

APLICAÇÃO DO MÉTODO GOD PARA AVALIAÇÃO DE VULNERABILIDADE DE AQUÍFERO LIVRE EM BACIA HIDROGRÁFICA

Carla Sales Polon Batista¹; Gabriela Chiquito Gesualdo¹; Pamela Cristine Colla Leite¹; Giancarlo Lastoria²; Sandra Garcia Gabas²; Guilherme Henrique Cavazzana³; Juliana de Mendonça Casadei³; Tamiris de Souza Azoia³

Resumo – A avaliação da vulnerabilidade natural de aquíferos é um estudo de suma importância para o conhecimento de áreas sujeitas à contaminação, principalmente em regiões que possuem relevância econômica e ambiental para a sociedade. A Área de Proteção Ambiental do Córrego Guariroba possui um aquífero livre que recarrega um dos principais mananciais de abastecimento da cidade de Campo Grande – MS. Dentre as diversas metodologias para o cálculo do índice de vulnerabilidade, este trabalho utilizou o modelo GOD, baseado na interpolação dos dados de litologia, profundidade até o lençol freático e grau de confinamento da água subterrânea. O índice da escala GOD varia entre 0 e 1 sendo o mínimo qualificado como vulnerabilidade insignificante e o máximo como extrema. Neste estudo foram determinadas vulnerabilidade média e alta presente no aquífero livre Bauru, aflorante na bacia do Córrego Guariroba. A espacialização destes dados foi realizada em SIG por meio do software livre Quantum GIS 2.4.

Abstract – The evaluation of natural vulnerability of aquifers is a study of paramount importance for the understanding of areas subject to contamination, especially in regions with economic and environmental importance to society. The Environmental Protection Area Córrego Guariroba has an unconfined aquifer recharging a major supply sources in Campo Grande - MS. There are several methods for calculating the vulnerability index, among them the GOD method by interpolation of data lithology, depth to groundwater and degree of confinement of underground water. The content of GOD scale ranges between 0 and 1 being the least qualified as insignificant vulnerability and the most as extreme vulnerability. This study found qualifications average and high vulnerability present in unconfined Guariroba aquifer. The spatial distribution of these data was performed in GIS through free software Quantum GIS 2.4.

Palavras-Chave – a) Vulnerabilidade natural b) Aquífero Bauru c) APA do Guariroba

¹Alunas de PIBIC – UFMS/FAENG

²Professores da UFMS/FAENG – Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Ambientais - PGTA

³Alunos de Pós-Graduação em Tecnologias Ambientais - PGTA

Laboratório de Águas Subterrâneas e Áreas Contaminadas – Faculdades de Engenharias, Arquitetura e Geografia - FAENG, FONE (67) 3345-7492, FAX (67) 3345- 7450, carlapolon@gmail.com

1 – INTRODUÇÃO

A exploração excessiva dos recursos hídricos subterrâneos, a ocupação irregular do solo e o descumprimento de normas legais põem em risco a qualidade natural das águas subterrâneas. Eventuais poluentes lançados na superfície têm meio favorável de percolação e podem atingir os aquíferos. Se houver a participação do aquífero na vazão de base da drenagem superficial, pode afetar também a qualidade do manancial (Ribeiro *et al.*, 2011).

Dentro deste contexto, a vulnerabilidade é entendida como a suscetibilidade dos aquíferos serem afetados por cargas contaminantes de origem antrópica (Feitosa *et al.*, 2008). Dá-se basicamente em função da facilidade dos contaminantes transpor a zona não-saturada do solo, cujas características de ordem física e química, associadas às características do contaminante, resultará na capacidade de atenuar, reter ou eliminar os contaminantes antes de atingir os aquíferos.

A Área de Proteção Ambiental (APA) dos mananciais do Córrego Guariroba, pertencente ao município de Campo Grande em Mato Grosso do Sul é uma importante reserva de água para a região, uma vez que este manancial abastece cerca de 50% da população, operados pela concessionária Águas Guariroba S.A. Com área total aproximada de 36.190 ha e distante 35 Km do centro da capital, o território da APA é caracterizado essencialmente pela ocupação rural, com propriedades voltadas à pecuária extensiva. Mais de 82% do território da APA é ocupado por pastagens, em processo de substituição por silvicultura de eucalipto (Campo Grande, 2008).

Em associação às formações geológicas verificadas na APA do Guariroba, pode-se individualizar três sistemas aquíferos, um deles vinculado aos basaltos da Formação Serra Geral, outro aos arenitos da Formação Botucatu e, por último, às rochas sedimentares do Grupo Bauru. O sistema aquífero basáltico é descontínuo, anisotrópico e fraturado e encontra-se sobreposto ao sistema Botucatu, também conhecido como Aquífero Guarani. Sobre o sistema basáltico encontra-se o sistema aquífero Bauru que é heterogêneo, contínuo, anisotrópico e livre (Campo Grande, 2008).

Considerando a relevância socioeconômica da APA do Córrego Guariroba, observou-se a necessidade de avaliar a vulnerabilidade natural à contaminação do aquífero livre em sua extensão. Trabalhos desta natureza têm sido largamente realizados no mundo todo (Afonso *et al.*, 2008; Almarsi, 2008; Awawdeh e Nawafleh, 2008; Thirumalaivasan e Karmegam, 2011) e no Brasil (Hirata *et al.*, 1991; Cutrim e Campos, 2010; Muradás *et al.*, 2010; Barboza *et al.*, 2007) com o objetivo de criar mecanismos de gestão e controle dos recursos hídricos.

Vários métodos para determinação de vulnerabilidade de aquíferos já foram estudados e suas eficácias dependem diretamente da qualidade dos dados necessários para definição dos parâmetros envolvidos (métodos paramétricos). Um dos métodos largamente utilizados é o DRASTIC (Aller *et al.* 1985), contudo, diversos parâmetros devem ser considerados para sua utilização, exigindo assim

abundância de dados-base na região de estudo. Outro método, denominado GOD (Foster e Hirata, 1988), tem se mostrado uma alternativa à ausência de informações preliminares devido à simplificação dos parâmetros. Os métodos de avaliação da vulnerabilidade de aquíferos definem uma escala por grau de suscetibilidade. Essa escala se dá em razão da localidade, e é apresentada na forma de mapas temáticos. A cartografia de vulnerabilidade é uma ferramenta essencial para a exploração de aquíferos e normalmente é o primeiro passo na avaliação do perigo de contaminação de água subterrânea e proteção de sua qualidade (Foster *et al.*, 2003).

Para tanto, o método GOD (Foster e Hirata, 1988) foi escolhido para o cálculo da vulnerabilidade do aquífero livre pertencente a bacia hidrográfica do Córrego Guariroba, em Campo Grande – MS. Este método foi escolhido pela facilidade de determinação de seus parâmetros e pela boa espacialização dos dados em ambiente SIG, Sistema de Informações Geográficas.

A vulnerabilidade pode ser representada na forma de mapas, permitindo aos órgãos gestores, uma melhor avaliação das propostas de desenvolvimento aliada ao controle da poluição e monitoramento da qualidade da água subterrânea (Ribeiro *et al.*, 2011).

Assim, este trabalho teve como objetivo principal apresentar o mapa de vulnerabilidade à contaminação do aquífero livre da bacia do Córrego Guariroba, a partir da aplicação do método GOD (Foster e Hirata, 1988). Buscou-se também determinar as principais atividades antrópicas presentes na bacia e gerar informações para embasar medidas preventivas de controle de uso e qualidade das águas subterrâneas, bem como, contribuir com a gestão dos recursos hídricos locais.

2 – OBJETIVOS

Análise da vulnerabilidade natural do aquífero livre Bauru da APA do Guariroba, por meio do mapa de vulnerabilidade gerado através do método GOD. Também realizou-se o levantamento de dados da bacia hidrográfica de estudo, a caracterização da área e do aquífero Bauru, assim como as atividades antrópicas presentes na APA.

3 – MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 – Área de estudo

A área de abrangência do estudo compreende a bacia hidrográfica do Córrego Guariroba, localizada no município de Campo Grande, entre os paralelos 20° 28' e 20° 43' S e os meridianos 54° 29' e 54° 11' O, ocupando uma área de 36.190 ha. O clima da região, de acordo com o modelo de classificação climática de Köppen, é do tipo Aw, definido como clima quente e úmido, e apresenta temperaturas elevadas e períodos de chuva bem definidos com média anual de precipitação da ordem

de 1.500 mm, variando de 750 mm a 2.000 mm. Esse tipo climático é ainda definido como clima de Savana, tendo como característica a ocorrência de temperatura do mês mais frio superior a 18° C.

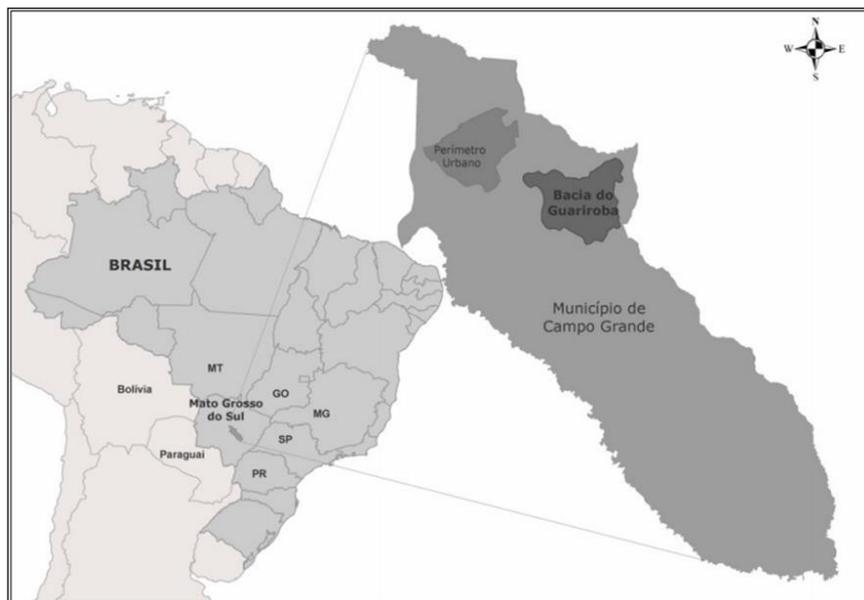


Figura 1. Localização da área de estudo - Bacia Hidrográfica do Córrego Guariroba, Campo Grande - MS (ALVES SOBRINHO, 2010).

3.2 - Geologia e os tipos de solo

A área de estudo é constituída por rochas ígneas e sedimentares mesozóicas da Formação Serra Geral, que é composta por derrames basálticos de coloração cinza e negra e textura afanítica, e da Formação Bauru, formada por rochas sedimentares principalmente arenitos finos com matriz argilosa e por vezes cimentação carbonática, além de sedimentos cenozóicos que formam depósitos aluviais recentes.

A formação rochosa Serra Geral da origem a solos com textura argilosa e muito consistentes. Já os solos de alteração da Formação Bauru são arenosos ou areno-argilosos, variando a fração de finos em consequência da composição dos arenitos. A espessura da alteração é grande formando espessos areões, comumente associados a Neossolos Quartzarênicos, podendo também dar origem a Latossolos Vermelhos textura média.

3.3- Relevo

Os dois tipos de relevo encontrados na APA do Guariroba foram Colinas muito amplas e Planícies fluviais. O primeiro tipo possui formas subniveladas, topos convexos amplos e perfis de vertentes contínuos retilíneos e longos. Vales erosivos e bem marcados no relevo. O padrão de drenagem é sub-dendrítico de baixa densidade sustentado por arenitos da Formação Bauru, e basaltos da Formação Serra Geral. Solos de alteração arenosos e solos superficiais arenosos e areno-argilosos

nos arenitos e argilosos e muito argilosos nas rochas básicas. Já as Planícies fluviais são caracterizadas por áreas planas e inclinadas em direção ao rio, que incluem a planície de inundação, terraços baixos, canais abandonados e alagadiços. Podem apresentar margens abruptas, devido à erosão lateral do canal. Possuem também canais aluviais e em rocha. São estreitas e descontínuas, formadas por areia fina a muito fina, silte, argila e matéria orgânica e camadas de cascalho em arranjos diversos.

Os solos identificados e caracterizados na APA são dos seguintes tipos: Latossolo Vermelho e Neossolo Quartzarênico, que ocorrem nas Colinas muito amplas; Neossolo Quartzarênico hidromórfico ou glêico e eventualmente Neossolos Flúvicos (Solos Aluviais), que se associam às planícies fluviais (Campo Grande, 2008). A tabela 1 apresenta susceptibilidade a ocupação dos relevos Colinas muito amplas e Planícies fluviais, segundo Campo Grande (2008).

Tabela 1: Tipos de relevo e susceptibilidade à sua ocupação (Campo Grande, 2008).

TIPO DE RELEVO	SUSCEPTIBILIDADE À OCUPAÇÃO
Colinas muito amplas	Terrenos com susceptibilidade média a alta a interferência, devido a erodibilidade das coberturas arenosas e a extensão das encostas.
Planícies fluviais	

3.4 – Uso e ocupação do solo

Sob condição natural, os solos da APA apresentam forte limitação ao uso agrícola intensivo, devido principalmente às extensas e contínuas áreas muito arenosas. Solos arenosos, em um perfil com espessura de 2 metros, apresentam baixa capacidade de retenção de água. Outro fator restritivo é o caráter distrófico do solo, isto é, são solos quimicamente pobres, e para sua utilização, exigem uma fertilização intensiva, corretiva e de manutenção.

O potencial máximo de utilização agrônômico da área (em grandes extensões) é essencialmente através de pastagens artificiais e, secundariamente, por plantio de florestas comerciais, em especial o eucalipto. No caso do estado do Mato Grosso do Sul, a ampliação das áreas cultivadas está associada a implantação ou ampliação de usinas de álcool e açúcar para a cana-de-açúcar, ou de indústrias de celulose e siderúrgicas, que utilizam a madeira do eucalipto como insumo.

A classe predominante é a de pastagens, compreendendo cerca de 74% da área total da bacia no ano de 2013, conforme a Tabela 2. Essa informação expõe a influência das atividades agropecuárias na alteração composição da cobertura vegetal da bacia. A diminuição das áreas de pastagem presente na APA deve-se principalmente ao fato da expansão do cultivo de eucalipto, abrindo espaço para a silvicultura.

Conforme Almagro (2015), áreas de solo exposto são notadas na área de estudo, as quais estão em processo de desertificação que, segundo Silva (2013), é uma tendência em áreas de cerrado que

sofrem intenso desflorestamento e atividades agrícolas altamente mecanizadas, principalmente em função do plantio de eucalipto e de pastagens artificiais. Por esse motivo, justifica-se a redução de áreas com restrições legais à ocupação de 2007 para 2013, incluindo as Áreas de Preservação Permanente (APPs).

Tabela 2: Porcentagem da cobertura vegetal das classes Eucalipto, Pastagem e Áreas com restrições legais em 2007 e 2013 (Fonte: Campo Grande (2008) e André Almagro (2015))

COBERTURA VEGETAL	ANO	
	2007	2013
Eucalipto	1,8 %	6,1 %
Pastagem	82,68 %	74,34 %
Áreas com restrições legais à ocupação	21,52 %	19,55 %

3.5 – Programas de incentivo à praticas conservacionistas na APA

Desde de 2010 programas de incentivo à praticas conservacionistas foram implementados na APA. Segundo Pagiola et al (2013) o Programa Manancial Vivo (PMV) é um programa voluntário de restauração do potencial hídrico e do controle da poluição difusa no meio rural e, faz parte do Programa Produtor de Água, da Agência Nacional de Águas (ANA), executado pela Secretaria Municipal de Meio Ambiente e Desenvolvimento Urbano (Semadur). Soma esforços o Programa Água Brasil, uma parceria entre o Banco do Brasil, WWF-Brasil, Fundação Banco do Brasil e Agência Nacional de Águas. Este projeto trabalha na restauração ecológica, conservação de solo, sistema Integração lavoura-pecuária floresta, e implantação de boas práticas agropecuárias. Ambos com a iniciativa de pagamento por serviços ambientais (PSA), que variam de 65 reais ao ano por hectare de pastagem recuperada, até 130 reais ao ano por hectare de floresta protegida. Até julho de 2015, foram contabilizados 462 hectares com boas práticas implementadas, 1.692 hectares com terraceamento, 15.358 hectares com corpos hídricos isolados através de cercamento, 9,2km de estrada recuperada, uma Unidade Demonstrativa de recuperação de pastagem em solos arenosos e uma de modelo produtivo de integração lavoura-pecuária-floresta, dentre outras atividades.

3.6 – Metodologia GOD

Os principais fatores que controlam a vulnerabilidade de um aquífero estão ligados à inacessibilidade hidráulica e a capacidade de atenuação do próprio aquífero. Os dados hidrogeológicos necessários para a composição destes fatores consistem na definição do grau de confinamento do aquífero, na profundidade até o topo do aquífero, umidade da zona não-saturada, condutividade hidráulica da zona não-saturada, assim como a mineralogia completa do aquífero. Entretanto, não são dados facilmente acessíveis, obtendo-se na maioria das vezes somente o tipo de

contaminante subterrâneo, a profundidade até o lençol freático, o grau de consolidação e as características litológicas do aquífero (Foster e Hirata, 1988).

A metodologia GOD foi empregada para avaliação da vulnerabilidade do aquífero livre da região por sua facilidade de aplicação em virtude do reduzido número de parâmetros, que possibilitam seu uso mesmo em situações em que não se tem muita informação disponível e cuja nomenclatura é o acrônimo em inglês de três parâmetros fundamentais:

1. Ocorrência de água subterrânea (*Groundwater occurrence*), onde os valores são obtidos dentro de um intervalo de 0 a 1;
2. Classificação dos estratos acima da zona saturada do aquífero em termos do grau de consolidação e caráter litológico (*Overall aquifer class*) - esta propriedade conduzirá a um segundo ponto na escala de 0,3 a 1,0;
3. Profundidade do topo do aquífero (*Depth to groundwater table*), que definirá o terceiro ponto, na escala de 0,4 a 0,9.

Todos os parâmetros possuem o mesmo nível de importância. Sendo assim, o índice de vulnerabilidade é determinado como a multiplicação dos valores obtidos em cada fator. Pode-se observar na Figura 2 a caracterização das componentes da vulnerabilidade geral do aquífero e suas respectivas escalas.

Os índices GOD foram calculados de acordo com o estabelecido na Figura 2, através da alimentação dos dados obtidos em uma planilha no software EXCEL 2007, com fórmula pronta que multiplica os valores estabelecidos para cada parâmetro, mostrando automaticamente o resultado final. Após esta etapa os resultados foram plotados em mapa de contorno produzido com o uso do software livre Quantum GIS 2.4, o qual realiza a interpolação nas áreas em que não foi calculado o índice, através dos pontos com índice conhecido, permitindo estimar a vulnerabilidade natural do aquífero em toda a área da bacia do Guariroba.

Para a aplicação do método, os dados (grau de confinamento, litologia e profundidade do lençol freático) foram obtidos por meio de pesquisas de campo. Os poços trabalhados neste estudo pertencem às propriedades rurais dentro da APA do Guariroba e totalizam um número de 17 poços tubulares distribuídos pela bacia hidrográfica, como mostra a Figura 3. Os poços de número 12 e 13 foram descartados de análise pois estão localizados além do limite da bacia. O poço de número 09 encontra-se também fora do limite de área da APA, porém está em uma localização estratégica, próxima ao reservatório da bacia do Córrego Guariroba, por isso, o mesmo foi considerado no estudo. Além disso, foram identificados duas surgências que, assim como os poços, foram submetidos à análise. Todos os pontos foram georreferenciados com GPS de alta precisão, obtendo a espacialização correta no mapa.

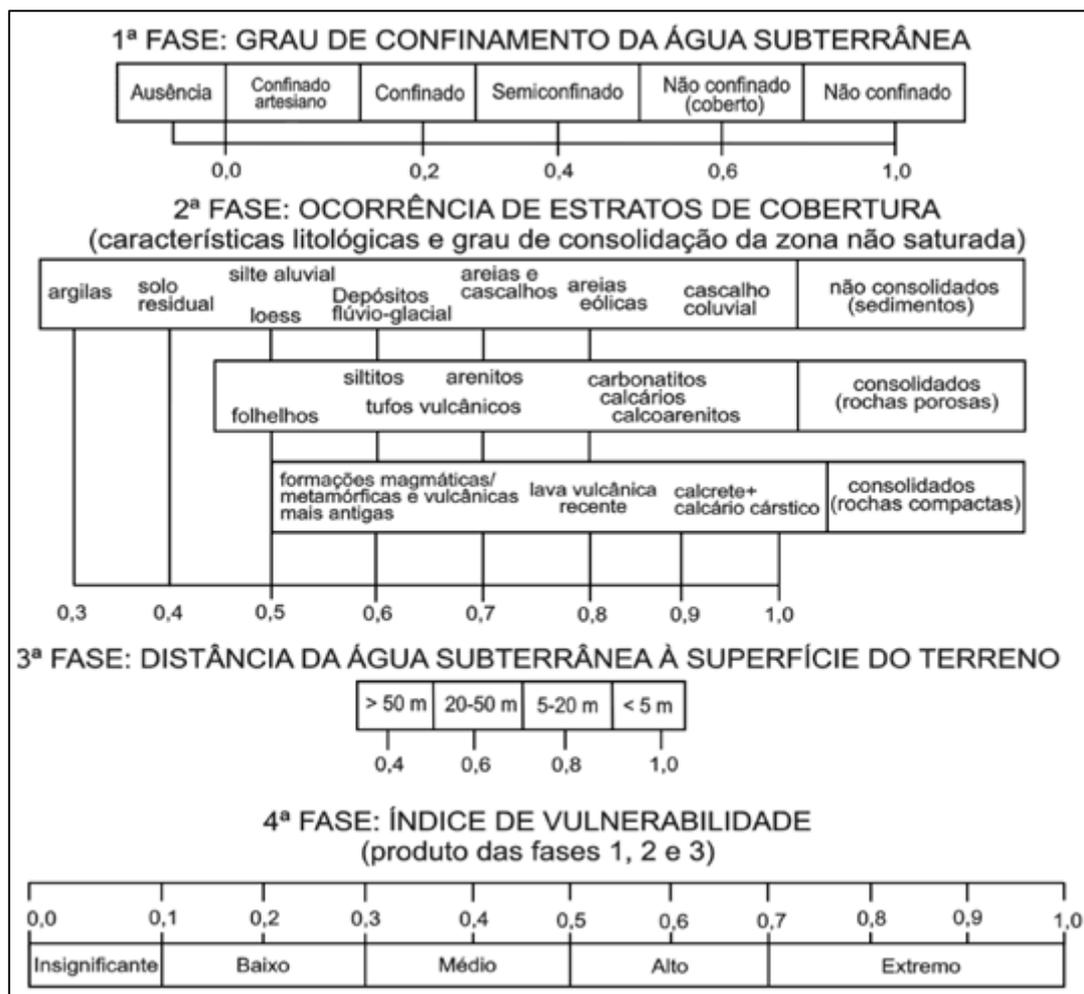


Figura 2: Ilustração do cálculo do método GOD (Fonte: Tavares et al 2009, adaptado de Foster et al 2006)

Para a verificação das ocorrências dos estratos geológicos que envolvem as características litológicas e o grau de consolidação da zona vadosa foram retiradas amostras de solo próximas aos poços de estudos. As amostras foram retiradas com trado de um metro de comprimento, compostas por frações iguais de diferentes alturas do perfil do solo e enviadas a um laboratório especializado para análise. A metodologia utilizada pelo laboratório responsável pela análise é o proposto por Bouyoucos em 1926. Baseia-se no princípio de que a matéria em suspensão (silte e argila) confere determinada densidade ao líquido. Com a ajuda de um densímetro, Bouyoucos relacionou as densidades com o tempo de leitura e com a temperatura, calculando com esses dados a porcentagem das partículas (Embrapa Solos, 2008).

Para a verificação da distância até o topo do lençol freático, isto é, o nível estático (NE), foram instalados tubos-guia com função piezométrica em cada poço de estudo durante os meses de outubro e novembro de 2014. A partir do mês de dezembro foram organizadas campanhas de medição do nível freático com frequência mensal até junho de 2015, a fim de caracterizar a vulnerabilidade geral do aquífero no período chuvoso da região. Uma sonda elétrica medidora de nível foi utilizada neste

processo. Desta forma, obteve-se o nível estático da água subterrânea, que subtraído da altura da boca do poço, resultou-se na profundidade do nível d'água.

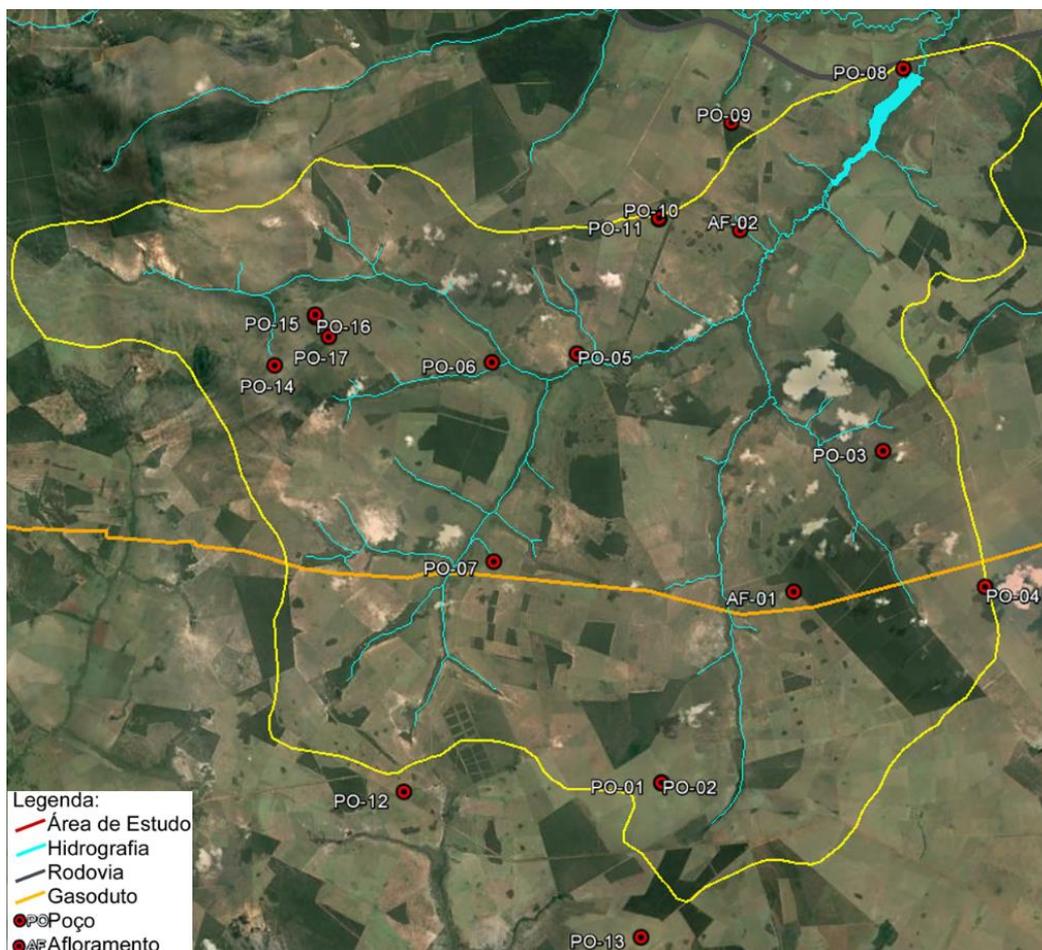


Figura 3: Delimitação da bacia hidrográfica do Córrego Guariroba e a distribuição dos poços PO. (Fonte: Google Earth - Elaborado pelos autores)

4 – RESULTADOS E DISCUSSÕES

A vulnerabilidade natural do aquífero do Córrego Guariroba foi encontrada por meio da multiplicação dos parâmetros do método GOD, como mostra a Tabela 3. Na ocorrência dos estratos de cobertura foram consideradas em sua maior parte areais aluviais, enquanto na sua minoria observou-se a presença de solos residuais. Pode-se observar que o índice de vulnerabilidade GOD variou de 0,42 a 0,63 provavelmente devido à repetição dos valores das variáveis, sendo que duas das três variáveis que compõe o método são vinculadas a litologia dos aquíferos. Também produziram somente duas classes de vulnerabilidade, apresentando índices predominantemente Médios e Altos.

Os valores dos índices calculados foram espacializados utilizando o software Quantum GIS 2.4 gerando o mapa de vulnerabilidade GOD, apresentado na Figura 4. Além de ser um software livre,

o Quantum GIS possui mais recursos para a estética de mapas que outros programas disponíveis no mercado.

Tabela 3: Cálculo do Índice GOD para o aquífero livre Bauru - APA do Guariroba.

Poço	Localidade	X (m)	Y (m)	Profund. NE (m)	Tipo de Aquífero (G)	Litologia (O)	Profundidade (D)	Índice	Vulnerabilidade
PO-01	Fazenda Soberana	779471	7710821	63,49	1	0,7	0,6	0,42	Média
PO-02	Fazenda Soberana	779480	7710812	62,39	1	0,7	0,6	0,42	Média
PO-03	Fazenda Juma - Brasfer	785662	7719756	20,20	1	0,7	0,7	0,49	Média
PO-04	Fazenda Figueira	788365	7716008	64,91	1	0,7	0,6	0,42	Média
PO-05	Estância 2 Irmãos	777369	7722555	2,97	1	0,7	0,9	0,63	Alta
PO-06	Fazenda Velho Saltinho	775046	7722354	7,20	1	0,4	0,8	0,32	Média
PO-07	Fazenda Nova Alvorada	775007	7716916	26,76	1	0,7	0,7	0,49	Média
PO-08	Águas Guariroba	786408	7730204	6,63	1	0,4	0,8	0,32	Média
PO-09	Fazenda São Geraldo	781686	7728791	11,39	1	0,7	0,8	0,56	Alta
PO-10	Estância Santa Rita	779662	7726204	31,71	1	0,7	0,7	0,49	Média
PO-11	Estância Santa Rita	779670	7726176	31,87	1	0,7	0,7	0,49	Média
PO-14	Fazenda Meia Lua	769139	7722363	33	1	0,7	0,8	0,49	Média
PO-15	Fazenda Alto Alegre	770263	7723730	10,00	1	0,7	0,8	0,56	Alta
PO-16	Fazenda Alto Alegre	770270	7723656	2,86	1	0,7	0,9	0,63	Alta
PO-17	Fazenda Alto Alegre	770624	7723118	3,57	1	0,7	0,9	0,63	Alta
PO-18	Fazenda Tathyana	781914	7709980	19,44	1	0,7	0,8	0,56	Alta
PO-19	Fazenda Crescente	777586	7722753	7,79	1	0,7	0,8	0,56	Alta

Pode-se observar que as porções noroeste e central do aquífero livre possui vulnerabilidade natural alta, devido principalmente à grande concentração de areia na composição do solo, em que as características físicas como boa capacidade de infiltração e baixa compactação das partículas sólidas colaboram no processo de condução dos contaminantes até o lençol freático. Outro fator que confirma a vulnerabilidade alta destas regiões do aquífero é a altura da superfície freática em relação ao nível do solo, uma vez que os poços são considerados rasos, com profundidades inferiores a 10 metros.

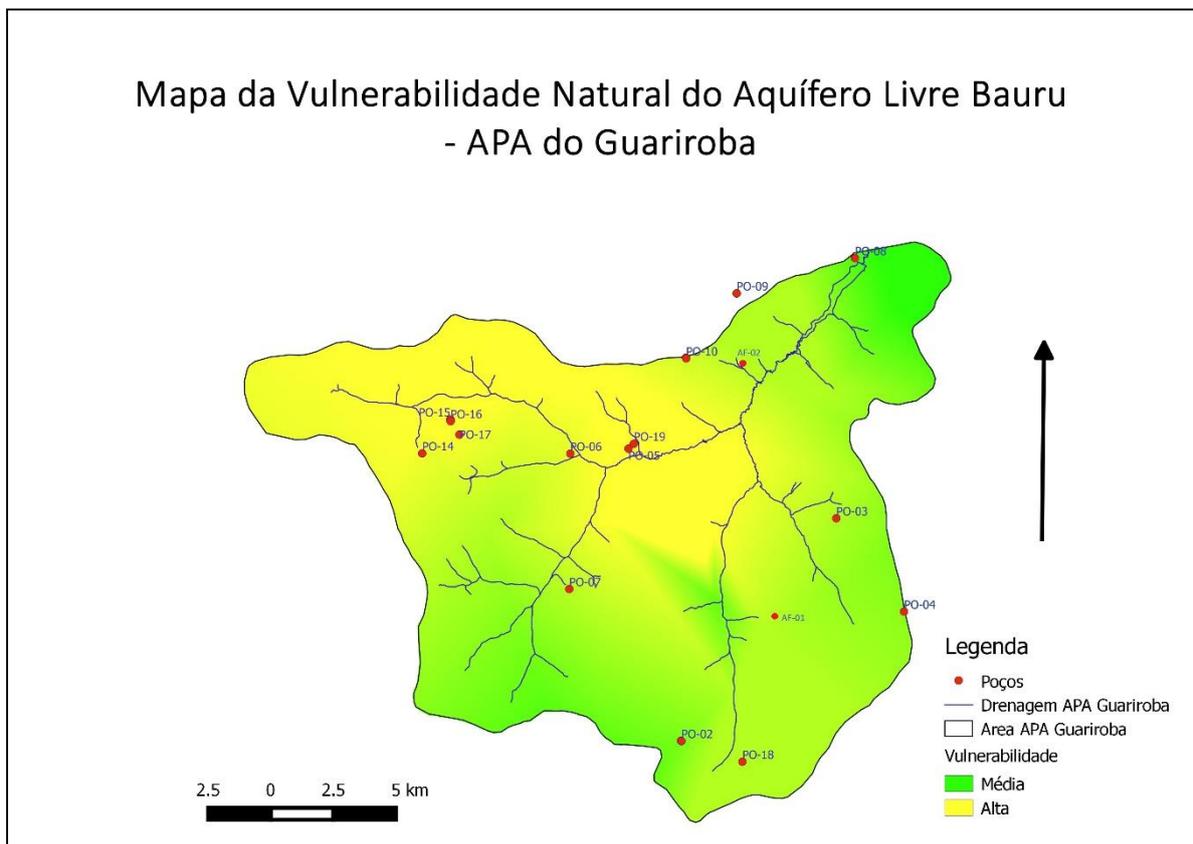


Figura 4: Mapa de Vulnerabilidade natural à contaminação do Aquífero Livre Bauru - APA do Guariroba. (Fonte: Elaborado pelos autores)

Já as áreas que foram classificadas como vulnerabilidade média possuem solos tanto arenosos como argilosos. Devido à profundidade da água subterrânea superior a 10 metros em todos os pontos estudados, aumenta a inacessibilidade hidráulica do aquífero, isto é, os poluentes levam um tempo maior para passar da zona insaturada para a zona saturada.

Ambas as classificações obtidas são preocupantes para a APA do Guariroba. Todas as alterações antrópicas no sistema aquífero devem ser monitoradas, como o acompanhamento dos poços artesianos abertos e o correto manejo do solo da região, a fim de evitar a propagação de contaminantes pelo lençol freático. A qualidade da água subterrânea deve ser analisada com frequência regular, servindo de indicador para a observação de alguma anormalidade. As bocas dos poços artesianos devem ser cobertas e isoladas, impedindo a contaminação da água por fezes de

animais quentes e quaisquer outros tipos de agentes bacteriológicos. Vale ressaltar que os poços artesianos não é o que torna a área vulnerável, porém podem ser vias importantes para a contaminação do aquífero.

5 – CONCLUSÕES

A partir dos resultados gerados nota-se que a metodologia GOD indicou claramente o potencial de vulnerabilidade natural à contaminação do aquífero livre. Foram verificadas duas classes no sistema aquífero, apresentando áreas de média e alta vulnerabilidade em toda APA. A presença de atividades potencialmente contaminantes não é considerada pelo método GOD, as quais aumentam o risco de poluição ambiental do sistema estudado.

Ressalta-se a necessidade da continuidade dos trabalhos de detalhamento e monitoramento da bacia hidrográfica do Córrego Guariroba, visando a quantificação da interação entre os recursos hídricos superficial e subterrâneo naquela unidade.

6 – REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

ABDULLAHI, U.S. 2009. Evaluation of models for assessing groundwater vulnerability to pollution in Nigéria. *Bajopas*, v.2, n.2, p.138-142.

AFONSO, M.J.; PIRES, A.; CHAMINÉ, H.I.; MARQUES, J.M.; GUIMARÃES, L.; GUILHERMINO, L.; ROCHA, F.T. 2008. Aquifer vulnerability assessment of urban areas using a gis-based cartography: Paranhos groundwater pilot site, Porto, NW Portugal. *Global Groundwater Resources and Management*. 33rd International Geological Congress. p.259-278.

ALLER, L., BENNETT, T., LEHR, J.H., & PETTY, R.J. 1985. DRASTIC - a standardized system for evaluating ground water pollution potential using hydrogeologic settings. U.S. Environmental Protection Agency, U.S. Environmental Protection Agency report. EPA/600/2-85/018. Washington, D.C. [http:// www.epa.gov/nscep/index.html](http://www.epa.gov/nscep/index.html).

ALMAGRO, A. 2015. Zoneamento Ambiental em Unidade de Conservação. Trabalho de Conclusão de Curso - Faculdade de Engenharias, Arquitetura e Urbanismo e Geografia (FAENG), UFMS. p.46.

ALMARSÍ, M.N. 2008. Assessment of intrinsic vulnerability to contamination for Gaza coastal aquifer, Palestine. *Journal of Environmental Management*, 88, p.577-593.

ALVES SOBRINHO, T.; OLIVEIRA, P. T. S.; RODRIGUES, D. B. B.; AYRES, F. M. 2010. Delimitação Automática de Bacias Hidrográficas Utilizando Dados SRTM. Revista Engenharia Agrícola, Jaboticabal, v.30, n.1, pp.46-57.

AWAWDEH, M.; NAWAFLEH, A. 2008. A GIS-based EPIK Model for Assessing Aquifer Vulnerability in Irbid Governorate, North Jordan. Jordan Journal of Civil Engineering, v.2, n.3, p.267-278.

BARBOZA, A.E.C.; ROCHA, S.F.; GUIMARÃES, W.D. 2007. Estudo preliminar da vulnerabilidade do aquífero livre localizado na região de Ponta da Fruta, Vila Velha – ES. Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Florianópolis, Brasil, INPE, p. 3279-3286.

CAMPO GRANDE. Prefeitura Municipal de Campo Grande. Águas Guariroba S.A. Plano de Manejo da Área de Proteção Ambiental dos Mananciais do Córrego Guariroba. 2008. – APA do Guariroba. Volume I. Campo Grande, p 145 - 170.

CUTRIM, A.O.; CAMPOS, J.E. 2010. Avaliação da vulnerabilidade e perigo à contaminação do Aquífero Furnas na cidade de Rondonópolis (MT) com aplicação dos métodos GOD e POSH. Rev. Geociências, v.29, n.3, p.401-411.

EMBRAPA SOLOS, 2008. Disponível em: <http://hotsites.cnps.embrapa.br/blogs/paqlf/wp-content/uploads/2008/08/textura_solo.pdf> Brasília, Distrito Federal, Brasil. Acessado em: 10 de Fevereiro de 2016.

FEITOSA, F.A.C.; MANOEL FILHO, J.; FEITOSA, E.C.; DEMETRIO, J.G.A. 2008. (orgs.). Hidrogeologia: conceitos e aplicações. 3ª ed. ver. e ampl. Rio de Janeiro: CPRM: LABHID, p. 179-207.

FOSTER, S.; HIRATA, R. 1988. Groundwater pollution risk assessment: a methodology using available data. WHO-PAHO/HPE-CEPIS Technical Manual, Lima, Peru. 81p.

FOSTER, S.; HIRATA, R.; GOMES, D.; D'ELIA, MONICA; PARIS, M. 2003. Protección de la Calidad del Agua Subterránea: guía para empresas de água, autoridades municipais y agencias ambientales. Washington: Banco Mundial, p. 115.

HIRATA, R.C.A.; BASTOS, C.R.A.; ROCHA, G.A.; GOMES, D.C.; IRATANI, M.A. 1991. Groundwater pollution risk and vulnerability map of the State of São Paulo, Brazil. *Wat. Sci. Tech.*, v.24, n.11., p.159-169.

MURADÁS, K.; WOJAHN, D.; COELHO, O. G. W. 2010. Levantamento de dados geomorfológicos e hidrogeológicos para mapeamento de vulnerabilidade de contaminação do Aquífero Guarani nos municípios de Portão e Estância Velha/RS utilizando o método DRASTIC. *Ambi-Água*, v. 5, n. 3, p. 172-194.

PAGIOLA, S., Von Glehn, H.C., Taffarello, D., 2013. Experiência de Pagamentos por Serviços Ambientais no Brasil, p. 85-98. Secretaria do Meio Ambiente, São Paulo.

RIBEIRO, D. M.; ROCHA, W. F.; GARCIA, A. J. V. 2011. Vulnerabilidade natural à contaminação dos aquíferos da sub-bacia do rio Siriri, Sergipe. *Águas Subterrâneas*, p 25.1: 91-102.

TAVARES, P. R L et al. 2009. Mapeamento da vulnerabilidade à contaminação das águas subterrâneas localizadas na Bacia Sedimentar do Araripe, Estado do Ceará, Brasil. *Rem: Rev. Esc. Minas* [online]. vol.62, n.2, pp.227-236. ISSN 0370-4467. <http://dx.doi.org/10.1590/S0370-44672009000200015>.