



Análise da vulnerabilidade à contaminação de água subterrânea em um aterro sanitário no semiárido do Estado da Paraíba – Nordeste do Brasil

Analysis of the vulnerability to groundwater contamination at a sanitary landfill in the Semiarid Region

Julianna Ferreira dos Santos Silva*¹ ; Laercio Leal dos Santos¹ ; Pablo Rafael Ferreira Ramos¹ ; Veruschka Escarião Dessoles Monteiro² ; Márcio Camargo de Melo²

¹Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental. Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande, PB, Brasil.

²Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental. Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, PB, Brasil.

E-mail: laercioleal@servidor.uepb.edu.br (LLS); pablroramos@gmail.com (PRFR);

veruschkamonteiro@hotmail.com (VEDM); melomc90@gmail.com (MCM)

*Email para correspondência: juliannaferreiraeng@gmail.com

Recebido (Received): 09/09/2024

Aceito (Accepted): 11/12/2024

Resumo: Devido ao aumento da necessidade de água em diversos âmbitos da nossa sociedade, as águas subterrâneas se apresentam com alternativa essencial para suprir as demandas de diferentes atividades humanas. Entretanto, uma série de práticas podem ocasionar a poluição dessa fonte primordial de água. Devido a este fato, vários estudos e métodos já foram desenvolvidos sobre o tema de vulnerabilidade a contaminação de aquíferos. A presente pesquisa utilizou os métodos GOD e DRASTIC para avaliar a susceptibilidade à contaminação de águas subterrâneas na área de um aterro localizado na região semiárida do estado da Paraíba. A região estudada apresentou um índice de vulnerabilidade variando de baixo a alto. Tal resultado pode ser atribuído principalmente ao tipo de formação hidrogeológica do local e a profundidade em que se encontram as águas subterrâneas.

Palavras-chave: Susceptibilidade; Método GOD; DRASTIC; Hidrogeologia.

Abstract: Due to the increasing demand for water across various sectors of our society, groundwater has become an essential alternative to meet the needs of different human activities. However, a range of practices can lead to the pollution of this crucial water source. Consequently, numerous studies and methods have been developed on the topic of aquifer contamination vulnerability. This research applied the GOD and DRASTIC methods to assess groundwater susceptibility to contamination in the area of a landfill located in the semi-arid region of the state of Paraíba, Brazil. The studied region showed a vulnerability index ranging from low to high, a result mainly attributed to the type of local hydrogeological formation and the depth at which the groundwater is located.

Keywords: Susceptibility; GOD method; DRASTIC; Hydrogeology.

1. Introdução

O consumo de recursos hídricos aumenta continuamente devido às diferentes atividades humanas, muitas das quais possuem grande potencial poluidor, o que pode provocar significativas mudanças na qualidade da água (TEDESCO *et al.* 2021).

A demanda hídrica do estado da Paraíba é uma questão de alta relevância, especialmente considerando seu clima semiárido e a irregularidade das chuvas, que afetam grande parte do território. A escassez de recursos hídricos impacta tanto o abastecimento urbano quanto as atividades agrícolas, que demandam grande quantidade de água para irrigação, sobretudo em regiões que dependem da agricultura familiar.

Dessa forma, as águas subterrâneas são uma fonte imprescindível de água doce para atender as demandas de vários setores, como o industrial, doméstico e agrícola, além de diferentes ecossistemas sustentáveis pelo mundo (HIRATA *et al.* 2019).

Sendo assim, a contaminação dos recursos hídricos (águas superficiais e subterrâneas), e do solo, é uma preocupação ambiental significativa, especialmente quando se observa que as áreas designadas para a disposição de resíduos sólidos urbanos não estão adequadamente preparadas para coletar, drenar e tratar os líquidos percolados resultantes da decomposição dos materiais orgânicos depositados (SILVA *et al.* 2022).

Conforme informações do Tribunal de Contas do Estado (TCE) da Paraíba, existem 17 aterros sanitários em operação no estado. Destes, 8 são geridos pelo setor público e 9 estão sob gestão privada. No total, esses aterros atendem a 171 municípios paraibanos, além de municípios de estados vizinhos.

A instalação e operação de um aterro sanitário, mesmo seguindo todas as normas e regulamentações, produz impactos negativos no meio em que está inserido. Segundo Martildes *et al.* (2020), podem ser citados como alguns desses impactos a alteração da qualidade do ar e do solo, aumento nos processos erosivos, compactação do solo, aumento de vetores de doenças, afugentamento de fauna e morte de animais silvestres, além dos riscos à saúde humana.

Segundo Vaverková (2019), parte do potencial poluidor dos aterros se deve à dispersão de lixiviados e gases provenientes da degradação dos resíduos sólidos. Portanto, se fazem necessários estudos que determinem a vulnerabilidade à contaminação das águas subterrâneas, com o propósito de auxiliar na tomada de decisões de forma mais eficiente para a gestão de potenciais riscos de contaminação.

Devido a esta problemática, diversos estudos sobre vulnerabilidade foram desenvolvidos, destacando-se os trabalhos de Margat (1968), Taltasse (1972), Aller *et al.* (1987), Foster e Hirata (1988), entre outros. Esses estudos estabeleceram conceitos essenciais para a avaliação da vulnerabilidade, possibilitando, de forma antecipada, identificar a capacidade de proteção natural dos aquíferos e identificar áreas com maior suscetibilidade, que exigem a implementação de medidas mitigadoras.

Nesse contexto, este trabalho irá verificar o índice de vulnerabilidade na área de um aterro sanitário, situado na Região Geográfica Imediata de Campina Grande–PB.

2. Materiais e métodos

2.1. Área de estudo

A área de estudo objeto desta pesquisa é um aterro sanitário localizado na Região Geográfica Imediata de Campina Grande–PB, que abrange 47 municípios e encontra-se a aproximadamente 120 km da capital do Estado, João Pessoa. O aterro sanitário teve sua operação iniciada em julho de 2015, e compreende uma área de 80 ha, sendo 40 ha destinados à construção de células para a recepção de resíduos, foi projetado para uma vida útil de 25 anos, recebendo resíduos Classes IIA e IIB, como por exemplo restos de alimentos, pedaços de madeira, entulhos de demolição, plásticos, papel, vidros, materiais têxteis, entre outros segundo a classificação da NBR 10.004/2004.

Atualmente, o aterro recebe 732 ton/d de resíduos sólidos urbanos, provenientes de sessenta e três municípios, sendo um do estado do Rio Grande do Norte-RN e sessenta e dois do estado da Paraíba-PB.

O aterro sanitário encontra-se inserido no semiárido paraibano, possui clima quente e úmido, conforme classificação de Köppen (MEDEIROS *et al.* 2021), com precipitações, normalmente, entre os meses de janeiro e outubro. Sua altitude de 552 m acima do nível do mar garante a região temperaturas mais amenas, variando entre 20 °C e 30 °C, conforme INMET, 2020.

Localizado em uma região de planalto, possui uma predominância planossolos e neossolos de textura argilosa. Os solos são basicamente areno-siltosos, se encontram acima dos materiais consolidados levemente alterados (TUMA *et al.* 2024).

2.2. Métodos

Para avaliar o índice de vulnerabilidade na área do aterro sanitário selecionado para este estudo, foram selecionados dois métodos: DRASTIC e GOD. A seguir, serão expostos os fundamentos desses métodos, bem como de que forma eles foram aplicados na área de estudo.

2.2.1. Método GOD

A metodologia de análise de vulnerabilidade de aquíferos GOD foi inicialmente desenvolvida por Foster & Hirata (1987) no Reino Unido e baseia-se na recarga da água subterrânea e na capacidade natural de

atenuar contaminantes, variando segundo as condições geológicas, e consiste na hierarquização de índices referente à maior ou menor vulnerabilidade do aquífero (FOSTER *et al.* 2002).

A maior vantagem da utilização dessa metodologia é a simplicidade de operação devido ao uso de uma menor quantidade de variáveis requeridas para sua aplicação. Por este motivo, vem sendo muito utilizada na América Latina e Caribe (BRAVO, 2019).

Dessa forma, tal método considera três variáveis, sendo elas: grau de confinamento hidráulico (G); caracterização geológica da zona não saturada (O); profundidade do nível d'água ou da base confinante do aquífero (D), conforme esquema da **Figura 1**.

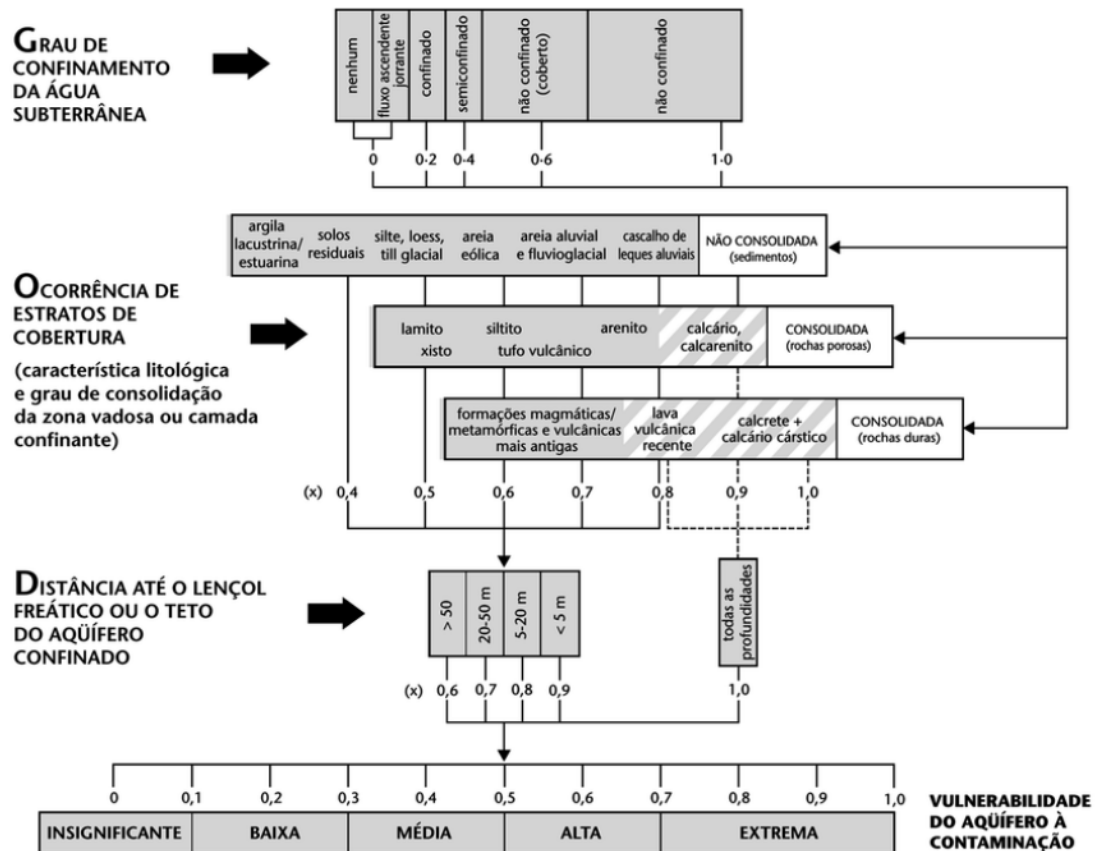


Figura 1: Esquema do Índice GOD. Fonte: Foster, 2006.

O produto dos índices dos três parâmetros ($G \times O \times D$) apresentados, será o índice de vulnerabilidade natural do aquífero à contaminação, expresso numa escala de 0 – 1. Quanto maior o valor do índice GOD, maior será a vulnerabilidade do aquífero (MADEIRA, 2020). O índice de vulnerabilidade ainda é dividido em 5 categorias apresentadas no **Tabela 1**.

Tabela 1: Categorias de vulnerabilidade do índice GOD.

Classes de Vulnerabilidade	Definição Prática	Índice de Vulnerabilidade
Extrema	Vulnerável a muitos poluentes, com rápido impacto em muitos cenários de contaminação.	0,7 – 1,0
Alta	Vulnerável a muitos poluentes, exceto aqueles muito pouco móveis e pouco persistentes.	0,5 – 0,7
Moderada	Vulnerável a alguns poluentes, mas somente quando continuamente lançados.	0,3 – 0,5
Baixa	Somente vulnerável a contaminantes conservativos em longo prazo, quando continuamente e amplamente lançado.	0,1 – 0,3
Desprezível	Camadas confinadas com fluxo vertical descendente não significativo.	0 – 0,1

Fonte: Adaptado de Foster (2013).

2.2.2. DRASTIC

A metodologia DRASTIC foi proposta pelo Serviço de Proteção do Meio Ambiente Norte Americano, USEPA (*United States Environmental Protection Agency*) (ALLER *et al.* 1987). O nome dado a este índice é um acrônimo que remete aos 7 parâmetros analisados: *Depth of water* (D); *Recharge* (R); *Aquífer media* (A); *Soil media* (S); *Topography* (T); *Impact of the vadose zone* (I) e *Conductivity Hydraulic* (C).

Para cada parâmetro é atribuído um peso relativo. Os valores desses pesos são pré-determinados e representam a relevância para a quantificação da vulnerabilidade. Quanto mais próximo de 5, maior é a influência do parâmetro para a determinação do potencial de contaminação. Além dos pesos relativos, também são atribuídos valores de 1 a 10 a cada parâmetro em função das condições locais. Da mesma forma que os pesos, quanto mais próximo de 10, maior é a vulnerabilidade (YAKOUB; AZZEDINE, 2019). A **Figura 2** apresenta os parâmetros do índice DRASTIC, seu peso e valor atribuído.

A partir da multiplicação dos valores dos pesos e dos valores atribuídos a cada parâmetro é obtido o valor do Índice DRASTIC: quanto mais elevado for esse valor, maior será o potencial de contaminação. A **Equação 1** correlaciona o índice DRASTIC com as variáveis e seus respectivos pesos (YAKOUB; AZZEDINE, 2019).

$$DRASTIC = D \times DW + R \times RW + A \times AW + S \times SW + T \times TW + I \times IW + C \times CW \quad \text{Eq. (1)}$$

Na qual:

D = distância vertical entre a superfície topográfica e a superfície freática ou o topo do aquífero confinado.

R = recarga do aquífero.

A = geologia do aquífero.

S = tipo de solo.

T = topografia.

I = impacto da zona não saturada.

C = condutividade hidráulica.

W = o peso atribuído a cada parâmetro.

D – Profundidade do nível estático (m) – Peso 5	Valor atribuído	T – Topografia (%) – Peso: 1	Valor atribuído
>30,0	1	>18	1
22,6 – 30,0	2	12–18	3
15,1 – 22,5	3	6–12	5
9,1 – 15,0	5	2–6	9
4,6 – 9,0	7	0–2	10
1,6 – 4,5	9		
0 – 1,5	10		
R – Recarga (mm/ano) – Peso: 4	Valor atribuído	I – Impacto da zona vadosa – Peso: 5	Valor atribuído
< 51	1	Camada confinante	1
51 – 102	3	Argila/Silte	2–6
102 – 178	6	Xisto argiloso, argilito	2–5
178 – 254	8	Calcário	2–7
> 254	9	Arenito, arenito calcário e argila estratificados	4–8
		Areia e basalto com percentagem significativa de silte e argila	4–8
		Rocha metamórfica/ígnea	2–8
		Areia e cascalho	6–9
		Basalto	2–10
		Calcário cárstico	8–10
A – Material do aquífero – Peso: 3	Valor atribuído	C – Condutividade hidráulica do aquífero (m/s) – Peso: 3	Valor atribuído
Xisto argiloso, argilito	1–3	<4,1	1
Rocha metamórfica / ígnea	2–5	4,1 – 12,2 (m/s)	2
Rocha metamórfica / ígnea alterada	3–5	12,2 – 28,5 (m/s)	4
Arenito, calcário e argilito estratificados	5–9	28,5 – 40,7 (m/s)	6
Arenito maciço, calcário maciço, areia e cascalho	4–9	40,7 – 81,5 (m/s)	8
Basalto	2–10	>81,5 (m/s)	10
Calcário cárstico	9–10		
S – Tipo de solo – Peso: 2	Valor atribuído		
Argila não agregada e não expansível	1		
Calcário	2		
Franco argiloso	3		
Franco siltoso	4		
Franco arenoso	6		
Argila agregada e/ou expansiva	7		
Turfa	8		
Areia	9		
Fino ou ausente	10		

Figura 2: Parâmetros do Índice DRASTIC e suas características. Fonte: Adaptado de ALLER *et al.* (1987).

Na **Tabela 2** é possível encontrar o nível de vulnerabilidade conforme o valor encontrado através da Eq. 1.

Tabela 2: Valores do Índice DRASTIC e suas classes de vulnerabilidade.

Valores	Nível de Vulnerabilidade
<120	Baixa
120-159	Moderada
160-199	Alta
>199	Extremamente alta

Fonte: Adaptado de Aller *et al.* (1987).

2.2.3. Determinação dos parâmetros

As informações necessárias para o método GOD e DRASTIC foram obtidas através dos perfis litológicos dos seis poços inseridos na área do aterro sanitário e de estudo topográfico da região, ambos fornecidos pela empresa responsável pela operação do aterro (**Figura 3**). Para a determinação do parâmetro D (profundidade do nível d'água ou da base confinante do aquífero), utilizada nos dois métodos, foram realizadas medições in loco no mês de setembro e outubro, meses considerados de estiagem, utilizando o medidor de nível d'água PMD Eletro modelo F107188. No entanto, os dados de Recarga do aquífero (R) e Condutividade hidráulica (C) foram retirados dos estudos de Brito (2007) e Feitosa *et al.* (2008), respectivamente.

Em posse desses dados, foi possível utilizar o método GOD e DRASTIC para estabelecer a vulnerabilidade à contaminação da água subterrânea nos limites do aterro sanitário.

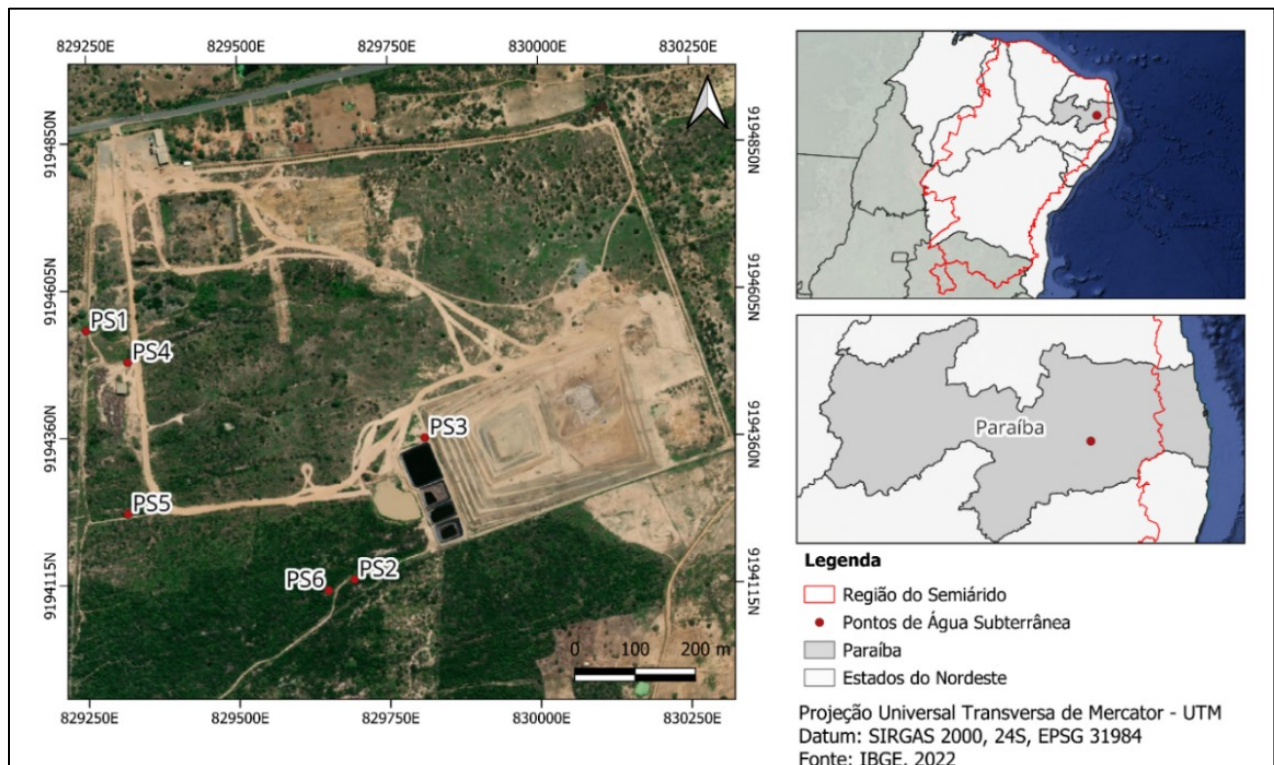


Figura 3: Mapa de localização dos poços na área do aterro sanitário. Fonte: elaborado pelo autor.

3. Resultados

3.1. Método GOD

Os poços alvo deste estudo situam-se em uma área de extensão relativamente limitada, resultando assim em uma considerável uniformidade nas características hidrogeológicas observadas para a região estudada.

Através da análise do Grau de Confinamento (G), o qual descreve a condição de confinamento da água subterrânea, foi classificado como não confinado (coberto) na área do aterro. Esta conclusão se deve a sua condição como aquífero livre e ao nível do lençol freático.

O parâmetro (O) refere-se à ocorrência do substrato suprajacente, sendo determinado através das características litológicas e grau de consolidação da zona vadosa. Na área em estudo, a classificação de formações ígneas/metamórficas foi estabelecida com base no contexto geológico identificado como Migmatitos e Biotita-gnaisses do Complexo São Caetano, no qual o aterro se localiza, conforme descrito nos perfis litológicos dos poços avaliados.

Em relação à distância ao nível da água subterrânea (D), foram encontrados por meio de medições *in loco* valores variando entre 0,5 e 10 m de profundidade do nível d'água. Os dados encontrados para os seis poços podem ser observados na **Tabela 3**.

Tabela 3: Características encontradas para cada parâmetro do Método GOD

Pontos	G Grau de confinamento	Índice	O Ocorrência do substrato	Índice	D Profundidade (m)	Índice
PS1	Não confinado (coberto)	0,6	ígneas/metamórficas	0,6	10,0	0,8
PS2	Não confinado (coberto)	0,6	ígneas/metamórficas	0,6	1,0	0,9
PS3	Não confinado (coberto)	0,6	ígneas/metamórficas	0,6	9,5	0,8
PS4	Não confinado (coberto)	0,6	ígneas/metamórficas	0,6	8,0	0,8
PS5	Não confinado (coberto)	0,6	ígneas/metamórficas	0,6	0,5	0,9
PS6	Não confinado (coberto)	0,6	ígneas/metamórficas	0,6	10,0	0,8

Fonte: elaborado pelo autor.

Após a caracterização dos parâmetros do Método GOD para cada poço estudado foi possível realizar os cálculos para a determinação do índice de vulnerabilidade, que variam entre 0,288 e 0,324, conforme **Tabela 4**, indicando, assim, categorias de baixa a moderada de suscetibilidade à contaminação em toda a área do aterro sanitário. Tal resultado pode ser justificado devido ao tipo de confinamento da água subterrânea, pela formação hidrogeológica do local, composta por rochas ígneas/metamórficas que refreiam o acesso de possíveis poluentes até a camada saturada.

Tabela 4: Índice de vulnerabilidade à contaminação pelo método GOD

Pontos	Vulnerabilidade à contaminação	Classe de vulnerabilidade
PS1	0,288	Baixa
PS2	0,324	Moderada
PS3	0,288	Baixa
PS4	0,288	Baixa
PS5	0,324	Moderada
PS6	0,288	Baixa

Fonte: elaborado pelo autor.

É possível notar que o parâmetro D, relativo à profundidade da água, foi o que causou uma maior interferência no resultado. Observa-se que as áreas que obtiveram uma classificação de moderada vulnerabilidade possuem uma menor profundidade quando comparada às regiões consideradas com um baixo grau de susceptibilidade à contaminação. Isso se deve ao fato de que quanto mais profundo estiver o lençol freático, maior será o tempo requerido para um determinado contaminante atingir o aquífero.

Jesus *et al.* (2023) utilizaram o método GOD para análise da vulnerabilidade de águas subterrâneas em aquífero fraturado no município de Itabaiana-SE, que tem cerca de 80% do seu território contido no complexo gnáissico-migmatítico do Domo de Itabaiana, sendo formado principalmente por ortognaisses. Os resultados obtidos por meio da aplicação deste método indicam uma variação nos níveis de vulnerabilidade, classificadas como insignificante, baixa e moderada, com a predominância de áreas enquadradas na categoria de vulnerabilidade insignificante.

Os autores afirmam que estes resultados são atribuídos principalmente a geologia do aquífero, considerado como semiconfinado, enquanto que a área é classificada como insignificante. Já, para as regiões consideradas de média vulnerabilidade à contaminação, é a baixa profundidade do topo do aquífero que influencia diretamente no resultado.

No Rio Grande do Norte, Silva *et al.* (2020) recorreram ao Método GOD para avaliar a vulnerabilidade à contaminação das águas subterrâneas do Aquífero Barreiras e verificaram quatro classificações: baixa, média, alta e extrema. A região possui uma geologia formada basicamente por rochas ígneas e metamórficas, rochas carbonáticas e areníticas, e predominância dos solos Neossolos, Latossolos, Argissolos e coberturas dunares, enquanto o nível estático da água subterrânea varia de 1,57 a 38,60 m.

Segundo os autores, os fatores que contribuíram para estes resultados foram a característica de semiconfinamento do aquífero para as áreas consideradas de baixa vulnerabilidade. Em contrapartida, para as áreas de média vulnerabilidade, destaca-se a ocorrência de estratos de cobertura composta por arenitos e o nível do lençol freático inferior a 20 m. Este último fator, em conjunto com a presença de aquíferos livres e uma zona saturada constituída por sedimentos, foi preponderante para a classificação de áreas com vulnerabilidade alta e extrema.

3.2. Método DRASTIC

Consoante a metodologia DRASTIC, os valores encontrados de profundidade do nível freático (D) variam entre 0,5 m a 10 m e ficaram distribuídos em três classes. Os poços de água subterrânea localizados na porção oeste do aterro sanitário foram os que apresentaram a maior profundidade, acarretando menor risco de contaminação dessas águas.

Para o parâmetro Recarga (R), utilizou-se a pesquisa de Brito (2007), que estimou o valor de recarga em 80,5 mm/ano. No que se refere à litologia (A), as formações da área estudada podem ser classificadas como ígneas/metamórficas. Tal classificação também pode ser aplicada para o parâmetro de impacto da zona vadosa (I). Para efeito de cálculo, o valor atribuído a este parâmetro foi de 4.

Por meio dos perfis litológicos dos poços, foi possível identificar que o tipo de solo (S) encontrado na região do aterro sanitário é do tipo franco arenoso. A partir de estudos topográficos realizados na região, determinou-se a declividade (T) média do terreno em 1,51%. Para o parâmetro condutividade hidráulica (C), o estudo realizado por Feitosa *et al.* (2008) obteve o valor de $2,1 \times 10^{-2} \text{ m.s}^{-1}$ para o tipo de rocha encontrada na área do aterro sanitário.

O método DRASTIC indicou que a área de estudo possui vulnerabilidade variando de baixa a alta, conforme **Tabela 5**. Os resultados obtidos através deste método foram muito semelhantes aos encontrados pelo método GOD, com exceção apenas do ponto PS4 e PS5. Tal diferença pode ser explicada devido à topografia (T) e à profundidade do nível freático (D), que no método DRASTIC possui uma maior variação de classes, influenciando diretamente no resultado.

O ponto PS4 apresenta uma declividade baixa, de apenas 0,94%, favorecendo, desta forma, o processo de infiltração. Por outro lado, o ponto PS5, classificado como de alta vulnerabilidade, também é o ponto que apresentou um menor nível de profundidade de água, fato este que facilita o transporte de contaminantes para o interior deste poço.

Tabela 5: Índice de vulnerabilidade à contaminação pelo método DRASTIC

Pontos	Vulnerabilidade à contaminação	Classe de vulnerabilidade
PS1	115	Baixa
PS2	139	Moderada
PS3	114	Baixa
PS4	125	Moderada
PS5	140	Alta
PS6	114	Baixa

Fonte: elaborado pelo autor.

Em estudo realizado por Silva *et al.* (2020), que aplicaram o Método DRASTIC para determinar o grau de vulnerabilidade à contaminação das águas subterrâneas do Aquífero Barreiras, foram identificados três níveis de vulnerabilidade: baixa, moderada e alta, com a última restrita aos leitos dos rios, representando 6,06% da área total. Esses achados são consistentes com os resultados obtidos pelo método GOD na maior parte da área analisada. A única exceção foi no setor oeste, onde o método GOD havia indicado uma vulnerabilidade

alta. No entanto, uma análise mais detalhada dos parâmetros de recarga pluviométrica e condutividade hidráulica pelo Método DRASTIC indicou que a vulnerabilidade nessa região era baixa. Isso sugere que esses parâmetros podem resultar em uma resiliência maior do aquífero contra a contaminação.

4. Conclusões

Através da utilização do método GOD e DRASTIC, foi possível estabelecer a vulnerabilidade à contaminação de águas subterrâneas na área de estudo. O método GOD utiliza-se de três parâmetros para determinação do índice, tornando a sua aplicação propícia, especialmente em locais que há uma escassez de dados disponíveis.

Observa-se que o método DRASTIC considera um maior número de dados. Este fato faz com que o método seja mais completo. Entretanto, devido ao emprego de mais variáveis, acaba dificultando sua utilização, seja em função da falta de dados disponíveis ou do custo na sua obtenção.

Por meio dos resultados obtidos e observados em pesquisas de outros autores, verifica-se que a baixa profundidade ou nível estático raso é um dos principais fatores influenciadores para uma região ser considerada de alta vulnerabilidade nos dois métodos aplicados.

Embora a existência de aterros sanitários seja de extrema importância do ponto de vista ambiental, deve-se analisar o tipo de uso e ocupação do solo para uma análise mais acurada, considerando que essa atividade antrópica desenvolvida na região possui um alto potencial poluidor quando não conduzida de forma adequada.

A busca por alternativas ao aterro sanitário é fundamental para reduzir os impactos ambientais e promover uma gestão mais sustentável dos resíduos sólidos. Métodos como reciclagem, compostagem e recuperação de energia ajudam a diminuir o volume de materiais descartados, prolongando a vida útil dos aterros e evitando a contaminação do solo e da água. Além disso, essas práticas possibilitam o aproveitamento de resíduos como recursos, economizando matérias-primas e energia, além de fomentar uma economia circular.

Os dados obtidos nesta pesquisa podem apoiar tomadas de decisões quanto a gestão ambiental, além de incentivar a realização de novos estudos sobre o tema na área. Entretanto, devido ao tipo de ocupação e tamanho da área, é interessante que seja utilizado um método que considere outros parâmetros, como as características físico-químicas de possíveis contaminantes, fontes de poluição, ligação com outros corpos d'águas, entre outros.

Referências

- ALLER, L.; BENNETT, T.; LEHR, J. H.; PETTY, R. J.; HACKETT, G. **DRASTIC**: a standardized system for evaluating ground water pollution potential using hydrogeologic settings. Dublin, Ohio: USEPA, 1987.
- BRASIL. INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA-INMET/BDMEP. Série Histórica: dados diários sobre precipitação (mm) e temperatura anual (°C). Campina Grande/PB. Bancos de dados meteorológicos para Ensino e Pesquisa. 2020. Disponível em: <https://bdmep.inmet.gov.br>.
- BRAVO, D. E. D. P. **Definição de perímetros de proteção de captações de água subterrânea no sistema aquífero Quelo – Luanda – NW de Angola**. 2019. 102 f. Dissertação (Mestrado em Geologia) - Faculdade de Ciências Universidade do Porto, Portugal, 2019.
- BRITO, G. L. M. **Estimativa da taxa de recarga na bacia sedimentar do Rio do Peixe (PB) pelo método do balanço hídrico**. 2007. 143 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) – Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande, 2007.
- FEITOSA, F. A.C.; FILHO, J. M.; FEITOSA, E. C.; DMETRIO, J. G. A. **Hidrogeologia: conceitos e aplicações**. 3ed. Rio de Janeiro: CPRM: LABHID. 2008. 812 p.
- FOSTER, S. S. D.; HIRATA, R. C. A. **Groundwater pollution risk evaluation: the methodology using available data**. Lima: CEPIS/PAHO/WHO, 1988. 81 p.

FOSTER, S. S. D. 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, GWMate, Washington, 2002, p. 114.

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, GWMate, Washington, 2006, p. 104 p.

HIRATA, R.; SUHOGUSOFF, A.; MARCELLINI, S. S.; VILLAR, P.C.; MARCELLINI, L. **As águas subterrâneas e sua importância ambiental e socioeconômica para o Brasil.** São Paulo: Universidade de São Paulo /Instituto de Geociências, 2019. 66 p. DOI: 10.11606/9788563124074.

JESUS, T. S.; VEDANA, L. A.; GONÇALVES, R. D.; GUERRA, F. C. Vulnerabilidade à contaminação das águas subterrâneas em aquífero fraturado, Itabaiana (SE) – aplicação do método GOD. **Revista Geociências**, São Paulo, v. 42, n. 4, p. 537 – 550, 2023. DOI: doi.org/10.5016/geociencias.v42i4.17758

MADEIRA, G. R. **A contaminação da água subterrânea no aterro sanitário do município de Itabira (MG): Estudo de Caso.** 2020. 163 f. Dissertação (Mestrado em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos) – Universidade Federal de Itajubá, Itabira, 2020.

MARGAT, J. **Vulnérabilité des nappes d'eau souterraine à la pollution.** Base de la cartographie, Doc. BRGM, 68 SGL 198 HYD. Orléans, França, 1968.

MEDEIROS, R. M.; SABOYA, L. M. F.; FRANÇA, M. V.; ARAÚJO, W. R.; FILHO, M. C.; HOLANDA, R. M.; COUTINHO JUNIOR, J. C. M. Comparativos das variabilidades do clima e do conforto ambiental nos municípios de Campina Grande e Monteiro, PB. **RECIMA21 - Revista Científica Multidisciplinar.** v. 2, n. 11, 2021.

TALTASSE, P.R. 1972. **Mapas de vulnerabilidade à poluição dos lençóis aquíferos do município de Campinas (Estado de São Paulo).** IGUSP. Publicação avulsa nº 1, p. 1 – 12, 1972.

SILVA, J. M., MELO, J. G., DINIZ FILHO, J. B. Mapeamento da vulnerabilidade à contaminação das águas subterrâneas do Sistema Aquífero Barreiras na Bacia no Rio Pirangi/RN utilizando os Métodos GOD, DRASTIC e IS. **Águas Subterrâneas - Seção Estudos de Caso e Notas Técnicas**, Rio Grande do Norte, v.34, n.1, p. 1 – 17, 2020. DOI: doi.org/10.14295/ras.v34i1.29786

SILVA, J. N.; CUNHA, L. S.; OLIVEIRA, N. E. C. O uso de parâmetros físico-químicos na delimitação de contaminação por lixiviado em áreas degradadas por resíduos sólidos urbanos: uma revisão sistemática de literatura com ênfase em metanálise. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.15, n.03, p. 1 – 18, 2022. DOI: doi.org/10.26848/rbgf.v15.3.p1587-1604

TEDESCO, A. M.; OLIVEIRA, G. A.; TROJAN, F. Avaliação da vulnerabilidade à contaminação das águas subterrâneas por meio dos métodos AHP e TOPSIS. **Revista Engenharia Sanitária e Ambiental**, Paraná, v.26, n.3, p. 401 – 407, 2021. DOI: doi.org/10.1590/S1413-415220190322

TUMA, L. S. R.; GARCÍA-LÓPEZ, S.; OLIVEIRA, E. S.; SOUZA, R. S. Estimativa das Reservas Hídricas Fissurais em Campina Grande, Paraíba, Brasil. **Revista Multidisciplinar do Nordeste Mineiro**, Teófilo Otoni, v.06, n.1, p. 1 – 31, 2024. DOI: doi.org/10.61164/rmm.v6i1.2401

VAVERKOVÁ, M. D. Landfill impacts on the environment. **Geosciences**, v. 9, n. 10, p. 1 – 16, 2019. DOI: doi.org/10.3390/geosciences9100431

YAKOUB, K. H; AZZEDINE, H. Standardized system for evaluating groundwater pollution. **MATEC Web of Conferences**, Lille, França, v. 295, n.1, p. 1 – 7, 2019. DOI: doi.org/10.1051/mateconf/201929502004



Este artigo é distribuído nos termos e condições do *Creative Commons Attributions/Atribuição- NãoComercial-CompartilhaIgual (CC BY-NC-SA)*.