



## MONITORAMENTO AMBIENTAL

# MÉTODO GOD PARA ANÁLISE DA VULNERABILIDADE DOS AQUÍFEROS MISSÃO VELHA, RIO DA BATATEIRA E ABAIARA (SISTEMA AQUÍFERO MÉDIO)

Ana Iacy Domingos Pontes <sup>1</sup>; Agnes Adam Duarte Pinheiro <sup>2</sup>; Sarah Sucupira Gregorio de Castro <sup>3</sup>; João Roberto Façanha de Almeida <sup>4</sup>; Ana Cristina Fernandes Muniz Vidal <sup>5</sup>;

<sup>1</sup> Graduanda em Engenharia Ambiental e Sanitária, IFCE Maracanaú, anaiacydp@gmail.com.

<sup>2</sup> Graduanda em Engenharia Ambiental e Sanitária, IFCE Maracanaú, agnesduarte@outlook.com.

<sup>3</sup> Graduanda em Engenharia Ambiental e Sanitária, IFCE Maracanaú, srahsucupira@gmail.com.

<sup>4</sup> Professor do curso de Engenharia Ambiental e Sanitária, IFCE Maracanaú, joaoroberto.ifce@gmail.com.

<sup>5</sup> Professor do curso de Engenharia Ambiental e Sanitária, IFCE Maracanaú, anacfmuniz@gmail.com

## RESUMO

*O estudo de vulnerabilidade de aquíferos é essencial para avaliar e controlar o uso das fontes de água potável. Com base na crescente urbanização na Região do Cariri, foi proposta a avaliação da vulnerabilidade do Sistema Aquífero Médio, que contém os aquíferos Missão Velha, Rio da Batateira e Abaiara. Por meio do método GOD, que é um índice composto por 3 indicadores, foi feita a avaliação e classificação de 60 poços escolhidos aleatoriamente na região de Juazeiro do Norte e Crato, onde foi constatado que a vulnerabilidade dos aquíferos ainda é baixa, mas que existem regiões que possuem índice de média vulnerabilidade.*

**Palavras-chave:** vulnerabilidade, método GOD, aquíferos.

## INTRODUÇÃO

A qualidade das águas subterrâneas é influenciada diretamente pelo uso descontrolado dos recursos hídricos, o uso e ocupação irregular do solo e o descumprimento de normas legais. De acordo com isso, são realizados estudos de vulnerabilidade dos aquíferos, na qual entende-se como a suscetibilidade dos aquíferos serem afetados por cargas contaminantes de origem antrópica.

Na região do Cariri, a formação aquífera mais importante está representada pela Formação Missão Velha, caracterizada por ser constituída de sedimentos arenosos grosseiros, com fraca seleção e intercalações argilosas (MARINHO, 2002). A Bacia Sedimentar do Araripe foi submetida a diversos eventos tectônicos resultando em altos e baixos estruturais (horsts e grabens) que afetaram a deposição original do aquífero (VASCONCELOS, 2002).



O Sistema de Aquífero Médio, compreendido pelos aquíferos de Missão Velha, da Batateira e Abaiara é de suma necessidade para a região do Araripe, pois este sistema corrobora diretamente para o abastecimento de água da região em que se encontra.

A recarga das formações do Sistema Aquífero Médio ocorre através dos seguintes componentes: percolação de água do Sistema Aquífero Superior através da formação Santana, infiltração direta a partir das chuvas e infiltração de parte das águas das fontes. Para este sistema de aquíferos, a descarga natural ocorre através do escoamento de base para o rio Salgado e seus afluentes, e a descarga artificial ocorre principalmente através de poços tubulares, que fornecem a quase totalidade de água para consumo na região (KIMURA E LOUREIRO, 2004).

Esta região compreende grande importância, tendo em vista a sua contribuição na identidade regional, pois apresenta solos férteis e água disponível, o que favorece o desenvolvimento de atividades agrícolas mais diversificadas.

A região da Chapada do Araripe possui regiões cercadas por pequenas cidades e moradores na qual utilizam os recursos naturais da floresta para gerar renda, o que impacta diretamente as condições ambientais do local. Outro fato importante é o extrativismo vegetal, que interfere diretamente na alimentação do aquífero. Além do fato da interferência direta das indústrias e dos grandes centros urbanos dos municípios de Crato e Juazeiro do Norte.

Quanto à urbanização das cidades, a cidade de Crato apresentava uma densidade demográfica média de 103,21 hab/km<sup>2</sup> em 2010, segundo o IBGE, estando em 20º lugar no ranking de densidade demográfica do Estado do Ceará. Já a cidade de Juazeiro do Norte apresenta uma densidade muito maior, de 1.004,45 hab/km<sup>2</sup>, posicionada em 3º lugar do ranking. Tais características podem configurar aos aquíferos uma maior vulnerabilidade na região de Juazeiro, mesmo que seus índices de esgotamento sanitário adequado sejam um pouco maiores, em Crato 42,2% e em Juazeiro do Norte 47,2%.

Segundo Foster e Hirata (1988), a principal preocupação quando se fala de urbanização é a contaminação da subsuperfície associada a unidades de saneamento não conectadas ao saneamento principal, que podem vir a possuir algum serviço de uma indústria de pequena escala.

É importante ressaltar que “a intervenção humana indissociavelmente interfere no espaço territorial atingindo diretamente o processo natural dos ciclos hidrológicos”



(BARROS, 2014). Sendo o ciclo hidrológico parte integrante do abastecimento dos aquíferos, a interferência em seu processo natural pode vir a causar certa vulnerabilidade no aquífero.

Além da interferência no próprio ciclo hidrológico, a urbanização exerce uma maior influência no regime de recarga do aquífero, além de ser uma fonte de atividades humanas que possuem grande potencial de poluição da água subterrânea, devido às instalações sanitárias que podem vir a ser inadequadas, além da disposição e destinação final dos resíduos sólidos. (FOSTER e HIRATA, 1988)

Com base nesta intensa atividade no local, observou-se a necessidade de avaliar a vulnerabilidade do Sistema de Aquífero Médio do Araripe. Para esta avaliação existem vários métodos paramétricos, que dependem diretamente da qualidade dos dados necessários para a definição dos parâmetros. O método a ser aplicado neste artigo é o método GOD, na qual utiliza parâmetros simplificados em relação a outros métodos.

## **OBJETIVOS**

O objetivo deste artigo é de avaliar a vulnerabilidade dos aquíferos no Sistema de Aquífero Médio do Araripe, mais especificamente, os de Missão Velha, Rio da Batateira e Abaiara, através do método GOD, além de verificar a aplicação e confiabilidade do método em questão.

## **MATERIAL E MÉTODOS**

A área estudada está localizada no sul do Estado do Ceará, a aproximadamente 600 km da capital, Fortaleza, sendo abrangida pela região denominada de Cariri. Os estudos foram desenvolvidos principalmente nos municípios de Crato e Juazeiro do Norte, numa área com cerca de 1000 km<sup>2</sup>. O clima é classificado como BSh de acordo com Köppen e Geiger, sendo este tropical e úmido, apresenta médias de temperatura na ordem de 24.1 °C e médias pluviométricas de 708 mm.

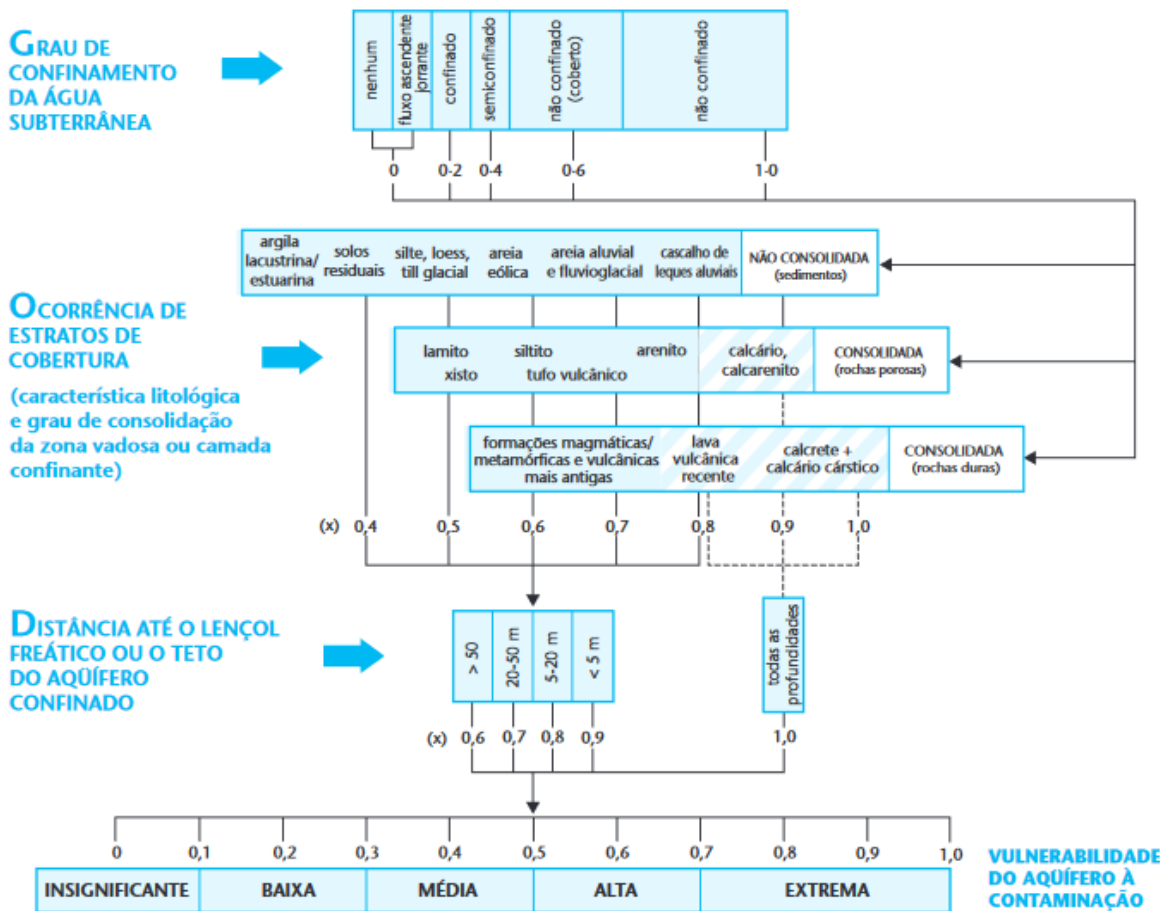
O método de análise escolhido é a metodologia GOD de Foster e Hirata (1988), na qual baseia-se em quatro fases sendo estes: a identificação do tipo e grau de confinamento hidráulico da água subterrânea (índice G: *groundwater occurrence*), a caracterização geológica da zona não saturada (índice O: *overall litology of aquifer*), a determinação da profundidade do nível da água (índice D: *depth of water*) e o índice final (Índice GOD) que é calculado multiplicando os resultados da 1<sup>a</sup>, 2<sup>a</sup> e 3<sup>a</sup> fases.



O índice *G* estabelece a ocorrência de formações geológicas permeáveis, impermeáveis ou semipermeáveis, que têm influência direta na velocidade de escoamento da água subterrânea. O índice *O* representa a capacidade de atenuação natural dos estratos de cobertura do aquífero, considerando o grau de consolidação das partículas e a capacidade de retenção físico-química ou da capacidade de reação dos contaminantes com o meio. E, por fim, o índice *D* denota a distância natural da água à superfície do terreno, também denominada nível estático. Essa distância, portanto, está livre de interferências instantâneas relacionadas à variação do nível, tais como o bombeamento (TAVARES, 2009). A Figura 1 apresenta o esquema de aplicação do método.

Com base, nesta classificação foi realizado o levantamento de 60 poços nas regiões de Juazeiro do Norte e Crato, com o objetivo de avaliar a vulnerabilidade de parte da região do Sistema de Aquífero Médio da região do Araripe.

Figura 1: Sistema GOD para avaliação da vulnerabilidade do aquífero à contaminação.



Fonte: FOSTER *et al* (2006)

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Como resultado da aplicação do método GOD nos 60 poços selecionados aleatoriamente, analisados os critérios de grau de confinamento, perfil litológico e nível estático, com as informações obtidas a partir da base de dados CPRM, foi observada baixa vulnerabilidade em cerca de 78% dos poços analisados, apenas 13 poços apresentando média vulnerabilidade.

Tabela1: Localização, grau de confinamento, perfil litológico e nível estático dos poços obtidos a partir da base de dados CPRM e seus respectivos índices de vulnerabilidade.

Poço	Localização		Índice G		Índice O		Índice D		Índice GOD	Nível de vulnerabilidade
	UTM X	UTM Y	Grau	Valor (0,0 a 1,0)	Litologia	Valor (0,4 a 1,0)	Nível Estático	Valor (0,6 a 1,0)		
2300022273	459804	9201923	Não confinado coberto	0,6	Arenoso/Arenito	0,7	9,00	0,8	0,336	Média
2300022496	458966	9201995	Não confinado coberto	0,6	Arenoso/Arenito	0,7	9,00	0,8	0,336	Média
2300023098	457665	9199677	Não confinado coberto	0,6	Areia/Arenito/Silte	0,6	93,31	0,6	0,216	Baixa
2300022603	458787	9200520	Confinado	0,4	Arenito-argiloso/Arenito	0,5	52,03	0,6	0,12	Baixa
2300022906	458113	9196383	Não confinado coberto	0,6	Arenito	0,8	55,12	0,6	0,288	Baixa
2300020083	456704	9195798	Confinado	0,4	Argila/Arenito-argiloso/Argila-arenoso	0,5	49,00	0,7	0,14	Baixa
2300022846	451626	9196247	Confinado	0,4	Argilito/Arenoso-argiloso	0,5	8,00	0,8	0,16	Baixa
2300020084	458111	9200498	Não confinado coberto	0,6	Arenito	0,8	14,00	0,8	0,384	Média
2300022907	455876	9203372	Não confinado coberto	0,6	Arenito	0,8	3,50	0,9	0,432	Média
2300022275	456443	9201391	Confinado	0,4	Arenito-argiloso/Arenito	0,5	10,00	0,8	0,16	Baixa
2300014880	455381	9200065	Confinado	0,4	Argila/Argila-arenosa/Arenito	0,5	26	0,7	0,14	Baixa
2300014889	455138	9198161	Confinado	0,4	Solo/Rochas/Argila	0,5	43	0,7	0,14	Baixa

<b>2300014923</b>	455259	9199758	Confinado	0,4	Areno-argiloso/Arenito	0,5	18,5	0,8	0,16	Baixa
<b>2300014885</b>	453846	9202428	Confinado	0,4	Argila/Arenito/Areia	0,5	53,8	0,6	0,12	Baixa
<b>2300022298</b>	457693	9207590	Confinado	0,4	Arenito-argiloso/Arenito	0,5	9	0,8	0,16	Baixa
<b>2300014380</b>	454792	9208622	Confinado	0,4	Areno-argiloso/Arenito-argiloso/Siltito/Arenito	0,5	32	0,7	0,14	Baixa
<b>2300014893</b>	449829	9201473	Confinado	0,4	Argila	0,5	50	0,7	0,14	Baixa
<b>2300020204</b>	452119	9199591	Confinado	0,4	Arenito/Argilito/Siltito	0,5	75	0,6	0,12	Baixa
<b>2300020012</b>	9200840	468438	Não confinado coberto	0,6	Arenito	0,7	0	0,9	0,378	Média
<b>2300014667</b>	9197926	464365	Não confinado coberto	0,6	Areia	1	12,34	0,8	0,48	Média
<b>2300022887</b>	9199577	469200	Confinado	0,4	Arenito-argilosa	0,5	43,39	0,7	0,14	Baixa
<b>2300022267</b>	9197727	466457	Confinado	0,4	Arenito-argilosa	0,7	84,59	0,6	0,168	Baixa
<b>2300021750</b>	9198850	468219	Confinado	0,4	Areia-argilosa	0,5	30	0,7	0,14	Baixa
<b>2300022884</b>	9202011	469380	Confinado	0,4	Areno-argiloso/Arenito	0,7	18	0,8	0,224	Baixa
<b>2300022796</b>	9197704	466384	Confinado	0,4	Argila-arenosa	0,7	84,75	0,6	0,168	Baixa
<b>2300014479</b>	9199332	466638	Confinado	0,4	Arenito argiloso/Argila	0,7	48,74	0,8	0,224	Baixa
<b>2300022904</b>	9199119	466662	Não confinado coberto	0,6	Arenito	0,8	46	0,7	0,336	Média
<b>2300022619</b>	9198854	466874	Confinado	0,4	Argilosa	0,5	69,2	0,6	0,12	Baixa
<b>2300021315</b>	9198722	465072	Confinado	0,4	Areia argilosa	0,5	27,75	0,7	0,14	Baixa
<b>2300022885</b>	9198322	465294	Confinado	0,4	Areno argilosa	0,5	40,6	0,7	0,14	Baixa
<b>2300014656</b>	9201270	466816	Não confinado coberto	0,6	Areia	0,6	20,04	0,7	0,252	Baixa
<b>2300022454</b>	9198656	468512	Não confinado coberto	0,6	Arenito-argiloso/arenito	0,7	32,6	0,7	0,294	Baixa
<b>2300021124</b>	9200109	465947	Confinado	0,4	Areia-argilosa/Arenito-argiloso	0,6	25	0,7	0,168	Baixa
<b>230001500</b>	920096	465347	Confinado	0,4	Arenito/Arenito	0,8	51,83	0,6	0,192	Baixa

<b>6</b>	4		o							
<b>2300021391</b>	9202499	470260	Confinado	0,4	Areia	0,6	33,12	0,8	0,192	Baixa
<b>2300014661</b>	9203030	466603	Não confinado coberto	0,6	Silte	0,5	15,88	0,8	0,24	Baixa
<b>2300020044</b>	9206779	475069	Confinado	0,4	Argila	0,5	13	0,8	0,16	Baixa
<b>2300020043</b>	9202762	461213	Não confinado coberto	0,6	Arenito	0,8	8	0,8	0,384	Média
<b>2300014660</b>	9202639	466287	Não confinado coberto	0,6	Areia muito fina	0,7	0	0,9	0,378	Média
<b>2300022886</b>	9198293	462963	Não confinado coberto	0,6	Arenito	0,8	60	0,6	0,288	Baixa
<b>2300022122</b>	9200975	460878	Confinado	0,4	Areia argilosa	0,7	14,21	0,8	0,224	Baixa
<b>2300014460</b>	9201062	461055	Não confinado coberto	0,6	Arenito	0,8	22	0,7	0,336	Média
<b>2300021906</b>	9200964	461794	Confinado	0,4	Argila arenosa	0,5	20,9	0,7	0,14	Baixa
<b>2300014986</b>	9201169	463205	Não confinado coberto	0,6	Arenito fino	0,8	36,6	0,7	0,336	Média
<b>2300022180</b>	9202016	463055	Não confinado coberto	0,6	Areno argiloso	0,6	16	0,8	0,288	Baixa
<b>2300014961</b>	9201276	463657	Confinado	0,4	Solo areno-argiloso/arenito fino	0,5	36,35	0,7	0,14	Baixa
<b>2300015027</b>	9201515	463813	Confinado	0,4	Arenito argiloso/arenito	0,7	42,52	0,7	0,196	Baixa
<b>2300022179</b>	9202085	464057	Não confinado coberto	0,6	Solo arenoso/arenito	0,7	31	0,7	0,294	Baixa
<b>2300022793</b>	9202292	464280	Confinado	0,4	Argila arenosa/arenito	0,5	26,51	0,7	0,14	Baixa
<b>2300021154</b>	9201477	464002	Confinado	0,4	Arenito argiloso/argilito	0,7	45	0,7	0,196	Baixa
<b>2300014961</b>	9201276	463657	Confinado	0,4	Solo areno-argiloso/arenito fino	0,6	36,25	0,7	0,168	Baixa
<b>2300001521</b>	9203015	465005	Não confinado coberto	0,6	Areia fina/arenito fino	0,7	44,6	0,7	0,294	Baixa
<b>2300001628</b>	9203020	465065	Não confinado coberto	0,6	Areia fina/argilito/arenito médio	0,6	28	0,7	0,252	Baixa
<b>2300001630</b>	9203050	465100	Confinado	0,4	Argilito/Arenito fino	0,5	50	0,7	0,14	Baixa

<b>2300020613</b>	9201262	464678	Confinado	0,4	Areia muito fina/argila/arenito fino	0,5	63	0,6	0,12	Baixa
<b>2300020614</b>	9200932	464667	Não confinado coberto	0,6	Solo/Arenito muito fino/Arenito fino	0,6	69	0,6	0,216	Baixa
<b>2300015006</b>	9200964	465347	Não confinado coberto	0,6	Arenito	0,8	51,83	0,6	0,288	Baixa

Fonte: CPRM (2018)

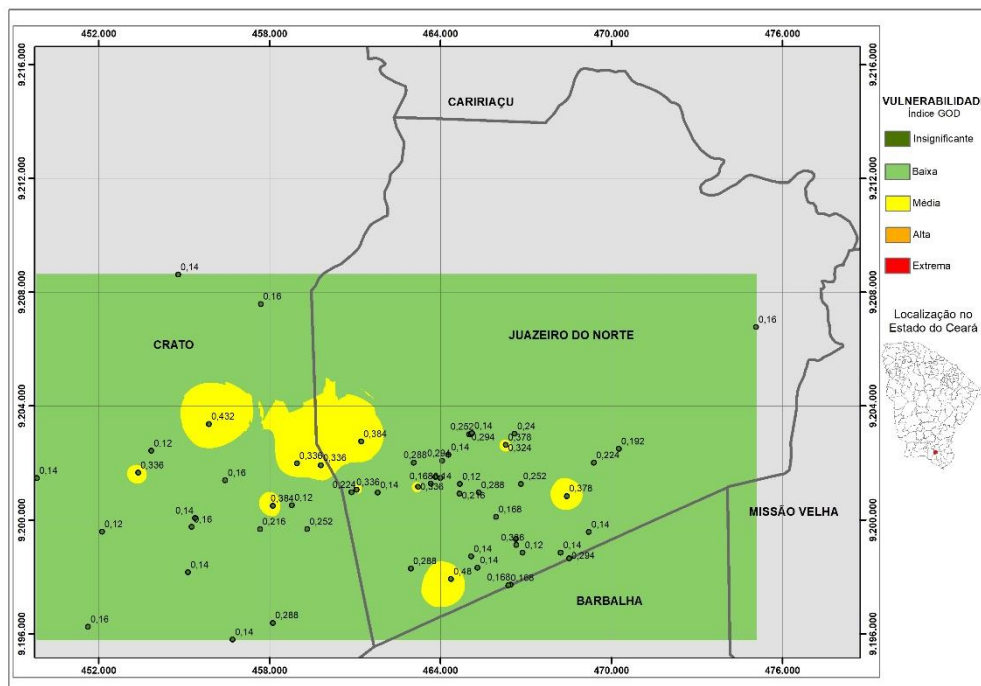
Dos 60 poços analisados, 16 deles apresentaram grau de confinamento, índice G igual a 0,6, ou seja, não confinado coberto, o que aumenta a vulnerabilidade do aquífero, o que de fato se pode observar que os que apresentaram vulnerabilidade média estavam relacionados ao grau de confinamento 0,6. Aqueles que apresentaram baixa vulnerabilidade mesmo nas condições de não confinamento coberto, se apresentavam com alto nível estático, que é inversamente proporcional ao índice D, e também apresentavam litologia de granulometria mais fina.

Para melhorar a visualização da localização dos pontos de vulnerabilidade do aquífero, foi gerado um mapa que traz o valor final do índice GOD, como mostra a Figura 2. Pode-se inferir que as áreas amareladas do mapa de vulnerabilidade da Figura 2, conhecida como Aquífero Médio, são áreas que possuem maiores aglomerados urbanos e, por consequência, passam a ter uma maior vulnerabilidade às atividades realizadas em suas proximidades.

Desse modo, o estudo de vulnerabilidade pelo método GOD, tem como resultado, para a região do Crato-Juazeiro do Norte, um índice baixo nos seus aquíferos, o que demonstra que o sistema de aquíferos médios possui pouca influência da interferência humana.

Entretanto, a presença de poços com uma vulnerabilidade média, que está influenciada principalmente pelo grau de confinamento, pode vir a sofrer algum tipo de problema causado pela influência da atividade humana em regiões com centros urbanos, principalmente na região central do Juazeiro do Norte, o que é explicado devido a presença de indústrias e comércios nesta região, além da constante urbanização que tem ocorrido nas últimas décadas.

Figura2: Mapa do índice GOD de vulnerabilidade do Sistema Aquífero Médio.



Fonte: Autores (2018)

A utilização do método GOD apresenta-se como uma ferramenta de bastante utilidade para a análise da vulnerabilidade dos aquíferos, pois engloba informações específicas, com delimitações, características, conforme cada grau de suscetibilidade, mas que não necessita de dados muito rebuscados e de difícil acesso.

Vale destacar que, devido à quantidade de poços analisados no estudo, os resultados tornaram-se mais confiáveis, uma vez que, mais informações contribuem para uma maior validação dos resultados.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

É possível concluir, portanto, que a vulnerabilidade dos aquíferos na região de Juazeiro do Norte-Crato que abrange o Sistema de Aquífero Médio é relativamente baixa, mas que pode haver a média vulnerabilidade, pois existe a influência da urbanização e das atividades antrópicas.

A aplicação do método GOD é uma ferramenta confiável para identificação da vulnerabilidade, mas faz-se necessário um estudo mais aprofundado da sensibilidade dos aquíferos, além do estudo das fontes poluidoras pontuais e difusas, a fim de afirmar o método e poder concluir quanto às propostas de solução e de práticas que venham a contribuir para a preservação do aquífero, bem como seu uso consciente.



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BARROS, N. A Densidade e a Morfologia Urbana como parâmetros para o Planejamento de Bacias Hidrográficas. 2014. Disponível em: <http://anpur.org.br/app-urbana-2014/anais/ARQUIVOS/GT1-308-118-20140620000846.pdf>. Acesso em: 25 de setembro de 2018.

BATISTA, C. Aplicação do Método GOD para Avaliação de Vulnerabilidade de Aquífero Livre em Bacia Hidrográfica. XIII Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, São Paulo, 2013.

CPRM (Serviço Geológico do Brasil). 2018. Sistema de Informação de águas subterrâneas – SIAGAS. Disponível em: <http://siagasweb.cprm.gov.br>. Acesso em: 26 de setembro de 2018.

FOSTER, S.; HIRATA, R.. Groundwater pollution risk assessment: a methodology using available data. CEPIS. Lima, Peru. 1988.

FOSTER S. *et al.* Proteção da qualidade da água subterrânea: um guia para empresas de abastecimento de água, órgãos municipais e agências ambientais. 2006.

KIMURA, G. Reservas Hídricas Subterrâneas do Gráben Crato-Juazeiro (CE). XIII Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, Florianópolis, Santa Catarina, 2004.

MARINHO, J. Estudos Hidro-estratigráficos da Bacia do Araripe, Ceará, Utilizando Eletroresistividade. XII Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, Florianópolis, Santa Catarina, 2002.

TAVARES, P. Mapeamento da Vulnerabilidade à Contaminação das Águas Subterrâneas Localizadas na Bacia Sedimentar do Araripe, Estado do Ceará, Brasil. Scielo, Fortaleza, junho de 2009.