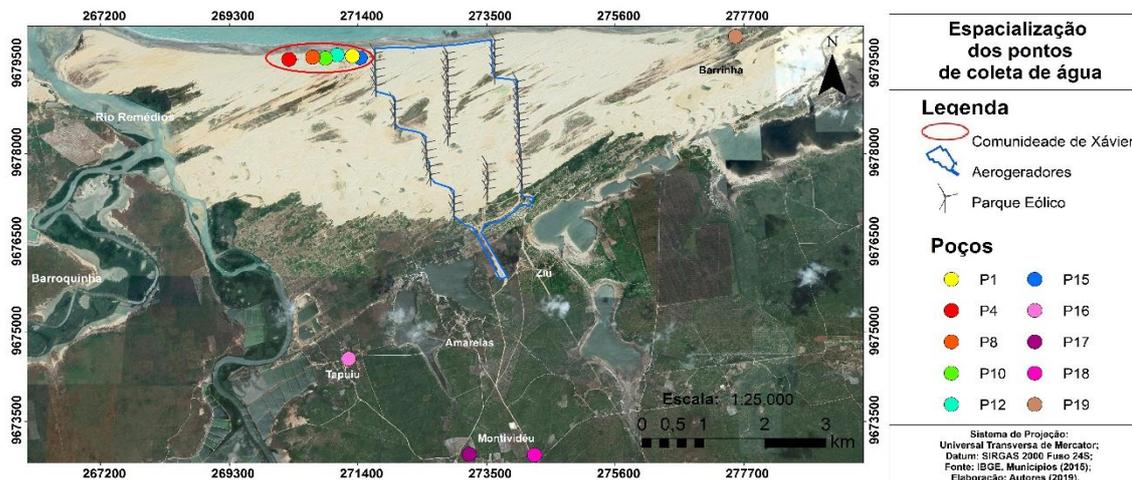
Para Carneiro (2017), grande parte da água disponibilizada na natureza não é encontrada de forma pura, pois durante seu ciclo é submetida a várias formas de contaminação, sendo preciso análises para constatação de sua potabilidade. A tabela 2 apresenta os poços em que se coletou água para as análises apresentadas.

Tabela 2- Representação dos pontos amostrais de coleta de água.

Poços analisados	Ponto amostral	Localização geográfica		Comunidade
		X	Y	
P1	1	271309	9679642	Praia Xavier
P4	2	270271	9679585	Praia Xavier
P8	3	270662	9679620	Praia Xavier
P10	4	270867	9679603	Praia Xavier
P12	5	271060	9679658	Praia Xavier
P15	6	271433	9679612	Praia Xavier
P16	7	271247	9674556	Tapuiu
P17	8	273219	9672947	Montevidéu
P18	9	274280	9672937	Amarelas
P19	10	274429	9676023	Ziu

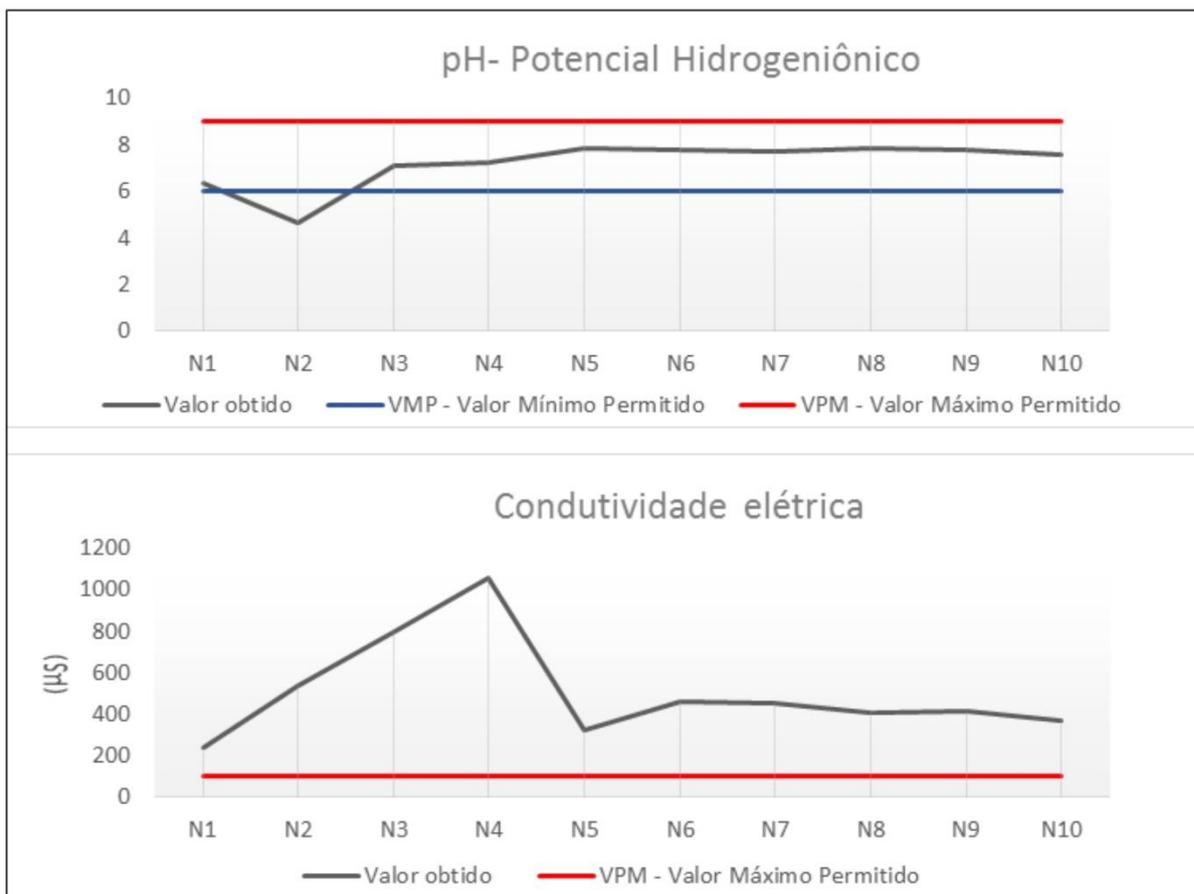
Fonte: Autores, (2019).

Figura 7- Distribuição espacial dos pontos amostrais de coleta de água.



Fonte: Autores, (2019).

Figura 8- Resultados dos parâmetros pH e condutividade elétrica.



Fonte: Autores, (2019).

De acordo com as análises realizadas (figura 8) observou-se que a maioria dos poços apresentou conformidade para o parâmetro pH. Identificou-se que apenas o ponto 2 apresentou alta variação, em que a água foi classificada como água ácida (4,6). O pH é um parâmetro indicativo do grau de acidez ou alcalinidade do meio (VASCONCELOS *et al.* 2013), sendo assim um importante atributo na determinação da qualidade da água para fins de potabilidade. Desse modo constatou-se que o pH do aquífero encontra-se em conformidade com os valores toleráveis. Dessa forma, torna-se necessário uma análise minuciosa do ponto 2, afim de identificar a possível fonte poluidora que possa atuar na variação do pH na área específica.

Os dados de condutividade elétrica (figura 8) indicaram que 100% dos poços analisados apresentaram desconformidade com o valor máximo permitido. Observou que o ponto 4 apresentou a maior variação, concentração 10 vezes maior que o tolerável (1.056 µs). Já o menor valor identificado foi no ponto amostral 1 (241 µs). A CE nos corpos hídricos determina a potencialidade da água de transmissão elétrica. De acordo com Brasil, (2006) a alta concentração iônica na água proporcionará maior condução elétrica. Logo conclui-se que o

aquífero apresenta uma elevada taxa de condutividade elétrica, onde a média do parâmetro foi 505,4 μ s.

Figura 9- Resultados dos parâmetros cloreto e dureza total.



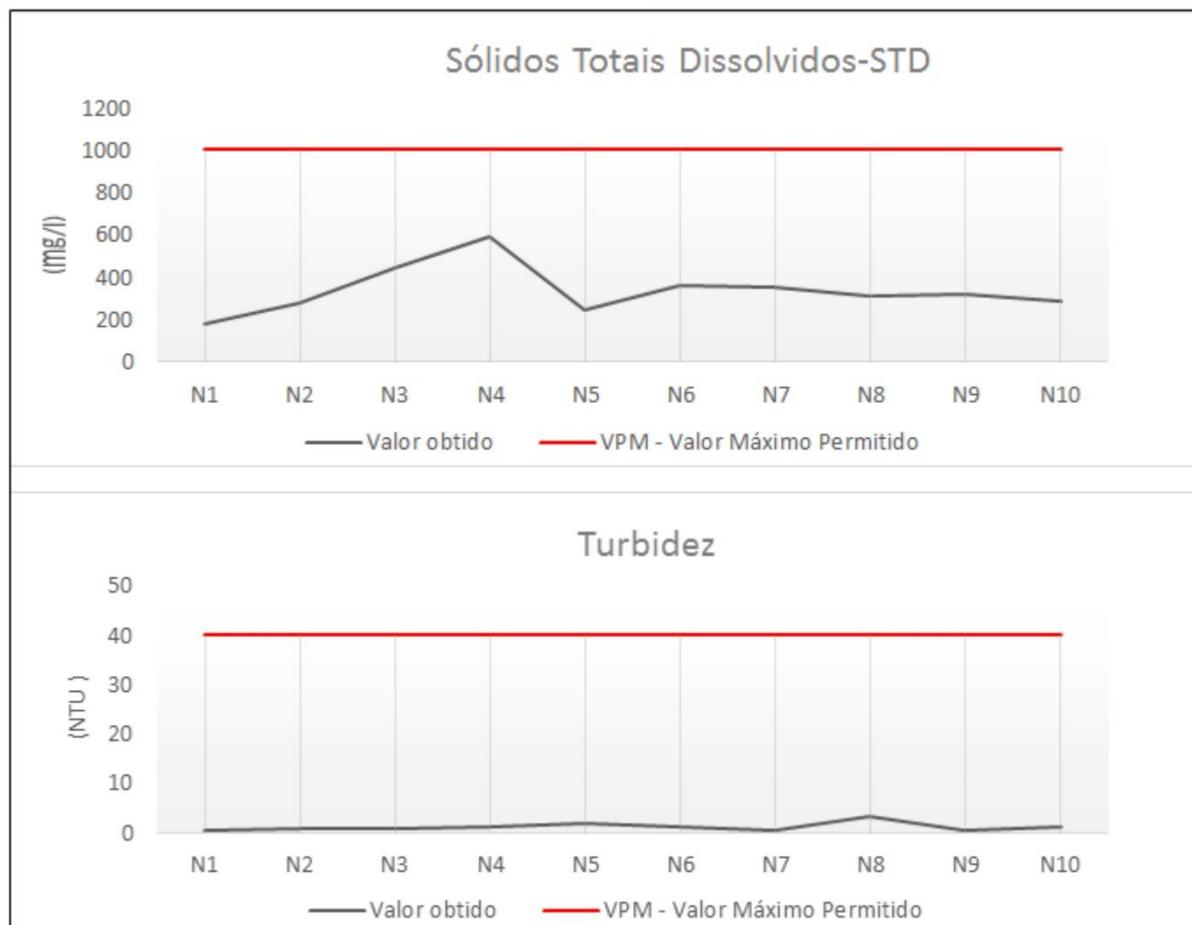
Fonte: Autores, (2019).

Para o parâmetro cloreto observou-se que todos os pontos de coleta se mantiveram dentro dos padrões de potabilidade, entretanto o parâmetro na amostra 4 apresentou o maior valor, quase no limite máximo (figura 9). Assim, faz-se necessário a observação desse atributo na região específica, com o objetivo de monitorar seu comportamento e evitar que ultrapasse o VMP. O cloreto tem origem antrópica, em que a lixiviação e efluentes podem ser pautados como os principais fatores de origem (USEPA,2015).

O atributo dureza total se comportou em conformidade em todos os poços analisados (figura 9). A dureza em corpos hídricos é expressa em mg/L de carbonato de cálcio-CaCO₃ (BRASIL, 2006). Portanto, é classificada em mole ou branda (com valores menores que 50 mg/L), dureza moderada (entre 50 mg/L e 150 mg/L), dura (entre 150 mg/L e 300 mg/L) e muito dura (maiores que 300 mg/L). Isto posto, identificou-se a água no ponto 2 como branda,

os pontos 1 e 5 apresentaram água moderadamente dura, e os pontos 3, 4, 6, 7, 8, 9 e 10 classificaram água dura, sendo esta última classificação a representação da dureza do aquífero.

Figura 10- Resultados dos parâmetros STD e Turbidez.



Fonte: Autores, (2019).

Os parâmetros turbidez e STD também apresentaram 100% dos resultados em conformidade (figura 10). Nos dois atributos os resultados se comportaram bem abaixo dos valores toleráveis. A turbidez representa o grau de atenuação de intensidade que um feixe de luz sofre ao atravessar a água pela presença de partículas suspensas (CETESB, 2009). Os STD representam a concentração de sólidos dissociados na água, que podem ter origem tanto natural quanto antrópica. Para Marimuthu et al. (2013), o parâmetro indica poluição por efluentes, além de outras fontes de origem.

Conclusões

As Geotecnologias aplicadas nesta pesquisa, como Geoprocessamento de imagens em ambiente SIG com os dados obtidos em campo, permitiram obter resultados satisfatórios, como a obtenção dos mapas para localizar e especializar a área estudada, mensurar e avaliar a

vulnerabilidade das águas subterrâneas utilizadas no abastecimento das comunidades, além de possibilitar o cadastro dos poços.

Destaca-se a relevância das Geotecnologias nos estudos ambientais e, em especial, nos estudos de vulnerabilidade de aquíferos e seu alto grau de suscetibilidade aos agentes contaminantes que, no caso da comunidade de Xavier e seu entorno, destacam-se o largo uso de fossas secas construídas pelos próprios moradores, o que consiste numa alternativa para driblar a falta de saneamento básico.

No entanto, as fossas são construídas fora dos padrões de segurança adequados, o que pode favorecer na contaminação do solo e das águas subterrâneas por conta do despejo de dejetos que percolam as camadas litológicas e podem atingir os aquíferos livres. Além disso, pode comprometer a segurança, qualidade, disponibilidade e a potabilidade desses recursos hídricos, o que pode afetar, conseqüentemente, a saúde e o cotidiano dos moradores que utilizam essas águas em suas atividades rotineiras.

REFERÊNCIAS

AMARAL, A.K.N; BAYER, M. Vulnerabilidade dos aquíferos da sub-bacia do Rio Vermelho: Aplicação do método GOD. **Anais... XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR**, João Pessoa-PB, Brasil, 25 a 29 de abril de 2015, INPE, p. 7405-7412.

BRASIL: Secretaria de Vigilância em Saúde. **Vigilância e controle da qualidade da água para consumo humano**. 212 p. Brasília: Ministério da Saúde, 2006.

CARNEIRO, F. J. B. Mapeamento do uso de agrotóxicos e da qualidade da água de nascentes na comunidade rural de Piroás, Redenção - CE. 2016. 78 p. Monografia (Especialização) - Curso de Agronomia, Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-brasileira, Redenção, 2016.

CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (2009). **Qualidade das Águas Interiores no Estado de São Paulo**. Série Relatórios. Apêndice A -Significado Ambiental e Sanitário das Variáveis de Qualidade das Águas e dos Sedimentos e Metodologias Analíticas e de Amostragem, 19-20.

FOSTER, S. S. D.; HIRATA, R. C. A. Determinacion del Riesgo de Contaminacion de Águas Subterrâneas – una metodologia basada en datos existentes. Lima, Peru: **Centro Panamericano de Ingenieria Sanitaria y Ciencias del Ambiente** / Organizacion Mundial de La Salud, 1991. 81 p.

FOSTER, S.S.D. (1987) Fundamental concepts in aquifer vulnerability, pollution risk and protection strategy, in W. van Duijvanbouden and H.G. **van Waegeningh** (eds.), Vulnerability of Soil and Groundwater to Pollution, Proceedings and Information No. 38 of the International Conference held in the Netherlands, In 1987, TNO Committee on Hydrological Research, Delft, The Netherlands.

FOSTER, S.; HIRATA, R.; GOMES, D.; D'ELIA, M.; PARIS, M. 2006. Groundwater Quality Protection: A Guide for Water Service Companies, Municipal Authorities and Environment Agencies. World Bank, GWMATE, Washington, 104 p.

FOSTER, S.; HIRATA, R.; GOMES, D.; D'ELIA, MONICA; PARIS, M. 2003. Protección de La Calidad del Agua Subterránea: guía para empresas de água, autoridades municipais y agencias ambientales. Washington: **Banco Mundial**, p. 115.

HIRATA, R.; HIRATA, H.; LIMA, J. B. V. A Água como Recurso. In: **Decifrando a Terra**. p. 459. 2ª ed. São Paulo: Companhia Editora Nacional, 2009.

KERSKI, J. J. Geo-awareness, Geo-enablement, Geotechnologies, Citizen Science, and Storytelling: Geography on the World Stage. **Geography Compass**, v. 9, n. 1, p. 14-26, 2015.

MARIMUTHU, T.; RAJENDRAN, S.; MANIVANNAN, M.. An analysis of efficiency and water quality parameters of dye effluent treatment plant, Karur, Tamilnadu, India. Journal of Environmental Science, Computer Science and Engineering & Technology, v. 2, n. 3, p. 567-571, 2013.

MENDES, J. S.; GORAYEB, A.; BRANNSTROM, C. Diagnóstico participativo e cartografia social aplicados aos estudos de impactos das usinas eólicas no litoral do Ceará: o caso da Praia de Xavier, Camocim. **Geosaberes**, v. 6, n. 3, p. 243 – 254, 2016.

NOGUEIRA, J. D. de L.; AMARAL, R. F. Comparação entre os métodos de interpolação (Krigagem e Topo to Raster) na elaboração da batimetria na área da folha Touros – RN. **Anais... XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Natal, Brasil, 25-30 de Abril de 2009, INPE, p. 4117-4123.

POLETO, C; CARDOSO, A.R; FONSECA, E.L; FERRARO, L.M.W. Geotecnologias Aplicadas em Estudos Ambientais. In: POLETO, C (Org.). Introdução ao Gerenciamento Ambiental. Rio de Janeiro: **Editora Interciência**, 2010, cap. 4, p. 72-108.

ROSA, R. Geotecnologias na Geografia Aplicada. **Revista do Departamento de Geografia**, 16 (2005) 81-90.

ROSA, R. Análise espacial em geografia. **Revista da ANPEGE**, Dourados-MS, v. 7, n. 1, número especial, p. 275-289, out. 2011.

SILVA, Francisco Jonh Lennon Tavares da.; ROCHA, Dyego Freitas; AQUINO, Cláudia Maria Sabóia de. Geografia, Geotecnologias e as Novas Tendências da Geoinformação: indicação de estudos realizados na região Nordeste. **InterEspaço. Revista de Geografia e Interdisciplinaridade**. Grajaú/MA v. 2, n. 6 p. 176-197 maio/ago. 2016. ISSN: 2446-6549.

UNITED STATES. Environmental Protection Agency - USEPA. **Secondary maximum contaminant levels**: a strategy for drinking water quality and consumer acceptability. 2015. Disponível em: <http://www.waterrf.org/PublicReportLibrary/4537.pdf>. Acesso em: 25 set. 2019.

VASCONCELOS, N. S. *et al.* Qualidade das águas subterrâneas de área irrigada da comunidade de Pau Branco em Mossoró (RN). **Revista HOLOS**, v. 1, n. 29, p. 47-65, 2013.

<p>Recebido: 30/04/2020 Aceito: 23/07/2020</p>
--