

## **IV-254 – ESTUDO DA VULNERABILIDADE DA ÁGUA SUBTERRÂNEA NO DISTRITO INDUSTRIAL DE ICOARACI (BELÉM-PA) (ESTUDO DE CASO)**

**Ana Carla Leite Carvalho<sup>(1)</sup>**

Engenheira Ambiental e Sanitária pela Universidade da Amazônia (UNAMA). Especialização em Gestão de Cidades e Sustentabilidade (NUMA/UFPA). Mestranda em Desenvolvimento e Meio Ambiente Urbano pela Universidade da Amazônia (PPDMU/UNAMA).

**Leonardo Augusto Lobato Bello<sup>(2)</sup>**

Doutor (2004) e Mestre (1997) em Engenharia Civil pela PUC-RIO, com estágio Sanduíche na University of Newcastle, Inglaterra (2002).

**Ronaldo Lopes Rodrigues Mendes<sup>(3)</sup>**

Graduado em Geologia (1996), Mestre em Geofísica (2000) e Doutor em Desenvolvimento Sustentável do Trópico Úmido (2005), sempre pela Universidade Federal do Pará (UFPA).

**Marco Valério Albuquerque Vinagre<sup>(4)</sup>**

Graduado em Engenharia de Infra Estrutura Aeronáutica (Equivalente a Engenharia Civil segundo CONFEA) pelo Instituto Tecnológico de Aeronáutica (1982). Especialista em Planejamento e Gestão do Desenvolvimento Regional. Mestre em Engenharia Civil (Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental). Doutor em Engenharia de Recursos Naturais

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Avenida Almirante, 1939 – Conjunto Marajoara- Ed. breves - Belém - Pa - CEP: 66093-020-Brasil - Tel: (91) 991105823 - e-mail: calincarvalho@gmail.com

### **RESUMO**

O Distrito Industrial de Icoaraci (Belém-PA), por englobar atividades potencialmente poluidoras, requer atenção para a proteção das águas subterrâneas. Neste sentido, este trabalho tem por objetivo estudar a vulnerabilidade intrínseca das águas subterrâneas do local. Para tanto, foi aplicado o método GOD, o qual se baseia no estudo de profundidade de aquífero, sua condição de confinamento e a litologia da zona não saturada. Como fonte de dados foram usados os poços disponibilizados pela CPRM, por meio do SIAGAS. Os índices mostram que cerca de 70% da área apresenta vulnerabilidade baixa e que em 20% da área a vulnerabilidade é média. A principal justificativa para este contexto é a presença constante de argila disposta entre extratos arenosos. Conclui-se que a maior parte da área do Distrito Industrial de Icoaraci (Belém-PA) possui baixa vulnerabilidade, mas que ainda assim, as áreas de médias vulnerabilidades precisam de estudos mais detalhados para aumentar a segurança com as águas subterrâneas.

**PALAVRAS-CHAVE:** Águas Subterrâneas, Vulnerabilidade, GOD.

### **INTRODUÇÃO**

A ocorrência de um polo industrial, por congregar diversas atividades potencialmente poluidoras, sempre deve estar associado a perspectiva de boas práticas ambientais. Dentre estas, planejar a prevenção de possíveis acidentes que possam colocar as águas subterrâneas em condição inadequada ao consumo humano. Com esta compreensão este trabalho faz uma abordagem da vulnerabilidade natural das águas subterrâneas do Distrito Industrial de Icoaraci, na capital paraense, onde estão localizadas 31 empresas.

O local estudado possui grande riqueza de águas subterrâneas, cujos aquíferos Barreiras e Pirabas são os principais mananciais. Especificamente o aquífero Barreiras é objeto de análise neste trabalho, posto estar mais próximo a superfície e ser mais explorado.

O trabalho utilizou a base de dados pré-existentes do SIAGAS - CPRM (Sistema de Informações de Águas Subterrâneas – Serviço Geológico do Brasil), considerando os devidos ajustes, conforme SANTOS ET AL (2013).

O método mais frequentemente usado para promover estratégias para prevenir a contaminação da água subterrânea, tem sido o GOD (Groundwater occurrence, Overall of lithology e Depth of groundwater), destaca-se o proposto por Foster e Hirata (1988) e rediscutido em FOSTER ET AL (2002). Tal método indica o índice e grau de vulnerabilidade natural do aquífero por meio de três variáveis (profundidade do nível da água, litologia da zona não saturada e tipo e grau de confinamento aquífero).

Uma das principais ferramentas para proteger as águas subterrâneas, prevenindo sua contaminação, consiste em conhecer a vulnerabilidade natural do aquífero à contaminação, a qual representa sua maior suscetibilidade a ser adversamente afetado por uma carga contaminante. Embora a relevância dessa atividade para o desenvolvimento econômico de determinada região, sua prática intensa e de modo aleatório pode acarretar a contaminação das águas subterrâneas e a consequente proibição de seu uso em diversas atividades econômicas e ao consumo humano. Nesta perspectiva objetivo deste trabalho e mapear a vulnerabilidade natural dos aquífero do Distrito Industrial de Icoaraci (Belém-PA). Para tanto utilizou-se na etapa inicial foi empreendida uma seleção de poços, inseridos no banco de dados da CPRM (Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais) que é direcionado ao SIAGAS (Sistema de Informações de Águas Subterrâneas) e desenvolvido e mantido a partir de mapeamento e de pesquisa hidrogeológica em todo país, é composto por uma base de dados de poços permanentemente atualizada e de módulos capazes de realizar consultas, pesquisas, extração e geração de relatórios, com perfis lito-constructivos disponíveis que contêm informações a respeito da espessura da zona não saturada e seus respectivos tipos litológicos e condição de confinamento. Na área de estudo foram levantados 40 poços.

Em seguida, as posições dos poços foram plotadas em mapa para efeito de mostrarem melhor compreensão ao contexto. De posse deste mapa foram feitas visitas de campo, para entendimento contextualizado dos elementos naturais e constructivos da área, cujas informações serviriam de suporte à fase de interpretação dos dados retirados do SIAGAS.

De posse dos relatórios fornecidos pelo SIAGAS, foi possível obter os dados de grau de confinamento, litologia da zona não saturada e profundidade do nível freático. Relevante informar que os dados nem sempre são de fácil identificação e seu respectivo cálculo. Assim, foi necessário a interpolação de parâmetros e dimensões, tal qual proposto com SANTOS ET AL (2013) e, somente após isto, estes dados foram ajustados e seus respectivos índices foram obtidos e em seguida o índice GOD foi calculado para o local de cada poço.

Todos estes dados foram consolidados em um novo banco de dados no software excel 2017. A partir de então os índices GOD foram plotados em mapa, com o uso do software ARC GIS. Estas informações serviram para análise integrada da vulnerabilidade intrínseca dos recursos hídricos subterrâneos locais.

## **MATERIAIS E MÉTODOS**

Utilizou-se a seleção de poços, inseridos no banco de dados da CPRM (Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais) que é direcionado ao SIAGAS (Sistema de Informações de Águas Subterrâneas) e desenvolvido e mantido a partir de mapeamento e de pesquisa hidrogeológica em todo país, é composto por uma base de dados de poços permanentemente atualizada e de módulos capazes de realizar consultas, pesquisas, extração e geração de relatórios, com perfis lito-constructivos disponíveis que contêm informações a respeito da espessura da zona não saturada e seus respectivos tipos litológicos e condição de confinamento. Na área de estudo foram levantados 40 poços.

Em seguida, as posições dos poços foram plotadas em mapa para efeito de mostrarem melhor compreensão ao contexto. De posse deste mapa foram feitas visitas de campo, para entendimento contextualizado dos elementos naturais e constructivos da área, cujas informações serviriam de suporte à fase de interpretação dos dados retirados do SIAGAS

A metodologia G.O.D, concebida por Foster & Hidrata (1988), permite a análise da susceptibilidade de um sistema aquíferos à contaminação através da vinculação entre três seguintes fatores:

*Groundwater hydraulic confinement*: grau de confinamento hidráulico, ou seja, sua natureza ou condição de confinamento, se confinado, semi-confinado ou livre;

*Overlaying strata*: tipos litológicos de estratos sobrejacentes ao meio saturado;

*Depth to groundwater table*: profundidade do nível d'água, ou lençol freático para aquíferos livres, corresponde à espessura não saturada sobreposta ao aquífero.

Dessa maneira, a quantificação desse índice de vulnerabilidade compreende 3 etapas:

1. Identificação do grau de confinamento hidráulico do Aquífero Barreiras na área de estudo e as atribuições correspondente de peso que varia de 0,0 a 1,0;
2. Definição dos caracteres litológicos da zona não saturada (peso entre 0,4 e 1), as quais foram obtidas, neste estudo, diretamente por dados de poços do SIAGAS. A atribuição de pesos de 0,4 a 1,0 é realizada mediante a ocorrência do tipo litológico em suas respectivas profundidades e avaliando-se sua predominância.
3. Identificação da profundidade do nível freático e atribuições de pesos que variam de 0,6 a 1,0.

Após as definições dos pesos referentes a cada parâmetro, o índice de vulnerabilidade G.O.D é calculado pelo produto desses três valores ( $G \times O \times D$ ) em cada ponto examinado. Como resultado, tem-se magnitudes que variam de 0 a 1, os quais assinalam as classes de vulnerabilidade natural, de modo crescente, na forma a saber desprezível, baixa, média, alta ou extrema (figura 1).

O mapeamento da vulnerabilidade intrínseca à contaminação do aquífero pela metodologia GOD foi realizada levando-se em consideração dados dos perfis litológicos de poços do SIAGAS.

Desta forma, a metodologia GOD foi aplicada, no presente estudo, de maneira a utilizar dados de natureza litológicas dos perfis de poços do SIAGAS. Os pesos atribuídos a cada fator seguiram a descrição litológica nos perfis de poços e a respectiva magnitude apresentada no método em si, avaliando-se a preponderância de cada litologia em cada ponto. Desse modo, foi atribuído peso de 0,9 a 0,2 ao parâmetro G em todos os pontos, caracterizando a natureza predominante do semi-confinado do aquífero na área. Os pesos atribuídos ao fator O variam 0,18 a 1,4 de acordo com a descrição litológica e a predominância desses tipos em função de sua ocorrência nas espessuras não saturadas; e o peso variando de 0,2 a 0,9 foram imputados ao parâmetro D, de acordo com as espessuras não saturadas observadas nos dados.

Nesse contexto, efetuou-se um tratamento geoestatístico desses dados, conforme procedimento já relatados, a fim de mapear a distribuição dos mesmos e classificar a área em matéria de vulnerabilidade natural do aquífero à contaminação, de acordo com os critérios da metodologia.

A metodologia GOD apresentou resultados bastante satisfatórios em diversos contextos hidrogeológicos em termos de classificação de vulnerabilidade natural (Martinez-Batista *et al.*, 2010; Kemerich *et al.*, 2011; Fernandes *et al.*, 2014).

## **PRIMEIRA ETAPA: ESTUDOS EM LABORATÓRIO E CAMPO**

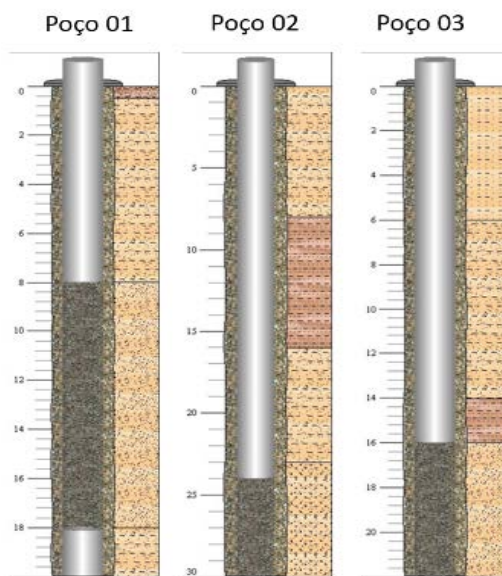
Etapa inicial foi empreendida uma seleção de poços, inseridos no banco de dados da CPRM (Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais) que é direcionado ao SIAGAS (Sistema de Informações de Águas Subterrâneas) e desenvolvido e mantido a partir de mapeamento e de pesquisa hidrogeológica em todo país, é composto por uma base de dados de poços permanentemente atualizada e de módulos capazes de realizar consultas, pesquisas, extração e geração de relatórios, com perfis lito-construtivos disponíveis que contêm informações a respeito da espessura da zona não saturada e seus respectivos tipos litológicos e condição de confinamento. Na área de estudo foram levantados 40 poços.

## RESULTADOS DA PRIMEIRA ETAPA

De posse dos relatórios fornecidos pelo SIAGAS, foi possível obter os dados de grau de confinamento, litologia da zona não saturada e profundidade do nível freático. Relevante informar que os dados nem sempre são de fácil identificação e seu respectivo cálculo. Assim, foi necessário a interpolação de parâmetros e dimensões, tal qual proposto com SANTOS ET AL (2013) e, somente após isto, estes dados foram ajustados e seus respectivos índices foram obtidos e em seguida o índice GOD foi calculado para o local de cada poço.

Todos estes dados foram consolidados em um novo banco de dados no software excel 2017. A partir de então os índices GOD foram plotados em mapa, com o uso do software ARC GIS. Estas informações serviram para análise integrada da vulnerabilidade intrínseca dos recursos hídricos subterrâneos locais.

**FIGURA 1 – Perfis litoconstrutivos de poços usados como base do estudo de vulnerabilidade.**



Fonte: SIAGAS/CPRM

Para explicitar os resultados, os dados estão sendo apresentados a Tabela 1, a qual apresenta a sistematização de parte do banco de dados, onde estão expressos o número do poço, o código do poço na base do SIAGAS, as coordenadas geográficas, o grau de confinamento, a litologia da zona não saturada, a profundidade do lençol freático, o índice GOD e sua significância (vulnerabilidade).

**TABELA 01 – Sistematização do banco de dados para obtenção da vulnerabilidade da água subterrânea.**

POÇO	POÇO SIAGAS	COORD GEOGR.		TIPO AQUÍF( G)	LITOLOG(O)	PROF.(D)	VULNERABILIDADE
		LAT	LONG				
PO01	1500005665	011814	482850	0,9	0,55	0,8	MÉDIA
PO02	1500001015	011805	482712	0,9	0,6	0,9	ALTA
PO03	1500001025	011729	482742	0,9	0,57	0,8	INSIGNIFICANTE
PO04	1500001026	011712	482718	0,8	0,39	0,8	BAIXA
PO05	1500001036	011657	482717	0,8	0,55	0,8	MÉDIA
PO06	1500001037	011717	482712	0,8	0,55	0,8	MÉDIA
PO07	1500001038	011717	482711	0,8	0,183	0,8	BAIXA
PO08	1500001039	011721	482711	0,8	0,31	0,8	BAIXA
PO09	1500001040	011718	482713	0,4	1,4	0,8	MÉDIA

PO10	1500001041	011709	482715	0,8	0,55	0,8	MÉDIA
PO11	1500005664	011732	482741	0,4	0,45	0,4	BAIXA
PO12	1500005665	011729	482742	0,8	0,54	0,8	ALTA
PO13	1500005703	011654	482715	0,2	0,34	0,8	INSIGNIFICANTE
PO14	1500005714	011759	482655	0,2	0,2	0,8	INSIGNIFICANTE
PO- 15	1500005715	011800	482654	0,4	0,24	0,9	INSIGNIFICANTE
PO- 16	1500005716	011759	482654	0,4	0,4	0,9	BAIXA
PO- 17	1500005717	011755	482655	0,2	0,2	0,8	INSIGNIFICANTE
PO- 18	1500005719	011651	482726	0,9	0,68	0,9	ALTA
PO- 19	1500005765	011655	482636	0,4	0,502	0,8	BAIXA
PO- 20	1500006237	011722	482704	0,6	0,46	0,8	BAIXA
PO- 21	1500006431	011651	482718	0,6	0,46	0,8	BAIXA
PO- 22	1500006461	011726	482604	0,6	0,4	0,9	BAIXA
PO- 23	1500006538	011717	482710	0,6	0,49	0,8	BAIXA
PO- 24	1500006539	011731	482712	0,2	0,12	0,9	INSIGNIFICANTE
PO- 25	1500006540	011733	482711	0,6	0,52	0,8	BAIXA
PO- 26	1500006541	011735	482711	0,6	0,482	0,9	MÉDIA
PO- 27	1500006777	011729	482605	0,2	0,47	0,2	INSIGNIFICANTE
PO- 28	1500006793	011654	482655	0,2	0,56	0,2	INSIGNIFICANTE
PO- 29	1500007085	011723	482601	0,9	0,63	0,9	ALTA
PO- 30	1500007173	011729	482704	0,8	0,43	0,9	MÉDIA
PO- 31	1500007256	011755	482703	0,8	0,34	0,8	MÉDIA
PO- 32	1500007319	011730	482704	0,8	0,59	0,8	MÉDIA
PO- 33	1500007636	011652	482715	0,2	0,41	0,8	INSIGNIFICANTE
PO- 34	1500007798	011732	482711	0,8	0,77	0,9	ALTA
PO- 35	1500007799	011732	482710	0,2	0,48	0,8	INSIGNIFICANTE
PO- 36	1500007951	011739	482710	0,8	0,46	0,8	MÉDIA
PO- 37	1500007952	011738	482712	0,8	0,8	0,8	INSIGNIFICANTE
PO- 38	1500007953	011741	482711	0,9	0,9	0,9	MÉDIA
PO- 39	1500007957	011656	482653	0,9	0,45	0,9	MÉDIA
PO- 40	1500008460	011654	482631	0,9	0,45	0,9	MÉDIA

Fonte: os autores.

## SEGUNDA ETAPA: APLICAÇÃO DO MÉTODO GOD

Neste item são mostrados os mapas que foram elaborados para cada parâmetro do método GOD: G – grau de confinamento; O – ocorrência do estrato de cobertura; e D – profundidade do aquífero. Estes permitiram uma análise de cada parâmetro do método, sendo possível a criação do mapa geral de vulnerabilidade.

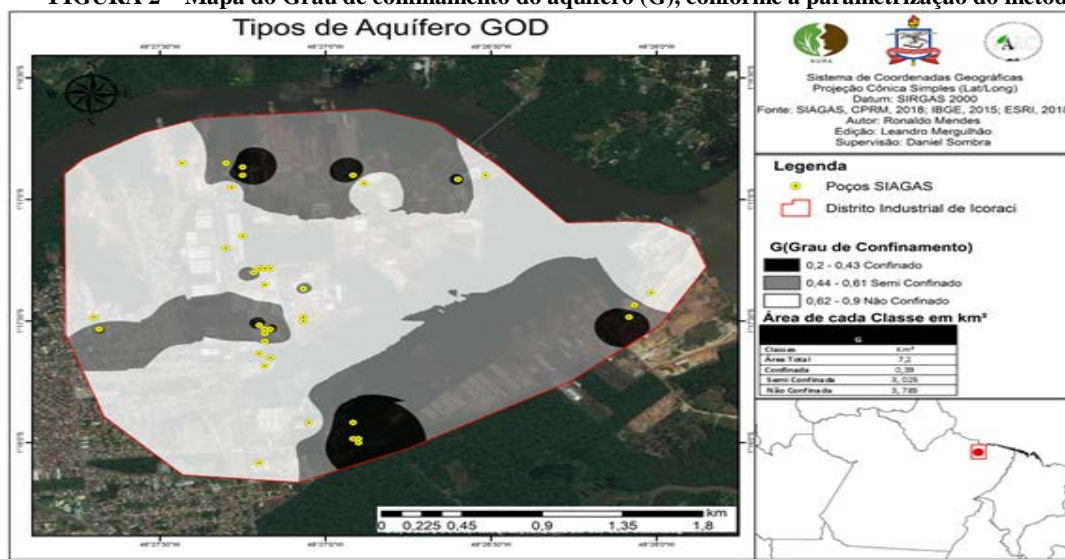
O grau de confinamento (G) é fundamental para determinar a vulnerabilidade aquífera de uma região, pois é através da precipitação e posterior carreamento de sólidos pela água o contaminante pode possuir a capacidade de adentrar a zona não saturada.



O mapa do grau de confinamento apresenta classes ou faixas de valores (figura 5). As áreas **pretas** do mapa apresentam maior dificuldade em infiltração de possíveis contaminantes/poluentes, posto apresentarem localmente confinamento, cujas faixas variam de 0,2 a 0,43, que perfazem cerca de 5% da área (0,39 km<sup>2</sup>). As áreas **acinzentadas**, com valores de 0,44 até 0,61, são aquelas que possuem possibilidades intermediárias de terem suas águas subterrâneas afetadas, posto serem semiconfinadas, e correspondem a cerca de 42% da área (3,05 km<sup>2</sup>). E as áreas **brancas** são as que apresentam maiores chances de infiltração, por serem não confinadas, cujos valores estão entre 0,62 a 0,9, e correspondem a cerca de 53% da área (3,785 km<sup>2</sup>).

## RESULTADOS DA SEGUNDA ETAPA

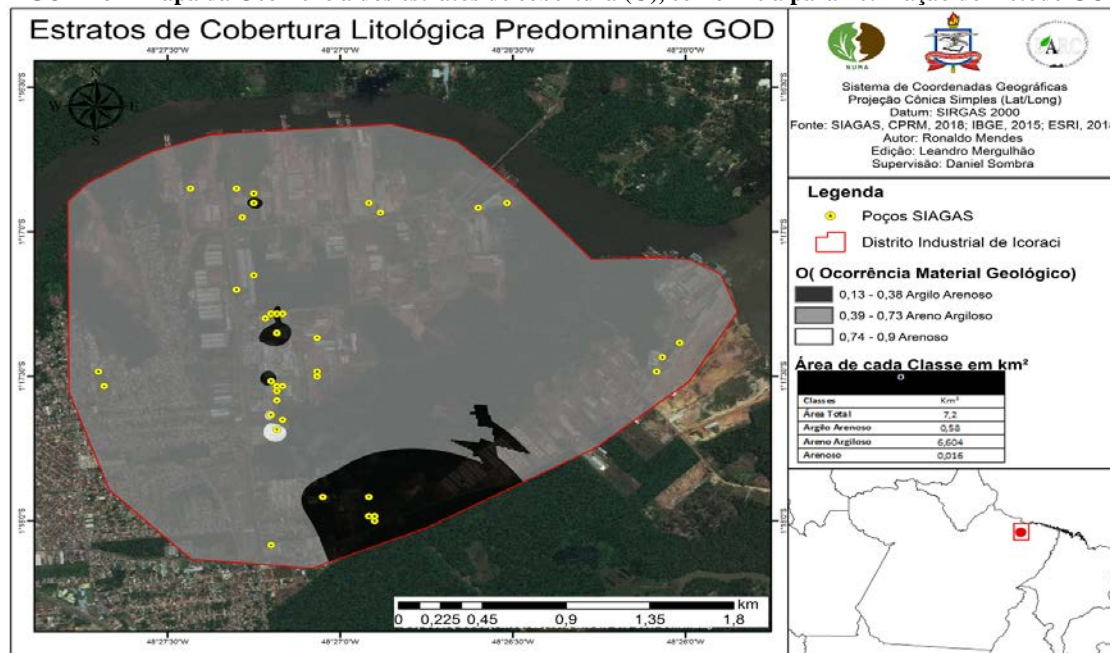
**FIGURA 2 – Mapa do Grau de confinamento do aquífero (G), conforme a parametrização do método GOD.**



Fonte: a autora

Tão importante quanto para avaliar a vulnerabilidade é a Ocorrência dos estratos de cobertura (O). Estes são responsáveis por conter ou facilitar o fluxo de possíveis fluidos prejudiciais a qualidade das águas subterrâneas. Na área em estudo são frequentes as variações entre estratos argilosos, arenosos, areno-argilosos e argilo-arenosos (figura 6).

**FIGURA 3 – Mapa da Ocorrência dos estratos de cobertura (O), conforme a parametrização do método GOD.**

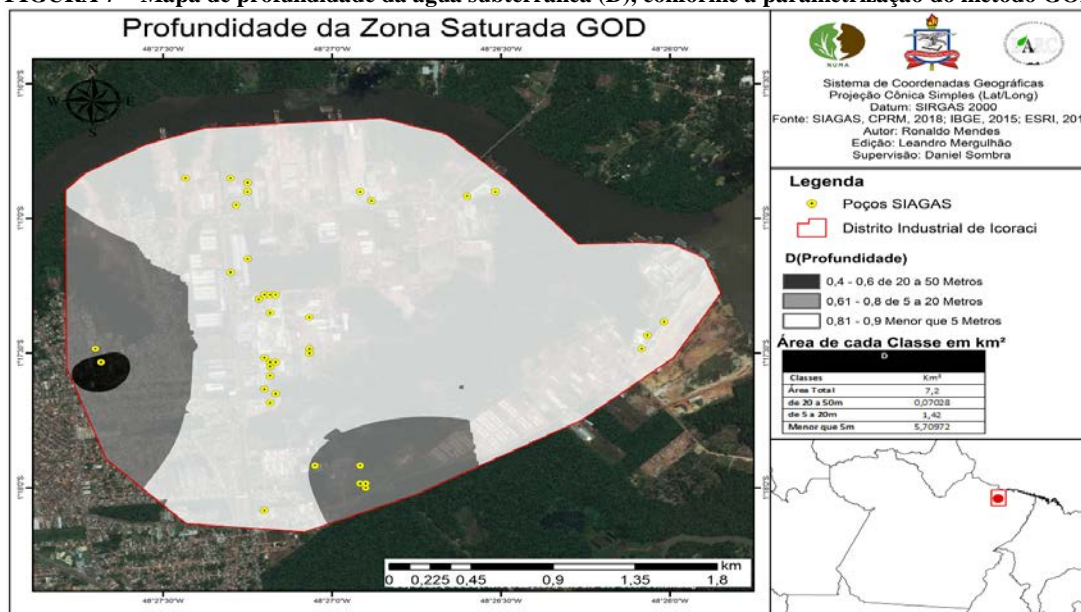


Fonte: a autora

As faixas de variação revelam a heterogeneidade litológica da área. O mapa apresenta faixas mais suscetíveis a infiltração, faixas menos suscetíveis e faixas intermediárias. As áreas **pretas**, são as menos suscetíveis a percolação de fluidos, por serem constituídas por material argilo anenoso, cujos valores variam de 0,13 a 0,39, e perfazem cerca de 8% da área (0,59 km²). As áreas **cinzas** têm suscetibilidade de percolação intermediária de fluidos, por serem constituídas por material areno argiloso, que apresentam faixas com de valores que variam de 0,39 a 0,73, e perfazem aproximadamente 92% da área (6,604 km²). Já a área **branca** possui a pior situação quanto a infiltração de prováveis poluentes, pois é constituída por material arenoso, cujos valores variam de 0,74 a 0,9, e perfazem apenas 0,2% da área (0,016 km²).

A profundidade do aquífero (D) é fator natural para o condicionamento da infiltração de qualquer fluido em subsuperfície. Assim, quanto maior a distância vertical entre a superfície e a água subterrânea, menos vulneráveis tais águas. Na área em questão (figura 7), as profundidades variam de 2,84 m a 23,05 m. Desta forma abrangem três faixas: de 0 a 5 m de profundidade, com área **branca** no mapa, perfazem a maioria da área (cerca de 80% e valores de 0,81 a 0,9); de 5 a 20 m, com área **cinza** e com cerca de 20% da área e valores 0,61 a 0,8; e de 20 a 50 m, com área **preta** cerca de 1% da área.

**FIGURA 7 – Mapa de profundidade da água subterrânea (D), conforme a parametrização do método GOD.**

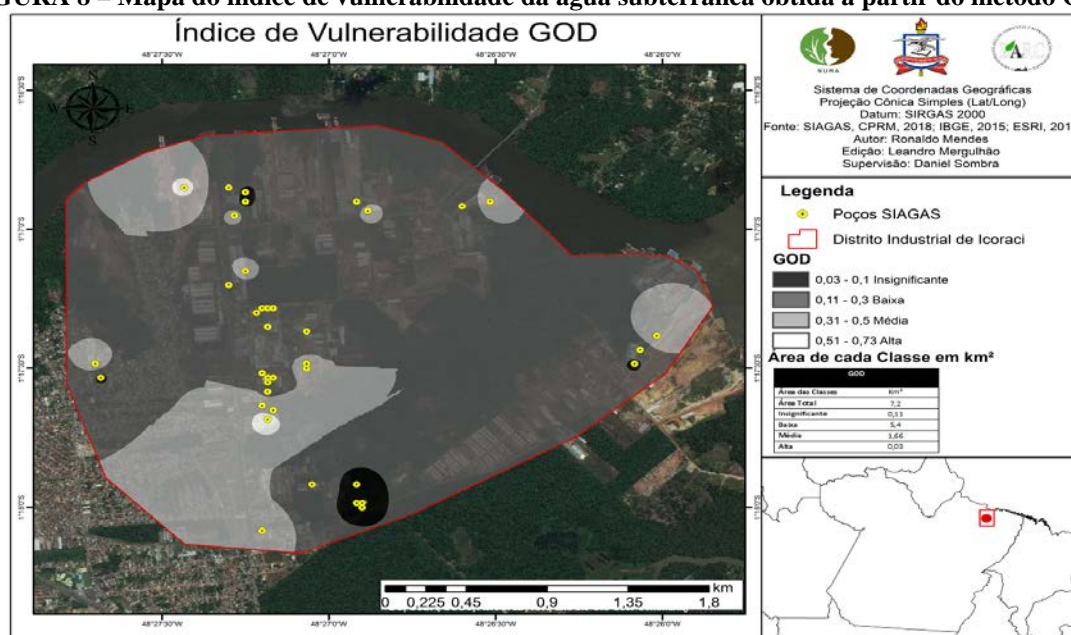


Fonte: a autora.

Diante dos mapas apresentados (figuras 5, 6 e 7), é possível notar a variabilidade dos parâmetros levantados, o que naturalmente implica em heterogeneidade na vulnerabilidade, que se estende de insignificante, baixa, média e alta (figura 8).

Quando observada a vulnerabilidade da água subterrânea expressa em mapa, é possível identificar facilmente a predominância em área da **vulnerabilidade baixa (cinza escura)**, em cerca de 75% da área (5,4 km², com valores entre 0,11 a 0,3). Em cerca de 23,1% da área (1,66 km²) está presente a **vulnerabilidade média (cinza claro)** (valores de 0,31 a 0,5), especialmente na porção Sul-Sudoeste e também ocorre em porções isoladas. Pontualmente também são identificadas vulnerabilidades **insignificantes (preto)**, com cerca de 2% da área – 0,11 km² e valores de 0,03 a 0,1) e **alta (branco)**, com cerca de 0,4% da área – 0,03 km² e valores de 0,51 a 0,73).

**FIGURA 8 – Mapa do índice de vulnerabilidade da água subterrânea obtida a partir do método GOD.**



Fonte: a autora.



A predominância da vulnerabilidade baixa está vinculada especialmente a presença de argila nos perfis (especialmente areno argilosa), elementos frequentes na formação Barreiras da região (ROSETTI 2006; ROSETTI EL AL 1989), que mesmo que não configure confinamento, tem grande importância na proteção as águas subterrâneas.

## **CONCLUSÕES**

Com base no trabalho realizado, concluiu-se que:

O estudo da vulnerabilidade intrínseca da água subterrânea do Distrito Industrial de Icoaraci (Belém-PA), mostra que cerca de 75% da área tem vulnerabilidade baixa e cerca de 23% apresenta vulnerabilidade média. Isto expressa que tal área apresenta condições favoráveis a destinação que lhe foi dada. Naturalmente, melhor seria que as áreas fossem de vulnerabilidade insignificante. Ainda assim, é preciso estar atento as áreas cuja vulnerabilidade é média.

Sabendo que o uso do método GOD se presta a identificação da vulnerabilidade em uma dimensão com pouco detalhamento, sugere-se que, especialmente as áreas de vulnerabilidade média, seja objeto de detalhamento por meio de aplicação de métodos mais sofisticados.

## **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

1. FOSTER, S.; HIRATA, R. 1988. Groundwater risk assessment, a methodology using available data. Pan American Health Organization.
2. FOSTER, S.; HIRATA, R.; GOMES, D.; D'ELIA, M.; PARIS, M. Groundwater quality protection: a guide for water service companies, municipal authorities and environment agencies. World Bank, GWMAE. Washington, 101 p. 2002.
3. ROSETTI, D. F. EVOLUÇÃO SEDIMENTAR MIOCÊNICA NOS ESTADOS DO PARÁ E MARANHÃO. INPE ePrint. v1 2006.
4. ROSSETTI, D.F., TRUCKENBRODT, W.; GÓES, A.M. Estudo paleoambiental e estratigráfico dos sedimentos Barreiras e Pós-Barreiras na região bragantina, nordeste do Pará. Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi (Série Ciências da Terra), 1, p. 25-74, 1989.
5. SANTOS, A. C. B.; MENDES, R. L. R.; SILVA, G. N.; TAVARES, A. N. VULNERABILIDADE DE AQUÍFEROS: UMA ANÁLISE DA APLICAÇÃO DO MÉTODO GOD COM A BASE DE DADOS SIAGAS. Revista Águas Subterrâneas. III Congresso Internacional de Meio Ambiente Subterrâneo. 2013.