

PROPOSIÇÃO METODOLÓGICA PARA MODELAGEM DA VULNERABILIDADE E RISCO DOS RECURSOS HÍDRICOS SUBTERRÂNEOS NA SUB-BACIA DO ALTO PARAGUAÇU, ESTADO DA BAHIA

Ana Isabel Leite Oliveira¹; Washington Franca-Rocha²

RESUMO - A sub-bacia do Alto Paraguaçu, situada na região central do Estado da Bahia, tem por principal atividade econômica a agricultura irrigada. A investigação da vulnerabilidade e risco das águas subterrâneas surge da necessidade de se conhecer as zonas de maior susceptibilidade dos aquíferos, bem como, de maior possibilidade de penetração de contaminantes neste ambiente. Com esta finalidade, propõe-se a realização de operações em Sistema de Informações Geográficas para a modelagem da vulnerabilidade e risco à poluição dos recursos hídricos subterrâneos na sub-bacia do Alto Paraguaçu. A partir da modelagem baseada em conhecimento e os princípios do método DRASTIC, a combinação dos planos de informação referentes às unidades litológicas, densidade hidrográfica, distribuição pluviométrica, fator de vegetação, densidade de lineamento, declividade, superfície potenciométrica e uso agrícola, deve resultar em três diferentes modelos: Mapa do Potencial Hídrico Subterrâneo, Mapa da Vulnerabilidade à Poluição das Águas Subterrâneas e Mapa do Risco à Poluição da Água Subterrânea, subsidiários à gestão dos recursos hídricos na região.

Palavras-chave: Modelagem em SIG, Vulnerabilidade, Água subterrânea.

ABSTRACT - The sub-basin Alto Paraguaçu, located in central Bahia State, has as main economic activity the irrigated agriculture. The research of the vulnerability and risk over groundwater arises from the need to know areas of higher susceptibility of aquifers and with the highest probability of infiltration of contaminants in this environment. For this purpose, it is proposed to carry out operations in Geographic Information System for modeling risk and vulnerability to pollution of groundwater resources in the sub-basin of the Alto Paraguaçu. From the modeling based on knowledge and principles of the DRASTIC method, the combination of information plans concerning to lithologic units, density basin, rainfall distribution, vegetation factor, lineament density, slope, potentiometric surface and agricultural use should result in three different models: Map of Potential Groundwater, Map of Vulnerability to Groundwater Pollution

and Map of Groundwater Pollution Risk, subsidiary to the management of water resources in the region.

Key-words: Modeling in GIS, Vulnerability, Groundwater.

1 - INTRODUÇÃO

Os aquíferos, em função de suas características naturais, podem apresentar diferentes níveis de vulnerabilidade e risco à poluição, o que passou a despertar preocupações no meio técnico-científico e na sociedade em geral, uma vez que este recurso vem sendo amplamente utilizado para o abastecimento público e em atividades econômicas.

Além disso, as dificuldades de recuperação dos aquíferos, frente à impraticabilidade técnica, persistência dos contaminantes e custos excessivos (FOSTER & HIRATA, 1993), conduzem à necessidade de considerar os recursos hídricos subterrâneos, principalmente os não confinados, em planejamentos de ordenação territorial, pois a identificação das áreas de vulnerabilidade e risco é útil para o estabelecimento de ações prioritárias na gestão ambiental.

A proteção do recurso hídrico subterrâneo está diretamente ligada à gestão do uso da terra. A introdução de contaminantes no solo, sejam resíduos sólidos, resíduos industriais, vazamentos em tanques de armazenamento, efluentes sanitários provenientes de fossas e vazamentos de esgoto, drenagem de dejetos animais, lagoas de águas residuais e a intensificação agrícola, como enumerado por Foster et al. (2003), pode ameaçar a qualidade e disponibilidade de tais recursos.

O zoneamento terrestre é um instrumento que possibilita compatibilizar o uso e ocupação da terra com a implementação de ações que visem à proteção das águas subterrâneas. É possível gerir o território instituindo-se restrições de uso em prol da proteção dos aquíferos. Observando-se, por exemplo, as áreas de maior susceptibilidade à poluição desses sistemas, embora a adoção dessas medidas seja desafiadora, visto o conflito de interesses.

Oliveira & Souza (2008) ressaltam que, por fazerem parte de um sistema, o que afeta a água subterrânea pode também afetar a água superficial. Assim, a contaminação de águas subterrâneas, além de geralmente envolver grande volume de água nos aquíferos, pode atingir a qualidade das águas de descarga desses reservatórios, as quais comporão a rede hidrográfica, como também chamam à atenção Foster *et al.* (2003).

Neste contexto, nosso objetivo é propor uma metodologia para realizar a modelagem das áreas de vulnerabilidade e risco à poluição das águas subterrâneas na sub-bacia do Alto Paraguaçu, área de influência do agro-pólo Mucugê/Ibicoara, com suporte em Geotecnologias.

A relevância desta pesquisa encontra-se na perspectiva de contribuir para reduzir os impactos sofridos pelos recursos hídricos subterrâneos, frente às mudanças ambientais decorrentes das modificações introduzidas pelas ações humanas, percebendo os estudos ambientais interdisciplinares como estratégicos para a sustentabilidade.

2 - ÁREA DE ESTUDO

A sub-bacia do Alto Paraguaçu encontra-se situada entre as latitudes 12°40'N e 13°40'S e longitudes 41°15'E e 41°39'W, na ecorregião da Chapada Diamantina, centro do Estado da Bahia. Integra o alto trecho da Região de Planejamento e Gestão das Águas do Rio Paraguaçu e Baía do Iguape (RPGA X) e está parcialmente inserida no Parque Nacional da Chapada Diamantina (Figura 1).

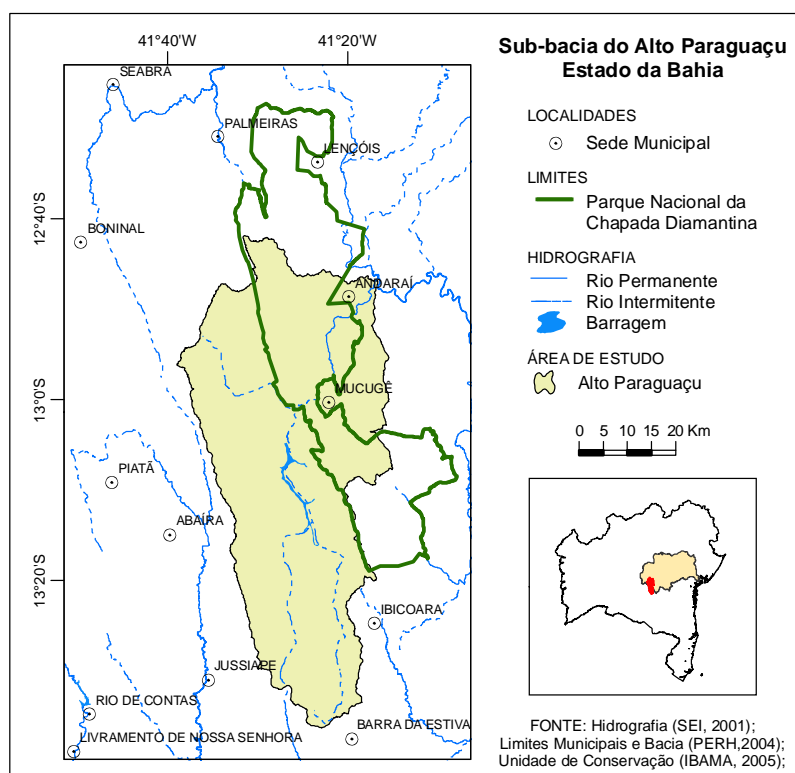


Figura 1. Localização da sub-bacia do Alto Paraguaçu.

Foco da mineração de diamante e ouro, iniciada em meado do século XIX, sofreu com grande degradação ambiental na década de 1970, em virtude da mecanização desta atividade. Época também marcada pelo significativo crescimento urbano e início do turismo, em função das belezas naturais e históricas.

As conseqüências decorrentes da mecanização da mineração, indicadas no Plano de Desenvolvimento de Recurso Hídricos do Alto Paraguaçu – PDRH (SRH, 1993) foram, dentre outras, assoreamento, alterações na mecânica dos leitos, destruição da vegetação ciliar, descaracterização da paisagem, alteração no regime dos rios e níveis do lençol freático.

Outra atividade econômica, de grande destaque é a agricultura irrigada, introduzida no alto trecho do Paraguaçu com o cultivo do café no município de Bonito e das olerícolas no vale do rio Utinga, sendo em 1980 intensificada e diversificada (SRH, 1993). Nos dias atuais, em toda a região esta atividade se faz presente, considerada atrativa pelas características do solo e microclimas. Agricultores de médio e grande porte contam com o apoio técnico privado especializado e tecnologia de ponta, a exemplo dos inúmeros pivôs centrais.

As características físicas, destacadas abaixo, compreendendo aspectos geológicos, hidrogeológicos, climáticos, geomorfológico, cobertura vegetal e solos são fundamentais para o estabelecimento da modelagem proposta.

2.1 – Geologia

A área de estudo insere-se na província estrutural do São Francisco, que se caracteriza por apresentar estabilidade tectônica desde o final do eon Proterozóico. Pode-se dizer que na região da Chapada Diamantina, houve um contexto parcial de rifteamento, com dissipação de calor do manto, evidenciados pelos falhamentos e zonas compressionais, situados no Domínio do Grupo da Chapada Diamantina. As coberturas proterozóicas estão representadas pelas seqüências sedimentares dos Grupos Chapada Diamantina e Una, sendo os sistemas deposicionais oriundos de processos fluviais, eólicos, deltaicos e de ondas, tempestades e marés (BOMFIM & PEDREIRA, 1990).

Na área de estudo, conforme mapa geológico da CPRM (2004) afloram sedimentos dos Grupos Paraguaçu e Chapada Diamantina, deposições Neoproterozóicas correspondentes a Formação Bebedouro, além das Coberturas Fanerozóicas.

2.2 – Hidrogeologia

Tendo como base principal as características litológicas das rochas, o Mapa de Domínios/Subdomínios Hidrogeológicos do Brasil (CPRM, 2007), classifica os aquíferos existentes na sub-bacia Alto Paraguaçu nas seguintes categorias:

(i) *Aquíferos porosos*: constituídos por rochas do domínio das formações Cenozóicas, correspondentes à pacotes de rochas sedimentares de diversas espessuras e natureza. Na sub-bacia

do Alto Paraguaçu, está representado por depósitos relacionados temporalmente ao Quaternário e Terciário. Na região, são considerados aquíferos de baixa favorabilidade hidrogeológica, pelas pequenas espessuras e continuidade.

(ii) *Aquífero misto*: integra aquíferos porosos e fissurais, envolvendo pacotes sedimentares (sem ou com muito baixo grau metamórfico). Nestes, ocorrem litologias essencialmente arenosas com pelitos e carbonatos no geral subordinados, apresentando, de forma geral, litificação acentuada, forte compactação e fraturamento acentuado. É classificado com sendo aquíferos de baixa a média favorabilidade hidrogeológica. Na sub-bacia Alto Paraguaçu apresentam litologia do Grupo Chapada Diamantina e do Grupo Paraguaçu, nos quais, respectivamente, predominam os arenitos e siliciclásticos.

2.3 – Clima

Embora inserida na região do semi-árido brasileiro, apresenta grande diversidade climática. A dinâmica do sistema meteorológico do alto trecho do Paraguaçu é fortemente controlada pela Serra do Sincorá, que segue direção preferencial NNW-SSE, o que influencia o contexto climático local.

As máximas pluviométricas ocorrem na primavera/verão, sendo janeiro o mês mais chuvoso e julho o mais seco. No entanto, a distribuição das chuvas é irregular, variando muito entre um ano e outro, podendo haver assim anos mais chuvosos e outros extremamente secos. Conforme o PDRH de 1993, a umidade relativa do ar no trecho alto da bacia do Paraguaçu é elevada durante todo o ano, sempre superior a 60%, mesmo nos períodos mais secos.

2.4 – Geomorfologia

A região, conforme descrição do RADAMBRASIL (1981), apresenta dois grandes compartimentos morfoestruturais: (a) Planaltos em Estruturas Dobradas, os quais compreendem maciços montanhosos, cujos topos estão acima de 800 metros, remanescentes de estruturas dobradas e tectonizadas, de anticlinais e sinclinais invertidas e superfícies de aplanamento, esculpidas em rochas metassedimentares; (b) Bacias e Coberturas Sedimentares, a qual abrange setores de coberturas sedimentares paleozóicas e mesozóicas com camadas horizontais ou sub-horizontais, eventualmente inclinadas por tectonismo.

2.5 - Solos e Cobertura Vegetal

Grande parte da sub-bacia é recoberta por Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico sobre as coberturas cenozóicas do pediplano cimeiro, denominado Gerais de Mucugê, suporte, em maior proporção, de vegetação do tipo cerrado e caatinga arbórea/arbustiva, sobre o qual também se desenvolve a atividade agrícola.

No extremo sul da sub-bacia dominam os Argissolos Vermelho-Amarelo distróficos, de forma geral, associados às rochas da Formação Lagoa de Dentro, abrigando um mosaico dos tipos de cobertura vegetal existentes na área.

Os Neossolos Litólicos estão dispostos, principalmente, sobre a Formação Tombador, na Serra do Sincorá, predominando assim, nos terrenos mais elevados, mantendo uma vegetação mais rarefeita, composta basicamente de campos rupestres e campos limpos.

3 - PRINCIPAIS CONCEITOS

O termo contaminação de aquíferos é compreendido por Hirata e Fernandes (2008) como sendo a degradação das águas subterrâneas, ocasionada pela perda de qualidade da água potável, isto é, quando esta apresenta níveis de concentração de substâncias nocivas superiores aos padrões de qualidade estabelecidos pela Organização Mundial da Saúde (OMS).

Neste estudo, adotamos o termo poluição, o qual, conforme Lei nº. 6.938, que dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, corresponde, de forma geral, à degradação da qualidade ambiental, atribuída às atividades humanas, afetando a saúde, economia, recursos naturais, estética dos ambientes, em desacordo com a legislação vigente.

Um tema complexo é a distinção entre vulnerabilidade e risco, para os quais Hirata & Fernandes (2008) relatam não haver concordância geral, pela variedade de aspectos considerados. Alguns métodos consideram a facilidade de acesso do contaminante, conforme as características dos materiais, enquanto outros inserem a mobilidade do contaminante na zona saturada, encontrando-se, de tal forma, associado à idéia de risco, análise que considera a carga contaminante.

Aller et al. (1987), Foster & Hirata (1993) definem a vulnerabilidade à poluição de águas subterrâneas como a sensibilidade de um aquífero, determinada apenas por suas características intrínsecas, de ser afetado por uma carga contaminante de origem antrópica. Já o risco é estabelecido pela interação entre o conhecimento sobre a carga contaminante e a vulnerabilidade do aquífero (FOSTER & HIRATA, 1993).

Assim, uma maior vulnerabilidade corresponderá à maior facilidade de acesso hidráulico do contaminante à zona saturada, o que depende das características do aquífero, e no caso de estudos de risco, maior persistência da carga contaminante.

Nesta lógica, aquíferos livres e rasos em terrenos permeáveis são mais vulneráveis do que os aquíferos confinados. No entanto, para cargas persistentes e móveis, considera-se que esta sempre atingirá, mais cedo ou mais tarde, a zona saturada (HIRATA & FERNANDES, 2008).

Como visto nos aspectos hidrogeológicos da área, há ocorrência de aquíferos porosos e mistos, neste último caso, devemos considerar características de ambiente fissural. Em aquíferos porosos o coeficiente de armazenamento deriva da porosidade primária, a condutividade corresponde à transmissividade e a vazão específica guarda relação com o rebaixamento do poço. Já em aquíferos fissurais, a porosidade é em função das fissuras/descontinuidades, não havendo significado falar em transmissividade (COSTA 2008).

COSTA (2008) aborda os fatores que participam dos mecanismos de infiltração, percolação e armazenamento em sistemas aquíferos fissurais, indicadores de sua capacidade. Na tabela 1 observa-se que esses fatores encontram-se subdivididos em dois grupos: os exógenos, referentes àqueles que atuam na superfície terrestre como o clima, relevo, hidrografia, infiltração de soluções; e os endógenos, os quais correspondem aos que atuam no interior da superfície, incluindo as litologias, estruturas geológicas e a presença de soluções mineralizantes.

Tabela 1. Fatores que influenciam na água subterrânea em rochas cristalinas.

Fatores		Influencia na	
		Qualidade	Quantidade
Exógenos	Clima	Elevada	Moderada
	Relevo	Moderada	Elevada
	Hidrografia	Moderada	Moderada
	Vegetação	Baixa	Moderada
	Infiltração de Soluções	Baixa	Moderada
Endógenos	Coberturas Sedimentares	Moderada	Elevada
	Constituição Litológica	Moderada	Baixa
	Estruturas	Moderada	Elevada
	Soluções Mineralizantes	Baixa	Moderada

FONTE: Costa, 2008.

Segundo Costa (2008) no grupo dos fatores exógenos, o clima influencia mais na qualidade, processo de salinização, do que na quantidade, pois está relacionado à formação do manto de intemperismo. Já o relevo, apresenta elevada influência na quantidade, havendo maiores vazões em áreas mais baixas, principalmente depressões locais, enquanto que os topos apresentam as áreas menos favoráveis à produtividade.

Quanto ao fator hidrografia, considera como de moderada influência para qualidade e quantidade, apresentando infiltração em áreas de fraturas. Quanto à infiltração de soluções e detritos, sua influência na qualidade é pouca, mas moderada na quantidade, pois pode produzir cimentação total ou parcial das fraturas.

No grupo dos fatores endógenos, as coberturas sedimentares apresentam-se como importante fonte de recarga para as rochas subjacentes. A constituição litológica possui moderada influência na qualidade, mas baixa na quantidade, visto que, no domínio dos aquíferos fissurais, as rochas são caracterizadas pela inexistência ou presença reduzida de porosidade primária. Já as estruturas influenciam moderadamente na qualidade e de forma elevada na quantidade, pois os fraturamentos conferem permeabilidade secundária às rochas, aumentando o coeficiente de vazão. Quanto às soluções mineralizantes, o autor considera que não devem ser levadas em consideração por serem pouco presentes.

Com base em dados georeferenciados, técnicas de modelagem podem ser utilizadas para identificação da vulnerabilidade e risco em aquíferos. Por modelagem, pode-se entender o encadeamento de operações, realizadas durante a manipulação de dados espaciais, sendo a descrição, descoberta, análise e a predição de fenômenos espaciais partes desse processo em SIG. Seu resultado é um modelo, o qual possui conotação de representação simplificada da realidade (MIRANDA, 2005).

4 - PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

A modelagem das áreas de vulnerabilidade e risco das águas subterrâneas utilizando ferramentas do geoprocessamento, como proposto neste trabalho, requer a geração de uma base digital de dados georeferenciados, com posterior utilização de métodos relacionados às funções do SIG, como: consulta, reclassificação, análise de contigüidade e álgebra de mapas.

A geração de uma base digital de dados geográficos com adequada organização é premissa básica, ocupando “posição de destaque”, como expressa Miranda (2005), em um sistema de informações geográficas. Para a presente modelagem, este esboço propõe a seguinte base digital de dados georeferenciados (Figura 2):

Também, técnicas de processamento digital de imagens como composição colorida, índice de vegetação, principais componentes, filtragem e ferramentas de modelagem topográfica, podem ser utilizadas, derivando dados para o estudo hidrogeológico.

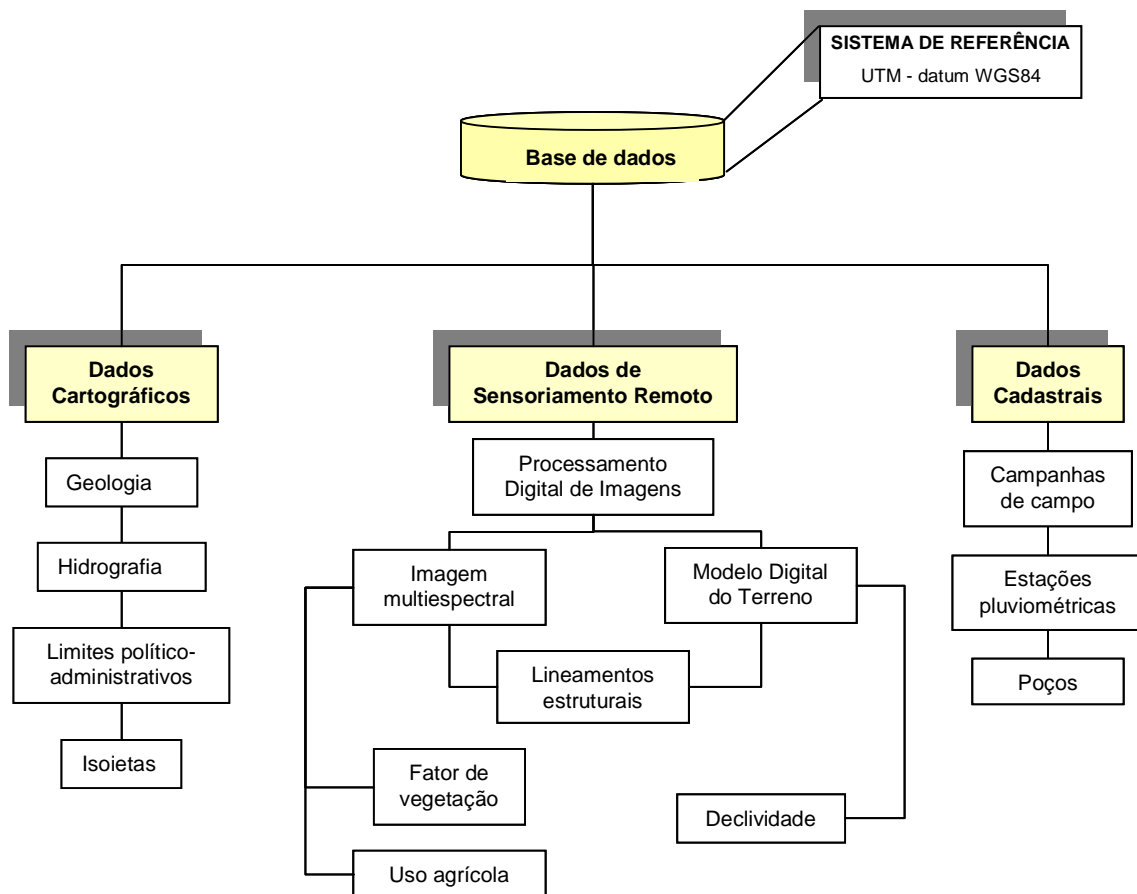


Figura 2. Proposta de composição da base de dados georeferenciadas para o estudo hidrogeológico.

4.1 - O método

O DRASTIC baseia-se em uma composição hidrogeológica que descreve os principais fatores que influenciam o movimento da água subterrânea em uma área, são estes: profundidade do nível da água subterrânea, recarga do aquífero, litologia do aquífero, tipo de solo, topografia, impacto da zona do vadosa, condutividade hidráulica (ALLER et al., 1997).

Considerando unidades com características hidrogeológicas em comum, indica o grau de vulnerabilidade à contaminação pela introdução de poluentes, fornecendo ao usuário um índice relativo de potencial à contaminação das águas subterrâneas (ALLER et al., 1997).

Na atualidade, o uso de ferramentas de geoprocessamento nas pesquisas hidrogeológicas vem ganhando espaço entre os especialistas, por possibilitarem a exploração e análise dos dados espaciais, gerando informação, facilitando o manuseio dos dados e apresentação dos resultados em diferentes formas, alta qualidade e rápida disseminação, automatização de tarefas rotineiras e visão da totalidade do fenômeno estudado (GOMES, 2008).

Nesta linha, podemos consultar trabalhos como os de Souza (2003), Sener et al. (2005), Lemacha (2008), Musa et al. (2009) e Lima et al. (2009) que utilizaram o SIG para mapeamento de potencialidade hidrogeológica, cuja seleção de fatores pode ser verificada na tabela 2, a seguir:

Tabela 2. Fatores integrados por SIG em estudos de potencialidade de água subterrânea.

Autores	Fatores
Souza et al. (2003)	Mapas de declividade, densidade de fraturas, solos, uso do solo e cobertura vegetal, litologia e densidade de drenagem.
Sener et al. (2005)	Declividade, densidade de lineamentos, uso da terra, geologia, densidade de drenagem precipitação anual, topografia.
Lemacha (2008)	Mapa de declividade, densidade de lineamento termal, densidade de lineamento, solo, uso do solo, vegetação, litologia, profundidade do solo, densidade de drenagem.
Musa et al. (2009)	Declividade, densidade de lineamento, tipo de solo, uso do solo, litologia, precipitação anual, elevação da topográfica, densidade de drenagem.
Lima et al. (2009)	Declividade, densidade de fraturas, tipo de solo, uso e cobertura do solo, litologia.

Fatores como declividade, densidade de fraturas ou lineamentos, uso do solo, litologia são utilizados por todos os autores anteriormente citados. Tipo de solo é um fator que não foi levado em conta apenas por Sener et al. (2005), assim como a densidade de drenagem também não foi utilizada por Lima et al. (2009). Dados de precipitação anual e topografia (elevação) são inseridos por Sener et al (2005) e Musa et al (2009), que, todavia, não fazem uso do tema cobertura vegetal.

Além dos mapas de potencial hidrogeológico, também modelagens de vulnerabilidade e risco acompanham essa tendência, a exemplo Farajat et al. (2005), Jamrah et al. (2007) e Remesan et al. (2008), os quais combinaram o método DRASTIC ao SIG.

5 - MODELAGEM CARTOGRÁFICA DA VULNERABILIDADE E RISCO À POLUIÇÃO DA ÁGUA SUBTERRÂNEA

Para a modelagem proposta optou-se pelo modelo DRASTIC combinado com operações em SIG, visto que abrange uma maior variedade de parâmetros quando comparado ao GOD, possibilitando uma melhor caracterização do meio aquífero (Meneses, 2009), além da possibilidade de adaptação. Jamrah et al. (2008) demonstra que pesquisadores têm modificado o método DRASTIC e inserido outros parâmetros como a agricultura, uso da terra e densidade de lineamento.

A modelagem envolve a combinação de todas as camadas temáticas ou planos de informação, usando ferramentas de geoprocessamento e o método de análise hierárquica, denominado AHP (*Analytic Hierarchy Process*), auxiliar à tomada de decisão, sendo aqui sugerido para a ponderação das classes e fatores selecionados.

O modelo matemático da vulnerabilidade e risco à poluição da água subterrânea proposto neste trabalho, adaptado do modelo DRASTIC, é o seguinte:

$$\mathbf{VRAS} = \mathbf{LcLp} + \mathbf{HcHp} + \mathbf{PcPp} + \mathbf{VcVp} + \mathbf{EcEp} + \mathbf{DcDp} + \mathbf{ScSp} + \mathbf{UcUp}$$

Onde,

L – Litologia
H – Hidrografia
P – Precipitação
V – Vegetação
E – Estruturas geológicas
D – Declividade
S – Superfície freática
U – Uso agrícola
c – classes
p - pesos

A elaboração do fluxograma pode ser vista como uma importante técnica que antecede, ou prepara, a obtenção do modelo final. Tenta captar as relações espaciais entre as variáveis. Sua finalidade é auxiliar a organização e estruturação dos procedimentos, identificando os planos de informação e funções necessárias para a execução da modelagem (MIRANDA, 2005). Encontra-se assim inserido na etapa metodológica do planejamento (Figura 3).

O modelo resultante será baseado no conhecimento, o qual está substanciado na seleção dos planos de informação através do conhecimento empírico (GOMES, 2008). Após a seleção dos fatores ou planos de informação, realiza-se a análise, atribuindo valores às suas respectivas classes, isto é, ponderando-as, dentro de uma escala pré-definida, de forma que serão obtidos como mapas intermediários: unidades litológicas, densidade hidrográfica, distribuição pluviométrica, fator de vegetação, densidade de lineamento e declividade.

Depois, cada um dos fatores também é ponderado, segundo o grau de influência exercido sobre o objetivo proposto e, finalmente, realiza-se a combinação dos fatores entre si, aplicando um operador algébrico.

Desta modelagem devem resultar três modelos finais:

- a) *Mapa do Potencial Hídrico Subterrâneo (MPHS)*: obtido a partir da combinação dos mapas intermediários acima elencados. Representará, de forma escalonada, áreas com maior ou menor potencialidade hidrogeológica;
- b) *Mapa da Vulnerabilidade à Poluição das Águas Subterrâneas (MVPAS)*: resultante da combinação entre o MPHS e a superfície potenciométrica. A proximidade do nível freático com a superfície do terreno será indicadora da distância que um contaminante introduzido no sistema, deverá percorrer para alcançar o lençol freático. A relação estabelecida será a seguinte: quanto maior a

profundidade do nível freático, mais lentamente um contaminante atingirá o aquífero, representando uma menor vulnerabilidade;

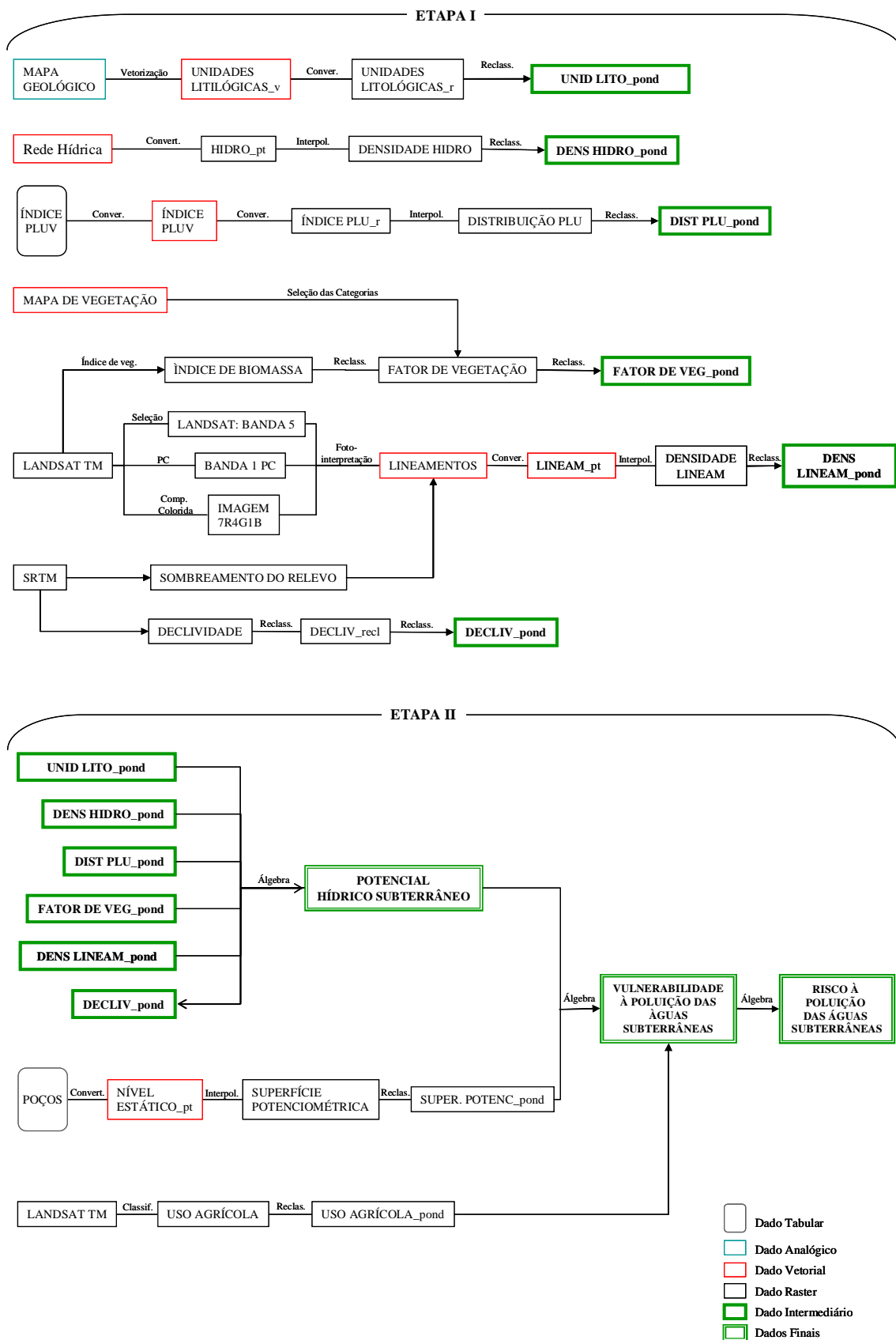


Figura 3. Proposição de modelagem para a vulnerabilidade e risco à poluição da água subterrânea na sub-bacia do Alto Paraguaçu.

- c) *Mapa do Risco à Poluição da Água Subterrânea (MRPAS)*: decorrente da combinação do MVPAS com o mapa de uso agrícola. Um escalonamento será estabelecido, possuindo como critério as técnicas de atividade agrícola empregadas na área.

6 - CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho apresenta uma proposta metodológica para a modelagem da vulnerabilidade e risco à poluição da água subterrânea na sub-bacia do Alto Paraguaçu, aplicando técnicas de geoprocessamento em ambiente SIG. Procedimento amplamente difundido, que vem agilizando e facilitando os estudos hidrogeológicos.

A aplicação do modelo baseado no conhecimento foi subsidiada por trabalhos recentes que utilizaram essa técnica, como revisado anteriormente, pela indicação dos fatores que influenciam no armazenamento da água subterrânea em ambientes fissurais, como observado por COSTA (2008) e nos dados disponíveis em escalas adequadas para o desenvolvimento deste estudo, a exemplo do fator tipo de solo, o qual para a área de trabalho apresenta muito pouco detalhe de informações, não sendo considerado nesta proposta.

Daí, a importância de se realizar um levantamento prévio dos dados disponíveis e suas respectivas escalas de origem, visto que, nem sempre os dados se adequarão ao modelo, mas o modelo precisará ser elaborado de forma que sua implementação seja possível, não comprometendo, é claro, a confiabilidade do resultado.

A expansão da atividade agrícola e agro-industrial na sub-bacia do Alto Paraguaçu conduziu à percepção da necessidade de uma modelagem ambiental que possa inserir os aquíferos como foco de atenção em estudos ambientais. A identificação das zonas de vulnerabilidade e risco à poluição pela atividade agrícola, deve integrar propostas de ordenamento territorial, considerando os usos atuais e futuros, orientar o licenciamento ambiental para a instalação de novas atividades e continuidade dos empreendimentos já instalados, promover a fiscalização e monitoramento ambiental, a orientação quanto ao manejo sustentável do solo visando a não inserção de cargas poluentes para o meio aquífero, subsidiando assim, a gestão dos recursos hídricos na região.

7 - REFERÊNCIAS

ALLER, L.; LEHR, J. H.; Petty, R. **DRASTIC: a standardized system for evaluating groundwater pollution potential using hydrogeologic setting**. United States: EPA, 1987.

BOMFIM, L. F. C; PEDREIRA (Org.). A. J. **Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil: carta geológica, carta metalogenético/previsional**. Escala 1:100.000 (Folha SD.24-V-A-V (Lençóis) Estado da Bahia. Brasília, DNPM/CPRM, 1990.

BRASIL. **Lei nº. 6.938/81**. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente. Disponível em http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L6938.htm. Acesso em: 06/07/2009.

COSTA, W. D. **Hidrogeologia dos Meios Fissurados**. In.: FEITOSA et al. (Org./Coord.) Hidrogeologia: conceitos e aplicações. 3. ed. Ver. E ampl. Rio de Janeiro: CPRM: LABHID, 2008. 812 P.

FOSTER, S; HIRATA, R. **Determinação do risco de contaminação das águas subterrâneas: um método baseado em dados existentes**. (Tradução de Ricardo Hirata, Sueli Yoshinaga, Seiju Hassuda, Mara Akie Iritani). Boletim do Instituto Geológico, n. 10, 1993. 92 p.

FOSTER, S. S. D; GARDUÑO, H.; KEMPER, K.; TUINHOF, A.; NANNI, M.; DUMARS, C. **Groundwater quality protection: defining strategy and setting priorities**. (GW-MATE Briefing Note Series, 8). Washington, D.C; Banco Mundial; 2003.

FARAJAT, M. Al.; HAMDAN, I.; JABER, K.; MOHAMMED, S. H. **GIS Mapping of Ground Water Vulnerability Against Pollution in Amman Using DRASTIC Index**. Hydrogeologie und Umwelt. Wurzburg, 2005.

GOMES, F. E. M. **Geoprocessamento em Ambiente SIG Aplicado à Hidrogeologia**. In.: FEITOSA et al. (Org./Coord.) Hidrogeologia: conceitos e aplicações. 3. ed. Ver. E ampl. Rio de Janeiro: CPRM: LABHID, 2008. 812 P.

HIRATA, F.; FERNANDES, A. J. **Vulnerabilidade à poluição de aquíferos**. In.: In.: FEITOSA, F. A. C (org.) Hidrogeologia: conceitos e aplicações. 3. ed. Rio de Janeiro: CPRM: LABHID, 2008. 812p.

JAMRAH, A.; AL-FUTAISI, A.; RAJMOHAN, N.; AL-YAROUBI, S. **Assessment of groundwater vulnerability in the coastal region of Oman using DRASTIC index method in GIS environment**. [online] Springer Science, Volume 147, Numbers 1-3 / Dez, 2008.

LEMACHA, G. **Mapping Groundwater Potential: A Guide for GIS Developers**. Guides produced for WaterAid Ethiopia and RiPPLE, available on the RiPPLE, 2008. Disponível em : <http://www.rippleethiopia.org/documents/info/20081203-guide-for-planners>. Acesso em: 27 de agosto de 2009.

LIMA, L. A de; SILVA JR., G. C. da; MENEZES, J. M; SEABRA, V. da S. **Favorabilidade de Aquíferos Fraturados – Bacia Hidrográfica do Rio São Domingos – Estado do Rio de Janeiro**. Anuário do Instituto de Geociências, UFRJ, 2009.

MENESES L. F. de; SILVA, T. C. da; GADELHA, C. L. M.; FIGUEIREDO, E. C. T. P. **Elaboração de Mapa de Vulnerabilidade dos Aquíferos Superiores no Município de João Pessoa – PB, através de Técnicas de Geoprocessamento**. Rev. Tecnológica, Fortaleza, v.30, n.1, p. 123-132, jun. 2009.

MIRANDA, J. I. **Fundamentos de Sistemas de informações Geográficas**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2005.

MUSA, k. A; Akhir, J. M. ABDULLAH, I. **Groundwater Prediction Potential Zone in Langat Basin using the Integration of Remote Sensing and GIS**. Disponível em:

<http://www.gisdevelopment.net/aars/acrs/2000/ps3/ps318b.asp>. Acesso em: 15 de setembro de 2009.

OLIVEIRA, E. de; SOUZA, J. C. S. de. **Água subterrânea: conservação e gerenciamento**. In.: MACHADO, Rômulo. [org.]. As Ciências da Terra e sua importância para a Humanidade. A contribuição brasileira para o Ano Internacional do Planeta Terra-AIPT. São Paulo, Sociedade Brasileira de Geologia, Livros Textos, 2008. 140p.

SRH - Superintendência Estadual de Recursos Hídricos do Estado da Bahia. **Plano Estadual de Recursos Hídricos (PERH)**. Governo do Estado da Bahia, 2005..

REMESAN, R.; PANDA, R. K. **Remote Sensing and GIS Application for Groundwater Quality and Risk Mapping**. In.: 3º. International Conference on Water Resources and Arid Environments and the 1ª. Arab Water Forum. Arab: 2008.

SRH - Superintendência Estadual de Recursos Hídricos do Estado da Bahia. **Plano Diretor de Recursos Hídricos: Bacia do Rio Paraguaçu**. Documento Síntese. Salvador, 21 de novembro de 1993.

SENER, E; DAVRAZ, A.; OZCELIK, M. **An Integration of GIS and remote sensing in groundwater investigations: A case study in Burdur, Turkey**. Hydrogeology Journal, 2005, 826-834 p. SILVA, A. B. Sistemas de informações geo-referenciadas: conceitos e fundamentos. Campinas, Ed. Unicamp, 2003.

SOUZA, A.L.N.; FERNANDES, V.H.; CARVALHO, L.G.; ANTUNES, M.A.H. 2003. **Ferramentas de geoprocessamento para estudos de potencial hidrogeológico**. In: Congresso Brasileiro de Cartografia, 21, Belo Horizonte, 2003.