

USO DE SISTEMAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA (SIG) NA MODELAGEM DA VULNERABILIDADE DE AQUIFERO LIVRE: COMPARAÇÃO ENTRE OS MÉTODOS GOD E EKV NA BACIA DO RIO COXIM, SÃO GABRIEL DO OESTE, MS, BRASIL

Ciomara de Souza MIRANDA¹, Camila Leonardo MIOTO¹, Giancarlo LASTORIA², Sandra Garcia GABAS², Antonio Conceição PARANHOS FILHO^{1,2}

(1) Laboratório de Geoprocessamento para Aplicações Ambientais - Faculdade de Engenharias, Arquitetura e Urbanismo e Geografia - Universidade Federal de Mato Grosso do Sul. Endereços eletrônicos: ciomara.miranda@gmail.com; ea.miotto@gmail.com

(2) Professores - Centro de Ciências Exatas e Tecnologia - Universidade Federal de Mato Grosso do Sul - Campus Universitário, S/Nº, Caixa Postal, 549; 79070-900; Campo Grande; MS; Brasil. Endereços eletrônicos: g.lastoria@ufms.br; sandra.gabas@gmail.com; antonio.paranhos@pq.cnpq.br.

Introdução
Materiais e Métodos
 Caracterização da Área de Estudo
 Unidades Aflorantes
 Solos
 Geomorfologia
 Modelo GOD
 Modelo EKV
 Álgebra de mapas
 Interpolação espacial e a construção do mapa da profundidade até Nível freático
Resultados e Discussões
 Avaliação entre a vulnerabilidade e as políticas públicas
Conclusões
Agradecimentos
Referências bibliográficas

RESUMO - O conhecimento das áreas mais ou menos vulneráveis à poluição nos aquíferos é de extrema importância para a gestão eficiente e sustentável das águas subterrâneas. O presente trabalho teve como objetivo avaliar a vulnerabilidade do aquífero livre na sub-bacia do Rio Coxim, em São Gabriel do Oeste, MS. Foram adotados os modelos GOD e o EKV aplicados por meio do Sistema de Informações Geográficas (SIG), aplicando técnicas de interpolação, sobreposição e operações numéricas. Os resultados mostram que o modelo GOD classifica como 6% como alta, 76% média e 18% baixa vulnerabilidade na área de estudo. Já o modelo EKV resultou em apenas duas classes, as quais 38% qualificam-se como alta e 62% como média vulnerabilidade. Assim, observou-se que o mapeamento da vulnerabilidade do aquífero é um instrumento de apoio a conservação dos recursos hídricos subterrâneos.

Palavra-chave: Vulnerabilidade águas subterrâneas, SIG, Aquífero livre.

ABSTRACT - The knowledge of the vulnerability to pollution of areas is needed in order to manage underground waters in a sustainable and efficient way. This study applies two models to evaluate, in terms of quality, the vulnerability of the phreatic aquifer in a watershed of Coxim River, in São Gabriel do Oeste, MS. The used models were GOD and EKV. The first one presented 6% as high, 76% as medium and 18% as low, in terms of vulnerability in the study area. The second model showed only two classes of vulnerability, 38% as high and 62% as medium. The integration between the spatial information and the input parameters of the models were done using Geographic Information System (GIS), applying interpolations, combinations and numeric operations. The results of this work will be used as instruments to support the conservation of the Groundwater resources the on territorial planning.

Keywords: Groundwater vulnerability, GIS, phreatic aquifer.

INTRODUÇÃO

A ameaça de contaminação dos aquíferos é uma realidade cada vez mais presente em todo o mundo. A urbanização, o desenvolvimento industrial e das atividades agrícolas aliados à falta de planejamento territorial desencadeiam o uso menos eficiente e adequado dos recursos hídricos, afetando tanto a esfera ambiental quanto a econômica.

O tema vem ganhando crescente relevância na gestão dos recursos hídricos devido principalmente ao aumento da utilização das águas subterrâneas para o consumo humano. Na

América Latina, a maioria das cidades utiliza a água subterrânea como principal ou mesmo única fonte de abastecimento municipal (WHO, 2006).

O conceito de vulnerabilidade das águas subterrâneas foi inicialmente estudado por Le Grand (1964) e Margat (1968). O interesse pelo tema cresceu na comunidade científica sendo aplicado em diversos estudos em todo o mundo, destacando-se os realizados por Albinet & Margat (1970) na França; Aller et al. (1997) nos EUA; IG/CETESB/DAEE (1997) no

Brasil; Lobo-Ferreira (1998) em Portugal; Auge (2003) na Argentina.

Várias são as definições de vulnerabilidade de aquífero. De acordo com Auge (2004) interessam dois conceitos – a vulnerabilidade intrínseca e a vulnerabilidade específica. A primeira trata da fragilidade natural do aquífero e a segunda se refere ao perigo de contaminação com relação à presença de uma carga contaminante. Já Foster & Hirata (1988) a definem como a sensibilidade, frente às características intrínsecas do aquífero, a ser afetada adversamente na possível presença de uma fonte de poluição.

Portanto, diferencia-se a vulnerabilidade intrínseca da específica devido a primeira trabalhar exclusivamente com as características do aquífero, enquanto na segunda acrescenta-se a análise das atividades antrópicas presentes, como o uso e a ocupação do solo na possibilidade de contaminação das águas frente às condições do aquífero. No presente estudo adotou-se a definição de Auge (2004) onde se avalia a natureza intrínseca do aquífero a respeito de sua vulnerabilidade.

Estudos de identificação das áreas sensíveis à contaminação do aquífero livre são importantes para melhorar o planejamento e auxiliar a tomada de decisão dos atores envolvidos na gestão dos recursos hídricos. O mapa de vulnerabilidade é uma ferramenta básica de proteção ambiental a fim de se evitar a contaminação das águas subterrâneas.

Segundo Auge (2004) os fatores que mais influenciam na escolha dos modelos empregados para a avaliação da vulnerabilidade

são: o conhecimento e difusão da metodologia empregada, as informações disponíveis e a validação dos resultados. Frente a estes fatores, o autor destaca ainda que o fator determinante geralmente é a disponibilização dos dados ambientais.

Pode-se apontar outros trabalhos que atingiram os objetivos com o uso da técnica proposta no presente trabalho. Como o mapeamento da vulnerabilidade do aquífero na Planície Izeh, no Irã, obtido através da utilização do índice DRASTIC, modificado por meio de um sistema de informações geográfica (SIG) e de ferramentas de sensoriamento remoto (Farjad et al., 2012). Wang et al. (2012) e Al Hallaq et al. (2012) destacam que a utilização do SIG foi essencial para a conclusão do trabalho de avaliação do risco de contaminação das águas subterrâneas utilizando-se diferentes modelos.

Este trabalho tem o objetivo avaliar a vulnerabilidade do aquífero livre na Sub-Bacia do Rio Coxim - MS, através da utilização de dois modelos: GOD (Foster & Hirata, 1988) e EKv (Auge, 2004). A pesquisa ganha importância considerável, pois a área de estudo é utilizada como fonte de água para abastecimento público do Município de São Gabriel do Oeste e do assentamento Campanário, o qual abriga famílias dependentes diretamente da água dos poços para sobrevivência. Além disso, essa área é apontada como área de recarga do Sistema Aquífero Guarani por estar localizada na borda noroeste da Bacia Sedimentar do Paraná (Gastmans, 2007).

MATERIAIS E MÉTODOS

Para a realização deste trabalho foram utilizadas diversas informações vetoriais como a geologia e os solos (ZEE, 2003), e também informações coletadas durante trabalho de campo, como a profundidade do lençol freático e a condutividade hidráulica. Sendo os *softwares* Geomática Focus (PCI, 2003) e o ArcGIS 10 (ESRI, 2010) utilizados no processamento dos dados.

Caracterização da área de estudo

A área de estudo compreende a Sub-Bacia do Rio Coxim (Figura 1), localizada próxima ao Município de São Gabriel do Oeste, em Mato Grosso do Sul. Essa região caracteriza-se por ser uma das regiões mais submetidas à expansão agrícola, do Estado, além de abrigar o assentamento rural Campanário, o qual possui aproximadamente 130 famílias.

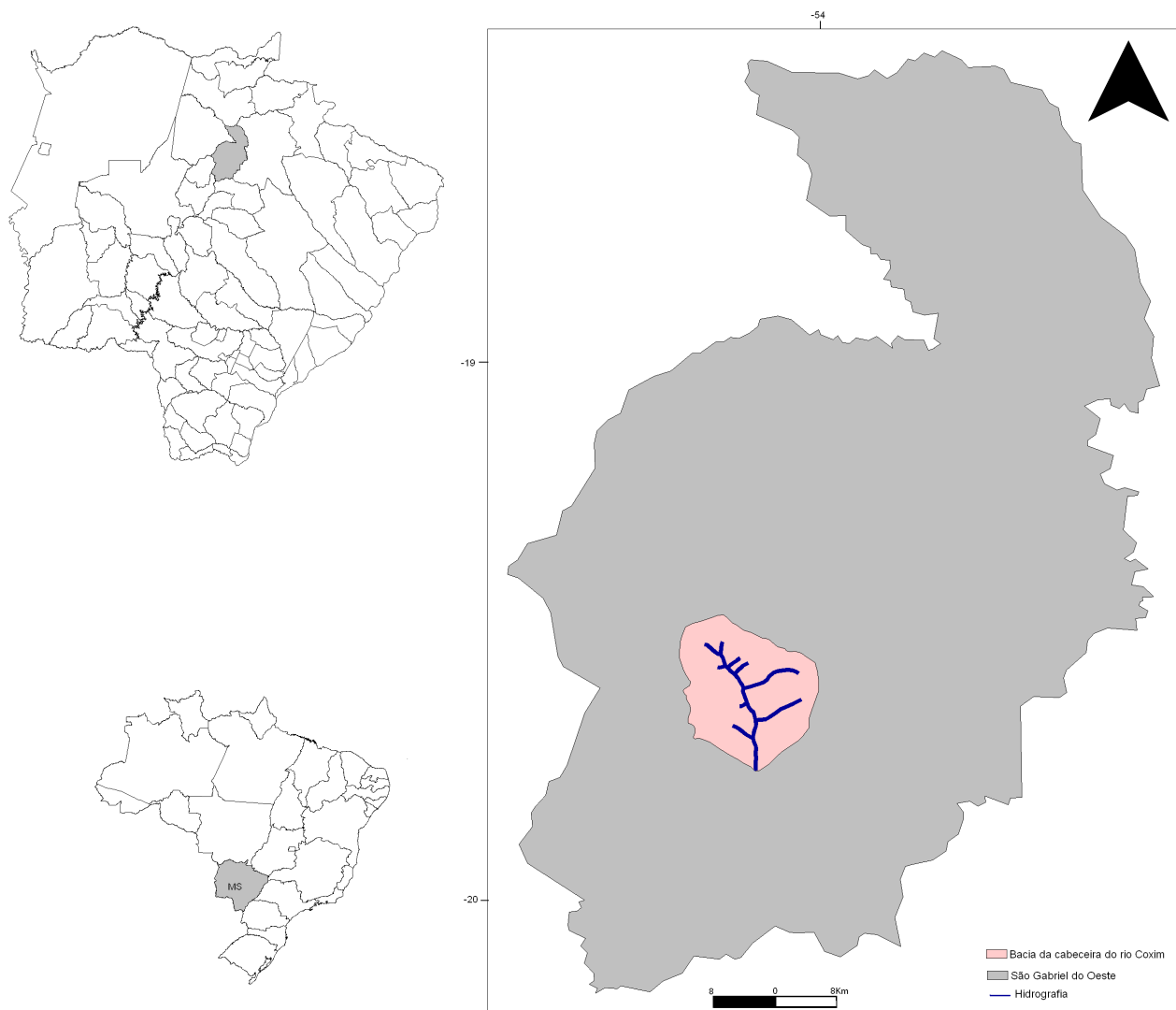


Figura 1. Localização geográfica da Bacia da Cabeceira do Rio Coxim.

Unidades Aflorantes

O município de São Gabriel do Oeste-MS situa-se no domínio da Bacia Sedimentar do Paraná. Trata-se de uma seqüência de rochas sedimentares e vulcânicas de origem continental (ZEE,2003).

A litologia presente na Sub-Bacia da Cabeceira do Rio Coxim, apresenta o predomínio de rochas sedimentares, a presença de depósitos de variadas constituições além de depósitos sedimentares cenozóicos incosolidados (Moreira, 1997).

As coberturas detrito-lateríticas recobrem a área caracterizam-se por ser de resistência moderada, mantendo-se mais estáveis em função da presença de níveis lateríticos e concrecionários de alta resistência à erosão, formada pelo tipo de rocha sedimentar (ZEE, 2003).

A Figura 2 apresenta a geologia da área. Observa-se a distinção da cobertura detrito-

laterítica (distinguida pelos sedimentos arenosiltosos e conglomeráticos, cones de dejeção coalescentes, aluviões e eluviões – TQd). As coberturas Paleógeno, diferenciam-se através das argilas de cores variegadas, concreções limonícas, lateritos ferruginosos (Tdl1), e as de cobertura Néogeno, que originam os solos argilo-arenosos com concreções ferruginosas e blocos de laterita (Tdl2). Próximos à drenagem, encontram-se os aluviões holocênicos formados por areia fina a média (Ha) (ZEE, 2003).

Solos

O solo presente na área de estudo são os Latossolos Vermelhos distróficos com textura argilosa e muito-argilosa. No entorno da rede de drenagem apresentam-se os Gleissolo Háptico em área de várzeas, sendo mal drenado e de coloração acinzentada (ZEE, 2003).

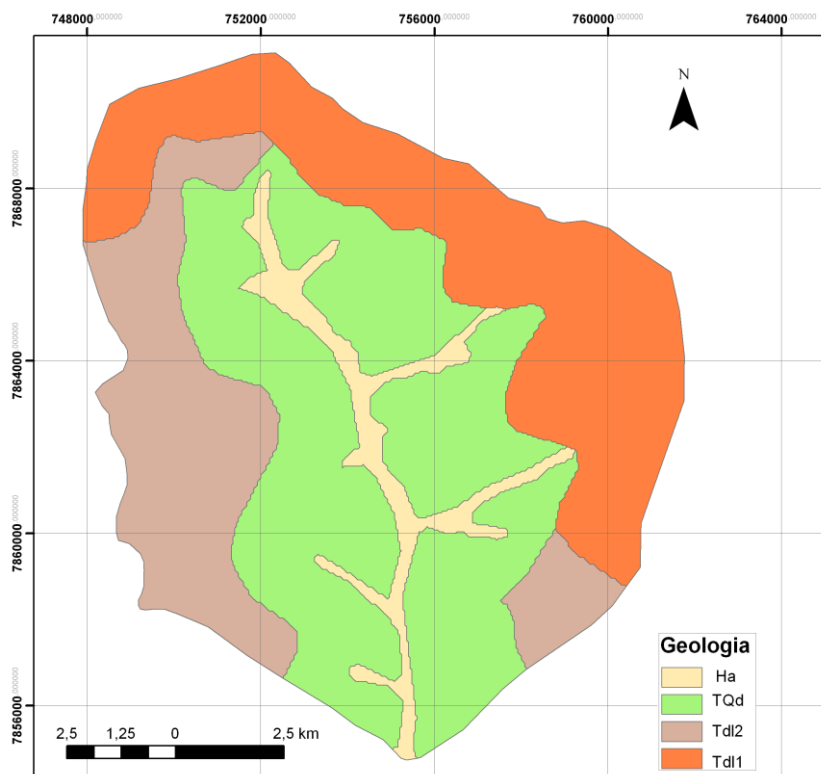


Figura 2. Mapa de geologia da sub-bacia do Rio Coxim (ZEE, 2003).

Geomorfologia

A sub-bacia está inserida na unidade geomorfológica denominada de Chapadão, distinta por níveis concrecionários lateríticos e relevo plano. O aquífero alvo de investigação é caracterizado como livre, com porosidade intergranular, compreendido pelos sedimentos da cobertura detrítico-laterítica acima do aquífero Guarani (Lastoria et al., 2011b).

Modelo GOD

O índice GOD é calculado baseando-se em três parâmetros de confinamento do aquífero: a ocorrência do aquífero (G), a natureza litológica do aquífero (O) e a profundidade até o nível freático (D) (Foster & Hirata, 1988). Seus pesos são visualizados na Tabela 1. O produto dos pesos de cada parâmetro resulta no índice final, o qual varia de 0,0 (desprezível) até 1,0 (extrema), estimando-se assim a vulnerabilidade do aquífero.

Tabela 1. Parâmetros e pesos do modelo GOD (Foster et al., 2002).

GOD			
Ocorrência do Aquífero G		Litologia O	Peso
Ausência	0	Argilas	0,3
Confinante Artesiano	0	Solos residuais	0,4
Confinante	0,2	Siltes Aluvial, folhelhos	0,5
Semiconfinado	0,4	Depósito flúvio glacial, siltitos tufo vulcânicos, formações magmáticas, metamórficas e vulcânicas antigas	0,6
Não Confinado (coberto)	0,6		
Não Confinado	1		
Profundidade D (m)	Peso	Areia cascalho, arenitos vulcânicos	0,7

> 50	0,4	Areia eólica, carbonatitos e calcários, lava vulcânica recente	0,8
20 a 50	0,6	Cascalho coluvial	0,9
5 a 20	0,8	Calcrete + Calcário cárstico	1
<5	1		

Os pesos para cada parâmetro foram atribuídos de acordo com as características da área de estudo e levando-se em consideração que o aquífero tratado é não confinado. Para a avaliação do grau de consolidação, diferenciaram-se as litologias entre areias finas e médias localizadas próximas à rede hidrográfica atribuindo-se o peso 0,7. As coberturas detrítico-laterítica foram distinguidas em sedimentos areno-siltosos (peso 0,5) e em argilo-arenosos (peso 0,4).

A profundidade da água no aquífero corresponde à distância que o contaminante terá de percorrer para alcançar a zona saturada do aquífero. Esse parâmetro foi analisado segundo os dados levantados por meio de sonda elétrica nos 22 poços visitados nas propriedades rurais no período de seca (mês de setembro). Esse

equipamento ao entrar em contato com a lâmina d'água emite um sinal, identificando o nível estático.

Modelo EKv

Auge (2004) desenvolveu um índice de avaliação para aquífero livre, o qual leva em consideração o grau de proteção natural ou defesa natural. O índice EKv é baseado em dois parâmetros: a profundidade da superfície freática (E) e a condutividade vertical da zona não saturada (Kv). Para ambos, os índices variam de 1 a 5, de menos a mais vulnerável, respectivamente (Tabela 2). O resultado da somatória dos valores resulta entre 1 (muito baixa) até 10 (alta), quantificando, assim, a vulnerabilidade intrínseca.

Tabela 2. Parâmetros e pesos do modelo EKv (Auge, 2004).

EKv			
Espessura E (m)	Peso	Condutividade Hidráulica Kv (m/d)	Peso
>30	1	< 1,10 ⁻³	1
De 10 a 30	2	>1,10 ⁻³ a 0,01	2
De 5 a 10	3	> 0,01 a 1	3
De 2 a 5	4	>1 a 50	4
< 2	5	50 a 500	5

A profundidade da superfície freática foi obtida, como já mencionado, na elaboração do índice GOD. A diferença foi apenas o enquadramento dos pesos propostos pelo EKv (Auge, 2004). A condutividade vertical da zona não saturada foi obtida por meio do método do poço acima do lençol freático (poço invertido) conforme a metodologia de Canduro & Dorfman (1996), a qual consiste em fazer uma abertura de cerca de 1m de altura e 0,075m de diâmetro no solo e completá-la com água. Com o aparelho de medição das mudanças de nível

de água é realizada a leitura dos diferentes níveis registrados em determinados intervalos de tempo, determinando assim a profundidade. Em seguida, realizou-se o cálculo da velocidade de percolação da água no solo.

Para os diferentes tipos de solos verificados na bacia de estudo realizaram-se 8 ensaios para a obtenção da condutividade vertical (Kv). Todos resultaram na mesma faixa de classificação para o modelo EKv (entre 1 a 50 m/d de condutividade). Com isso, atribuiu-se o peso 4 esse parâmetro.

Álgebra de Mapas

O mapeamento da vulnerabilidade do aquífero pelos modelos GOD e EKV foram realizados através do cruzamento dos parâmetros avaliados por meio da técnica de álgebra de mapas no ArcGis 10 (ESRI, 2010).

Ribeiro *et al.* (2001) realizaram a modelagem da vulnerabilidade do aquífero da Sub-Bacia do Rio Siriri em Sergipe em um SIG. Para tanto, empregaram a álgebra de mapas dos planos de informações, reclassificados com os valores aplicados aos índices GOD.

No presente estudo, foram atribuídos pesos para cada nível de informação requisitada em cada um dos modelos trabalhados. Com o uso de operadores específicos (adição e multiplicação), realizou-se a álgebra de mapas para a confecção das cartas temáticas.

Interpolação espacial e a construção do mapa da profundidade até nível freático

Na campanha de campo realizada no final do período de seca foram obtidas informações do

nível estático de 22 poços e das cotas da superfície do terreno com suas coordenadas geográficas. Em laboratório, através do método da krigagem, interpolaram-se os dados através do *software Geomatica Focus* (PCI, 2003), o que resultou em dois modelos digitais em formato raster, sendo um da topografia e o outro de piezometria.

Com o uso da ferramenta “*raster calculator*” disponível nesse mesmo *software* realizou-se a subtração dos modelos da topografia e da piezometria do aquífero, gerando-se assim o modelo da espessura da zona não saturada, ou seja, a profundidade até o nível freático no aquífero não confinado.

A partir da aplicação do algoritmo “*contour*” foram extraídas as curvas de nível do modelo da espessura da zona não saturada. O resultado é um arquivo em formato vetorial das linhas equipotenciais de profundidade. A Figura 3 demonstra em forma gráfica o processamento para a obtenção do mapa da profundidade até o nível estático do aquífero.

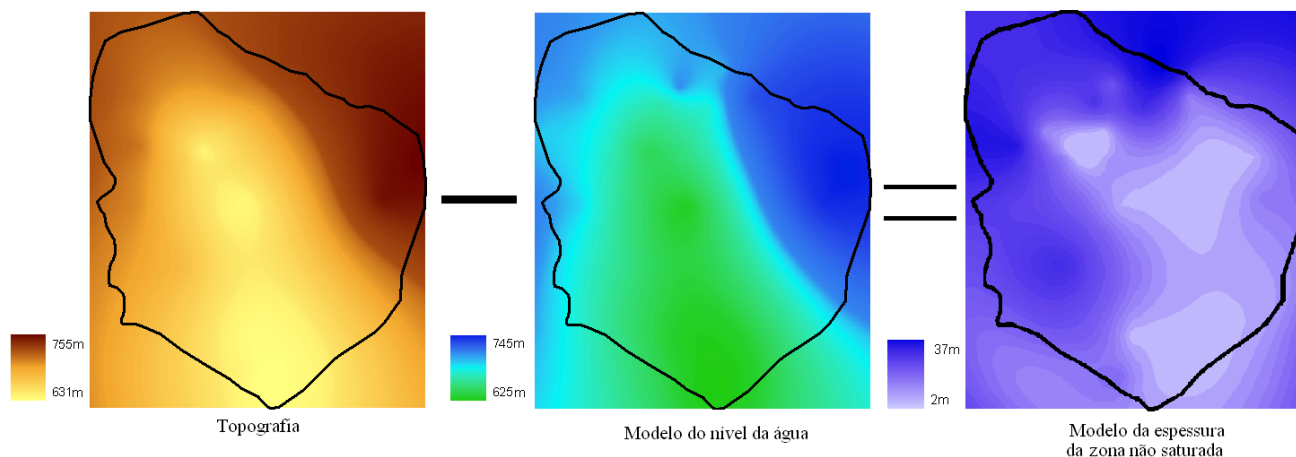


Figura 3. Apresentação gráfica da metodologia na obtenção do modelo da espessura da zona não saturada (profundidade até o nível estático).

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados do levantamento de campo sobre o nível estático dos 22 poços são apresentados na Tabela 3. Observa-se que o parâmetro da espessura da zona não saturada apresenta nomenclatura diferente nos dois modelos, mas com a mesma significância na avaliação.

A Tabela 4 apresenta os resultados obtidos para a condutividade hidráulica vertical. Percebe-se que para o índice EKV este parâmetro enquadra-se em uma mesma classe de peso 4, contribuindo assim para a elevação do índice de vulnerabilidade.

Tabela 3. Localização geográfica (longitude, latitude) dos poços levantados e os respectivos níveis estáticos (NE).

Poços	longitude (m)	latitude (m)	NE (m)	Poços	longitude (m)	latitude (m)	NE (m)
1	756981,4	7867654	8,15	12	751965,7	7865164	6,93
2	755743,8	7868803	38	13	751895,1	7865319	5,77
3	755071,5	7867182	22	14	752537,7	7865388	0,79
4	753871,6	7868060	12,52	15	753807,7	7864887	6,86
5	753156	7867366	20,14	16	759600,6	7865142	4,91
6	753522,8	7866156	4,21	17	759950,6	7863404	8,44
7	751046,9	7866147	7,33	18	755185,1	7855711	5,5
8	749964,6	7865559	26	19	754155,2	7856092	10
9	748307,1	7866114	26,32	20	754745,7	7857757	4,14
10	749845,3	7867586	20,65	21	751785,8	7860653	22
11	751848,2	7865089	8,33	22	749762,7	7863157	16,75

Tabela 4. Localização geográfica (longitude, latitude) e valores da condutividade hidráulica vertical (Kv).

X (m)	Y (m)	Kv (m/dia)
752636,1	7859995,6	3,14
750135,9	7862662,3	1,2
749535,9	7868095,9	10,20
755069,5	7858162,2	2,94
760903,1	7862895,7	3,48
757269,6	7867829,3	14,13
754536,1	7866495,9	11,3
752436,1	7865562,5	4,33

A Figura 4 apresenta o resultado do mapeamento para o modelo GOD obtiveram-se três classes de vulnerabilidade: baixa, média e alta.

O modelo GOD identificou as áreas mais vulneráveis como aquelas que caracterizam as áreas úmidas. Estas áreas ocorrem onde o lençol freático é superficial, especialmente em áreas de nascentes, nas encostas e nos fundos dos vales, envolvendo as matas de galeria, e em solos hidromórficos, gleis e orgânicos turfosos (Ribeiro & Walter, 1998). Portanto, as áreas de veredas se desenvolvem em regiões nas quais o lençol freático é raso. Por esse motivo, serão distinguidas como mais vulneráveis devido a menor profundidade do nível freático.

O modelo EKv discriminou apenas duas classes: média e alta (Figura 5). Indica como mais vulnerável as área que apresentaram a menor profundidade freática, essas não são

localizadas apenas na porção da rede hidrográfica, mas também no leste da bacia hidrográfica, proposto pelo modelo.

O aquífero em toda Sub-Bacia do Rio Coxim é considerado livre. Portanto, o grau de confinamento integrante do modelo GOD é homogêneo para toda área de investigação. Consequentemente, a modelagem da vulnerabilidade é determinada pelos parâmetros da espessura da camada não saturada e a litologia. Entre esses, a profundidade ganha maior significância nos resultados devido à pequena variação do outro atributo (Pontes et al., 2009). Já para o modelo EKv, a condutividade hidráulica vertical é a mesma para toda a área de estudo, assim a espessura da camada não saturada é o parâmetro decisivo para a vulnerabilidade. A comparação entre o percentual de área vulnerável é demonstrado na Figura 6.

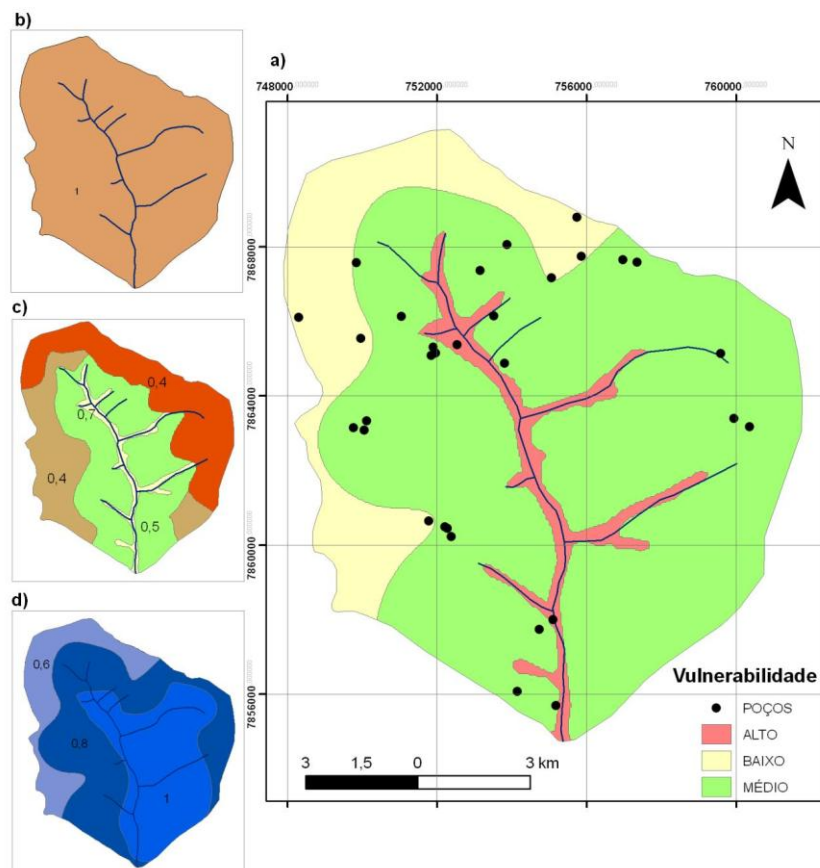


Figura 4. Mapa de vulnerabilidade intrínseca pelo modelo GOD, a) Mapa Índice de Vulnerabilidade e os poços; b) Ocorrência do Aquífero (G); c) Litologia (O) e d) Distância da profundidade do lençol freático (D).

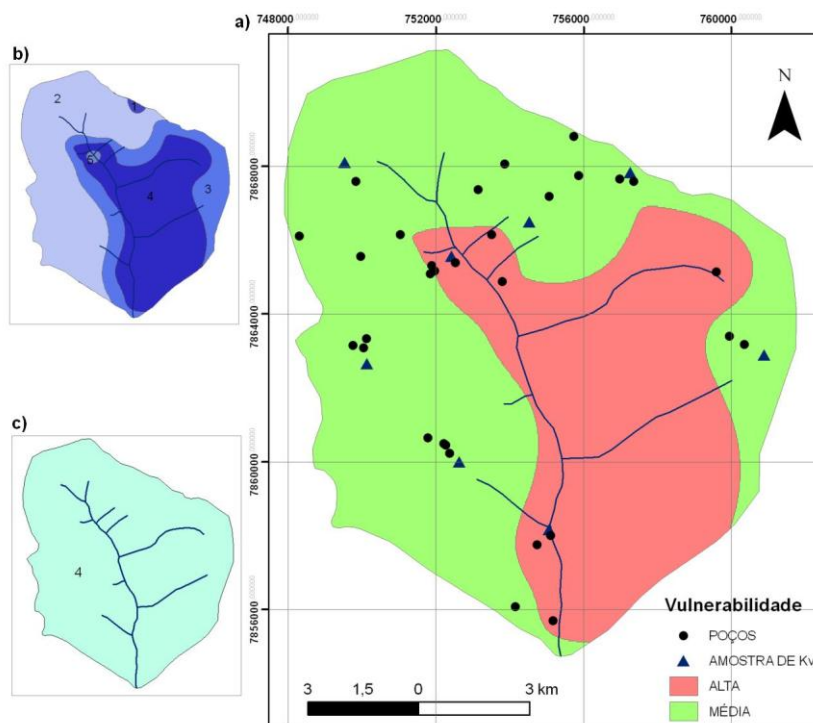


Figura 5. Mapa de Vulnerabilidade intrínseca pelo modelo EKv, a) Mapa Índice de Vulnerabilidade e os poços; b) Espessura da zona não saturada (E) e c) condutividade vertical (Kv).

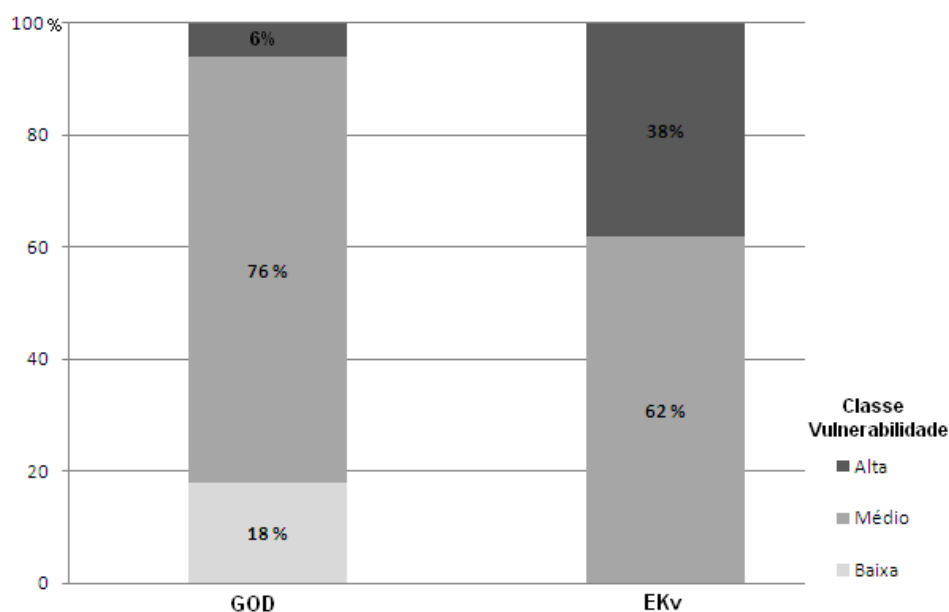


Figura 6. Gráfico de comparação das classes de vulnerabilidade entre GOD e EKv.

Ao confrontar os resultados dos modelos GOD e EKv, a vulnerabilidade média encontrada é de 76% e 62%, respectivamente. A espessura da zona não saturada é inversamente proporcional ao volume de chuva e a condutividade é diretamente proporcional ao volume infiltrado de chuva. Estas condições ressaltam que a modelagem do aquífero livre foi realizada no cenário de menor

vulnerabilidade, pois as análises dos dados foram da estação seca do ano.

Constata-se que a modelagem da vulnerabilidade pelos dois modelos com o emprego do SIG, proporcionou um espaço eficiente para análise. De acordo com Margat et al. (2006), esta tecnologia é fundamental para o planejamento e a forma de gestão dos recursos naturais, em particular os recursos hídricos.

AVALIAÇÃO ENTRE A VULNERABILIDADE E AS POLÍTICAS PÚBLICAS

O Município de São Gabriel do Oeste apresenta o Zoneamento Agroecológico (Embrapa, 2003) como um dos instrumentos para o planejamento ambiental. Diante disso, a Sub-Bacia do Rio Coxim encontra-se na zona denominada Chapadão de São Gabriel do Oeste, uma região representada pelo seu elevado potencial de uso agrícola. Os níveis de aplicação de insumos da agricultura mecanizada praticada nesse local viabilizam a redução dos desvios pela deficiência de nutrientes dessas terras. Logo, deve-se ter o cuidado no emprego dos fertilizantes, pois a área em sua maior parte encontra-se na classe de média vulnerabilidade, conforme obtido pelos modelos utilizados, indicando a necessidade de atenção para a gestão do aquífero.

O Zoneamento do Município descreve o diagnóstico do meio físico apenas no enfoque

da vulnerabilidade ambiental, a qual leva em consideração a estabilidade do meio através da aferição do balanço entre morfogênese e pedogênese, sendo possível qualificar a ecodinâmica das paisagens, conforme o princípio preconizado por Tricart (1977). Em nenhum momento o Zoneamento trata da vulnerabilidade do recurso hídrico subterrâneo, assim existe a necessidade de levar em consideração os aspectos intrínsecos do aquífero.

A Lei Federal nº 10.257, conhecida como o Estatuto das Cidades, (Brasil, 2001) prevê o Plano Diretor como instrumento básico para orientar a política de desenvolvimento e de ordenamento da expansão urbana do município, portanto esses planos são norteadores para o desenvolvimento na esfera municipal atesta Fonseca & Matias (2013).

São Gabriel do Oeste, em seu Plano Diretor (2006), apresenta como objetivos da política de saneamento básico, a garantia do abastecimento de água potável. Sua política municipal de recursos naturais visa promover a conservação, proteção, recuperação e o uso racional do meio ambiente através de normas de incentivos e restrições ao uso e ocupação. Visando a sustentabilidade, como mecanismo de implementação desta política tem-se como uma das estratégias a criação do programa de estudo e proteção do lençol freático, considerando como destaque o Aquífero Guarani.

Além disso, a política de gestão municipal especifica que o planejamento deve ser dado através do Sistema de Informações Geográficas, por oferecer um ambiente com a integração e o tratamento dos vários dados espaciais de controle do Município, prevendo mapas de

informações urbanas e rurais (Plano Diretor, 2006).

Entre as várias estruturas apresentadas no Plano Diretor, observa-se que o presente estudo vai ao encontro delas, uma vez que o mapeamento da vulnerabilidade do aquífero interage com o gerenciamento no fornecimento de água potável, pois os poços são as principais fontes de abastecimento à cidade.

Outro quesito atendido, de forma direta, é o intercâmbio com o programa de estudo e proteção do lençol freático. Além disso, a análise da vulnerabilidade do aquífero foi implementada em SIG, onde os mapas de informações gerados no presente estudo serão disponibilizados para o Município de São Gabriel do Oeste, visando agregar a base de dados geoespacial municipal.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A modelagem da vulnerabilidade da Sub-Bacia do Rio Coxim por meio dos modelos propostos GOD e EKv utilizando um Sistema de Informação Geográfica, proporcionou um espaço eficiente na análise das características intrínseca do aquífero, desta forma o objetivo da pesquisa foi atingido.

O uso do SIG como ferramenta no desenvolvimento da metodologia é de grande importância e comprovou o que já se esperava a elevada capacidade de lidar com os dados espaciais. Observou-se para a área de estudo que o modelo EKv apresenta diferenciação apenas no parâmetro espessura da zona não saturada (E). Em contrapeso, o GOD apresenta distinção na litologia (O) e profundidade do lençol freático (D), resultando nas variações de peso que contribui para o resultado do índice final.

Os resultados obtidos revelam que para os dois modelos empregados a maior parte da área

da sub-bacia enquadra-se como vulnerabilidade média. Logo, aponta a necessidade do desenvolvimento de políticas e ações públicas de gestão e proteção da água subterrânea, assim como, estudos de monitoramento dos riscos de contaminação e de qualidade das águas.

O mapeamento da vulnerabilidade das águas subterrâneas vai ao encontro das Políticas Públicas Ambientais, pois provoca de maneira concreta e direta o alcance de vários objetivos propostos no Plano Diretor, instrumento fundamental no alcance do desenvolvimento sustentável.

Faz-se a ressalva de que o diagnóstico do meio físico no Zoneamento Agroecológico do Município de São Gabriel do Oeste não aborda o tema. Portanto, sugere-se que a avaliação da vulnerabilidade dos recursos hídricos subterrâneos deve ser tratada no Zoneamento a fim de se obter um planejamento de forma integral dos recursos naturais.

AGRADECIMENTOS

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior pela concessão da bolsa à Ciomara de Souza Miranda e ao CNPq pela Bolsa Pq de ACPF (processo 305300/2012- 1).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ALBINET, M. & MARGAT, J. Cartographie de la vulnerabilite a la pollution des nappes d'eausouterraine. Bureau

de Recherches Géologiques et Minières, Series 3(4), p. 13-22, 1970.

2. AI HALLAQ, A. H.; ABUU ELAISH, B. S. Assessment of aquifer vulnerability to contamination in Khanyounis Governorate, Gaza Strip-Palestine, using the DRASTIC model within GIS environment. *Arabian Journal of Geosciences*, v.5, p. 833-847, 2012.
3. ALLER, L.; BENNETT, T.; LEHR, J. H.; PETTY, R. J.; HACKETT, G. Drastic: A standardized system for evaluating groundwater pollution potential using hydrogeologic setting. United States: EPA, 1997. Acessado em 13jun2012.
4. AUGÉ M.; HIRATA R. Y. F.; LÓPEZ V. Vulnerabilidad a La contaminación con nitratos del Acuífero Puelche en la Plata – Argentina. CEAL. v. Inéd, 1 -201p., Madrid, 2003.
5. AUGÉ, M. Vulnerabilidad de Acuíferos. *Revista Latino Americana de Hidrogeología*, n 4, p. 81-84, 2004.
6. BONHAM-CARTER, G.F. Geographic information systems for geoscientists: modeling with GIS. *Computer Methods in the Geosciences*, v.13, p 98-116, 1996.
7. BRASIL. Lei nº 10.257, de 10 de Julho de 2001. Regulamenta os arts. 182 e 183 da Constituição Federal, estabelece diretrizes gerais da política urbana e dá outras providências. DOU de 11/07/2001.
8. CAUDURO, F.A. & DORFMAN, R. Manual de ensaios de laboratório e de campo para
9. irrigação e drenagem. Porto Alegre: PRONI/ IPH-UFRGS, 1986. 216p.
10. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Zoneamento agroecológico do município de São Gabriel do Oeste, MS: referencial para o planejamento, gestão e monitoramento ambiental. Rio de Janeiro, 2003.
11. ESRI - Environmental Systems Research Institute. **ArcGIS Desktop 10**. New York. CD-ROM – 2010.
12. FARJAD B., PIRASTEH, SHAFRI S., MOHD H. Z. B, WIJESKARA, MOHAMED N., AHMED T. Groundwater intrinsic vulnerability and risk mapping. *Water Management*, v.165, p 441-450, 2012.
13. FERREIRA, J. P. C. Vulnerabilidade à poluição de águas subterrâneas: fundamentos e conceitos para uma melhor gestão e proteção dos aquíferos de Portugal. IV Congresso da Água. Associação Portuguesa dos Recursos Hídricos, Lisboa, 1998.
14. FOSTER S, HIRATA R. Groundwater pollution risk assessment: a methodology using available data. WHO-PAHO-CEPIS, Lima, 1988.
15. FOSTER S, HIRATA R, GÓMEZ D, D'ELIA M, PARIS M. Ground water quality protection: a guide for water utilities, municipal authorities, and environment agencies. The World Bank, Washington, DC, 104 p., 2002.
16. GASTMANS, D. Hidrogeologia e hidroquímica do Sistema Aquífero Guarani na porção ocidental da Bacia Sedimentar do Paraná. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências de Ciências Exatas, UNESP-Rio Claro, 238p., 2007.
17. IG/CETESB/DAEE. Mapeamento da vulnerabilidade e risco de poluição das águas subterrâneas no Estado de São Paulo. IG; CETESB, 129p., 1997.
18. LASTORIA, G.; GABAS, S. G.; BERGIER, I.; MIRANDA, C. de S.; de SOUZA, A.; SANTOS, T. H. L.; MACHADO, C. D. A gestão do SAG na borda oeste da bacia sedimentar do Paraná no Estado de Mato Grosso do Sul. Conferência Internacional Gestão do Sistema Aquífero Guarani. USP: São Paulo, SP. 2011b.
19. LE GRAND, H. System for evaluating contamination potential for some waste sites. *American Water Work Association Journal*. v.56 (8):p. 959-974, 1964.
20. MADAN KJ, CHOWDHURY A, CHOWDARY VM, PEIFFER S. Groundwater management and development by integrated remote sensing and geographic information systems: prospects and constraints. *Water Resour Manag* , v. 21, p. 427–467, 2006.
21. MADAN K.J., CHOWDHURY A., CHOWDARY V.M., PEIFFER S. Groundwater management and development by integrated remote sensing and geographic information systems: prospects and constraints. *Water Resour Manag* , v. 21:, p. 27–467, 2006.
22. MARGAT, J. Vulnerabilité des nappes d'eau souterraine à la pollution [Contamination vulnerability mapping of groundwater]. Bureau de Recherches Géologiques et Minières, p. 68, Orleans, 1968.
23. MOREIRA, M. L. O. Estudos geológicos do Município de São Gabriel do Oeste - MS. Goiânia, 1997. 20 p. Relatório interno Embrapa / IBGE. Digitado.
24. PCI GEOMATICS. Geomatica version 9.1. Ontário – Canadá. 2003. CD-ROM.
25. PONTES C. H. C, LASTORIA G., PARANHOS, A. C. F, GABAS, S. G, OLIVEIRA, P. T. S. Determinação da Vulnerabilidade do Aquífero Basáltico no Campus da UFMS, em Campo Grande – MS, *Águas Subterrâneas*, v.23, n.01, p.105-120, 2009.
26. RIBEIRO, M. D., ROCHA, W. F., GARCIA, A. J. V. Vulnerabilidade Natural à Contaminação dos Aquíferos da Sub-bacia Do Rio Siriri, Sergipe. *Águas Subterrâneas*, v.25, n.1, p.91-102, 2011.
27. RIBEIRO, J. F. & WALTER, B.M.T. Fitofisionomias do Bioma Cerrado. In: S.M. Sano & S.P. de Almeida (eds.). *Cerrado: Ambiente e Flora*. Planaltina, EMBRAPA-CPAC, p. 98-166, 1998.
28. TRICART, J. *Ecodinâmica*, Rio de Janeiro: IBGE-SUPREN, 91p, 1977.
29. WANG, J. HE, J. CHEN H. Assessment of groundwater contamination risk using hazard quantification, a modified DRASTIC model and groundwater value, Beijing Plain, China. *Science of the Total Environment*, v. 432, p. 216-22, 2012.
30. WHO – World Health Organization. Protecting groundwater for health – Managing the quality of drinkingwater sources. 155p., 2006.
31. ZEE – Zoneamento Agroecológico do Município de São Gabriel do Oeste, MS: referencial para o planejamento, gestão e monitoramento ambiental/ Déa Souza Assis ...[et al]. Rio de Janeiro: Embrapa Solos. IBGE, 2003.

*Manuscrito recebido em: 02 de Abril de 2014
Revisado e Aceito em: 28 de Abril de 2015*