

ANÁLISE DA VULNERABILIDADE INTRÍNSECA DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS NA BACIA DO RIO ITAPICURU, BAHIA.

Suely Schuartz Pacheco Mestrinho¹; Joana Angélica Guimarães da Luz²; Débora Carol Luz da Porciúncula³.

RESUMO: A bacia do rio Itapicuru apresenta grande extensão geográfica, com diversidade de condições agroclimáticas, geoeconômicas e fisiográficas. As águas subterrâneas ocorrem associadas a quatro domínios hidrogeológicos, tendo por base as rochas cristalinas, sedimentares e metassedimentares, e as coberturas detriticas Tércio-Quaternárias. Este trabalho analisa a vulnerabilidade intrínseca das águas subterrâneas na bacia, aplicando-se os métodos GOD e DRASTIC. Os métodos mostram resultados semelhantes para as classes de vulnerabilidade dos diferentes sistemas aquíferos. A bacia sedimentar do Tucano é o domínio com menor vulnerabilidade, em especial, associada a maior profundidade do nível d'água nos poços. Os mapas de vulnerabilidade gerados serão úteis para a planificação de programas semi-regionais e regionais de proteção das águas subterrâneas na bacia.

ABSTRACT The Itapicuru River Basin comprises a large geographic extension, with a diversity of climatic, geoeconomic and physiographic conditions. The groundwater in the region is associated with four hydrogeological domains: crystalline, sediments and meta-sediments rocks and Tércio-Quaternary sediments cover. This study analyzes the intrinsic vulnerability of the groundwater in the basin, using the methods GOD and DRASTIC. Both methods show similar results to the classes of vulnerability in the different domain aquifers. The Tucano sedimentary basin has the lower vulnerability, specially associated with the higher depth of the water level in the wells. The vulnerability maps obtained should be useful to help the semi regional and regional programs to protect the groundwater in the basin.

Palavras-chave: Aquíferos; vulnerabilidade; Bacia do Itapicuru.

¹ Suely Schuartz Pacheco Mestrinho
CEPEX / UCSal. Rua Plínio Moscoso 101/801. CEP – 40155 020. Salvador – BA.
Fone: 55 71 32450868 E-mail: suelyspm@uol.com.br

² Joana Guimarães da Luz
NEHMA – IGEO/UFBA. Rua Barão de Geremoabo, S/N Ondina. CEP: 40170-290. Salvador – BA.
Fone: 55 71 32038640 E-mail: jgluz@ufba.br

³ Débora Carol Luz da Porciúncula
CEPEX / UCSal. Av. Anita Garibaldi, 2981, Rio Vermelho, CEP: 41940-450. Salvador – BA.
Fone: 55 71 33247690 E-mail: déboraclp@yahoo.com.br

1 - INTRODUÇÃO

Situada no nordeste do Estado da Bahia, a bacia do rio Itapicuru apresenta considerável extensão geográfica e diversidade de condições agroclimáticas, geoeconômicas e fisiográficas. A população da bacia é estimada em 1.300.000 habitantes, com distribuição espacial variada. Cerca de 80% do território está localizado na região do polígono das secas. O impacto ambiental de atividades associadas ao uso da terra e ao crescimento desordenado das cidades, sem infra-estrutura adequada de esgotamento sanitário ou saneamento básico, contribuem de maneira significativa para o comprometimento da qualidade ambiental da bacia e, por conseqüência, da qualidade das águas. A importância das águas subterrâneas na bacia é inquestionável, mas poucos estudos consideram o monitoramento da sua qualidade ou a análise da vulnerabilidade dos aquíferos.

Ao termo “vulnerabilidade da água subterrânea a contaminação” são atribuídas várias definições e qualificações. As diversas metodologias existentes são orientadas para a representação cartográfica. A escolha do método para avaliar a vulnerabilidade em uma região depende, em especial, da informação disponível e do alcance que se busca na avaliação. Métodos que exigem maior quantidade de informações para seu desenvolvimento são mais complicados, embora de maior definição. O grau de detalhe depende do objetivo perseguido. Nos trabalhos em escala regional ($\leq 1:500.000$), voltados para o planejamento da preservação e uso adequado dos recursos naturais em regiões relativamente extensas (mil a milhões de km^2), os métodos que requerem menor número de parâmetros são mais práticos numa fase preliminar. Estudos ao nível de semidetalhe e de detalhe exigem melhor definição da vulnerabilidade, o que requer maior volume de dados para gerar planos de informação mais consistentes com respeito aos diversos parâmetros envolvidos.

Este trabalho avalia e compara a vulnerabilidade intrínseca das águas subterrâneas na bacia do Itapicuru usando os métodos GOD e DRASTIC, considerando-se o panorama regional na escala 1:1.000.000. Para validação dos resultados, os mapas de vulnerabilidade são associados à variação de profundidade da água e a distribuição de cloretos, sólidos totais dissolvidos e nitratos registrados nos poços tubulares da bacia.

A pesquisa é parte de um Projeto de maior porte na bacia do rio Itapicuru iniciado em Janeiro de 2003, sob o suporte financeiro da EMBRAPA através do Programa de Desenvolvimento Tecnológico de Apoio a Agricultura no Brasil – PRODETAB, que focaliza a caracterização de recursos hídricos visando o seu uso racional na agricultura irrigada e preservação dos recursos naturais. Os resultados ora apresentados integram parte do subprojeto “Diagnóstico e Prognóstico Ambiental associado à Qualidade dos Recursos Hídricos”, que tem entre os objetivos principais nortear a adoção de medidas que possibilitem a proteção e conservação dos recursos hídricos.

2 - DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A bacia do rio Itapicuru ocupa uma área total de 36.440 km² com extensão de cerca de 350 km até a foz (Figura 1). A exceção da faixa litorânea, com clima úmido e semi-úmido, mais de 80% da área da bacia se insere em região semi-árida, sujeita à ocorrência de secas, de grau severo. A condição de déficit hídrico aumenta a perfuração de poços para melhorar a oferta de água nos períodos de maior demanda.

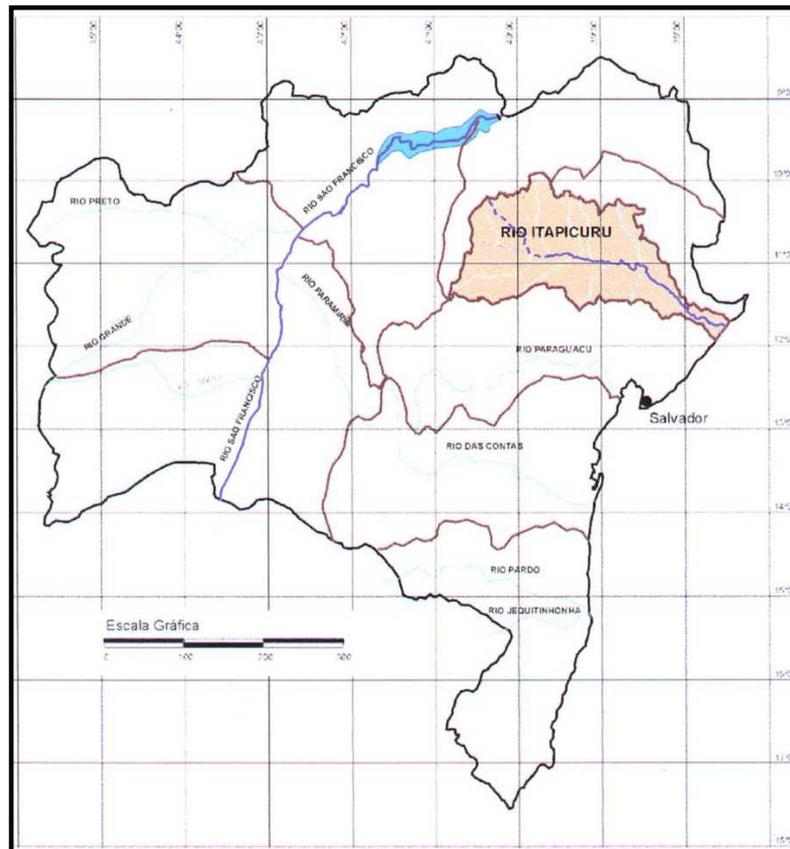


Figura 1 – Mapa de localização da Bacia do rio Itapicuru no Estado da Bahia (SRH – 1995).

A Companhia de Engenharia Rural da Bahia – CERB, que desenvolve trabalhos na bacia, disponibiliza um cadastro de mais de 1300 captações subterrâneas com dados dos principais parâmetros sobre a produção e qualidade das águas. A Figura 2 mostra a distribuição dos poços tubulares cadastrados na bacia, entre o período 1960-2001, e suas respectivas faixas de vazão. O trecho inferior é o que possui menor número de poços cadastrados.

Com base na extensão geográfica dos afloramentos, com áreas de características litológicas e comportamento hidrogeológico semelhantes, se distinguem quatro províncias hidrogeológicas principais na bacia: (a) os metassedimentos da borda leste da Chapada Diamantina, onde estão

localizadas as nascentes do Itapicuru; (b) a região central de embasamento cristalino e embasamento parcialmente recoberto por coberturas detríticas Tércio-Quaternárias, onde predomina o clima semi-árido; (c) as áreas sedimentares da bacia de Tucano, onde grande parte das sedes municipais é abastecida com água subterrânea, e (d) a região de embasamento recoberto parcialmente por sedimentos Barreiras, próxima a faixa litorânea, em condições de clima semi-úmido a úmido.

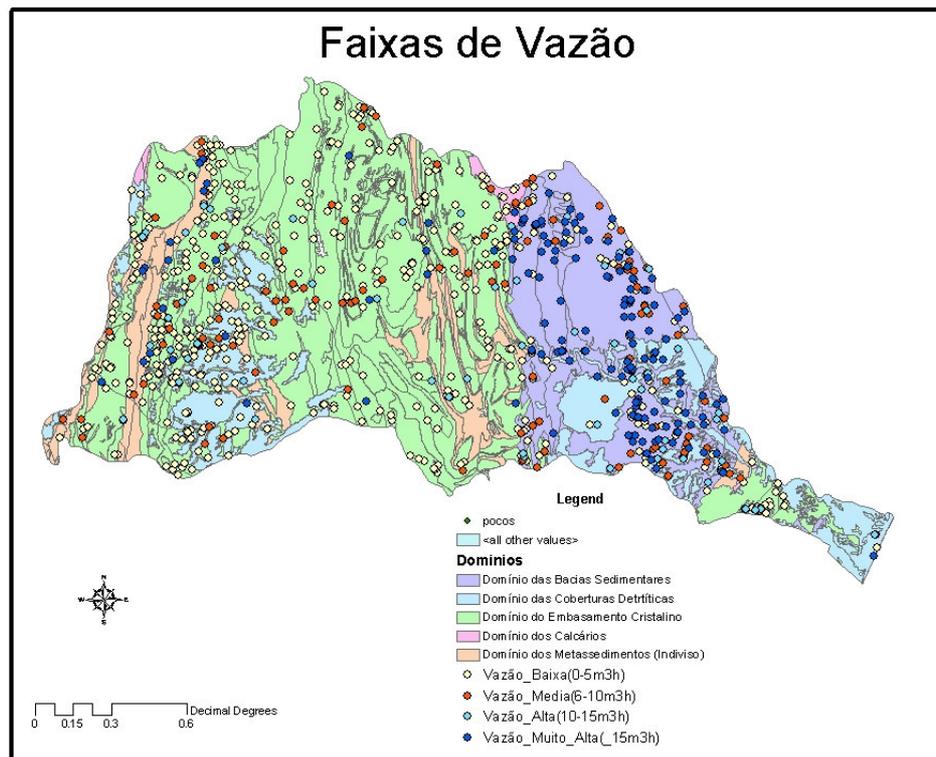


Figura 2: Distribuição dos poços tubulares nos domínios hidrogeológicos da bacia do Itapicuru e respectivas vazões.

O domínio Metassedimentar é representado por conglomerados e quartzitos, com algumas associações de rochas plutônicas e vulcânicas. As rochas exibem muitas fraturas e se apresentam como unidade de topografia elevada exposta a ocorrência de chuvas convectivas, com índice pluviométrico mais alto. Sendo rochas resistentes ao ataque químico, as águas tendem a ser mais doces, o manto do intemperismo praticamente inexistente e a taxa de infiltração é alta. Os aquíferos são de natureza fissural ou localmente granular/fissural. O intenso fraturamento nas áreas de recarga favorece a renovação da água, que se destaca daquelas do embasamento cristalino em quantidade e qualidade.

Em termos de área o domínio cristalino é o mais representativo, predominando na região do trecho médio da bacia. Apresenta-se como dois sistemas aquíferos distintos, pelo fato de que em

algumas áreas se encontram extensas coberturas Tércio-Quaternárias que conferem, localmente, melhores condições de recarga e qualidade. A água do sistema aquífero tem sua origem principal na infiltração das águas meteóricas nas áreas do afloramento ou através da cobertura detrítica e aluvionar. A quantidade de água armazenada está relacionada ao índice de fraturamento, abertura das fendas, interconexão das fraturas e inter-relação com as zonas de recarga em superfície. Ao longo de toda a extensão da bacia, a alimentação dos sistemas aquíferos cristalinos é condicionada, especialmente, a precipitação pluviométrica. Nas áreas mais próximas ao litoral o manto de intemperismo é mais espesso e as condições de recarga são melhores.

O domínio aquífero sedimentar, localizado no trecho médio inferior da bacia, está representado pelos afloramentos dos sedimentos da bacia de Tucano, que mostram elevado potencial de água subterrânea com boa qualidade. Os principais aquíferos são constituídos pelos sedimentos do Grupo Ilhas e das Formações Marizal e São Sebastião. São aquíferos do tipo granular, afetado por ciclos tectônicos, com um intenso sistema de falhas. Apesar da grande potencialidade destes aquíferos, localmente, aparecem baixas vazões como reflexo da grande heterogeneidade, do ponto de vista estratigráfico, litológico e estrutural.

Os terrenos cársticos, pouco representativos na bacia, são formados por rochas carbonáticas e pelíticas, deformadas em dobras fechadas, pouco fraturadas. Sendo rochas com minerais mais solúveis, a porosidade secundária favorece a abertura das fraturas primárias, a taxa de renovação da água e o perigo de contaminação.

3 - MÉTODOLOGIA

Como definido em Vrba e Zaporozec (1994), vulnerabilidade é uma propriedade intrínseca do sistema de água subterrânea que depende da sua sensibilidade aos impactos naturais e/ou antrópicos. Neste contexto, a vulnerabilidade intrínseca ou natural é função das características do aquífero, solo e material geológico. O conceito é útil nos trabalhos de planificação do uso do território e da água, particularmente, com respeito a proteção da qualidade do recurso, sem identificar as cargas contaminantes.

O termo vulnerabilidade recebe vários adjetivos de acordo com o significado das expressões resultantes, dentre eles são citados (Auge, 2004): (i) vulnerabilidade relativa, quando as unidades aquíferas na região são classificadas uma em relação à outra; (ii) vulnerabilidade absoluta ou específica, no caso em que cada unidade mapeada possui um significado ou cada índice de vulnerabilidade pode ser associado a contaminantes específicos; (iii) vulnerabilidade geral ou universal quando o mapa de vulnerabilidade é voltado para todas as atividades e classes de contaminantes.

Com o foco voltado para o perigo de contaminação das águas subterrâneas na bacia do rio Itapicuru, foram avaliadas a vulnerabilidade geral e a vulnerabilidade relativa entre os distintos domínios hidrogeológicos. De acordo com as condições climatológicas e extensão geográfica dos afloramentos, com características litológicas e comportamento hidrogeológico semelhantes, os domínios estudados já definidos foram delimitados da seguinte forma: setor 1 - alto trecho da bacia; setor 2 - trecho médio; setor 3 - trecho sub médio; e setor 4 - baixo trecho.

Um banco de dados secundários sobre a bacia foi construído com base nas informações disponíveis em produtos cartográficos, cadastros dos pontos d'água, de reconhecimento dos solos e cobertura vegetal, e nos relatórios de construção dos poços inventariados pela CERB. Para o cálculo da vulnerabilidade intrínseca das águas subterrâneas foram obedecidos os procedimentos recomendados nos métodos GOD e DRASTIC, aplicados para a bacia em escala regional (1:1.000.000).

Os dados utilizados foram tratados com o software ARCGIS, de modo permitir a interpolação dos pontos considerados e conseqüentes geração dos planos de informação (PI) para os respectivos parâmetros analisados em cada método, tais como: litologia, declividade, solos, vegetação, tipo de aquífero, zona não saturada e profundidade do nível freático. Em conformidade com o método, os temas foram integrados para análise conjunta, de forma georeferenciada, proporcionando a obtenção do mapa final de vulnerabilidade através de processos de multiplicação e adição de imagens.

Para validação dos resultados, os mapas de vulnerabilidade gerados foram associados as informações de outros estudos incluídos no âmbito do Projeto PRODETAB, os quais caracterizam a distribuição espacial dos dados de profundidade da água, cloretos, sólidos totais dissolvidos e nitratos, em cerca de 900 poços tubulares da bacia. A seguir, são discutidas as características particulares dos métodos GOD e DRASTIC.

3.1 Método GOD

Proposto por Foster (1987) e Foster e Hirata (1991), o método tem sido um dos mais utilizados na América Latina e Caribe, a partir dos anos 90, por causa de sua simplicidade de conceitos e aplicação. As informações necessárias estão quase sempre disponíveis em estudos básicos de hidrogeologia regional. A denominação **GOD** é um acrônimo dos fatores: grau de confinamento do aquífero (**G**roundwater hydraulic confinement); ocorrência e natureza composicional da zona não-saturada e/ou aquitarde e seu grau de fraturamento (**O**verlying strata); distância da superfície até o nível d'água ou do teto confinante do aquífero (**D**epth to groundwater

table). Para cada um destes fatores existe uma gradação de 0 ou 0,3 a 1 que, multiplicados entre si, definem o grau de vulnerabilidade do aquífero. As etapas que envolvem o cálculo do índice de vulnerabilidade são as seguintes:

1) Identificação do grau de confinamento hidráulico do aquífero (confinado, semiconfinado ou livre) atribuindo-lhe um índice na escala de 0,0 a 1,0;

2) Especificação das características do substrato que recobre a zona saturada do aquífero em termos de: (a) grau de consolidação e (b) tipo de litologia e assinalando um índice a este parâmetro em uma escala de 0,4 a 1,0;

3) Estimativa da distância ou profundidade ao nível da água (em aquíferos não confinados) ou profundidade do teto da camada do primeiro aquífero confinado e, assinalando um índice a este parâmetro em uma escala de 0,6 a 1,0.

No estudo foram adotadas as classes de vulnerabilidade muito alta ($>0,71$), alta (0,70-0,51), média (0,50-0,31) e baixa ($<0,30$).

3.2 Método DRASTIC

Desenvolvido por Aller et al (1987) é um método qualitativo bastante difundido na atualidade. Também permite comparações relativas em uma mesma região ou entre regiões distintas, com áreas maiores que 0,4 Km². Baseia-se na assinatura de índices ou valores de carga entre 1 (mínima) a 10 (máxima), de acordo com as características e comportamento das variáveis consideradas no acrônimo DRASTIC: **D** (Depth – profundidade do lençol freático), **R** (Recharge – recarga da chuva), **A** (Aquífero – litologia), **S** (Soil – tipo de solo), **T** (Topografia), **I** (Impact – litologia da zona não saturada), **C** (Condutividade hidráulica do aquífero). Cada parâmetro tem um peso entre 1 e 5, de acordo com a sua influência na vulnerabilidade. Os pesos são multiplicados pelos valores de carga e os resultados são somados para o valor final do índice de vulnerabilidade, que na prática variam entre 50 e 200. Os fatores DRASTIC são relacionados entre si através da equação 01, aplicada a cada unidade de trabalho.

$$\text{Índice DRASTIC} = D_p D_c + R_p R_c + A_p A_c + S_p S_c + T_p T_c + I_p I_c + C_p C_c \quad (01)$$

onde:

D_p , R_p , A_p , S_p , T_p , I_p , C_p representam os pesos dos fatores DRASTIC na equação;

$D_c, R_c, A_c, S_c, T_c, I_c, C_c$ representam os fatores de carga das variáveis nos seus respectivos intervalos de ocorrência (range).

Para a avaliação do índice DRASTIC nos aquíferos da bacia do Itapicuru, foram excluídos os fatores condutividade hidráulica (**C**) recarga (**R**), e incluída a cobertura vegetal (**V**). A retirada do fator recarga se justifica pelo fato de que os dados disponíveis para cálculo de balanço hídrico da bacia fornecem informações limitadas sobre a taxa de infiltração. Da mesma forma, os dados de condutividade hidráulica estão distribuídos de forma localizada, o que torna imprudente sua generalização em toda área. O mesmo não acontece com os dados da cobertura vegetal, também importante no contexto da vulnerabilidade, disponíveis no banco de dados de forma espacial adequada para utilização. Assim, os fatores DRASTIC relacionados neste estudo modificam a equação inicialmente proposta conforme mostra a equação 02.

$$\text{Índice DRASTIC modificado} = D_p D_c + A_p A_c + S_p S_c + T_p T_c + I_p I_c + V_p V_c \quad (02)$$

A Tabela 01 resume os pesos atribuídos aos parâmetros e as Tabelas 02, 03, 04, 05 e 06 os fatores de carga utilizados para o cálculo do índice DRASTIC avaliado para a bacia do Itapicuru. A Tabela 07 reúne as classes de vulnerabilidade e respectivos intervalos, estabelecidos em função dos pesos e fatores de carga atribuídos as variáveis usadas. As informações utilizadas para o cálculo do índice DRASTIC foram originadas das seguintes fontes:

- **Profundidade do nível freático:** dados obtidos através do cruzamento de informações dos poços e dados do modelo digital do terreno (DEM), elaborado a partir de mapas topográficos da SEI (1991) na escala 1:100.000;

- **Meio aquífero:** definido com base no mapa hidrogeológico do Estado da Bahia (SRH, 1995);

- **Solos:** a partir do mapa de solos do estado da Bahia e de imagens de satélite, onde foram individualizadas algumas unidades de solo e comparadas aos mapas com respeito a permeabilidade;

- **Topografia:** declividade obtida do modelo digital do terreno (DEM) para a bacia, tendo como base o mapa topográfico da SEI (1991) na escala 1:100.000;

- **Impacto da zona vadosa:** os dados obtidos dos perfis de poços tubulares do cadastro da CERB.

Tabela 01. Pesos Típicos para os Parâmetros Considerados

Parâmetro	Peso
Profundidade do nível freático	5
Impacto da zona vadosa	5
Meio Aquífero	3
Solos	2
Topografia	1
Cobertura vegetal	1

Tabela 02 - Profundidade do Nível D'água

Intervalo de profundidades do lençol freático (m)	carga
0 - 5	10
5 - 10	8
10 - 15	6
15 - 20	4
> 20	2

Tabela 03 - Meio Aquífero (A)

Unidades geológicas/hidrogeológicas	carga
Calcários	10
Aluviões	8
Rocha sedimentar	6
Embasamento cristalino	4
Mangue	2

Tabela 04 - Topografia (T)

Declividades percentuais	carga
0 - 2%	10
2 - 6%	8
6 - 12%	5
12 - 18%	3
>18	1

Tabela 05 – Solos

Permeabilidade	carga
Alta	10
Média alta	8
Média	5
Baixa	3
Muito Baixa	1

Tabela 06 - Cobertura Vegetal (V)

Cobertura vegetal	carga
Caatinga	9
Vegetação de Tabuleiro	6
Mata ciliar	4
Mangue	2

Tabela 07 - Classificação da Vulnerabilidade DRASTIC

Grau de vulnerabilidade	Intervalos do índice DRASTIC (Equação 02)
Muito baixa	< 60
Baixa	61 - 70
Média Baixa	71 - 80
Média	81 - 90
Alta	91 - 100
Muito Alta	101 - 110
Extrema	> 110

4 – RESULTADOS

4.1 Análise da Vulnerabilidade - Método GOD

A Figura 3 apresenta as classes de vulnerabilidade GOD obtidas para toda extensão da bacia. Observa-se que zonas com vulnerabilidade muito alta e alta (>0,51) aparecem nos trechos alto,

médio e baixo do rio Itapicuru, respectivamente, nos domínios dos metassedimentos e do embasamento cristalino parcialmente recoberto; este último é o setor onde predomina o clima semi-árido. O trecho inferior é a região do embasamento recoberto por sedimentos do Barreiras, na faixa litorânea onde prevalece as condições de clima semi-úmido a úmido. Os mais baixos índices de vulnerabilidade ($<0,50$) estão relacionados às áreas sedimentares da bacia Tucano.

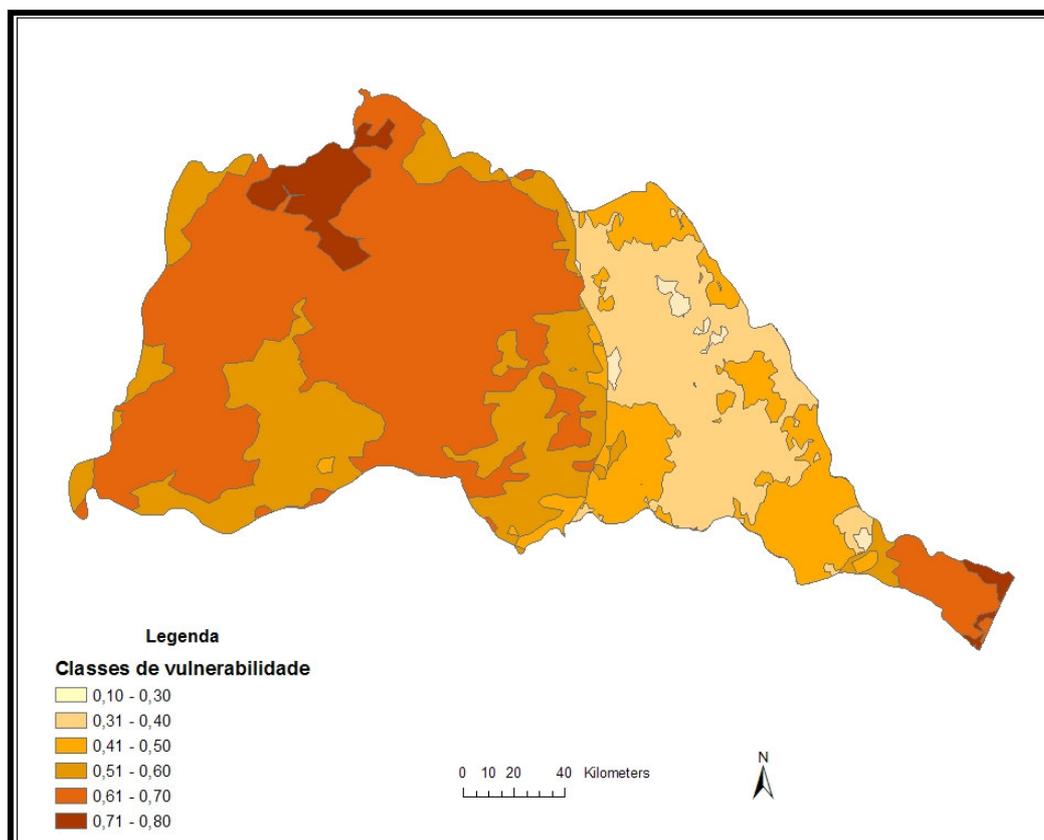


Figura 3 – Classes de vulnerabilidade GOD para a Bacia do Itapicuru

As Figuras 4, 5, 6 e 7 ilustram, respectivamente, a representação cartográfica obtida para as classes de vulnerabilidade relativa aos setores 1, 2, 3 e 4 da bacia. Observa-se que no setor 1 predominam as classes de vulnerabilidade alta (0,51 a 0,60) e média (0,50-0,31). A presença de rochas calcárias neste trecho da bacia, possivelmente, influencia os resultados. No setor 2 uma extensa área reflete a condição de vulnerabilidade média, com índices entre 0,41 e 0,50. Entretanto, outras áreas apresentam índices de vulnerabilidade alta (0,51-0,60), principalmente nas áreas onde os poços estão próximos às drenagens e áreas de nascentes. No setor 3 a classe varia de baixa a média, muito provável por influencia da maior profundidade do nível estático dos poços tubulares no terreno sedimentar. Apesar do uso de menor número de dados relativos aos poços do setor 4, o resultado de vulnerabilidade alta e extrema ($>0,51$) pode refletir a presença de áreas de restinga e manguezais da região costeira.

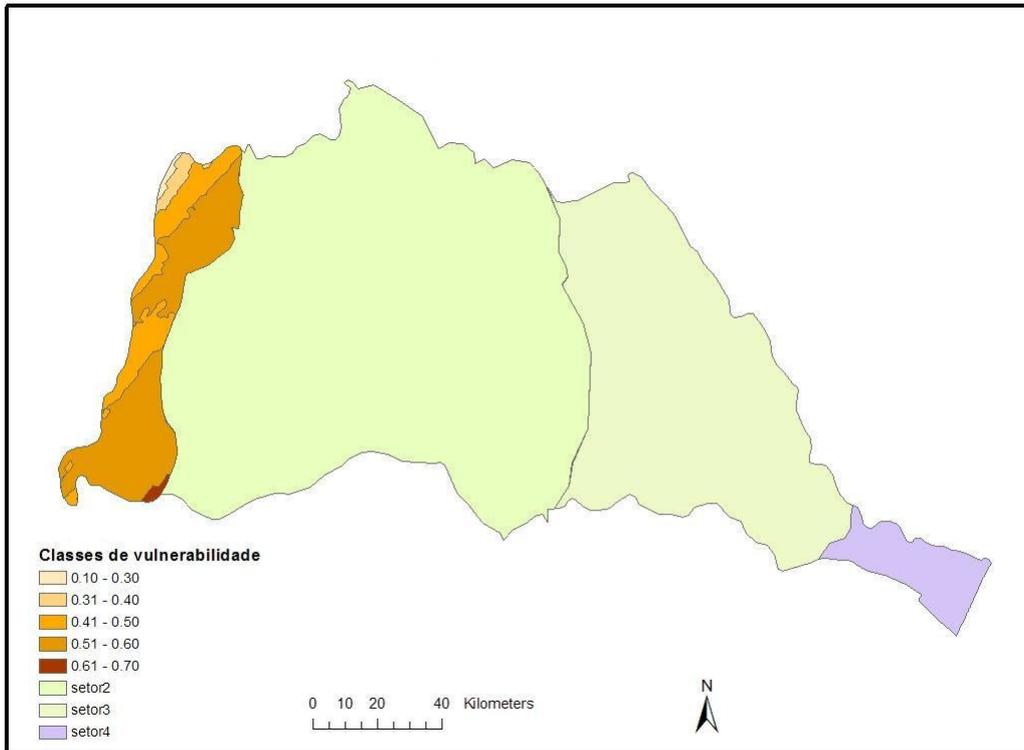


Figura 4 – Classes de vulnerabilidade GOD para o setor 1

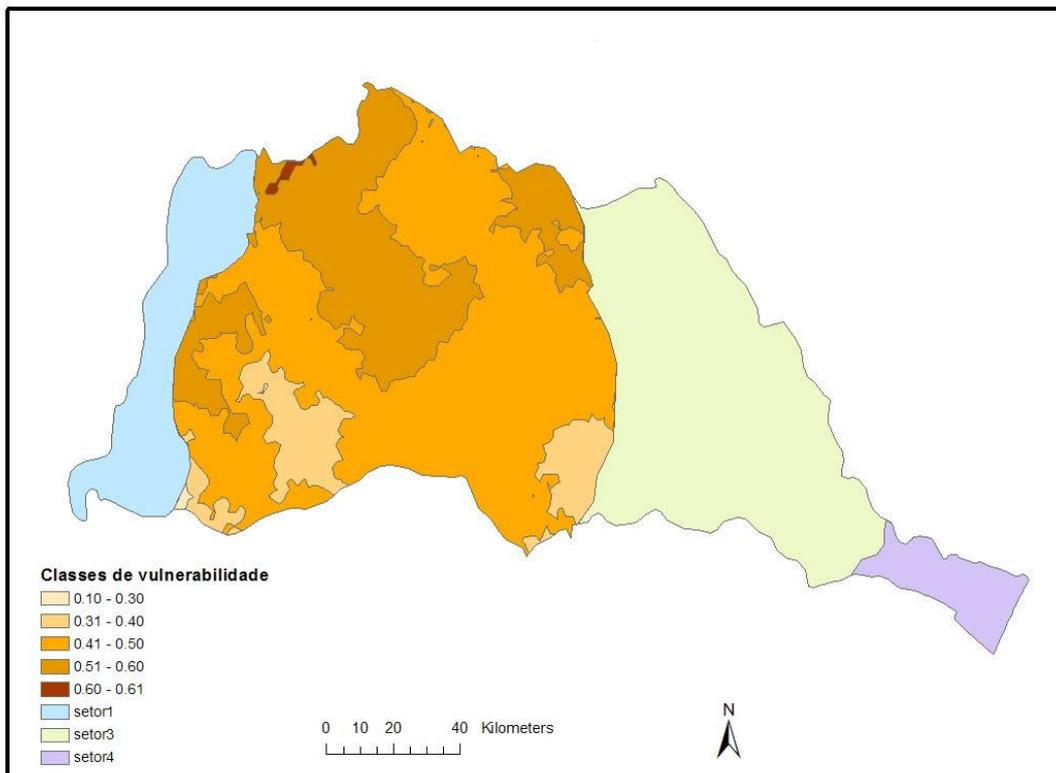


Figura 5 – Classes de vulnerabilidade GOD para o setor 2

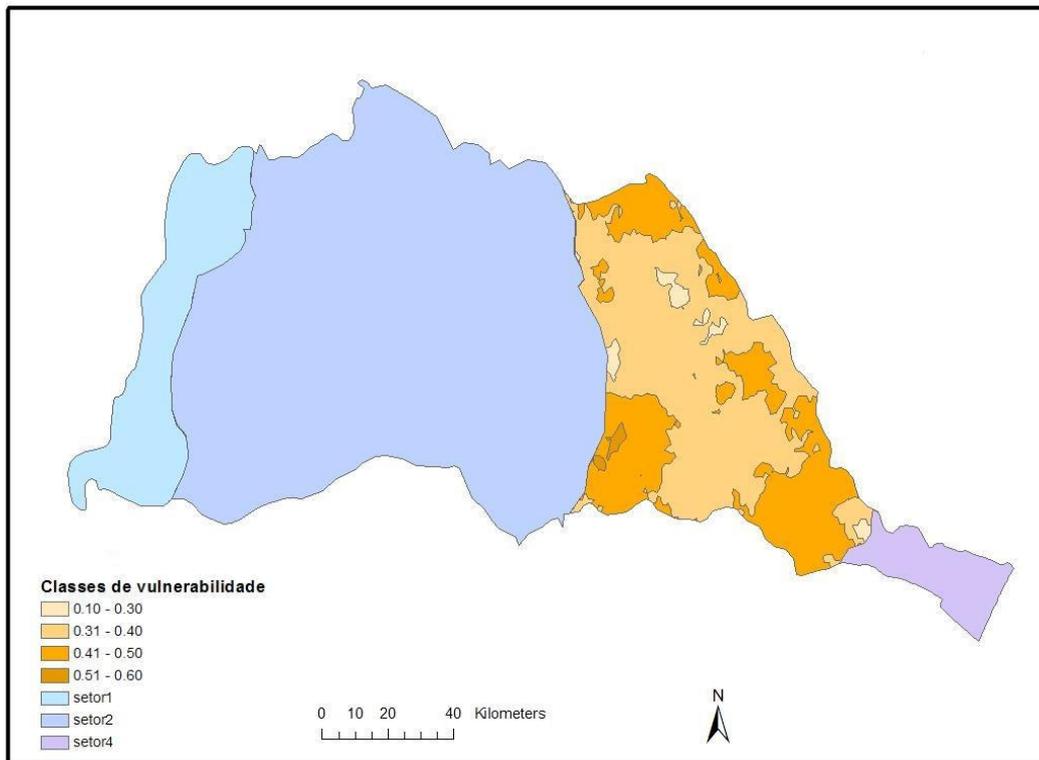


Figura 6 – Classes de vulnerabilidade GOD para o setor 3

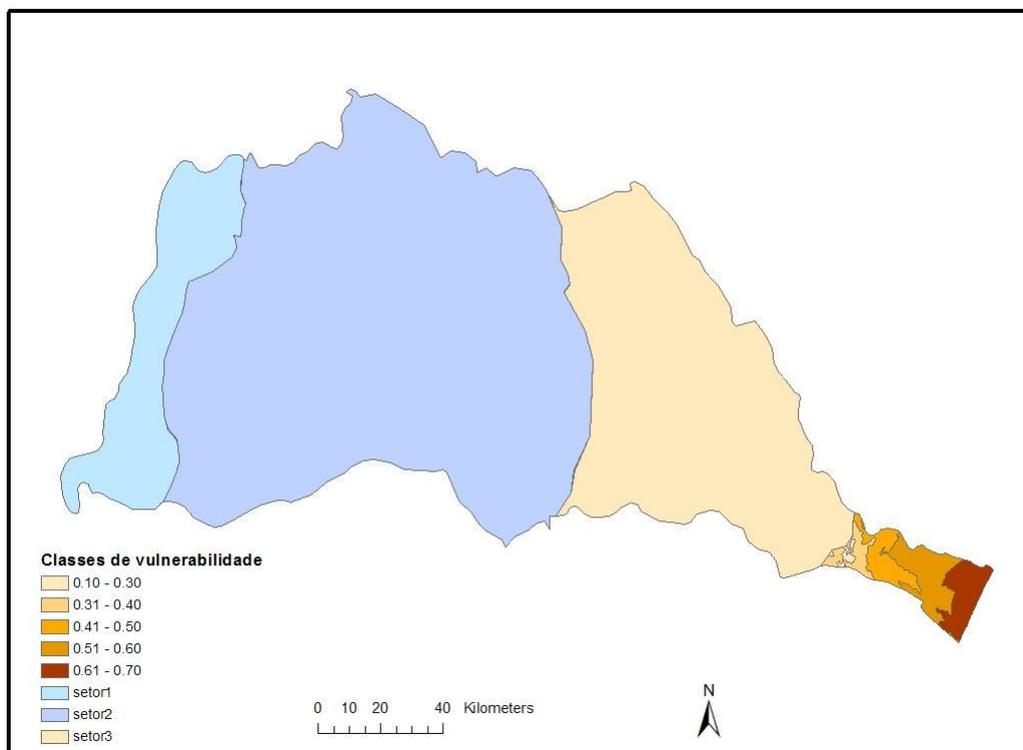


Figura 7 – Classes de vulnerabilidade GOD para o setor 4

4.2 Análise da Vulnerabilidade - Método DRASTIC

A representação cartográfica do índice DRASTIC (60-126) ao longo da bacia é apresentada na Figura 8. Observa-se que o baixo trecho exibe vulnerabilidade muito alta (101-110), possivelmente relacionada as características intrínsecas do terreno na zona litorânea. Embora os teores de finos e de matéria orgânica sejam normalmente elevados nos solos das regiões costeiras, o que favorece os processos de sorção do meio, a alta concentração do sódio de origem marinha promove a expansão de argilas e o aumento da permeabilidade. No setor médio da bacia o índice DRASTIC sinaliza zonas de vulnerabilidade extrema (>110) associadas ao domínio das rochas fraturadas do embasamento cristalino, onde o manto de intemperismo é ausente ou pouco desenvolvido, as vazões são baixas e a água ocorre em menor profundidade. Se por um lado, neste setor predominam solos com textura arenosa, do tipo podzólico vermelho-amarelo, que facilita a circulação de águas de infiltração, do outro a condição de aridez não favorece sua renovação. Sem dúvida, esta área da bacia deve ser gerenciada com cuidado especial em termos de uso e proteção dos mananciais subterrâneos.

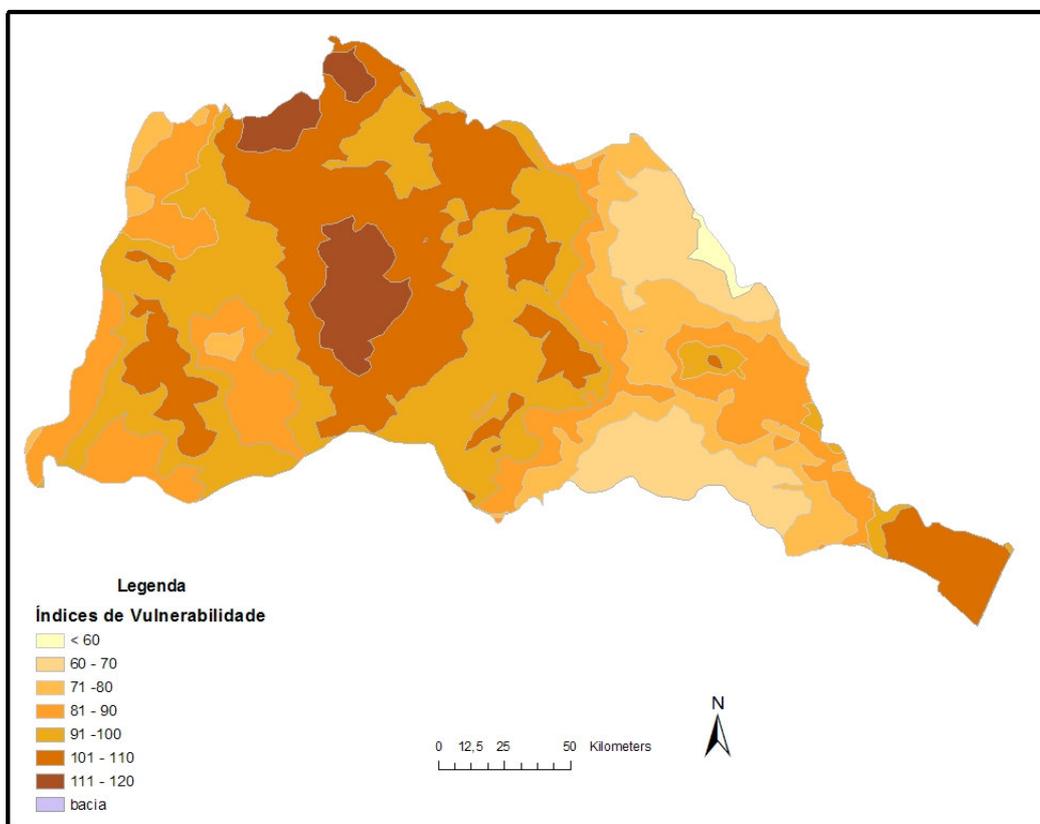


Figura 8 – Índices de vulnerabilidade DRASTIC para a Bacia do Itapicuru

Da mesma forma como desenvolvido para o método GOD, os diferentes setores da bacia foram avaliados. As Figuras 9, 10 e 11 ilustram respectivamente os resultados para os setores 1 (alto), 2 (médio) e 3 (sub médio) da bacia. O setor 4 (baixo) não foi individualizado por apresentar um número insuficiente de informações para os parâmetros considerados. Os resultados da análise dos mapas corroboram a discussão anterior alcançada pelo método GOD. Os setores alto e médio da bacia apresentam maiores índices de vulnerabilidade (>80), em função da menor profundidade e maior permeabilidade do meio. Já o setor sub médio, correspondente a bacia sedimentar do Tucano se caracteriza com os mais baixos valores do índice (<80) por influência da maior profundidade dos níveis estáticos e presença de solos mais argilosos.

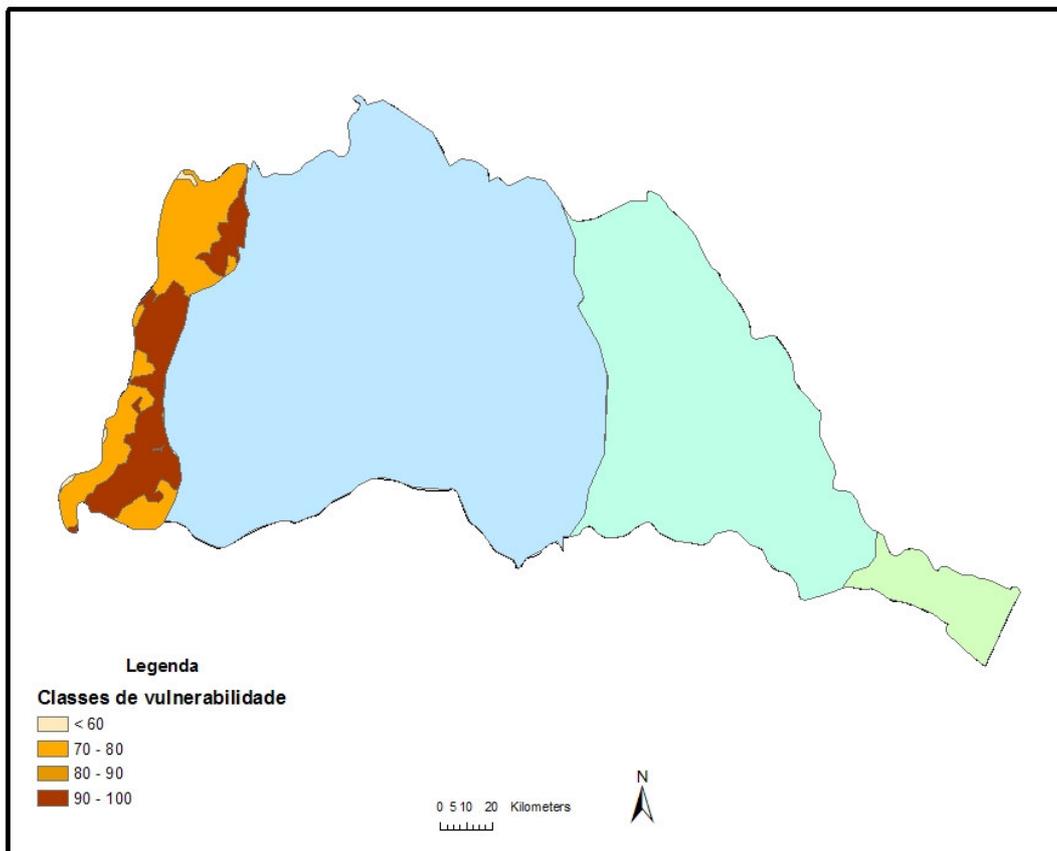


Figura 9 – Índices de vulnerabilidade DRASTIC para o setor 1

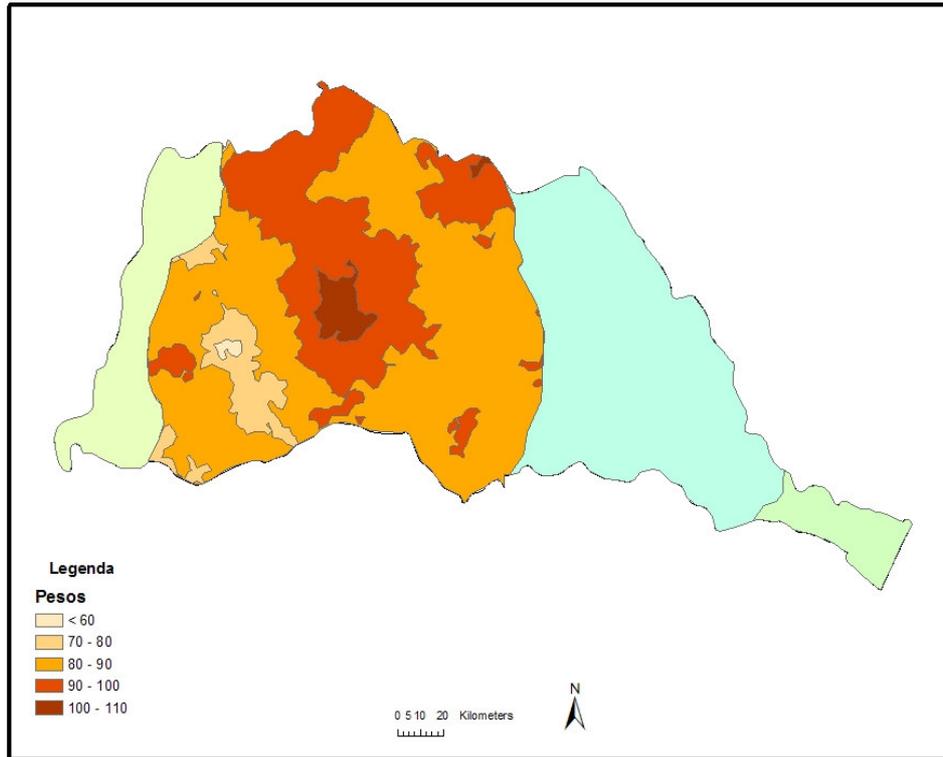


Figura 10 – Índices de vulnerabilidade DRASTIC para o setor 2

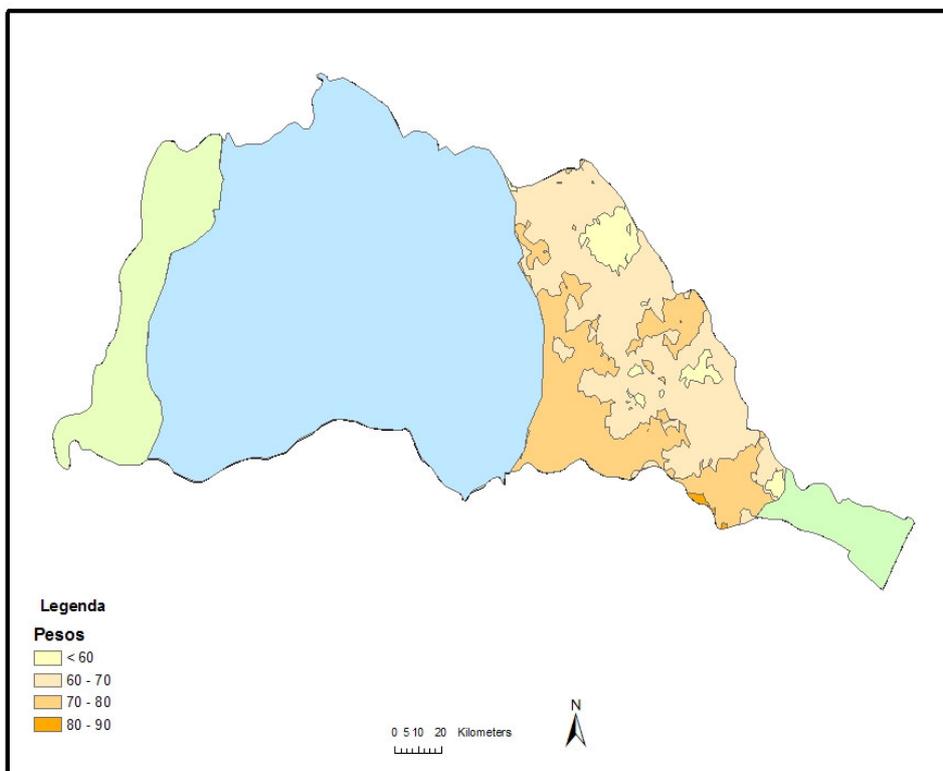


Figura 11 - Índices de vulnerabilidade DRASTIC para o setor 3

4.3 Análise Comparativa e Validação dos Resultados

A comparação entre os métodos adotados conduz a algumas observações. O método DRASTIC usa maior quantidade de variáveis, o que pode ser inconveniente quando não se dispõe dos respectivos valores. Por sua vez, a simplicidade de operação do GOD e o emprego de menor número de parâmetros, podem resultar em definições menos claras. Outro ponto negativo do GOD é não se considerar a zona não saturada, fator importante na atenuação dos contaminantes para o aquífero.

Os mapas de vulnerabilidade das águas subterrâneas da bacia do Itapicuru em escala regional, obtidos pelos métodos GOD e DRASTIC, estabelecem zonas de vulnerabilidade que coincidem espacialmente, com boa aproximação, a despeito do volume ou nível de informações disponíveis. Seria esperado do método DRASTIC um maior detalhamento que aquele obtido no GOD. Talvez, o fato de que as informações são disponíveis numa escala muito regional dificulta a geração de planos de informação (PI's) para os parâmetros analisados com maior performance. A exemplo, os mapas de solos e de cobertura vegetal são derivados de informações numa escala muito abrangente para o nível de detalhe pretendido.

Para validar a representatividade dos mapas de vulnerabilidade intrínseca obtidos foram usadas informações de estudos desenvolvidos por Mestrinho e Luz (2004), incluídos no âmbito do Projeto PRODETAB, os quais caracterizam a distribuição espacial dos dados de profundidade da água, cloretos, sólidos totais dissolvidos e nitratos, bem como as condições hidrogeológicas e pluviométricas. Estes estudos apontam para as seguintes considerações: (i) as maiores vazões estão associadas a poços profundos do domínio das bacias sedimentares e de maiores registros de precipitação – o setor 3; (ii) as zonas com alta concentração de cloretos, STD e nitratos são delimitadas no setor de maior aridez da bacia, onde os sistemas aquíferos são mais vulneráveis (menores profundidades, zonas de fraturamento, manto de intemperismo pouco espesso) e onde existe maior ocupação demográfica – o setor 2; (iii) o nitrato, em particular, é um constituinte associado a atividades antrópicas, e as zonas de valores elevados aparecem nos trechos alto e médio da bacia, onde existe maior ocupação e expressivo desenvolvimento socioeconômico – os setores 1 e 2.

Algumas características importantes de cada setor, que corroboram os resultados obtidos, são ressaltadas abaixo:

- Setor 1: possui significativa heterogeneidade hidrogeológica, que inclui o domínio metassedimentar, com rochas de fraturamento intenso, variação na colocação estrutural e exposta a

índices pluviométricos mais altos. A taxa de infiltração é elevada, principalmente nas áreas de alta densidade de fraturamento e maior índice pluviométrico.

- Setor 2: corresponde a parte central da bacia, onde predomina o embasamento cristalino e a taxa de precipitação é mais baixa. Os poços apresentam vazões médias, embora localmente podem ser altas. A demanda pela água subterrânea é crescente.

- Setor 3: abrange as áreas sedimentares da sub bacia do Tucano, onde grande parte das sedes municipais é abastecida com água subterrânea. O aumento da demanda de água exige poços mais profundos e com maior vazão.

- Setor 4: compreende a faixa litorânea onde a quantidade de poços cadastrados é baixa, embora se tenha o conhecimento do uso expressivo das águas subterrâneas neste setor, que inclui a região costeira da cidade de Salvador. A análise mais apurada passa pela necessidade de aquisição de maior quantidade de dados ou atualização do cadastro de poços recentes.

Estas observações são coerentes com informações obtidas no presente trabalho que apontam os setores 1 e 2 como os mais vulneráveis, além da importância da profundidade da água subterrânea neste contexto. Entretanto, vale o alerta de que, em conformidade com a natureza do contaminante, aquíferos profundos nem sempre podem ser interpretados como pouco vulneráveis. Ademais, a dificuldade em analisar as redes de fraturas, principalmente em escalas regionais, tem feito com que os métodos existentes considerem apenas os grupos litológicos, quando lidando com aquíferos fraturados.

Para escalas de maior detalhe recomenda-se a utilização conjunta dos mapas de vulnerabilidade com os de risco de contaminação ou vulnerabilidade específica. Isto significa dizer que, uma base mais sólida para validação eficiente das diferentes técnicas, passa pela necessidade de estudos de detalhe em campo, aquisição de dados de monitoramento da qualidade das águas subterrâneas e análise de vários casos de contaminação, incluindo ampla gama de atividades antrópicas.

5 - CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

- Para o cálculo da vulnerabilidade intrínseca, tendo em conta os dados disponíveis de poços tubulares da bacia do Itapicuru, os métodos GOD e DRASTIC mostram-se adequados.

- Segundo o método GOD, o mapa de vulnerabilidade geral da bacia e aqueles de vulnerabilidade relativa entre os diferentes setores apontam o trecho sub médio da bacia (setor 3) como o de menor vulnerabilidade. O índice ($<0,5$) de vulnerabilidade do método classifica o trecho como de média proteção.

- A avaliação pelo método DRASTIC confirma as informações anteriores, embora o índice correspondente encontrado para o setor 3 (<0,8) classifica a vulnerabilidade entre média e baixa. Os resultados revelam a importância da profundidade da água subterrânea na avaliação.

- Em mais de 50% do território da bacia as águas subterrâneas se encontram com pouca proteção. Zonas com altos teores de cloretos, STD e nitratos, exibindo tendência crescente, já são demarcadas no setor centro-oeste da bacia, com maior aridez, onde os sistemas aquíferos exibem maior vulnerabilidade e a ocupação demográfica é expressiva. Na falta de estudos mais detalhados se recomenda considerar a vulnerabilidade intrínseca na adequada organização do espaço territorial da bacia e de futuras intervenções.

- Para subsidiar estudos posteriores, em maior detalhe, se torna importante obter informações do tipo: mapas dos parâmetros envolvidos em escala adequada (1:100.000); (ii) dados pluviométricos associados ao tipo e uso do solo para estimativa de recarga através do balanço hídrico (iii) dados de testes de bombeamento para melhor conhecer a condutividade hidráulica dos aquíferos.

- Os mapas de vulnerabilidade obtidos representam uma base técnica preliminar para o planejamento de ação de controle dos aquíferos na bacia, respeitando-se as limitações da escala ao nível de bacia hidrográfica.

AGRADECIMENTOS

A Companhia de Engenharia Rural da Bahia – CERB por disponibilizar o inventário que reúne os dados usados para o estudo. Ao PRODETAB – EMBRAPA pelo suporte financeiro do Projeto 055/01 que permitiu o tratamento dos dados e apresentação dos resultados obtidos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] BAHIA. Plano Diretor de Recursos Hídricos da Bacia de Itapicuru, Salvador: SRH e SRHSH, Maio 1995. 250 p.

[2] VRBA, J.; Zaporozec, A. Guidebook on mapping groundwater vulnerability. IAH. Heise. Hannover. International Contrib. to Hydrogeology. v.16, 1994. 131 p. ISBN 3-922705-97-9.

[3] AUGÉ, M. Vulnerabilidad de acuíferos: conceptos y métodos. 2004. Disponível em: <<http://www.cytod.org>>

- [4] FOSTER, S. Fundamental concepts in aquifer vulnerability pollution risk and protection strategy. In: INTERNATIONAL CONFERENCE OF VULNERABILITY OF SOIL AND GROUNDWATER TO POLLUTANTS, Noordwijk, Países Baixos. Proceeding ,1987.
- [5] FOSTER, S.; Hirata, R. Determinación del Riesgo de Contaminación de Aguas Subterráneas: una metodología basada en datos existentes. CEPIS, 81 p. 1991.
- [6] ALLER, L., Bennet, T.; Lehr, J.; Petty, R.; Hackett, G. DRASTIC: A standardized system for evaluating groundwater pollution potential using hydrogeologic setting. Dublin Ohio: National Water Well Association. EPA, Oklahoma. USA, EPA-600/2-87-035, 1987. 455 p.
- [7] SEPLANTEC/SEI – Secretaria de Planejamento, Ciência e Tecnologia do Governo do Estado da Bahia / Centro de Estatísticas e Informações. Riscos de Seca na Bahia. Salvador: SEPLANTEC, 1991.
- [8] MESTRINHO, S. S. P; Luz, J.G. Análise exploratória espacial e temporal dos dados de poços tubulares da bacia do rio Itapicuru-BA. In: Congresso Brasileiro de Águas Subterráneas, 2004, Campo Grande. Anais... 2004.