

ESTUDO DA VULNERABILIDADE DE AQUÍFERO ALUVIAL NO SEMIÁRIDO

*Tafnes da Silva Andrade*¹; *Suzana M. G. L. Montenegro*²; *Abelardo A. A. Montenegro*³

Resumo – O estudo desenvolveu-se com o objetivo de classificar o nível de vulnerabilidade à contaminação do aquífero aluvial, cujas águas são utilizadas para irrigação em região de clima semiárido no agreste de Pernambuco. A metodologia baseia-se na aplicação de dois métodos, GOD e DRASTIC. O primeiro consiste na caracterização, por meio de índices, de três parâmetros: grau de confinamento da água subterrânea (G), da ocorrência dos estratos de cobertura (O) e do nível do lençol freático (D), cujo resultado final é obtido pela multiplicação dos índices e corresponde a um mapa geral com indicação dos níveis de vulnerabilidade da área. O método DRASTIC, utiliza sete parâmetros profundidade do topo do aquífero (D), recarga do aquífero (R), material do aquífero (A), tipo de solo (S), topografia (T), influência da zona não saturada (I) e, condutividade hidráulica (C). O índice consiste na soma ponderada desses parâmetros. A vulnerabilidade do aquífero foi classificada como média pelo índice GOD e como baixa pelo índice DRASTIC.

Abstract – The study was developed aiming to classify the level of vulnerability to contamination of an alluvial aquifer, whose waters are used for irrigation in the Pernambuco state in the semiarid region. The methodology is based on the application of two methods, GOD and DRASTIC. The first method is based on three characteristics: degree of groundwater containment (G), the occurrence of coverage layers (O) and groundwater level (D). A final index is obtained by multiplying the individual ones and corresponds to a general statement indicating the levels of vulnerability of the area. The DRASTIC method uses seven parameters depth of the aquifer (D), recharge to the aquifer (R), the aquifer material (A), soil type (O), topography (T), the influence of the vadose zone (I) and hydraulic conductivity (C). The index is the weighted sum of these parameters. The vulnerability of the aquifer was classified as medium by the GOD index and low by the DRASTIC index.

Palavras-Chave – vale aluvial, GOD, DRASTIC.

¹ CPRH. Av. Bacharel Francisco Pereira Lopes, 245, Centro, Brejão, PE. (87) 37610697, tafnes.andrade@cprh.pr.gov.br

² UFPE. Acadêmico Hélio Ramos s/n, Cidade Universitária, Recife, PE. suzanam@ufpe.br

³ UFRPE. Rua Dom Manoel de Medeiros, s/n, Dois Irmãos, Recife, PE. montenegro@hotmail.com.br

INTRODUÇÃO

A importância da água para a manutenção da vida no nosso planeta é um conceito público universal. Exige-se que este líquido tenha qualidades adequadas à sua utilização, como também que a sua exploração seja regida por fatores técnicos bem definidos com o intuito de preservar a integridade dos mananciais, dentro de padrões adequados ao consumo atual e futuro. Um dos maiores desafios da atualidade é a preservação efetiva do meio ambiente associada à exploração racional e otimizada dos recursos hídricos (Righetto e Rocha, 2005).

A reserva hídrica subterrânea brasileira é expressiva. Para tanto, a proteção das águas subterrâneas depende, em essência, das práticas e atividades adotadas na superfície. Conforme indicado no ciclo hidrológico, existe uma comunicação entre as águas superficiais e as subterrâneas. Dentro deste contexto, vale citar o sistema de recarga de aquíferos e lençóis freáticos onde ocorre uma movimentação rápida e considerável na zona saturada do sistema (Moura et al., 2009).

A proteção dos mananciais requer o conhecimento detalhado do perigo de contaminação associado à área, que é uma função da interação entre a vulnerabilidade do aquífero à contaminação e a carga contaminante (Tavares, et al., 2009). Artuso et. al. (2004), comentam que o conceito de vulnerabilidade à poluição de águas subterrâneas pode ser definido como sendo a sensibilidade da qualidade das águas subterrâneas a uma carga poluente, função apenas das características intrínsecas do aquífero.

Alvarenga e Gonçalves (2008) comentam que os estudos sobre vulnerabilidade natural das águas subterrâneas baseiam-se na premissa de que o meio físico pode contribuir com um determinado grau de proteção à penetração de contaminantes, considerando que o material geológico pode constituir-se em filtros naturais, fazendo com que as águas subterrâneas achem-se melhor protegidas dos agentes de poluição que atingem os rios e lagos

Ribeira (2004) comenta que em hidrologia subterrânea a vulnerabilidade pode consistir na subdivisão em dois termos: vulnerabilidade natural e vulnerabilidade específica. Vrba e Zaparozec (1994) definem a vulnerabilidade natural ou intrínseca dos aquíferos como a soma de uma série de atributos ou características dos mesmos que são: o solo, a zona não saturada, os parâmetros hidráulicos do aquífero e a recarga que controlam resistência do aquífero frente a um impacto indeterminado e sua capacidade de auto-recuperação. Os autores definem ainda a vulnerabilidade específica como a resistência do aquífero frente a um tipo de impacto, dentro de um contexto específico.

A literatura especializada sinaliza três conjuntos de métodos que podem ser utilizados para avaliar a vulnerabilidade de uma formação aquífera: métodos que empregam modelos de simulação; métodos estatísticos ou de monitoramento e métodos de índices (Tavares et al. 2009). Os métodos de simulação avaliam a vulnerabilidade por meio da solução de equações do escoamento em meio

subterrâneo e transporte de soluto, quantificando a concentração do contaminante no tempo e no espaço. Os métodos estatísticos são usados para quantificar a vulnerabilidade pela determinação da relação estatística entre a poluição e as condições ambientais observadas, sendo expresso como uma probabilidade de contaminação (Lindström, 2005). Os métodos que utilizam índices baseiam-se na análise de alguns parâmetros do aquífero, classificando cada característica de acordo com faixas de valores e distribuídos espacialmente.

Os índices fornecem informações compactadas e orientadas para o planejamento, política e gestão das águas subterrâneas. São diversos os métodos de avaliação da vulnerabilidade de sistemas aquíferos, entre eles podem ser citados: DRASTIC (Aller et al. 1987), GOD (Foster, 1987), SINTACS (Civita et al. 1994), IS (Francés et al. 2001).

No Brasil, o estudo da vulnerabilidade das águas subterrâneas, utilizando índices, vem sendo bastante utilizado. Pode ser citado o trabalho de Correia, (2006) na caracterização do aquífero Boa Viagem em Pernambuco; Camponogara et. al. (2004) no município de Soledade – RS; Alvarenga e Gonçalves, (2008) no Vale do Aço – MG; Silva et. al. (2008) na análise de águas subterrâneas na bacia hidrográfica do rio Quaraí – RS; Tavares et. al. (2009) utilizaram o GOD no mapeamento da vulnerabilidade do aquífero rio da Batateira Crato – CE e Almeida, (2006) em Pesqueira – PE, dentre outros.

Este trabalho teve por objetivo avaliar o grau de vulnerabilidade natural das águas subterrâneas, usadas na irrigação, do Vale Aluvial do Assentamento Nossa Senhora do Rosário.

MATERIAL E MÉTODOS

A área de estudo está localizada no município de Pesqueira, região Agreste de Pernambuco, no Assentamento Rural Nossa S^a do Rosário, localizado na bacia hidrográfica do Rio Ipanema, situada entre as coordenadas geográficas 8° 15' e 8° 30' de Latitude Sul, 31° 45' e 37° 00' de Longitude Oeste de Greenwich e 650 m de altitude. A precipitação média anual é de 652 mm (Figueiredo et al. 2009).

O aquífero estudado possui espessura média em torno de 10 m, cerca de 3km de extensão e 300m de largura um declive topográfico natural de aproximadamente 0,3 % (Oeste- Leste), possuindo em suas margens granito e gnaisse da formação cristalina (Almeida et al. 2004).

O índice de vulnerabilidade à contaminação foi avaliado através dos modelos GOD e DRASTIC. Nesse estudo foram utilizados dados do monitoramento mensal dos níveis piezométricos, referente ao período de fevereiro de 2008 a agosto de 2009. Os dados foram agrupados em dois períodos, um chamado chuvoso que compreende os meses de fevereiro a agosto

e um chamado seco que compreende os meses de setembro a janeiro. A Tabela 1 apresenta a pluviometria mensal no período.

As informações requeridas para a determinação dos índices foram obtidas por meio de investigações de campo e na base de dados do Laboratório de Água e Solo da UFRPE. Os mapas de vulnerabilidade foram obtidos por meio de interpolação dos dados usando o método da krigagem através do programa Surfer 8.0 (GOLDEN SOFTWARE, 2002).

Tabela 1 – Precipitação mensal no período de 2008 e 2009

	2008	2009
Jan	1,9	81,8
Fev	9,6	102,9
Mar	237,6	0,0
Abri	133,6	213,9
Mai	159,8	211,6
Jun	0,0	47,8
Jul	92,4	0,0
Ago	63,8	89,0
Set	1,6	17,9
Out	54,5	9,6
Nov	68,5	15,02
Dez	0,0	49,30

Índice GOD

O índice GOD baseia-se nos seguintes três fatores: G (groundwater occurrence) – identifica o grau de confinamento hidráulico da água subterrânea, apresentados num intervalo de 0,0 – 1,0 ele indica a ocorrência de formações geológicas permeáveis, impermeáveis ou semipermeáveis, que têm influência direta na velocidade de escoamento da água subterrânea. O índice O (overall litology of aquifer) – referente a caracterização geológica da zona não saturada, representado numa escala de 0,4 – 1,0 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. O índice D (depth of water)- depende da profundidade do nível da água, exibido numa escala de 0,6 – 1,0 denota a distância natural da água à superfície do terreno. A cada fator é atribuído um índice, e o índice final calcula-se multiplicando esses três índices. O índice máximo é 1,0, representando a vulnerabilidade máxima. O valor mínimo é 0,016 se existe um aquífero ou 0 se não existe aquífero. Os resultados são expressos em termos qualitativos, em índices de vulnerabilidade extremo, alto, médio, baixo e nulo, conforme visto na Figura 1.

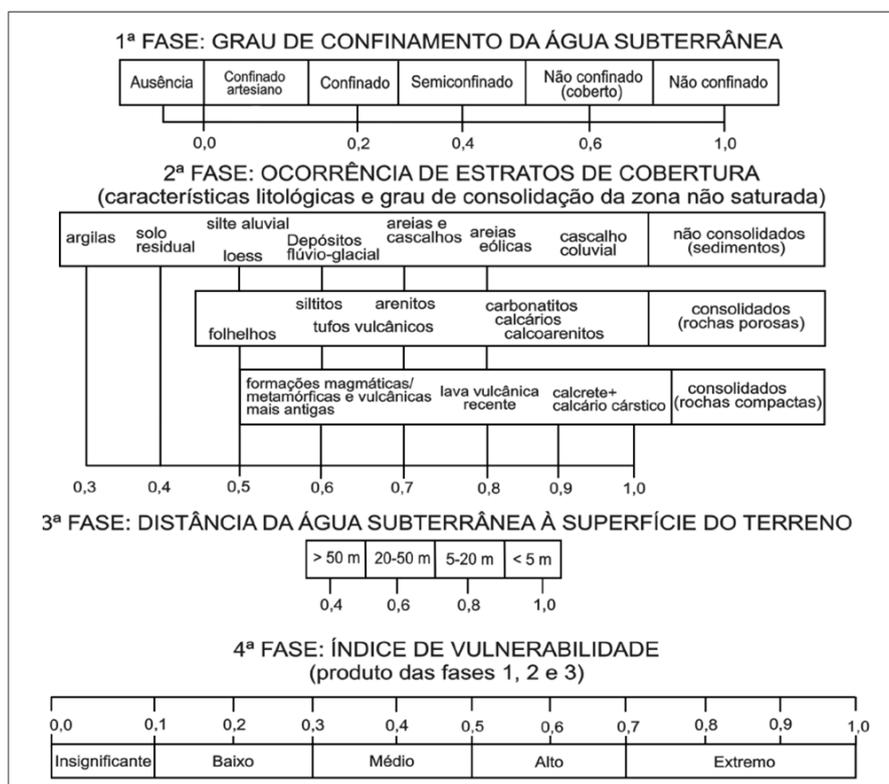


Figura 1 – Sistema GOD para avaliação da vulnerabilidade do aquífero à contaminação (Tavares et al. 2009)

Índice DRASTIC

O índice DRASTIC corresponde à soma ponderada de sete valores que correspondem aos seguintes parâmetros hidrogeológicos: D - Profundidade do Topo do Aquífero; R - Recarga do Aquífero; A - Material do Aquífero; S - Tipo de Solo; T – Topografia; I - Influência da zona não saturada e; C - Condutividade Hidráulica do Aquífero.

Cada um desses parâmetros é dividido em escalas ou tipos de meio que condicionam o potencial de poluição. A cada uma das divisões atribui-se um índice que varia entre 1 e 10 e cujo valor se relaciona diretamente com o potencial de poluição. O índice de vulnerabilidade DRASTIC obtém-se pela soma ponderada do índice de cada parâmetro por um peso que reflete sua importância relativa (Equação 1). Os pesos estão divididos em dois conjuntos, um para a vulnerabilidade geral e outro para a vulnerabilidade específica a pesticidas, os pesos variam numa escada de 1 a 5 (Tabela 2). O índice final varia entre 23 e 226. Quanto mais elevado o índice maior a vulnerabilidade. O índice é obtido por:

$$DRASTIC = (D_i \times D_p) + (R_i \times R_p) + (A_i \times A_p) + (S_i \times S_p) + (T_i \times T_p) + (I_i \times I_p) + (C_i \times C_p) \quad (1)$$

onde i é valor atribuído ao parâmetro e p o seu peso.

Tabela 2 – Variação do valor do peso de acordo com o parâmetro DRASTIC

Parâmetro		D	R	A	S	T	I	C
Peso	Normal	5	4	3	2	1	5	3
	Pesticida	5	4	3	5	3	4	2

a) Profundidade do nível d'água (D)

Esse parâmetro determina a espessura do material que o poluente terá que atravessar até atingir o aquífero (Tabela 3). No caso de aquífero livre, a profundidade é à distância ao nível do aquífero. Haverá uma maior probabilidade de atenuação dos poluentes à medida que essa profundidade aumenta.

Tabela 3 – Intervalo de profundidade do topo do aquífero e respectivos índices (Aller et al. 1987).

D – Profundidade do topo do aquífero (m)	Índice
< 1,5	10
1,5 - 4,5	9
4,5 - 9,1	7
9,1 - 15,2	5
15,2 - 22,9	3
22,9 - 30,5	2
> 30,5	1

b) Recarga do aquífero (R)

Representa o volume de água por unidade de área que se infiltra no meio subterrâneo e atinge o nível freático (Tabela 4). De modo geral, quanto maior a recarga maior será o potencial de poluição das águas subterrâneas. No entanto, um grande volume de recarga favorece a diminuição do potencial de poluição, pois permite uma maior diluição das substâncias poluentes.

Tabela 4 – Intervalos recarga e respectivos índices (Aller et al. 1987)

R - Recarga do aquífero (recarga mm/ano)	Índice
< 51	1
51 - 102	3
102 - 178	6
178 - 254	8
>254	9

A determinação da recarga no aquífero foi obtida por Andrade (2010) através do método da variação do nível d'água, obtida nos piezômetros instalados ao longo do vale aluvial.

c) Material do aquífero (A)

Corresponde à unidade litológica que serve de base à constituição do aquífero e que, por sua vez condiciona a sua capacidade para atenuar os efeitos poluentes (Tabela 5).

Tabela 5 – Material do aquífero e respectivos índices (ALLER et al. 1987).

A – Material do aquífero	Índice	Índice típico
Xisto argiloso, argilito	1 - 3	2
Rocha metamórfica/ígneas	2 - 5	3
Rocha metamórfica/ígneas alterada	3 - 5	4
Conglomerado argiloso glacial	4 - 6	5
Arenito, calcário e argilitos estratificados	5 - 9	6
Arenito maciço	4 - 9	6
Calcário maciço	4 - 9	6
Areia e balastro	4 - 9	8
Basalto	2 - 10	9
Calcário carsificado	9 - 10	10

d) Tipo de solo (S)

Refere-se ao material da zona alterada da superfície terrestre (Tabela 6). O tipo de solo é considerado no índice DRASTIC devido ao seu potencial atenuador da poluição. As propriedades dessa camada de solo que mais condicionam o potencial de poluição são a espessura, textura, expansibilidade /contractibilidade e teor de matéria orgânica.

Tabela 6 – Tipos de solo e respectivos índices (ALLER et al. 1987).

S - Tipo de solo	Índice
Fino ou ausente	10
Balastro	10
Areia	9
Turfa	8
Argila agregada e/ou expansível	7
Franco arenoso	6
Franco	5
Franco siltoso	4
Franco argiloso	3
“Nuck”	2
Argila não agregada e não expansível	1

e) Topografia (T)

Refere-se ao declive do terreno (Tabela 7). A topografia condiciona a probabilidade de um poluente poder escoar superficialmente ou permanecer à superfície durante um período de tempo suficiente para infiltrar.

Tabela 7 – Classes de declive e respectivo índice (ALLER et al. 1987)

T - Topografia (declive em %)	Índice
< 2	10
2 – 6	9
6 – 12	5
12 – 18	3
> 18	1

f) Influência da zona não saturada (I)

Essa zona inclui todo o meio subterrâneo não saturado, abaixo da superfície do solo e acima do nível freático (Tabela 8). A presença de fratura nesta zona pode facilitar a percolação vertical do poluente até o aquífero. O contato do poluente com o material que constitui a zona não saturada permite a ocorrência de processos tais como, filtração mecânica, biodegradação, neutralização, reação química dentre outras.

Tabela 8 – Materiais da zona não saturada e respectivo índice (ALLER et al. 1987).

I - Influência da zona não saturada	Índice	Índice típico
Camada confinante	1	1
Silte/argila	2 – 6	3
Xisto argiloso, argilito	2 – 5	3
Calcário	2 – 7	6
Arenito	4 – 8	6
Arenito, calcário e argilito estratificado	4 – 8	6
Areia e balastro com percentagem significativa de silte e argila	4 – 8	6
Rocha metamórfica/ígnea	2 – 8	4
Areia e balastro	6 – 9	8
Basalto	2 – 10	9
Calcário carsificado	8 – 10	10

g) Condutividade hidráulica (C)

Refere-se à capacidade do aquífero para transmitir água (Tabela 9) que, juntamente com o gradiente hidráulico, controla o fluxo da água. Quanto maior for a condutividade hidráulica do aquífero maior será a taxa de transporte de um dado poluente. O cálculo da condutividade hidráulica foi efetuado por Andrade (2010), a partir de testes de infiltração realizados em campo ao longo do perfil do solo.

Tabela 9 – Intervalo de valores de condutividade hidráulica e respectivos índices (ALLER et al. 1987).

C - Condutividade hidráulica do aquífero (m/dia)	Índice
0 – 4,1	1
4,1 – 12,2	2
12,2 – 28,5	4
28,5 – 40,7	6
40,7 – 81,5	8
> 81,5	10

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Análise da vulnerabilidade utilizando o método GOD

A área em estudo possui um sistema aquífero do tipo livre, portanto considerou-se inexistente a ocorrência de camadas confinantes que impeçam ou dificultem o acesso à água, caracterizando a região como aquífero não confinado, que tem como limite superior a superfície freática. Para a determinação do primeiro parâmetro do índice GOD, considerou-se, portanto, todos os pontos sob a pressão atmosférica local, atribuindo-se valor 1,0. Para o parâmetro “O” adotou-se o valor 0,5 que designa solos de Aluviões em todos os pontos. Por não apresentarem variação esses dois parâmetros não foram mapeados.

Com relação ao nível da água subterrânea, estes variaram de 0,28 m a 2,36 m nos períodos chuvosos e de 1,13 m a 2,76 m no período seco, caracterizando um nível freático muito próximo à superfície com medidas abaixo de 3 m. Foram atribuídos os Índices D iguais a 0,9 e 1,0. Esses resultados podem ser visualizados na Figura 2.

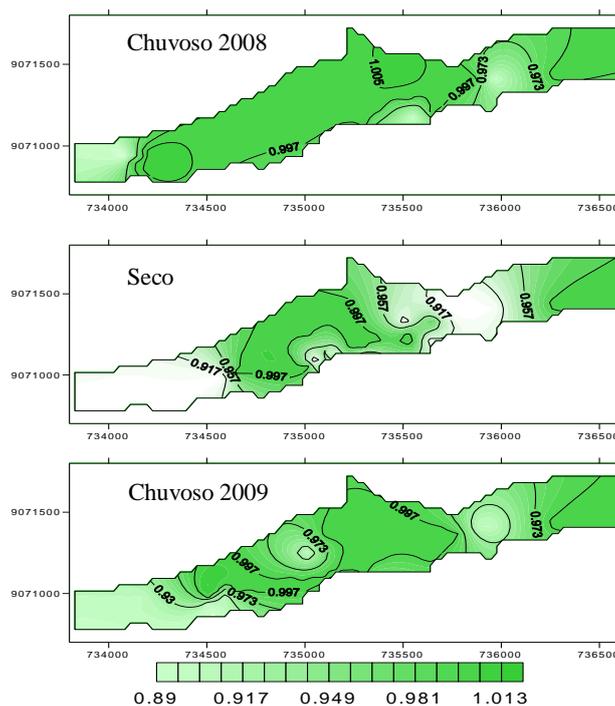


Figura 2 – Mapas de caracterização do índice D do método GOD.

O índice de vulnerabilidade do aquífero, que consiste na multiplicação dos três parâmetros anteriores variou apenas com o nível piezométrico, uma vez que o tipo de aquífero e da litologia são os mesmos adotados em todo o vale aluvial. O índice variou de 0,45 a 0,50, caracterizando áreas de moderada vulnerabilidade.

Almeida (2006), trabalhando com índice de vulnerabilidade GOD no mesmo município, mas em área diferente, observou alta vulnerabilidade em seu estudo. A diferença na classe de vulnerabilidade pode ser atribuída a características litológicas encontrado no aquífero, cujo parâmetro “O” recebeu valor 0,6.

Alvarenga e Gonçalves (2008) também obtiveram índice de vulnerabilidade moderado em todo o aquífero aluvionar de Amaro Lanari – MG, obtido exclusivamente através da variação do nível estático do lençol freático. Os mesmos autores ressaltam que em zonas onde o índice de vulnerabilidade é moderado, as águas dos aquíferos podem, em longo prazo, ser afetadas por contaminantes moderadamente móveis e persistentes como hidrocarbonetos halogenados ou não halogenados, por alguns metais pesados e sais menos solúveis.

Análise da vulnerabilidade utilizando o método DRASTIC

Os parâmetros R – recarga do aquífero, A – material do aquífero, T – topografia, I – influência da zona não saturada e C – condutividade hidráulica não variou e por esse motivo não foram mapeados. A partir dos cálculos de recarga foram obtidos valores de 1 mm a 23,2 mm de recarga anual, como esses valores são menores que 51 mm foi utilizado o índice 1 para toda a área de estudo, conforme Tabela 4. O índice atribuído ao material do aquífero (A) foi 6, de acordo com a Tabela 5. A topografia do vale é uniforme com declividade em torno de 0,3%, à qual se atribuiu um índice de 9, conforme mostrado na Tabela 7. Com relação a influência da zona não saturada foi atribuído o índice 6, Tabela 8, valor típico de uma mistura de areia e cascalho que contém quantidades variáveis de material fino, que caracteriza bem solos de aluviões. E ao parâmetro C, que diz respeito a condutividade hidráulica, foi atribuído o índice 1 conforme mostrado na Tabela 9, visto que a média da condutividade hidráulica ao longo dos perfis variaram de 0,474 a 2,28 m.dia⁻¹.

Com relação ao parâmetro D, este é de grande importância para a aplicação do modelo DRASTIC, recebe peso 5, e junto com a influência da zona não saturada, que também recebe peso 5, é um dos elementos mais importantes na avaliação da vulnerabilidade. O parâmetro D avalia a profundidade do nível freático ao topo do aquífero e foi medido a partir da profundidade dos níveis d'água nos piezômetros instalados na área. Como já descrito na metodologia GOD, o vale aluvial classifica-se em toda a sua área como não confinado, e os níveis freáticos variaram de 0,28 m a 2,36 m nos períodos chuvosos e de 1,13 m a 2,76 m no período seco, caracterizando um nível freático muito próximo à superfície. Os índices 9 e 10 foram atribuídos a este parâmetro. Esses resultados podem ser visualizados na Figura 3, as mesmas observações feitas com relação à proximidade do nível freático à superfície do solo, quando da aplicação do método GOD, podem ser também aplicadas ao índice DRASTIC.

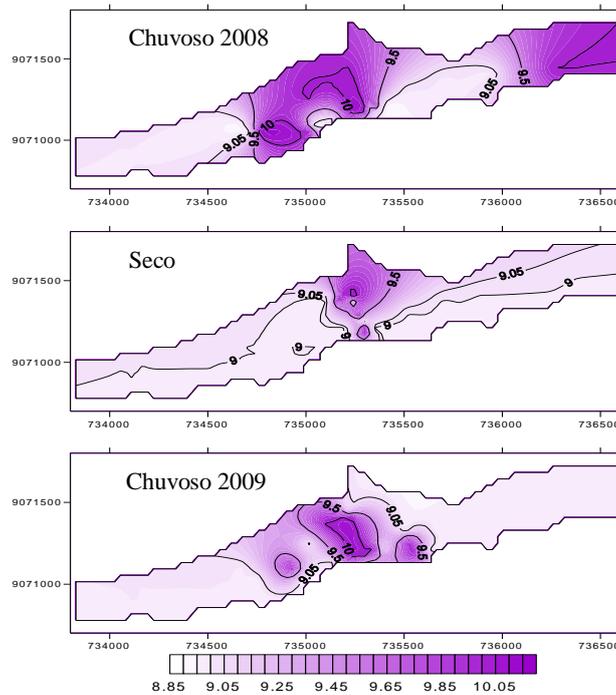


Figura 3 – Mapas de caracterização do índice D do método DRASTIC.

O fator solos (S), que recebe peso 2, foi avaliado através da caracterização granulométrica do solo, nas frações areia, silte e argila. O aquífero aluvial foi classificado como franco e franco argiloso, sendo aplicados os índices 5 e 3, respectivamente. O resultado apresenta-se na Figura 4, onde se verifica que a maior parte do aquífero aluvionar é formada por solos de textura franco argilosa. No entanto, na porção oeste predominam solos francos de maior granulometria, e que possuem maior condutividade hidráulica. Solo de maior condutividade hidráulica se caracteriza por deixar a água percolar mais facilmente. Sendo assim, a carga contaminante que se infiltra junto com a água sofrerá uma menor atenuação antes de chegar ao aquífero nessa porção do aquífero aluvionar.

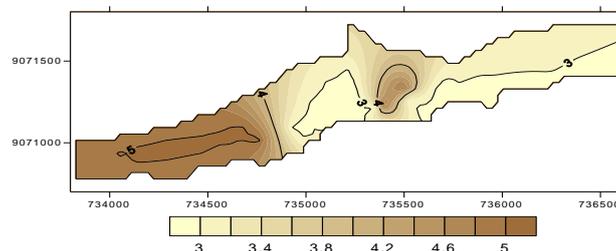


Figura 4 – Mapas de caracterização do índice S.

A avaliação dos sete parâmetros referidos permitiu a elaboração do mapa final de vulnerabilidade DRASTIC. O índice variou de 115 a 120, caracterizando a vulnerabilidade natural do aquífero como baixa.

Como na área de estudo a utilização do solo é essencialmente destinada à atividade agrícola, avaliou-se também a vulnerabilidade da área a pesticidas. A única diferença na avaliação entre a vulnerabilidade natural e a específica para pesticidas, está nos pesos aplicados a cada parâmetro. Neste caso o parâmetro S – tipo de solo tem o seu peso aumentado para 5 e o parâmetro T – topografia para 3. Enquanto os parâmetros I – influência da zona não saturada e, C – condutividade hidráulica têm os seus pesos diminuídos para 4 e 2 respectivamente.

O índice de vulnerabilidade específico para pesticidas variou entre 135 a 150, indicando uma vulnerabilidade moderada a pesticidas. Como também não houve variação na classe de vulnerabilidade para este índice o mapa não foi gerado.

Comparação da aplicação dos dois métodos de vulnerabilidade

Diante do exposto pode-se verificar que, devido à rápida resposta da recarga frente às precipitações, o índice “D” do método GOD e o parâmetro “D” do índice DRASTIC, que caracterizam a profundidade do aquífero, apresentam sensível variação, sendo o valor mais elevado nos períodos chuvosos, principalmente, no período chuvoso de 2008, ano que apresentou maior volume de precipitação acumulada (696,93 mm), e cujas precipitações no trimestre, março, abril, maio, somaram 531,05 mm, que representa 56,57% do total anual, deixando, em média, os níveis piezométricos muito próximos a superfície.

Salienta-se que os pontos com nível estático com profundidades pequenas se tornam mais susceptíveis a contaminação, já que o contaminante tem que atravessar uma menor espessura de camada não saturada para chegar ao lençol freático, tornando a vulnerabilidade à poluição mais crítica nos períodos chuvosos, na medida em que o nível da água subterrânea se aproxima da superfície do solo. No entanto não é verificada mudança na classe de vulnerabilidade avaliada por nenhum dos métodos.

Não foi observada mudança da classe de vulnerabilidade quanto da comparação entre as estações chuvosa e seca. O índice GOD classificou a vulnerabilidade do aquífero como média e o índice DRASTIC como baixa. Esse resultado pode ser atribuído ao maior número de parâmetros utilizados para o cálculo do índice DRASTIC, conferindo maior grau de complexidade desse índice. Também não houve mudança na classificação da vulnerabilidade quando se utilizou o índice de vulnerabilidade específico para pesticidas, sendo a vulnerabilidade classificada como intermediária, não houve mudança na classificação quando observado as estações seca e chuvosa.

CONCLUSÕES

O índice GOD classificou a vulnerabilidade do aquífero como média e o índice DRASTIC como baixa.

Não foram verificadas diferenças na classe de vulnerabilidade quando comparadas as estações chuvosa e seca.

Ambos os métodos, aplicados numa escala regional, permitem avaliar a vulnerabilidade do aquífero, seus resultados podem ser empregados no planejamento de políticas públicas e conscientização da população quanto à proteção do aquífero. Esta avaliação auxilia na conservação dos recursos hídricos, alertando sobre a necessidade de proteção da área, cujo solo é utilizado para cultivo agrícola e a água subterrânea na irrigação.

BIBLIOGRAFIA

ALLER, L., BENNET, T., LEHR, J. H., e PETTY, R. J. (1987) “*DRASTIC: A Standardized System for Evaluating Groundwater Pollution Potential using Hydrogeologic Settings*”, EPA Report, v. 600, n.2, p 85 - 108.

ALMEIDA, T. A. (2006). “*Avaliação do manejo de irrigação no âmbito da gestão participativa dos recursos hídricos no semiárido pernambucano – Estudo de caso*”. 159 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Pernambuco. Recife.

ALMEIDA, T. A., COSTA NETTO, M. L., MONTENEGRO, S. M. G. L, MONTENEGRO, A. A. A. e BRANCO, A. M. (2004). “*Utilização de águas subterrâneas em aluviões no Agreste pernambucano*” in Anais do XIII Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, Cuiabá, Out. 2004, 1 CD-ROM.

ALVARENGA, J. A. e GONÇALVES, J. A. C. (2008). “*Estudo da vulnerabilidade do aquífero aluvionar de Amaro Lanari, principal fonte de abastecimento d`água das cidades do Vale do Aço, Minas Gerais*” in Anais do XV Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas e XVI Encontro Nacional de Perfuradores de Poços, Natal, Nov. 2008, 1 CD-ROM.

ANDRADE, T. S. (2010). “*Variabilidade espacial e temporal de atributos hidrológicos para gerenciamento de recursos hídricos em aluvião no semi-árido sob uso agrícola*”. (Mestrado em Engenharia Agrícola). Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 102 fl.

ARTUSO, E.; OLIVEIRA, M.M. e FERREIRA, J.P.C.L. (2004). “*Avaliação da vulnerabilidade à poluição das águas subterrâneas no sector de Évora do sistema aquífero de Évora-Montenegro-Cuba*”, in *Água Subterrânea: Aquíferos Costeiros e Aluviões, Vulnerabilidade e Aproveitamento*. Org. por CABRAL, J.; FERREIRA, J.P.L.; MONTENEGRO, S.M.G.L e COSTA, W.D., ed. UFPE, Recife – PE, pp. 277 – 322.

CAMPONOGARA, I., BRUTTI, E. A., KONRAD, C. G.; GOLDANI, J. Z. e SILVA, J. L. S. (2004). “*Mapeamento da Vulnerabilidade Natural à Contaminação de Aquíferos e Risco de Poluição dos Recursos Hídricos Subterrâneos no Município de Soledade/RS*” in Anais do Congresso Brasileiro de Cadastro Técnico Multifinalitário, Florianópolis. 2004, 1 CD-ROM.

- CIVITA, M. (1994). *“Le carte della vulnerabilità degli acquiferi all inquinamento: Teoria e Prática”*. Bologna, ed. Pitagora Editrice.
- CORREIA, E.R.C. (2006). *“Caracterização da Vulnerabilidade Natural do Aquífero Boa Viagem no Município do Recife - Método GOD”*. Dissertação (Mestrado em Geociências). Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 70 fl.
- FIGUEIREDO, A.C., MONTENEGRO, A.A.A., PINA, A.P., SILVA, J.R.L., FONTES JÚNIOR, R.V.P., MORENO, A.V., SILVA, V.P., CORRÊA, M.M.; e GOMINHO, M.F.A. (2009). *“Análise comparativa do regime pluviométrico em regiões semi-áridas (arquipélago de Cabo Verde e agreste do nordeste brasileiro)”* in Anais do 9º Simpósio de Hidráulica e Recursos Hídricos dos Países de Língua Oficial Portuguesa, Benguela. 2009, 1 CD-ROM.
- FOSTER, S.S.D. (1987). *“Fundamental concepts in aquifer vulnerability, pollution risk and protection strategy”*. TNO Committee for Hydrological Research. Proceedings, v. 38, p. 36-86.
- GOLDEN SOFTWARE, *“Surfer for Window”*s. Golden: Golden Software, 2002. (Manual)
- LINDSTRÖM, R. *“Groundwater vulnerability assessment using process-based models”*. Stockholm: Royal Institute of Technology. 2005. 44 f.
- RIBEIRA, F. (2004). *“Calidad, Contaminación y Protección de Acuíferos”* in Anais do III Curso Hispanoamericano de Hidrología Subterránea. Montevideo, 4 de outubro a 3 de dezembro. 2004.
- RIGHETTO, A.M. e ROCHA, M.A. (2005). *“Exploração Sustentada do Aquífero Dunas / Barreiras na Cidade de Natal, RN”*. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, Porto Alegre, v. 10 n.2, p. 27-38. Abr/Jun 2005.
- TAVARES, P.R.L. CASTRO, M.A.H.; COSTA, C.T.F.; SILVEIRA, J.G.P.; ALMEIDA JÚNIOR, F.J. (2009). *“Mapeamento da vulnerabilidade à contaminação das águas subterrâneas localizadas na Bacia Sedimentar do Araripe, Estado do Ceará, Brasil”*. Revista Escola Minas, Ouro Preto, v. 62, n. 2, p. 227-236, abr. jun. 2009.
- VRBA, J.; ZAPOROZEC, A. *“Guidebook on Mapping Groundwater Vulnerability”*. Internacional Association of Hidreologists. 1994.