



VULNERABILIDADE NATURAL E RISCO DE CONTAMINAÇÃO DO AQUIFERO BAURU NO MUNICÍPIO DE RIO VERDE – GO

NATURAL VULNERABILITY AND DANGER TO CONTAMINATION OF AQUIFER BAURU IN THE CITY OF RIO VERDE – GO

Lindolfo Caetano Pereira Júnior¹; Hugo Leonardo Trindade Soares²; Selma Simões de Castro³

Artigo recebido em: 03/08/2014 e aceito para publicação em: 12/04/2015.

DOI: <http://dx.doi.org/10.14295/ras.v29i2.27947>

Abstract: In this work the POSH and GOD methods were applied to determine the Bauru's aquifer areas with more vulnerability to contamination, in the city of Rio Verde-GO, State of Goiás. It was also mapped areas that, resulting from human activities, they have high potential for contamination. Moreover, there was performing crossings between the natural situation and anthropogenic conditions for defining the risk of contamination of the BAURU aquifer in this city, based on an analysis of the physical environment and evaluation of 160 water wells. It was noted that, regarding contamination vulnerability, this aquifer predominates in the class called moderate, with coverage of 54% of the total area. On the other hand, the anthropogenic activities in the city exerts great pressure on the aquifer, with 71% of these activities are considered high potential contaminant, a fact that raises the risk of contamination in the area. Approximately 42% of the aquifer area in this city has a high risk of contamination, 69 or 49.29% of the water wells are in high-risk areas. It was found that about 45% of the area presents moderate to medium risk of contamination and the highest risk values predominate in the northwest region of the city. The results of the study indicate the great risk suffered by rural people who depend on groundwater resources for their production and livelihood.

Keywords: God. Posh. Risk Of Contamination. Vulnerability. Management Of Groundwater. Bauru Aquifer.

Resumo: Neste trabalho foram aplicados os métodos GOD e POSH para determinação das áreas do aquífero Bauru, no município de Rio Verde, estado de Goiás, com maior vulnerabilidade à contaminação. Mapearam-se também áreas que, em função das atividades antrópicas, se encontram com elevado potencial de contaminação. Além disso, realizou-se o cruzamento entre a situação natural e as condições antrópicas para definição do risco de contaminação do aquífero BAURU no município, com base em análise do meio físico e avaliação de 160 poços tubulares. No tocante à vulnerabilidade à contaminação, predomina no aquífero a classe denominada moderada, abrangendo 54% da sua área total. Por outro lado, as atividades antrópicas realizadas no município exercem grande pressão sobre o aquífero, sendo que 71% destas atividades são consideradas de alto potencial contaminante, fato que eleva o risco à contaminação na área. Aproximadamente 42% da área do aquífero neste município apresenta alto risco de contaminação. Quanto aos poços tubulares, 69 ou 49,29% se encontram nesta classe. Verificou-se ainda que cerca de 45% da área apresenta moderado a médio risco de contaminação, sendo que os maiores valores de risco predominam na região noroeste do município. Os resultados do estudo indicam ainda o grande risco a que estão sujeitas as populações rurais que dependem dos recursos subterrâneos para sua produção e subsistência.

Palavras-chave: God. Posh. Risco À Contaminação. Vulnerabilidade. Gestão De Águas Subterrâneas. Aquífero Bauru.

1 INTRODUÇÃO

O uso dos recursos hídricos tem contribuído para o comprometimento da qualidade da água, sobretudo em consequência da sua contaminação. Para Foster et al. (2002), os principais indutores desse processo são a urbanização, a expansão industrial, a atividade agrícola e a extração mineral.

¹ Universidade Federal de Goiás – UFG - Instituto Mauro Borges de Estatísticas e Estudos Socioeconômicos – IMB / Segplan (lindolfocaetano@gmail.com)

² Secretaria de Estado do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos de Goiás (Semarh) (lts.soares@gmail.com)

³ IESA/UFG - LABOGEF - Laboratório de Geomorfologia, Pedologia e Geografia Física (selma@iesa.ufg.br)

Em todo o planeta tais atividades vêm aumentando a demanda pelos recursos dos aquíferos. Entretanto, esses reservatórios encontram-se sob riscos diversos. A manutenção da qualidade de sua água, por exemplo, está diretamente ligada às características do meio físico, ao uso e ocupação das terras, em especial nas zonas de recarga, e também a forma como se dá sua exploração. Poços de captação mal construídos podem se transformar em focos de contaminação de aquíferos uma vez que as águas infiltradas que os reabastecem podem estar contaminadas (REBOUÇAS, 2004).

A perfuração indiscriminada e a má construção de poços tubulares, sem obediência às normas técnicas e legislação (NBR 12.212; NBR12.244; NBR-13.604; Lei nº 13.123; Lei nº 13.583), além do perigo de contaminação dos aquíferos, pode levar à superexploração do sistema, acarretando na exaustão do aquífero a partir de compactação diferenciada da formação rochosa, bem como consequências mais específicas, tais como: o avanço de cunha salina em caso de áreas litorâneas, subsidência de solos em terrenos mais instáveis, e deslocamento de plumas de contaminação para locais do aquífero.

A contaminação das águas subterrâneas pode ainda se tornar um grande problema de saúde pública, caso ultrapasse os limites de tolerância definidos na resolução nº 396 de 03 de Abril de 2008, do CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente). Associado a isto há ainda as implicações econômicas associadas às restrições de uso da água.

Principalmente em função da grande heterogeneidade no comportamento do solo e subsolo, no que tange à capacidade de atenuação natural dos contaminantes, é interessante delimitar áreas de proteção, ao invés de apenas determinar medidas universais de controle de contaminação. Desse modo, é imprescindível a realização de estudos de vulnerabilidade, potencial e de risco à contaminação, sobretudo nas áreas de recarga dos aquíferos. Nesse sentido, segundo Foster et al. (2002) a vulnerabilidade de um aquífero corresponde

a um conjunto de características intrínsecas dos estratos, ou seja, dos solos e substratos geológicos que determinam sua suscetibilidade e fragilidade à presença de cargas contaminantes, também conhecida como vulnerabilidade intrínseca.

Por outro lado Andersen e Gosk (1987), já argumentavam que o mapeamento mais eficiente da vulnerabilidade depende das características específicas dos contaminantes, também chamada de vulnerabilidade específica. Entretanto, essa abordagem dificulta sobremaneira a avaliação da vulnerabilidade de um aquífero (LOAGUE, 1994), uma vez que necessita de uma avaliação de todos os contaminantes e seu comportamento em todo o aquífero, de elevada complexidade, tornando-se muito difícil de ser operacionalizado. Assim, este trabalho adota como conceito de vulnerabilidade o proposto por Foster et al. (2002), apesar das limitações existentes na análise mais generalizada da situação do aquífero.

O tratamento inadequado dos resíduos sólidos é uma das principais fontes contaminantes das águas subterrâneas citadas por Foster et al. (2002), sendo que em Goiás, apenas nove municípios possuíam aterro sanitário até o ano de 2009 (MP-GO, 2009). O município de Rio Verde é um deles, entretanto, há problemas graves no seu aterro municipal como, por exemplo, mal acondicionamento dos resíduos e falta de ações de reciclagem, entre outros. Tais fatores comprometem a qualidade do tratamento dado aos resíduos sólidos da região, elevando o risco de contaminação das águas subterrâneas.

Os estudos com foco na vulnerabilidade dos aquíferos no estado de Goiás ainda são bastante incipientes (MEIRA et al. 2014; ALVES e CASTRO, 2009; GOMES e PEREIRA, 2008). Dois sistemas aquíferos se destacam no Estado, o Sistema Aquífero Guarani (SAG) e Sistema Aquífero Bauru (SABAU). Este último é predominante no território de Rio Verde, sendo responsável por boa parte do abastecimento de água para agroindústrias, agricultura, abastecimento

urbano e outros usos, no município. No Estado as condições exigidas para utilização se baseiam apenas na capacidade de suporte desses mananciais atrelada mais à sua vazão, sobretudo para garantir sua regularidade. Assim, torna-se relevante o mapeamento das áreas críticas, de modo que seja possível implementar ações preventivas, a fim de evitar sua contaminação.

Quanto às ações antrópicas, o município de Rio Verde, situado na região Sudoeste de Goiás, caracteriza-se pela importante atividade agrícola e agroindustrial que o posiciona como um dos mais elevados PIB (Produto Interno Bruto) do Estado, e conta com vários poços tubulares para captação de água subterrânea do SABAU, sistema dominante e principal fornecedor de água subterrânea para fins de abastecimento comercial e industrial do município, porém se nota uma carência de avaliação mais aprofundada sobre a dinâmica desse sistema e da qualidade de suas águas nesse município.

Com vistas a contribuir com estudos sobre esse tema e em particular o município de Rio Verde, este artigo tem por objetivo apresentar a avaliação espacial preliminar da vulnerabilidade do SABAU, com o fim de delimitar as áreas de risco à sua contaminação. Para tal, foram utilizados dois métodos, o GOD (*Groundwater occurrence, Overall litology of aquifer and Deph of water*) (Foster et al. 2002; Foster e Hirata 1988) e o POSH (acrônimo em inglês de *Pollutant Ori-gin, Surchage Hydraulically*) (FOSTER et al. 2002).

2 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O município de Rio Verde situa-se na região de planejamento Sudoeste Goiano, entre as coordenadas 17° 03' / 18° 22' Sul e 51° 47' / 50° 27' Oeste e possui área total de 8.388 km². Há predominância de relevo aplainado com declividades de até 12%, correspondendo às Superfícies Regionais de Aplainamento (SRA), conhecidas por Chapadas, as quais são delimitadas por

escarpas erosivas. O relevo está assentado sobre arenitos e basaltos da porção setentrional da Bacia Sedimentar do Paraná e abriga o SABAU. O aquífero ocupa uma área de 7.119,91 km² correspondente a 85% do território de Rio Verde (Figura 1).

No município existem 481 poços tubulares instalados, segundo dados levantados junto à Secretária do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos de Goiás - Semarh-GO, em 2013. Vale ressaltar que desses poços apenas 160 foram passíveis de representação espacial, sobretudo, em função da falta de coordenadas nos processos cadastrados até meados de 2007 e ou coordenadas incorretas nos processos.

Sob ação de clima tropical subúmido, marcado por duas estações contrastadas, primavera-verão chuvosa e outono-inverno seca, tais litologias e o relevo favoreceram o desenvolvimento de solos espessos, latossólicos, com elevada aptidão agrícola para uso intensivo com lavouras de ciclo curto ou mesmo longo, dominantes no município e base de sua exploração econômica.

Trata-se de um município de grande importância econômica para o Estado, nesse posicionado como o 7º em arrecadação de ICMS (Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Prestação de Serviços) (SEPLAN, 2005). Figura ainda como um dos municípios mais consolidados economicamente no Estado, com base no agronegócio, e impulsionado pela agroindústria representada por uma grande processadora de aves.

Após a instalação das agroindústrias no município, a demanda por água teve um grande incremento e, dada a qualidade e relativa facilidade de exploração, as reservas subterrâneas foram escolhidas também como fonte principal das pequenas unidades produtoras, em geral agregadas dessas grandes empresas, constituindo uma complexa cadeia produtiva. Tal fato causou um grande aumento no número de poços tubulares profundos na área na última década, passando de 1 (um) registro no ano 2000 para 481 em 2011, segundo dados obtidos junto a SEMARH - GO.

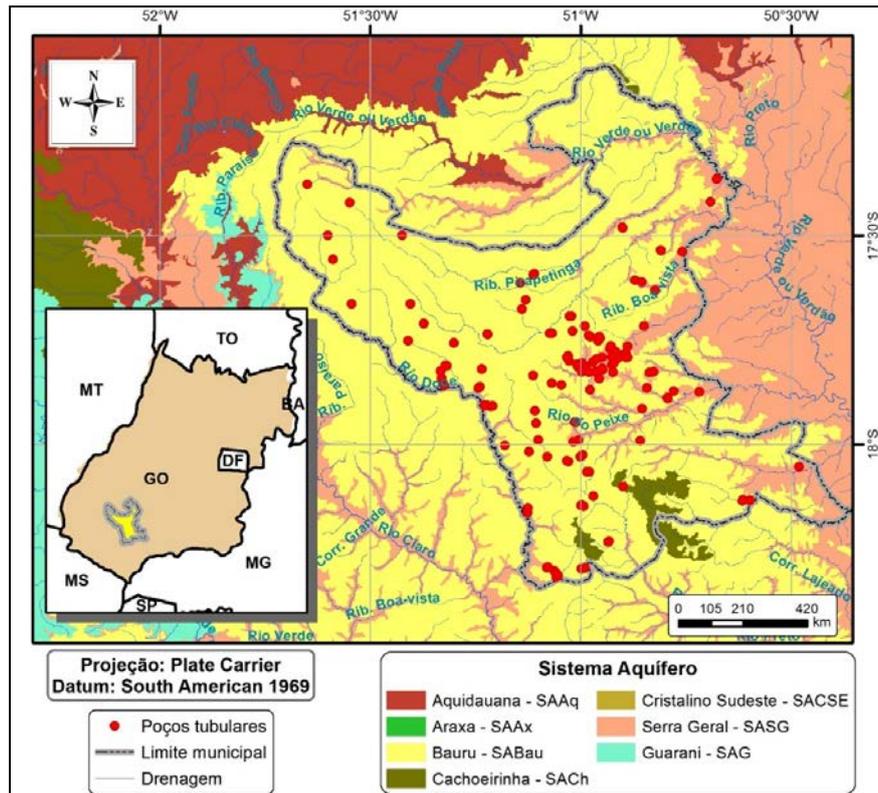


Figura 1 - Mapa de localização e hidrogeológico da área de estudo com indicação dos poços tubulares de exploração do SABAU – Sistema Aquífero Bauru

Figure 1 - Location and hydrogeological map of study area with indication of the exploration wells of Sabau - Bauru Aquifer System

Fonte: Adaptado por Pereira Júnior (2014) com base em CASTRO (2009).

2.1 Hidrogeologia da área de estudo

A região de Rio Verde insere-se, especificamente, no contexto geológico Paleomesozóico, mais precisamente no setor da porção setentrional da Bacia Sedimentar do Paraná, onde os sedimentos neocretáceos do Grupo Bauru, os basaltos da Formação Serra Geral e a Formação Cachoeirinha representam as unidades aflorantes da área de estudo (Figura 2).

Segundo o Mapa Geológico do Estado de Goiás (MOREIRA et al., 2009), os basaltos da Formação Serra Geral se caracterizam através de uma intensa rede de diques e soleiras que cortam inteiramente as rochas sedimentares paleozóicas. Afloram majoritariamente em faixas na porção leste de Rio Verde, sotopostas aos sedimentos cretáceos do Grupo Bauru. Este, entretanto, é dominante em Rio Verde, sendo composto pelas Formações Adamantina (basal) e Marília, sobreposta. Trata-se da cobertura cretácea pós-basáltica constituída de pacotes siliciclásticos, com associações de fácies

areno-conglomeráticas. O aquífero estende-se por praticamente todo o município de Rio Verde, ocupando uma área de 7.119 km² o que representa quase 85% de seu território (CASTRO, 2009).

A Formação Adamantina predomina, ocupando quase 45% da área total do município, em que dominam arenitos finos a muito finos, de coloração cinza-claro, bege ou rósea, os quais frequentemente apresentam bolas de argila. Podem ocorrer níveis conglomeráticos e de siltitos areno-argilosos, de coloração arroxeada ou rósea, intercalados na sequência de arenitos na forma de lentes. A Formação Marília se caracteriza por uma deposição granocrescente que vai de conglomerados a arenitos conglomeráticos e de arenitos, que se distinguem da Formação Adamantina pelo grau de cimentação mais elevado, podendo ser por óxido de ferro, às vezes óxido de manganês e por carbonato de cálcio.

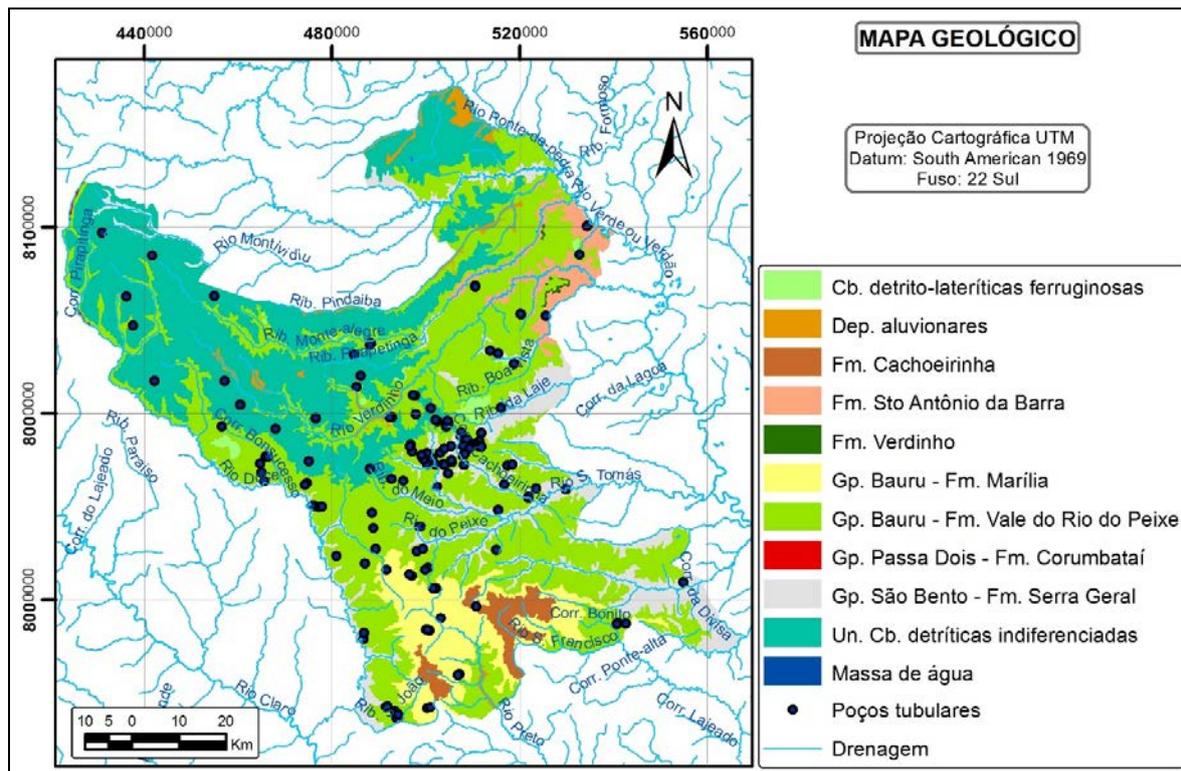


Figura 2 – Mapa geológico da área do SBAU no município Rio Verde com indicação dos poços tubulares
Figure 2 - Geological map of the area in the county Rio Verde indicating the wells
Fonte: Adaptado por Pereira Júnior (2015), com base em Castro (2009)

A Formação Cachoeirinha ocorre sobreposta a essas duas formações anteriores que, segundo Almeida et al. (2006), é constituída por sedimentos areno-argilosos não litificados, associados ao relevo gerado por movimentação neotectônica, à própria evolução geomorfológica denudacional e aos processos pedogenéticos associados. Tem caráter coluvionar ou eluvionar e inclui sedimentos provenientes da denudação de arenitos do Grupo Bauru e de basaltos da Formação Serra Geral. O componente arenoso predomina onde a influência do Grupo Bauru é maior, e o argiloso onde dominam os basaltos da Formação Serra Geral.

Segundo Almeida et al. (2006), ocorrem no município os sistemas aquíferos Guarani, Bauru, Serra Geral, Cachoeirinha e Aquidauana. Destes, apenas o Cachoeirinha se sobrepõe ao Aquífero Bauru, e sendo assim, atua como camada confinante não-drenante, isolando as rochas do Grupo Bauru da infiltração de águas indesejáveis. O resultado disso é uma menor classe de vulne-

rabilidade natural à contaminação onde os dois sistemas aquíferos ocorrem concomitantes.

O Aquífero Bauru (SBAU) comporta-se basicamente como aquífero livre, poroso, homogêneo e isotrópico e os dados de poços tubulares desse aquífero no Estado de Goiás mostram uma vazão média de 10,5 m³/h, máxima de 172 m³h⁻¹ e moda de 10 m³/h (para um conjunto de 296 poços, levantados por Almeida et al. 2006) e seu potencial está intimamente ligado com o grau de cimentação, compactação, intemperismo e fraturamento das rochas sedimentares que o compõem (ALMEIDA et al. 2006).

No domínio do SBAU no município de Rio Verde, os poços apresentam uma vazão média captada de 10,6 m³/h, com profundidade média de 108 metros segundo dados obtidos a partir dos processos de solicitação de outorga junto a SEMARH. O volume anual explotado desse aquífero no município é de aproximadamente 8,5 milhões de m³, o tempo médio de exploração diário é de 12 h e o maior usuário capta aproxima-

damente 135 m³/h, segundo os referidos dados da Semarh-GO.

Considerando que os recursos hídricos são renováveis e que o volume renovável descrito por Almeida et al. (2006), como representativo do ciclo anual do SABAU é de 5,36 x 10⁹m³ano⁻¹, apenas 0,5% deste volume se encontra comprometido, ao considerar que todos os 481 poços tubulares da área captam água somente desse aquífero. Se, por outro lado, for considerado o volume renovável, apenas de Rio Verde, ou seja, 7119,91 Km², há um comprometimento de 2% da vazão renovável. Estes dados indicam que o enfoque dado à gestão na demanda para exploração da água subterrânea pode não gerar os resultados necessários para a preservação da qualidade do aquífero, uma vez que do ponto de vista de volume sua situação é bastante confortável.

3 METODOLOGIA

Inicialmente procedeu-se à compilação e elaboração dos mapas básicos do meio físico do município, com base nos mapas geológico, geomorfológico, pedológico, hidrogeológico e topográfico do estado de Goiás, disponíveis no Sistema de Informações Geográficas do estado de Goiás, (SIEG) e, em particular, dos mapas pedológico, hipsométrico, dos aquíferos e dos compartimentos morfopedológicos da região Sudoeste de Goiás, todos em escala 1:100.000, disponíveis no acervo do LABOGEF (Laboratório de Geomorfologia, Pedologia e Geografia Física), da Universidade Federal de Goiás (UFG) (Castro, 2009). Paralelamente, foram levantados os poços tubulares outorgados e suas características de localização, profundidade, litologia e vazão junto à Semarh-GO.

Posteriormente, procedeu-se à definição e delimitação das classes de risco à contaminação aplicada ao SABAU, a qual foi realizada em três fases, sendo a primeira a de definição da vulnerabilidade natural à

contaminação do aquífero pelo método GOD (Figura 3); já na segunda definiu-se o potencial contaminante das atividades antrópicas utilizando-se o método POSH e na terceira fase, e final, foi realizado o cruzamento entre os resultados dos dois métodos aplicados nas duas fases anteriores, com intuito de delimitar as áreas risco à contaminação.

3.1 Método GOD

A metodologia de análise da vulnerabilidade natural à contaminação de aquíferos baseada no método GOD (*Groundwater occurrence, Overall litology of aquifer and Deph of water*), a qual foi apresentada por Foster e Hirata (1988) e adaptada por Foster et al. (2002), é definida por três parâmetros com base nos fatores a seguir.

1. Grau de confinamento do aquífero, representado pela letra G;
2. Características hidrogeológicas e grau de consolidação com base nos estratos de cobertura da zona vadosa ou camada confinante, indicado pela letra O;
3. Profundidade do lençol freático ou do topo do aquífero confinado, indicado pela letra D.

Os três juntos justificam a sigla GOD. Ao aplicar-se esses três fatores numa dada área, atribui-se pesos de 0 a 1 para cada um dos parâmetros, como mostrado na Figura 3. A partir daí é realizada a multiplicação dos valores de cada parâmetro, permitindo, assim, determinar as áreas mais suscetíveis a problemas de contaminação. Em Rio Verde a Formação Serra Geral ocorre predominantemente nos extremos leste e oeste do município e, devido sua posição estratigraficamente abaixo do Grupo Bauru na área, permite concluir que as rochas desta formação foram totalmente dissecadas nessas regiões. Por este motivo, essas áreas não fazem parte do escopo deste trabalho.

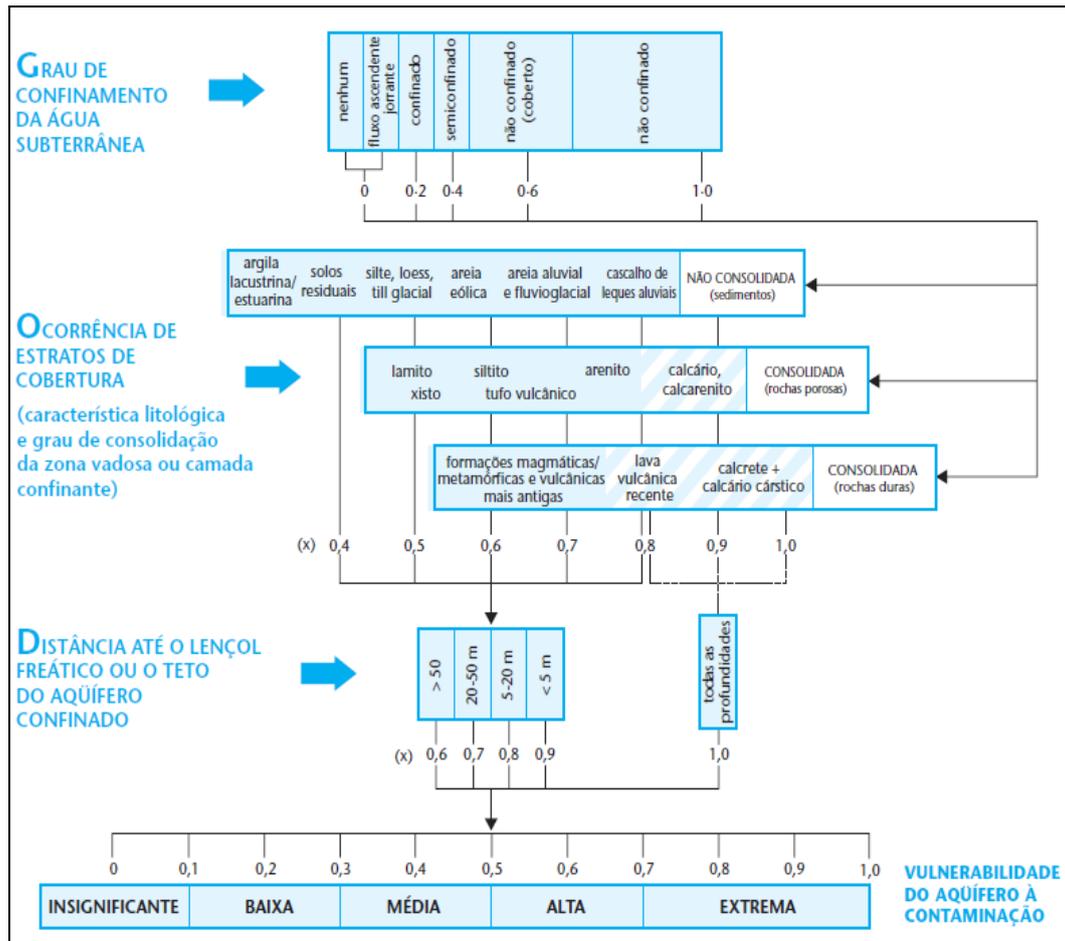


Figura 3 - Método de avaliação de vulnerabilidade GOD

Figure 3 – GOD method

Fonte: Foster et al. (2002)

3.2 Parâmetro G

O parâmetro G corresponde ao grau de confinamento da água subterrânea, como exposto. Para sua definição, o valor de 0,2 indicativo de aquífero confinado foi atribuído a pequenas porções da área de estudo, relacionadas às zonas aflorantes da Formação Cachoeirinha, imediatamente sobrejacente às rochas do Grupo Bauru, pois seu aquífero é de baixo potencial hidrogeológico, devido à sua matriz argilosa, o que lhe confere características de uma camada confinante não-drenante em relação ao SABAU. Já em relação às áreas de aquífero livre coberto, cujo método GOD atribui valor de 0,6, procedeu-se a uma adaptação em relação às coberturas de Neossolo Quartzarênico, cuja capacidade de infiltração é elevada, atribuindo-lhe valor um pouco maior, de 0,8, como utilizado por Cutrim et al. (2010). Para o restante de aquífero livre coberto foi atri-

buído o valor de 0,6.

Determinadas as características referentes ao parâmetro G foi então necessário transformar as informações tabulares do parâmetro em dados geográficos, de modo a definir o mapa desse parâmetro. Para tanto, utilizou-se o Sistema de Informações Geográficas (SIG) ArcGIS. Respeitando-se as características mencionadas, os pesos foram inseridos, utilizando-se como base o mapa de aquíferos em escala 1:100.000 obtido no LABOGEF (Laboratório de Geomorfologia, Pedologia e Geografia física) da UFG (Universidade Federal de Goiás) (Castro, 2009).

3.3 Parâmetro O

O valor do parâmetro O se refere aos estratos de cobertura do aquífero – litologia, solos e grau de consolidação da zona vadosa,

também já exposto. Este foi definido de acordo com os perfis litológicos dos poços analisados, oriundos dos processos de outorga dos poços tubulares. As rochas situadas na zona vadosa, em sua quase totalidade, pertencem às Formações Adamantina e Marília do SBAU, representadas por arenitos que não possuem diferença litológica significativa em toda a área de estudo e, sendo assim, incorre no mesmo valor na escala desse parâmetro. Desta forma, esse valor foi atribuído com relação às unidades morfopedológicas apresentadas por Castro (2009), gerado a partir da correlação entre os mapas geológico, pedológico e de declividade, compondo quatro unidades representativas para o Sudeste Goiano (Castro 2009). Três dessas quatro unidades ocorrem na área de estudo, não apresentando a unidade quatro.

A **unidade um** é composta por Latossolos, Gleissolos e Neossolos Quartzarênicos, e domina amplamente no município, representando pouco mais de 80% da sua área. Os latossolos são maioria e, sobretudo, oriundos de rochas areníticas do Grupo Bauru, conferindo-lhes uma alta porosidade efetiva e, conseqüentemente, boa condutividade hidráulica. Além disso, situados em zonas planas de baixa declividade, como as denominadas chapadas (planaltos), esses solos representam as zonas de recarga de freáticos e até mesmo de aquíferos mais profundos sotopostos. Os Gleissolos compreendem cerca de 10% da área, situam-se nos fundos de vale e/ou próximos a cursos d'água e nascentes. Apresentam uma espessa camada de matéria orgânica e horizonte glei de cor acinzentada, resultantes do ambiente saturado e redutor, formados sob influência do lençol freático, raso ou aflorante.

Os Neossolos Quartzarênicos ocupam menos de 2% da área, sendo compostos por areias inconsolidadas, fracamente estruturadas, conferindo-lhe o maior potencial da região para recarga de aquíferos. Em função destas características a unidade um recebeu valor 0,7, e a mesma unidade constituída de Gleissolo, recebeu o valor 0,4,

por se tratar de um solo com elevada retenção hídrica e baixa condutividade hidráulica.

A **Unidade dois** é composta por Argissolo Vermelho-Amarelo e Nitossolo Vermelho, e ocupa cerca de 10% da área de estudo, situa-se principalmente no centro sul e extremo leste. Representa áreas de relevo mais movimentado de colinas e morros com declives entre 12 e 20%. Recebeu peso 0,5 em função do maior escoamento superficial oriundo do relevo um pouco mais declivoso, o que dificulta a percolação da água até o aquífero.

A **unidade três** abrange cerca de 10% da área e é ocupada por Cambissolos e Neossolos Litólicos, expostos em setores fortemente ondulados e escarpados, com declividades entre 20 e 45%. Tais solos ocorrem geralmente associados e representam setores de maior energia no escoamento superficial o que favorece a erosão e reduz quase por completo as chances de infiltração hídrica. Em função disso atribuiu-se peso 0,4 a esta unidade.

Para criação do mapa referente ao parâmetro O foram utilizados como base os mapas pedológico e hipsométrico na escala 1: 100.000, obtidos no LABOGEF, como já informado (Castro, 2009).

3.4 Parâmetro D

O parâmetro D foi obtido através de dados do nível estático de poços tubulares cadastrados no sistema da Semarh-GO, que foram extraídos dos testes de produção dos poços tubulares, situados no município e entorno, que exploram as águas do SBAU. Em apenas um deles foi utilizado dado do Bauru confinado pelo Cachoeirinha, optando-se por utilizar o nível estático e não a profundidade da camada confinante, o que resulta em uma maior consistência e segurança para estudos de vulnerabilidade.

Do total de 481 poços do município foi possível utilizar dados de apenas 140 para a determinação do nível estático, devido inconsistência de dados nos demais poços, encontrados nos processos protocolados até o ano de 2007, além da existência de informa-

ções discrepantes.

Para o conjunto de poços selecionados foram determinados os pesos de acordo com o método GOD. A geração do mapa do parâmetro D se deu através do método de interpolação IDW (*Inverse Distance Weighted*), constante de diversos SIG, que trabalha com a média ponderada pela distância euclidiana. Com sua utilização foi possível transformar os valores pontuais em uma imagem representando os pesos aproximados para toda área do aquífero Bauru no município de Rio Verde.

3.5 Método POSH

O método proposto por Foster et al. (2002), denominado *POSH (Pollutant Origin, Surcharge Hydraulically)*, foi utilizado como referência para análise do potencial à contaminação no aquífero Bauru. Esses autores defendem que é necessário levar em consideração as várias formas de classificação durante o levantamento das fontes potenciais de carga contaminante do subsolo.

Para aplicação desse método, foram mapeados 43 postos de combustível na área, a partir de informações do SINDPOSTO-GO (Sindicato do Comércio Varejista de Derivados de Petróleo no Estado de Goiás). Existem ainda aproximadamente 280 complexos de granjas envolvendo geralmente três ou quatro recintos de criação. No município constam aproximadamente 481 poços tubulares profundos registrados na Semarh-GO, entretanto, só foi possível

mapear 160 destes, pelos motivos acima expostos. Associado a estes dados foi utilizado o mapa de uso e ocupação do solo do município elaborado por Faria et al. (2008) e Carneiro (2011), adaptando-o aos objetivos desta pesquisa.

A atribuição das classes seguiu a tabela 1, que foi elaborada com base no que propuseram Foster et al. (2002). Estes autores desenvolveram uma classificação baseando-se no potencial contaminante das diferentes atividades antrópicas, definindo a probabilidade da presença de poluentes em função da atividade realizada. Algumas modificações foram realizadas, sobretudo, em fontes pontuais tais como poços, postos de combustível, núcleos granjeiros e o limite do aterro sanitário municipal, para estes casos foram definidos empiricamente raios de influência na tentativa de melhor representar a área de influência destes pontos.

A proposta de se enquadrar poços tubulares profundos como possíveis fontes de alto risco à contaminação resulta muito mais de uma visão prática da realidade cotidiana. Ao analisar condições de proteção sanitária de pontos de captação de água subterrânea, observou-se que uma parcela das empresas perfuradoras não obedece às orientações das Normas ABNT especificamente a NBR 12.212 (projeto de poço para captação de água subterrânea) e a NBR 12.244 (construção de poços para captação de água subterrânea), gerando um enorme risco à qualidade da água.

Tabela 1 – Raios atribuídos nas classes pelo método POSH

Table 1 - Allocation of POSH method Class

POSH	USO / ATIVIDADE
Alto	Raio de 50m a partir dos poços.
	Raio de 100m a partir dos postos de combustíveis.
	Raio de 50m a partir dos núcleos granjeiros.
	Raio de 100m a partir do limite do aterro sanitário.
	Área urbana
	Agricultura
Moderado	Pastagem
Reduzido	Remanescentes

Fonte: Adaptado de Foster et. al. (2002).

Poços mal construídos, com bocas de tubulações e/ou tubos-guia de medição de nível abertos, são vetores diretos de contaminação, através da entrada de animais, penetração de poluentes ou águas contaminadas. Além disto, vistorias realizadas em cerca de 50 poços no município relataram problemas em 42 deles. Desde simples como falta de cerca de proteção até um poço sem nenhuma proteção localizado dentro de um curral. Além disso, foi observado também o acondicionamento de resíduos de oficina mecânica, tais como embalagens de combustível, óleo e graxas acondicionadas sobre poços tubulares na área urbana do município.

A zona urbana foi classificada como de alto risco em função de, no município, existir sistema de esgotamento sanitário em apenas 60% da zona urbana. Toda a parte da cidade que drena para o córrego Laje ainda não possui rede de coleta. Este fator aliado à distribuição espacial dos postos de combustíveis no perímetro urbano além da grande quantidade de mini-poços (poços que não atingem a rocha sã, e fazem captação da água do lençol freático) existentes, conforme verificado em vistorias realizadas pela SEMARH-GO torna toda a zona urbana de elevado potencial à contaminação.

A área agrícola foi definida como de alto potencial segundo a proposta de Foster et al. (2002), que definem as culturas comerciais intensivas como zonas de alto risco. Ao encontro dessa classificação, a título de exemplo, Carneiro et al. (2012), apresentam uma utilização média de 12 l/ha de soja e 6 l/ha de milho. Considerando a área colhida no ano de 2011 no município que foi de 265.000 ha de soja e 128.500 ha de milho (IMB, 2014) e o que propõem Carneiro et al. (2012) como consumo médio,

tem-se uma utilização superior a três milhões de litros de agrotóxicos somente nessas duas culturas no município. Esses dados indicam o alto potencial poluidor da atividade agrícola.

3.6 Áreas de risco à contaminação

A determinação das áreas de risco se deu a partir do cruzamento dos dados oriundos da aplicação dos métodos POSH e GOD, conforme a matriz apresentada na (Tabela 2), elaborada a com base na classificação proposta por Foster et al. (2002).

A análise da interação entre os dados dos métodos POSH e GOD foi realizada em ambiente SIG, por meio da aplicação de técnicas de sobreposição. Com a aplicação destas foi possível empregar a matriz, presente na tabela 2, aos dados geográficos obtidos anteriormente.

Tabela 2 – Matriz para determinação do mapa de risco

Table 2 - Matrix for determining the risk map

POSH	GOD	RISCO	
Reduzido	Desprezível	Desprezível	
	Baixo	Baixo	
	Moderado	Moderado	
Moderado	Desprezível	Baixo	
	Baixo	Moderado	
	Moderado	Médio	
Alto	Desprezível	Moderado	
	Baixo	Médio	
	Moderado	Alto	

Fonte: Adaptado de Foster et. al. (2002)

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Aproximadamente 95% da área do SABAU no município de Rio Verde apresenta um grau intermediário (0,6) de susceptibilidade à contaminação em função das características da formação hidrogeológica local, parâmetro G (Figura 4).

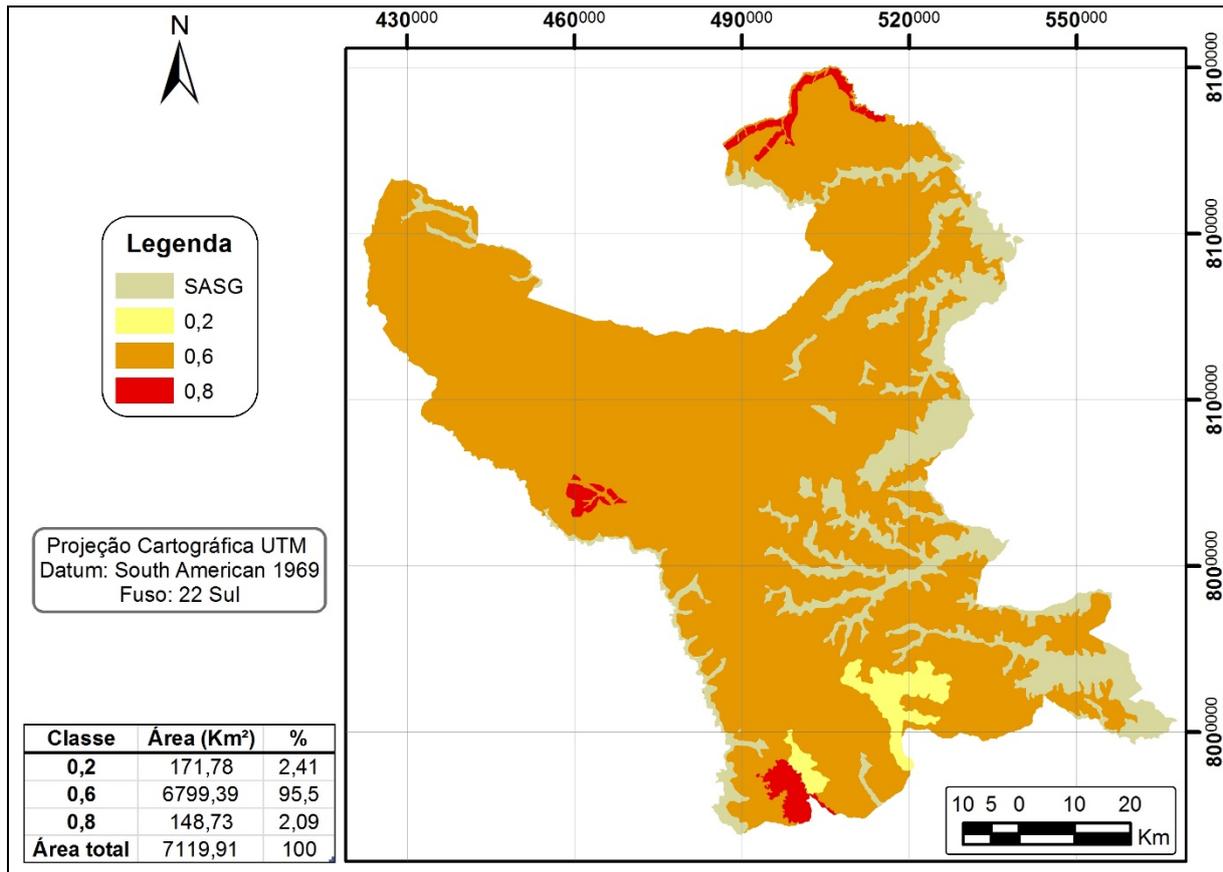


Figura 4 – Mapa do parâmetro G - Indicativo do grau de confinamento da água subterrânea

Figure 4 – G map. Indicative of the groundwater confinement

Fonte: Elaborado por Pereira Júnior (2014)

Os dados do parâmetro O (Figura 5), formado pelos estratos de cobertura do aquífero, demonstram um potencial elevado de suscetibilidade, ocupando 74,75% da área do aquífero no município. Tal fato ocorre em função do relevo pouco movimentado e solos bem drenados o que facilita a percolação da água para o subsolo. A classe 0,5 apresenta-se em menor porção, abrangendo principalmente o centro-sul da área, principalmente em setores de relevo mais

movimentados, onde o escoamento superficial ocorre de forma mais veloz.

Em função do nível estático dos poços analisados, o parâmetro D evidencia que grande parte da área de estudo possui um potencial elevado ($D = 0,8$), ocupando 78,01% (Figura 6). Esses números mostram que o SBAU se apresenta pouco profundo o que pode acelerar o seu contato com contaminantes.

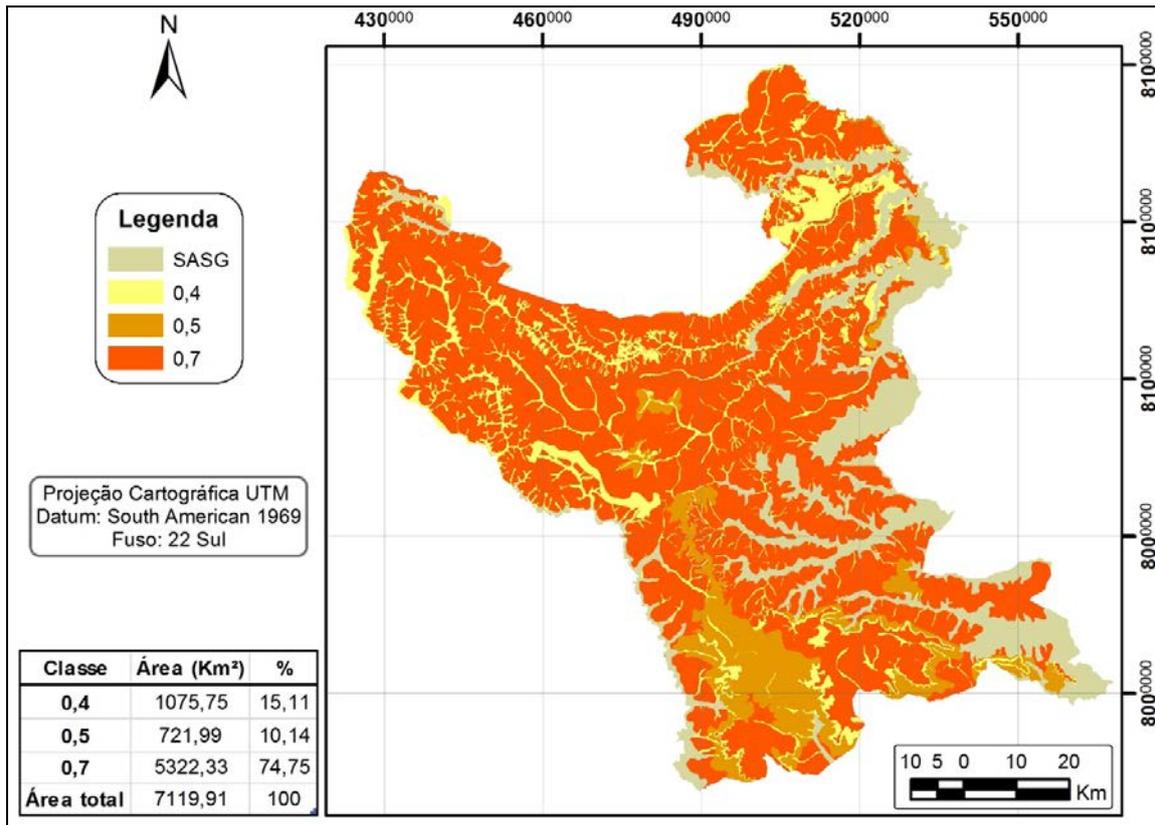


Figura 5 – Mapa do parâmetro O – formado pelos estratos de cobertura do aquífero

Figure 5 – O map. Defined by strata overlying the aquifer

Fonte: Elaborado por Pereira Júnior (2014)

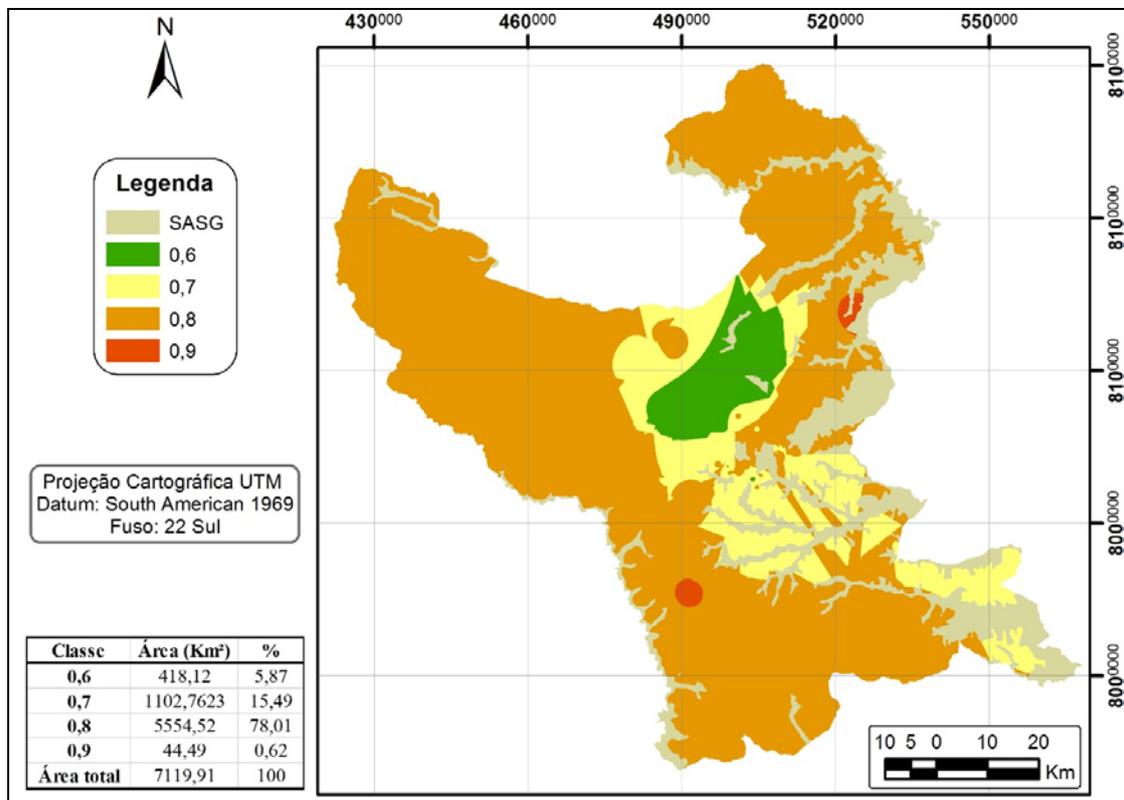


Figura 6 – Mapa do parâmetro D – Calculado em função do nível estático do aquífero

Figure 6 – D map. Calculated according to the aquifer static level

Fonte: Elaborado por Pereira Júnior (2014)

O mapa final gerado pelo método GOD (Figura 7) sintetiza os três mapas anteriores e revela que o município de Rio Verde, na área do SBAU apresenta três classes de vulnerabilidade natural à contaminação: baixa, moderada e desprezível.

Observa-se a predominância da classe moderada, representando por volta de 54% da área total, mais concentrada na porção central do município, onde inclusive se localiza sua área urbana. Porém, logo abaixo aparece a classe baixa com quase 46% da área, somando ambas mais de 98%.

Esse resultado mostra que o SBAU

é, em boa parte, vulnerável a contaminantes, embora situado entre as classes moderada e baixa. Por outro lado, o resultado de classe moderada não reflete apropriadamente a vulnerabilidade dos locais onde ocorre a associação de aquífero livre composto por rochas areníticas e o Neossolo Quartzarênico. Esses, por serem solos arenosos, porosos e com baixos teores de argila e de matéria orgânica, se tornam extremamente favoráveis à infiltração vertical, onde a suscetibilidade à lixiviação de nitratos e de outros compostos pode resultar em risco à contaminação da água na zona saturada.

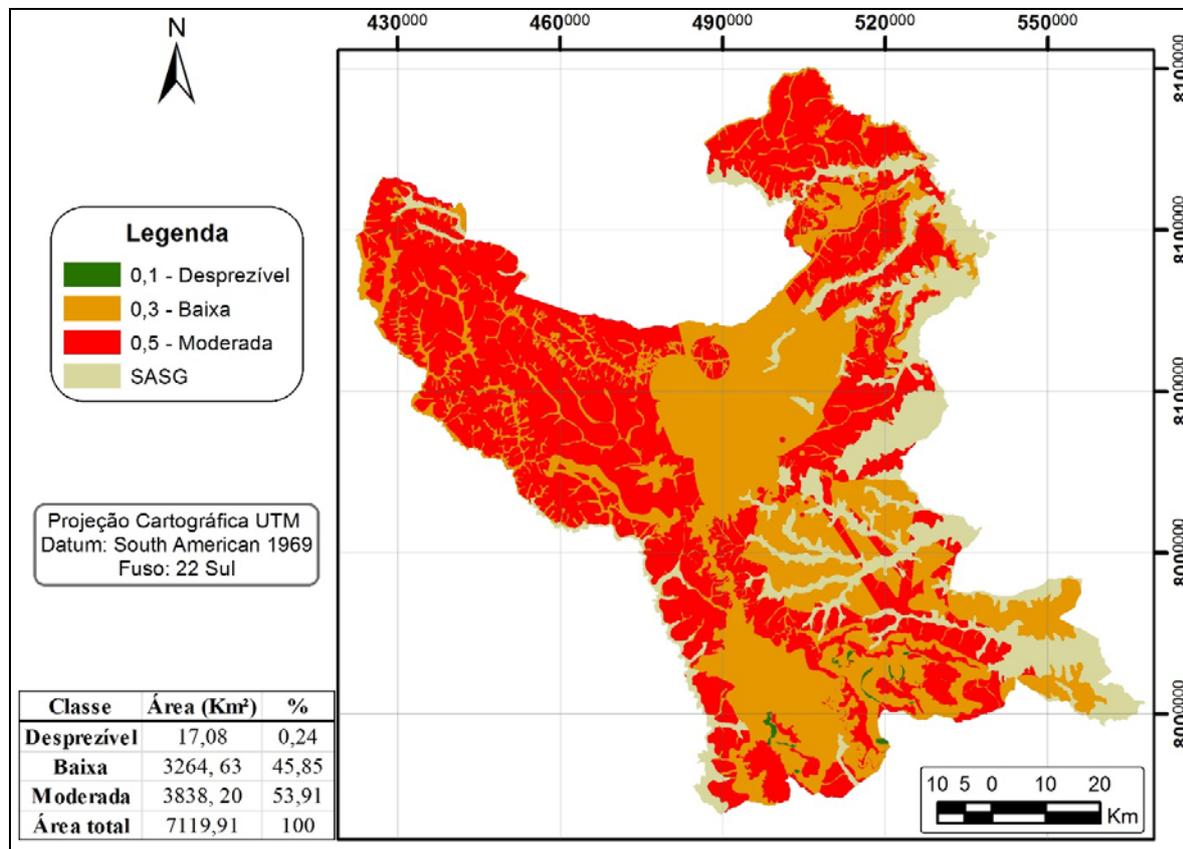


Figura 7 – Mapa de vulnerabilidade natural a contaminação do aquífero Bauru em Rio Verde

Figure 7 - Natural vulnerability to contamination map of the Bauru aquifer in Rio Verde

Fonte: Elaborado por Pereira Júnior (2014)

A **baixa vulnerabilidade** ocupa quase 46% da área e é representada por locais onde os níveis estáticos dos poços se mostraram mais profundos, o que aumenta o poder de filtragem das camadas subjacentes e diminui os riscos de contaminação.

A **vulnerabilidade desprezível** ocorre em apenas 0,24% da área de estudo,

em zonas com remotas chances de infiltração de contaminantes até o aquífero, como em pequenas faixas ao sul e sudoeste do município. Os dados dos perfis litológicos de poços tubulares profundos mostram que esta classe é caracterizada por níveis d'água com profundidades maiores que 20 metros, zona vadosa descrita como arenitos de coloração

creme arroxeados com níveis de cinza esverdeados, granulometria variando de muito fina a fina, incipientemente argiloso e cobertura composta por Argissolos Vermelho-Amarelo. Esse tipo de solo, cuja principal característica é a grande quantidade de argila em horizontes subsuperficiais, é responsável pela atenuação natural da infiltração à zona saturada, inibindo o escoamento de base (*base flow*).

mento de base (*base flow*).

No que tange ao potencial contaminante das atividades antrópicas na área de estudo, há elevado potencial à contaminação, sobretudo em função do alto índice de uso agrícola tecnificado, principalmente para a produção de grãos, ocupando cerca de 71% do total da área do município (Figura 8).

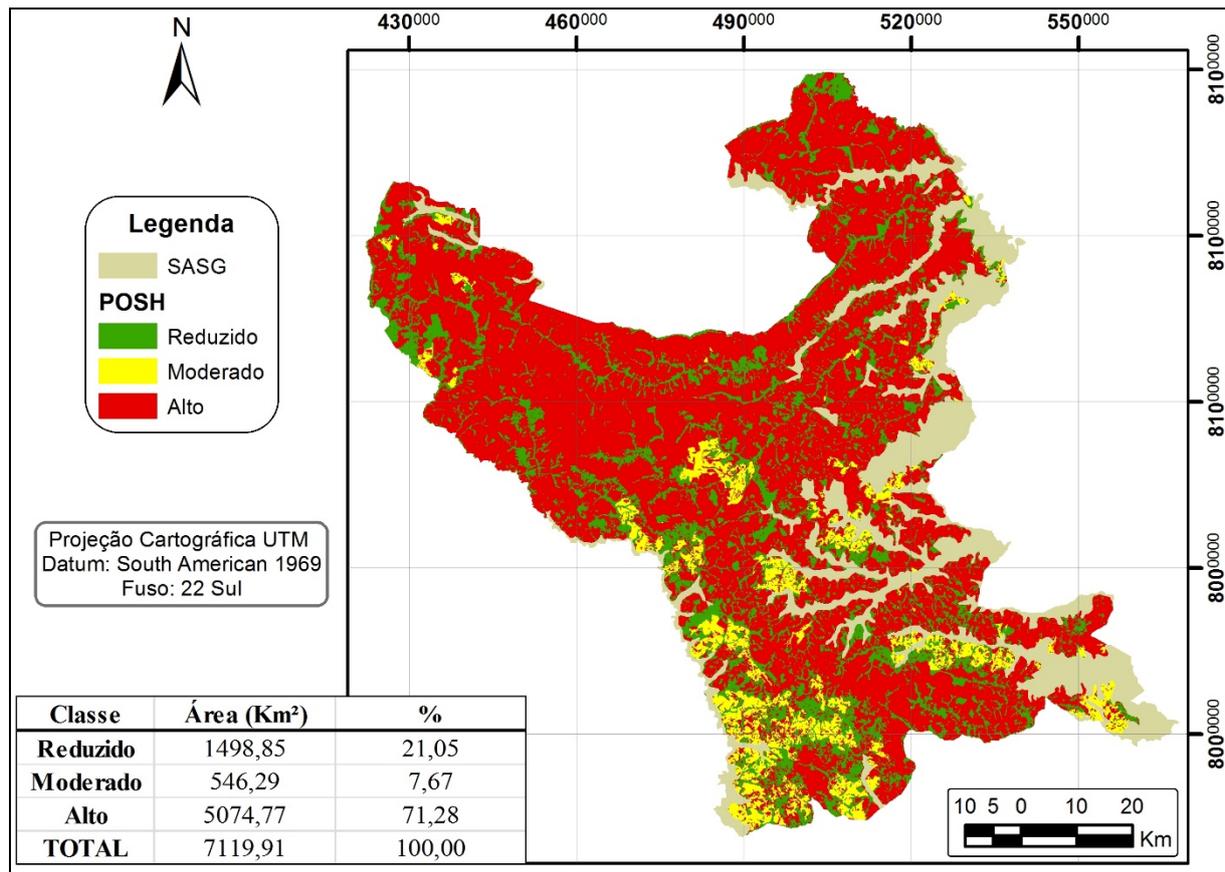


Figura 8 – Mapa de Potencial a contaminação (POSH)

Figure 8 - Potential contamination map (POSH)

Fonte: Elaborado por Pereira Júnior (2014)

A soja se destaca, a qual é conhecida pelo elevado teor de insumos e defensivos (agrotóxicos) empregados no manejo. A falta de saneamento básico adequado das áreas urbanas e também da zona rural são também uma grande fonte potencial de contaminação, na área de estudo.

Quanto ao risco à contaminação (Figura 9), que evidencia o cruzamento entre as características naturais do meio físico e o potencial contaminante das atividades antrópicas, a área do SABAU se encontra, em sua maioria, bastante propensa a

problemas com contaminantes, principalmente oriundos da agricultura, cerca de 42% da área possui alto risco de contaminação em função dos dados levantados.

Considerando que a principal fonte de água utilizada no município fora da zona urbana é a dos recursos subterrâneos, é evidente que medidas preventivas precisam urgentemente ser implementadas. Outro fator que corrobora para o grande potencial de contaminação relacionado a esse sistema aquífero (SABAU) no município deve-se ao fato deste estar presente em praticamente

todo o perímetro de Rio Verde. Evidenciando que a contaminação do SABAU pode gerar um impacto econômico sem precedentes,

uma vez que todo o município poderia ser afetado, além de municípios circunvizinhos.

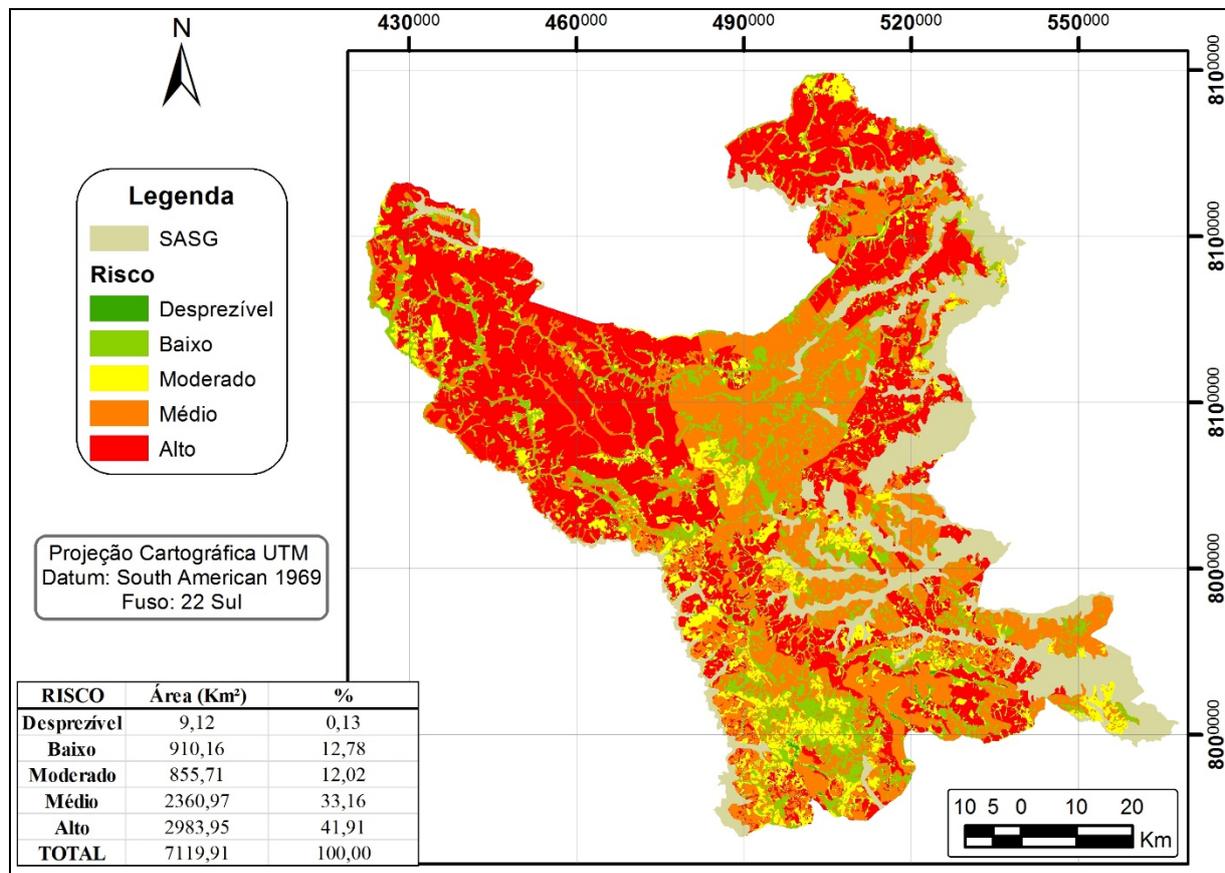


Figura 9 – Mapa de Risco de Contaminação do aquífero Bauru

Figure 9 - Risk Map of Bauru aquifer contamination

Fonte: Elaborado por Pereira Júnior (2014)

A zona de médio risco se concentra principalmente nas áreas onde a profundidade do aquífero é maior, o que lhe confere uma melhor proteção natural. As demais zonas de risco representam aproximadamente 25% da área e demandam um menor esforço imediato uma vez que estão menos susceptíveis a problemas com poluentes.

Por fim, o cruzamento entre as áreas de risco e os poços tubulares profundos utilizados para o abastecimento doméstico e industrial, revelou que 69 poços mapeados na área (49,29%) se encontram em zona de alto risco de contaminação. Este dado poderá servir de indicador para que sejam realizadas análises de qualidade da água no município, utilizando-se estes poços como ponto de

partida, uma vez que os recursos não permitem análises de toda a área do aquífero.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os métodos GOD e POSH são uma alternativa viável para análise de vulnerabilidade e risco à contaminação de aquíferos, sobretudo para regiões carentes de dados espaciais em escala de detalhe que possibilitem uma caracterização minuciosa da área. A simplicidade conceitual destes métodos facilita sobremaneira a delimitação de áreas prioritárias para intervenções mais localizadas com intuito de mitigar a vulnerabilidade específica do aquífero, ou seja, ações em função dos agentes contaminantes locais e de características do

meio físico não consideradas durante a aplicação dos métodos GOD e POSH.

Por outro lado, nota-se que a aplicação apenas de um dos métodos, sobretudo do método GOD, pode levar a interpretações subestimadas, uma vez que a atividade antrópica pode ser o principal determinante do risco de contaminação. A generalização de características do meio físico também é um fator que pode corroborar para a subestimação da vulnerabilidade do aquífero e reforça ainda mais a necessidade da associação dos dois métodos para a caracterização mais próxima da realidade.

No município de Rio Verde a inexistência de altas classes de vulnerabilidade não implica necessariamente em uma situação confortável no que tange à conservação do aquífero, uma vez que menos de 1% deste se encontra em situação de vulnerabilidade desprezível. Associado a isto, as atividades antrópicas realizadas no município exercem uma pressão extrema nas áreas de vulnerabilidade reduzida, transformando-as em áreas de alto risco à contaminação.

Deste modo, as características físicas do município proporcionam um certo nível

de proteção ao aquífero que atualmente possui uma grande massa de fontes potencialmente poluidoras e que devem ser amplamente fiscalizadas, demandando ações no que tange ao manejo dos dejetos das unidades produtoras de aves e suínos e também no manejo agrícola, pela ampla utilização de defensivos e fertilizantes. Além de fiscalização intensiva sobre os postos de combustível que são fontes potenciais de poluição por contaminantes altamente nocivos e, não raro, estão muito próximos a poços tubulares e ou cisternas.

Tendo em vista que a economia de Rio Verde e dos municípios vizinhos baseia-se no agronegócio, o enfoque em medidas preventivas de fiscalização e controle da qualidade da água subterrânea são de grande importância, principalmente quanto ao uso de agrotóxicos, em especial os pesticidas.

Espera-se que os resultados apresentados neste trabalho possam contribuir para estudos mais específicos, sobretudo em relação às fontes contaminantes em áreas mais susceptíveis a poluição do aquífero Bauru. Espera-se ainda que sejam utilizados como subsídio para a gestão dos recursos hídricos subterrâneos no município de Rio verde.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, L. et al. **Hidrogeologia do Estado de Goiás e Distrito Federal**. Goiânia, 2006. Disponível em: <http://www.sieg.go.gov.br/>. Acesso em março de 2012.

ALVES, T. M.; CASTRO, S. S. Vulnerabilidade e risco à contaminação dos solos da área de recarga do aquífero Guarani no estado de Goiás. **Boletim Goiano de Geografia**, v. 29, n. 1, p. 135-150, 2009.

ANDERSEN, L. J.; GOSK, E. Applicability of vulnerability maps. **Environmental Geology and Water Sciences**, v. 13, n. 1, p. 39-43, 1989.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR – 12212. **Projeto de poço para captação de água subterrânea – Procedimento**. Rio de Janeiro, 2006

_____. NBR – 12244. **Poço tubular - Construção de poço tubular para captação de água subterrânea**. Rio de Janeiro, 2006.

_____. NBR – 13604. **Filtros e tubos de revestimento em PVC para poços tubulares profundos**. Rio de Janeiro, 1996.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA. **Resolução nº 396 de 03 de abril de 2008**. DOU nº 66, pg. 64 – 68. 2008.

CARNEIRO, F. F. et al. **Dossiê ABRASCO – Um alerta sobre os impactos dos agrotóxicos na saúde. ABRASCO**. Rio de Janeiro, abril de 2012. 1ª Parte.98p.

CARNEIRO, G. T.; CABACINHA, C. D.; FARIA, K.M.S. de; SIQUEIRA, M.; LIMA, J. C. S. Cobertura Florestal do Município de Rio Verde, GO: Estrutura e Composição da Paisagem entre 2005 e 2008. **Geografia (Rio Claro. Impresso)**, v. 36, p. 335-357, 2011.

CASTRO, S. S. (Coord.). **Avaliação de impactos ambientais – município de Rio Verde (GO)**. 2009.

Disponível em:

http://www.labogef.iesa.ufg.br/labogef/arquivos/downloads/rio-verde-relatorio-1-final_69481.pdf.

Acesso em 10 de junho de 2011.

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

FARIA, K. M. S. de; CARNEIRO, G. T.; CASTRO, S. S. **Análise Preliminar do Uso da Terra e do Processo de Fragmentação da Vegetação do Município de Rio Verde (GO) Com Imagem Landsat TM5 (2008).** In: XIII Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada, 2008, Viçosa. Anais. Viçosa, 2008.

FOSTER, S. HIRATA, R.; GOMES, D.; D'ELIA, M.; PARIS, M. **Groundwater Quality Protection: A Guide for Water Service Companies, Municipal Authorities and Environment Agencies.** World Bank, GWMAE. Washington, 2002.

FOSTER, S. S. D. e R. HIRATA. Groundwater pollution risk assessment: a methodology using available data. **Whopaho/hpe-cepis technical manual.** Lima, Peru, 1988.

GOIÁS. Instituto Mauro Borges de Estatísticas e Estudos Socioeconômicos (IMB). **Banco de Dados Estatísticos (BDE).** 2014 (a). Disponível em: <<http://www.seplan.go.gov.br/sepin/bde/>>. Acesso em: 01 de maio de 2013.

_____. Lei nº 13.123 de 16 julho de 1997. Estabelece normas de orientação à política estadual de recursos hídricos, bem como ao sistema integrado de gerenciamento de recursos hídricos e dá outras providências. **Diário oficial do Estado de Goiás.** 22 de julho de 1997.

_____. Lei nº 13.583 de 11 de janeiro de 2000. Dispõe sobre a conservação e proteção ambiental dos depósitos de água subterrânea no Estado de Goiás e dá outras providências. **Diário oficial do Estado de Goiás.** 14 de janeiro de 2000.

_____. Ministério Público Estadual. **Percentual de Municípios com aterro sanitário.** Goiânia. 2009.

_____. SEPLAN (Secretaria do Planejamento e Desenvolvimento – Goiás). **Anuário Estatístico do Estado de Goiás – 2005.** Goiânia: SEPLAN, 2005. 823 p.

GOMES, M. A. F.; PEREIRA, L. C. Ordenamento agroambiental das áreas de afloramento do aquífero guarani: estudo de caso nos estados de São Paulo, Goiás e de Mato Grosso. **Pesticidas: Revista de Ecotoxicologia e Meio Ambiente**, v. 18, p. 59-72, 2008.

LOAGUE, K. Regional Scale Ground-Water Vulnerability Estimates: Impact of Reducing Data Uncertainties for Assessments in Hawaii. **Groundwater**, v. 32, n. 4, p. 605-616, 1994.

MEIRA, J. C. R.; CAMPOS, A. B. de; PEREIRA JÚNIOR, L. C. Vulnerabilidade natural e perigo à contaminação de zona de recarga do Aquífero Guarani. **Águas Subterrâneas**, v28, n. 1, p. 31 – 46, 2014.

MOREIRA, M. L. O.; ARAÚJO, V. A. de; FILHO, J. V. de L.; COSTA, H. F. da. (ORG). **Geologia do Estado de Goiás e Distrito Federal.** Escala 1: 500.000. Goiânia: CPRM/SIC-FUNMINERAL,2008. Disponível em www.sieg.go.gov.br

REBOUÇAS, A. C. **Uso inteligente da água.** São Paulo: Escrituras editora, 2004.