

VULNERABILIDADE À CONTAMINAÇÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS SUBTERRÂNEOS NO MUNICÍPIO DE GOIÂNIA/GO

VULNERABILITY TO THE CONTAMINATION OF UNDERGROUND WATER RESOURCES IN THE MUNICIPALITY OF GOIÂNIA/GO

Lucas Espíndola Rosa

Universidade Federal de Goiás

lucasespindola@ufg.br

Larissa Veridiane Coutinho

Universidade Federal de Goiás

larissavv2@gmail.com

Elizon Dias Nunes

Universidade Federal de Goiás

elizonnunes@ufg.br

Ana Karolyna Nunes Amaral

Universidade Federal de Goiás

ana_karolyna@ufg.br

Luís Felipe Soares Cherem

Universidade Federal de Goiás

luischerem@ufg.br

Resumo

Os recursos hídricos subterrâneos são responsáveis por cerca de 39% do abastecimento humano brasileiro. No contexto de aumento da demanda hídrica de grandes cidades, entre elas Goiânia (GO), sua gestão torna-se premente em decorrência do aumento dos efluentes urbanos. Estudos desta natureza torna-se mais importante quando o aumento da população não é acompanhado pelo aumento do esgotamento sanitário. Nestes termos, este trabalho tem por objetivo compreender a vulnerabilidade à contaminação dos recursos hídricos subterrâneos do município de Goiânia. Para tanto, utilizou-se o consagrado método de GOD e POSH com base em algumas adaptações metodológicas. Os resultados indicam que o perigo a contaminação (GOD) das águas subterrâneas no município de Goiânia é predominantemente muito baixo com cerca de 74%; seguida pela baixa com cerca de 20,7%; média com cerca de 2,4%; alta com cerca de 0,24%; e muito alta com cerca de 2,3% do município de Goiânia. Em relação ao risco a contaminação, a partir do método POSH para os anos de 2000 e 2010 constata-se que cerca de 7% dos bairros do município possui áreas elevadas a potencial contaminação, seguidas por 14% de bairros com moderado risco e bairros com percentual reduzido perfazem cerca 12% dos bairros sendo os demais sem informação. O estudo também constata que as variações de GOD e POSH na capital goiana estão relacionados ao rearranjo das cidades.

Palavras-Chave: aquíferos, lençol freático, poluição, região metropolitana.

Abstract

Underground water resources are responsible for about 39% of the Brazilian human supply. In the context of increased water demand in large cities, among them Goiânia (GO), its management becomes urgent due to the increase in urban effluents. Studies of this nature become more important when the increase in population is not accompanied by an increase in sewage. In these terms, this work aims to understand the vulnerability to the contamination of underground water resources in the municipality of Goiânia. For that, the well-known method of GOD and POSH was used based on some methodological adaptations. The results indicate that the danger of contamination (GOD) of groundwater in the municipality of Goiânia is predominantly very low with around 74%; followed by the low with about 20.7%; average with about 2.4%; high with about 0.24%; and very high with about 2.3% of the municipality of Goiânia. Regarding the risk of contamination, using the POSH method for the years 2000 and 2010, it appears that about 7% of the neighborhoods in the municipality have elevated areas with potential contamination, followed by 14% of neighborhoods with moderate risk and neighborhoods with reduced percentage make up about 12% of the neighborhoods with the rest without information. The study also finds that the variations of GOD and POSH in the capital of Goiás are related to the rearrangement of cities

Keywords: aquifers, groundwater, pollution, metropolitan region.

INTRODUÇÃO

A água potável está intrinsecamente ligada aos direitos à vida, à saúde e à alimentação. Neste contexto, a água subterrânea constitui cerca de 39% da oferta de abastecimento humano no Brasil (ANA, 2010). No Brasil, os recursos hídricos, principalmente os subterrâneos, sofrem consequências graves do pouco investimento em saneamento básico, cerca de 47% dos domicílios brasileiros urbanos utilizam de fossas rudimentares ou não possuem nenhum tipo de sistema de esgoto. Em Goiás, estado onde se localiza o município de Goiânia, a situação não é diferente, cerca de 46% dos domicílios tem como esgotamento sanitário predominante a fossa rudimentar. Ademais, as cidades brasileiras cujo saneamento encontram-se em déficit, exibem uma situação de alto risco à contaminação dos recursos hídricos subterrâneos (IBGE, 2011; SNIS, 2017).

Em relação à Goiânia, o município sofreu um acréscimo populacional significativo nos últimos anos, ensejando pesquisas sobre o tema. A título de exemplo, houve uma variação do sistema de cobertura sanitário entre os anos de 2000 - 2010, anos dos últimos censos publicados, em que a rede geral de esgotamento sanitário apresentou menor cobertura percentual, partindo de 73% no ano de 2000, para 68% de cobertura no ano de 2010, propiciando maiores riscos aos recursos hídricos subterrâneos presentes na área (ITB, 2012), mas retomando para 86% no ano de 2013 (ANA, 2013). Caso seja consumado o risco à contaminação dos recursos hídricos poderá

haver a limitação na oferta de água, encarecendo o custo de sua utilização, aumentando as causas de problemas à saúde humana e danos ambientais (HIRATA, 2003).

Nestes termos, dado a importância da água subterrânea e a possibilidade de contaminação, estudos apontam que o reconhecimento destes riscos deve acontecer no mínimo em escalas de semi-detalle - 1:50.000, bem como atualizados em virtude das mudanças demográficas (FOSTER *et al.*, 2006). Além disso, o trabalho apresenta como justificativa a necessidade de reconhecer a potencial ocorrência de contaminação dos recursos hídricos subterrâneos, haja vista, a crescente demanda por fontes de abastecimento, bem como a ocorrência de áreas passíveis de conflitos de uso do solo. O presente trabalho também visa estabelecer uma continuidade e acompanhamento relativo à avaliação dos parâmetros físicos na vulnerabilidade dos recursos hídricos subterrâneos do município de Goiânia (COUTINHO *et al.*, 2019).

Assim, este trabalho tem como objetivo principal compreender a vulnerabilidade à contaminação dos recursos hídricos subterrâneos do município de Goiânia. Como objetivos específicos têm-se: i) reconhecer quais são as áreas naturalmente mais vulneráveis; ii) a aplicação do método POSH para a análise das fontes de potencial carga contaminante; iii) avaliar quais os bairros que se mostram mais e menos críticos à contaminação dos recursos hídricos no recorte temporal dos anos 2000-2010.

MATERIAIS E MÉTODOS

Área de estudo

O município de Goiânia é a capital do estado de Goiás, e de acordo com a estimativa do IBGE (2010), sua população é neste ano de cerca de 1,3 milhões de habitantes. Em 2010 já ocupava o posto da 11ª cidade mais populosa do país, conforme dados do Censo 2010. A variação populacional entre 2000 e 2010 apresentou crescimento de 2,23% ao ano, ultrapassando os 1,84% do estado de Goiás e 1,17% na média do Brasil. Goiânia se insere dentre as regiões que possuem maior crescimento populacional, aumentando a demanda pelos recursos hídricos.

Atualmente possui uma área de cerca de 728,8 km², contando com abastecimentos prioritários do rio Meia-Ponte e reservatório João Leite. As águas subterrâneas, entretanto, contribuem em mais de 815 poços registrados espalhados por Goiânia (CPRM, 2020). Isso

comprova que embora o abastecimento por águas superficiais seja o mais utilizado no município, os recursos hídricos subterrâneos possuem também grande importância e demanda.

Em relação aos seus condicionantes físicos o município de Goiânia conta com dois sistemas de aquíferos, sendo eles: o Cristalino Sudeste e o Araxá. Esses aquíferos são respectivamente fraturados e granulares. O sistema aquífero Cristalino Sudeste apresenta, a partir de sua litologia, produtividade diferenciada em relação ao tipo de rocha do terreno. Ao analisar a vazão do sistema Aquífero Cristalino Sudeste em terreno com rochas granulíticas nota-se que é uma área de baixa vazão, com cerca de 3 m³/h, enquanto ao examinar este mesmo aquífero localizado em terreno granito-gnáissico a vazão é de 7 m³/h. Isso acontece por conta do efeito da tectônica de alívio que durante a formação desse sistema promoveu maior pressão nas áreas das rochas granulíticas, promovendo uma região com menor densidade de descontinuidades (fraturas) de alívio. Entretanto, na região de rochas granito-gnáissico houve um resfriamento com maior intervalo de tempo e maior densidade das descontinuidades secundárias gerando maior produtividade média nos poços localizados nessa região (HIRATA; FERREIRA, 2001; ALMEIDA et al., 2006; LACERDA FILHO, 2008).

Já a formação do Sistema Aquífero Araxá é constituída a partir da formação do Grupo Araxá em conjunto às Sequências Vulcano-Sedimentares. O Grupo Araxá é formado por dois grupos principais: i) O grupo A: que é composto por sedimentos plataformais, do tipo marinho raso, formadas fundamentalmente por muscovita-clorita xisto, clorita-quartzo xisto; ii) O grupo B: que é uma sequência pelítica marinha, o qual compreende rochas do tipo micaxistos e quartizitos. Essa formação embora seja considerada de baixa produtividade hidrológica pelo tipo de litologia presente, ainda apresenta uma vazão média em torno de 3,5m³/h. Há de se considerar que quando se encontra em áreas com fraturas abertas, como é o caso da Serra das Areias, em Aparecida de Goiânia, a vazão desse tipo de aquífero aumenta consideravelmente (ALMEIDA, 2006; LACERDA FILHO et al., 2008). Assim, na Região Metropolitana de Goiânia as áreas com melhor produtividade de água subterrânea estão relacionadas as rochas quartzíticas do Sistema Aquífero Araxá, em virtude dos alçados topográficos da Serra das Areias (Aparecida de Goiânia); Serra da Felicidade e Morro do Grimpas (Hidrolândia); bem como a região do Morro do Mendanha (Goiânia) (CPRM, 2018).

Procedimentos metodológicos

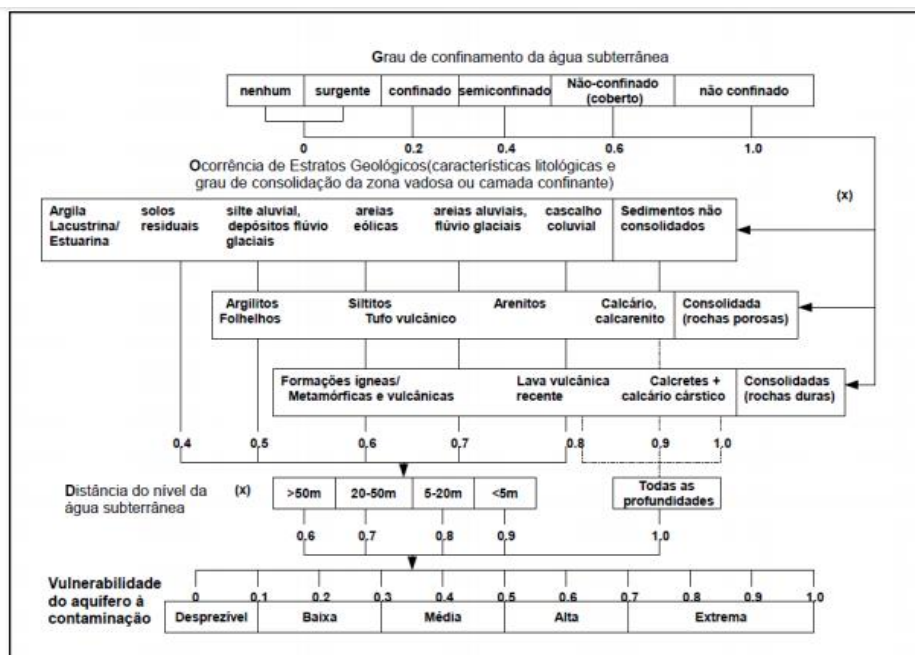
A diversidade de interpretações quanto a terminologia de vulnerabilidade, perigo e risco faz com que seja necessária uma definição conceitual neste trabalho. O perigo à contaminação da água subterrânea pode ser compreendido como a probabilidade de que um determinado sistema ambiental tenha de se contaminar em decorrência de suas características intrínsecas (FOSTER; HIRATA, 1988).

De maneira complementar, o perigo também pode ser compreendido como um fenômeno natural que ocorre em determinadas áreas e épocas conhecidas, geralmente causando grandes danos a essas áreas, entretanto, o perigo se torna risco ao promover impactos e ser nocivo aos humanos.

Vale diferenciar ambos os conceitos de vulnerabilidade, sendo este um termo resultante da associação entre perigo e risco. Trata-se da possibilidade de que, em um determinado período de tempo, o perigo venha a se tornar risco pela possibilidade de prejuízos ou passivos ambientais (KOBİYAMA *et al.*, 2006). Nestes termos, este trabalho exhibe como cerne conceitual o termo vulnerabilidade, haja visto a variação temporal de áreas que podem ou não estar em risco.

Para tanto, a metodologia utilizada para a análise da vulnerabilidade constitui-se inicialmente da aplicação das variáveis da sigla GOD, em que o “G” significa “grau de confinamento dos recursos hídricos subterrâneos”; a letra “O” a “ocorrência de litologia na região”; e o “D” a “distância do lençol freático até a superfície” (FOSTER, *et al.*, 2006), conforme Figura 1.

As informações geológicas, hidrogeológicas e pedológicas foram retiradas a partir das seguintes informações: i) Hidrogeologia da Região Metropolitana de Goiânia (CPRM, 2018); ii) Diagnóstico das Macrozonas Rurais do Município de Goiânia (ITCO, 2016); iii) Diagnóstico Hidrogeológico da Região de Goiânia (CAMPOS *et al.*, 2003). Ademais para o reconhecimento das profundidades dos níveis estáticos foram utilizados do SIAGAS (Sistema de Informações de Águas Subterrâneas) 815 registros de poços tubulares localizadas prioritariamente no núcleo urbano, mas que destes 504 poços tubulares ($\cong 62\%$) apresentavam informações consistentes. Tais dados apresentam-se em consonância com estudos preliminares acerca da vulnerabilidade a contaminação dos recursos hídricos (COUTINHO *et al.*, 2019).

**Figura 1:** Variáveis e parâmetros para implementação do GOD.

Fonte: Foster, et al., (2006). Organizado pelos autores.

Em seguida, há a implementação do POSH (FOSTER et al., 2006) com escala de detalhamento de 1:50.000 e realizada a partir dos seguintes dados: i) densidade populacional e espacialização dos bairros de Goiânia (IBGE, 2000; IBGE, 2010; MUBDG, 2012); ii) diagnóstico da contaminação difusa distribuída na ocupação de determinados bairros.

O método POSH (*Pollutant Origin Surcharge Hydraulically*) oferece instrumentos para o cadastro de cargas contaminantes do subsolo com base em duas características: i) origem do poluente; ii) sobrecarga hidráulica associada. Essa metodologia classifica em três níveis qualitativos principais, sendo elas consecutivamente: reduzido, moderado e alto (FOSTER et al., 2006), conforme Quadro 1. Dada a inexistência da disponibilização das informações relativas à distribuição do esgotamento sanitário na capital goiana foram adotados somente a densidade demográfica (hab/km^2).

Quadro 1: Classificação e mapeamento das fontes de contaminação difusas segundo sistema POSH.

Potencial de Carga Contaminante de Subsolo	Saneamento <i>in situ</i>
Elevado	Cobertura da rede de esgoto inferior a 25% e densidade demográfica superior a 10.000 pessoas/ km^2
Moderado	Intermediário entre elevado a reduzido

Reduzido	Cobertura da rede de esgoto superior a 75% e densidade demográfica inferior a 5.000 pessoas/km ²
----------	---

Fonte: Foster *et al.*, (2006). Organizado pelos autores.

Observação: A pesquisa considerou apenas a densidade demográfica – hab/km².

Dessa forma, a avaliação da vulnerabilidade à contaminação das águas subterrâneas será analisada a partir do levantamento de informações e a elaboração de produtos cartográficos com vistas a correlação de informações. A partir desta correlação de informações que indicam as áreas de maior e menor perigo (intrínseco) de contaminação foram selecionados os bairros de maior e menor risco para observação das respectivas vulnerabilidades.

Com vistas a melhor discriminação das áreas de perigo e contaminação e consequentemente de vulnerabilidade, haja visto o impacto das atividades humanas sobre essas áreas, foram adotados o método geoestatístico de *natural break jenks*, quebras naturais, na tradução livre. Este método apresenta a função de encontrar intervalos numéricos de um determinado número de classes com vistas a minimizar a variância entre eles, refletindo em uma menor e melhor variabilidade real existente entre os valores de um determinado conjunto de informações (FERREIRA, 2014).

RESULTADOS E DISCUSSÕES

A avaliação pelo método GOD evidencia que a capital goianiense apresenta cerca de 98% de sua área classificada com baixa vulnerabilidade, sendo o restante, 2% classificados como médio risco. A aplicação do método de avaliação estatística de *natural breaks jenks* possibilita uma maior discriminação qualitativa das áreas com maior Perigo (vulnerabilidade intrínseca), segmentadas em cinco classes, conforme Figura 2.

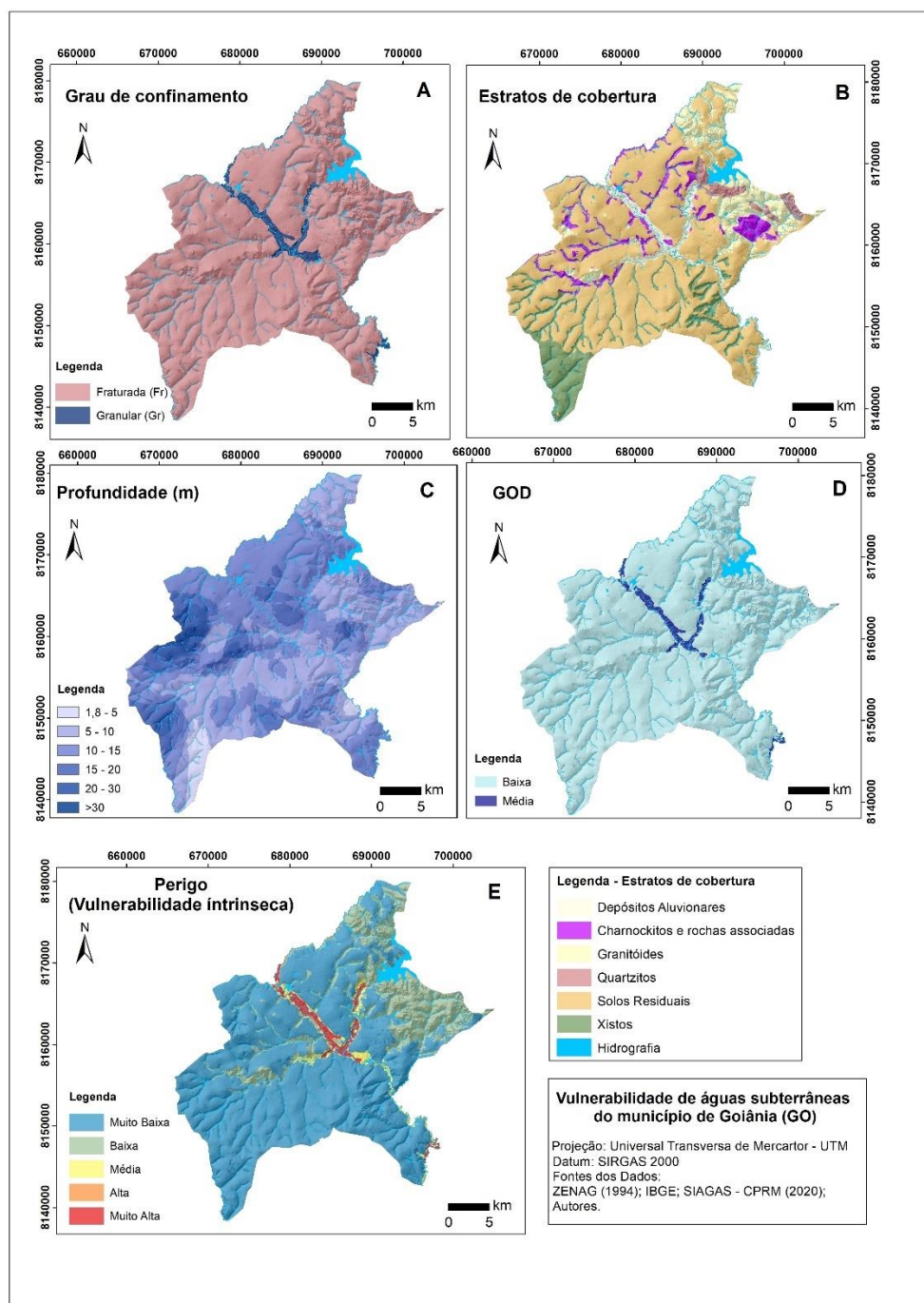


Figura 2: Síntese dos parâmetros de perigo (natural) à contaminação dos recursos hídricos subterrâneos de Goiânia (GO). A Figura (A) evidencia o grau de confinamento; a Figura (B) apresenta as ocorrências litológicas; a Figura (C) a profundidade do nível freático (estático); a Figura (D) a resultante do método GOD; a Figura (E) o perigo a contaminação resultante da modificação do método GOD por método geoestatísticos (quebra naturais).

Fonte: Autores

A predominância da vulnerabilidade muito baixa é de cerca de 74%; seguida pela baixa com cerca de 20,7%; média com cerca de 2,4%; alta com cerca de 0,24%; e muito alta com cerca

de 2,3% do município de Goiânia. Tais resultados diferenciaram-se ao primeiro estudo indicado por Coutinho et al., (2019) que apresentam para o município de Goiânia um perigo (vulnerabilidade intrínseca) de 61% classificados como muito baixa e 23% como média, essa última classe com grande perda amostral em relação aos resultados aqui demonstrados. Este reposicionamento se explica em decorrência da melhor consonância com a metodologia original, haja visto que cerca de 95% do município é classificado como muito baixo/baixo, mas que pelo número de classes há uma boa demonstração de quais áreas são mais perigosas (vulneráveis intrinsecamente).

As áreas com condições mais propícias a contaminação dos recursos hídricos subterrâneos localiza-se em direção ao município de Terezópolis de Goiás que apresentam solos pouco desenvolvidos situados sob distintos granitóides que apresentam um maior controle litoestrutural ante as demais regiões do município. Áreas como o Morro do Mendanha também apresentam maior perigo a contaminação dado ao seu forte controle litoestrutural que mantém a alimentação das águas subterrâneas tanto na região, quanto nas posições mais rebaixadas dos terrenos.

Ainda com maior perigo a contaminação estão localizadas as áreas localizadas nas Faixas Aluviais do rio Meia-Ponte e ribeirão João Leite. Por essas áreas serem compostas predominantemente por depósitos de sedimentos inconsolidados com destaque para sedimentos arenosos, argilosos e conglomerados, classificam-se no grau de confinamento como granular que associado a menor profundidade do freático tornam-se as áreas com maiores perigos a contaminação.

As áreas com menor perigo a contaminação estão posicionadas sobre os solos residuais, predominantemente compostos por Latossolos. Os Latossolos são constituídos por minerais caulíníticos, óxidos e hidróxidos de ferro e alumínio que configuram a eles sua estrutura granular, conferindo-o excelente capacidade de condutividade hidráulica, portando um nível freático profundo. Solos com horizonte B latossólico apresentam costumeiramente pelo menos 90 dias com alguma umidade, em pelo menos 45 dias consecutivos (BUOL et al., 2011). Ademais, os Latossolos bastante intemperizados exibem melhor capacidade adsorção de metais e ânions que por consequência retêm os poluentes nas primeiras camadas (KAMPF et al., 2012).

Há de se considerar que as informações mais consistentes levantadas por este modelo adotado foram as profundidades dos poços tubulares. A profundidade média dos recursos

hídricos subterrâneos na capital goiana exibe predominância entre as profundidades de cerca 10 – 15m com cerca de 45% da área da capital, seguida pela profundidade entre 5 – 10 m com cerca de 37%, juntas perfazem cerca de 82% da área da profundidade do freático do município, conforme Figura 3.

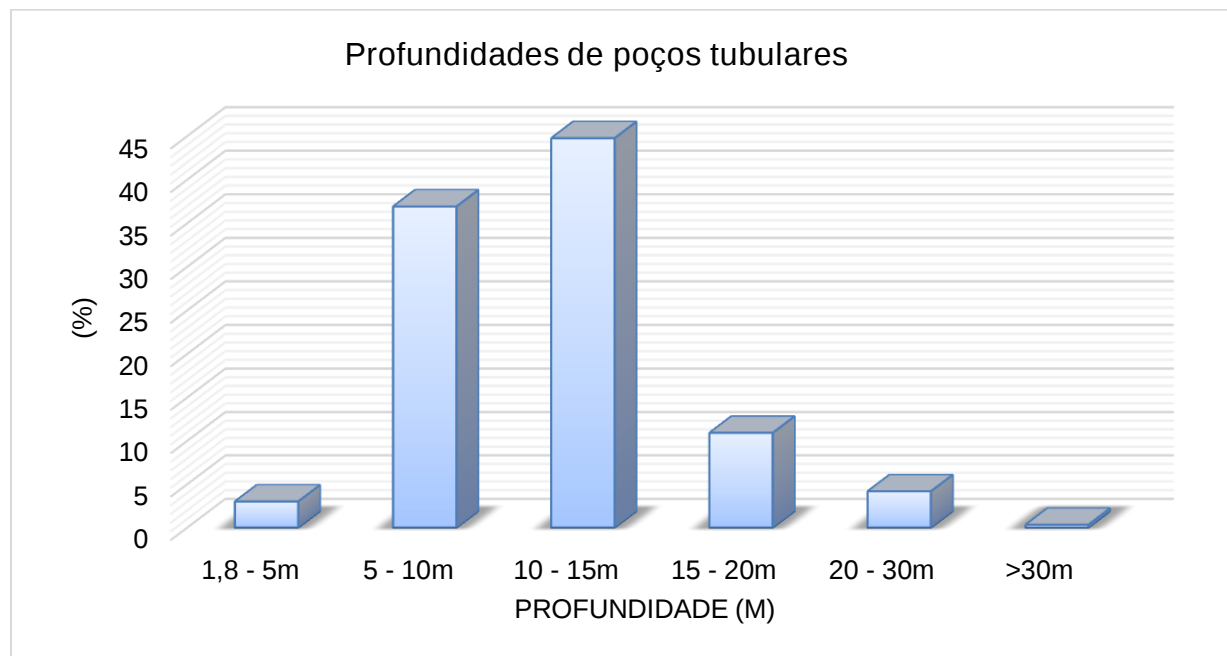


Figura 3: Síntese da profundidade dos recursos hídricos subterrâneos no município de Goiânia no ano de 2020.

Fonte: SIAGAS (2020) Organização: Autores.

Tais resultados também indicam que o município não tem grandes áreas “jorrantes” que podem permitir uma contaminação mais facilitada. Convém destacar que poços artesanais “jorrantes” são caracterizados por um poço tubular em uma cota altimétrica abaixo do nível de água regional, fazendo com que o alívio da pressão estabelecida pelo furo permita a água jorrar sem a necessidade de um bombeamento (DINIZ et al., 2014).

A aplicação do método POSH para os anos de 2000 e 2010 constata que cerca de 7% dos bairros do município possui áreas elevadas a potencial contaminação. Bairros com percentual reduzido perfazem cerca 12% dos bairros, enquanto moderado perfazem cerca de 14%. Constata-se ainda um predomínio de bairros que não apresentam dados censitários populacionais cadastrados pela Prefeitura, perfazendo cerca de 67% do município, conforme Figura 4.

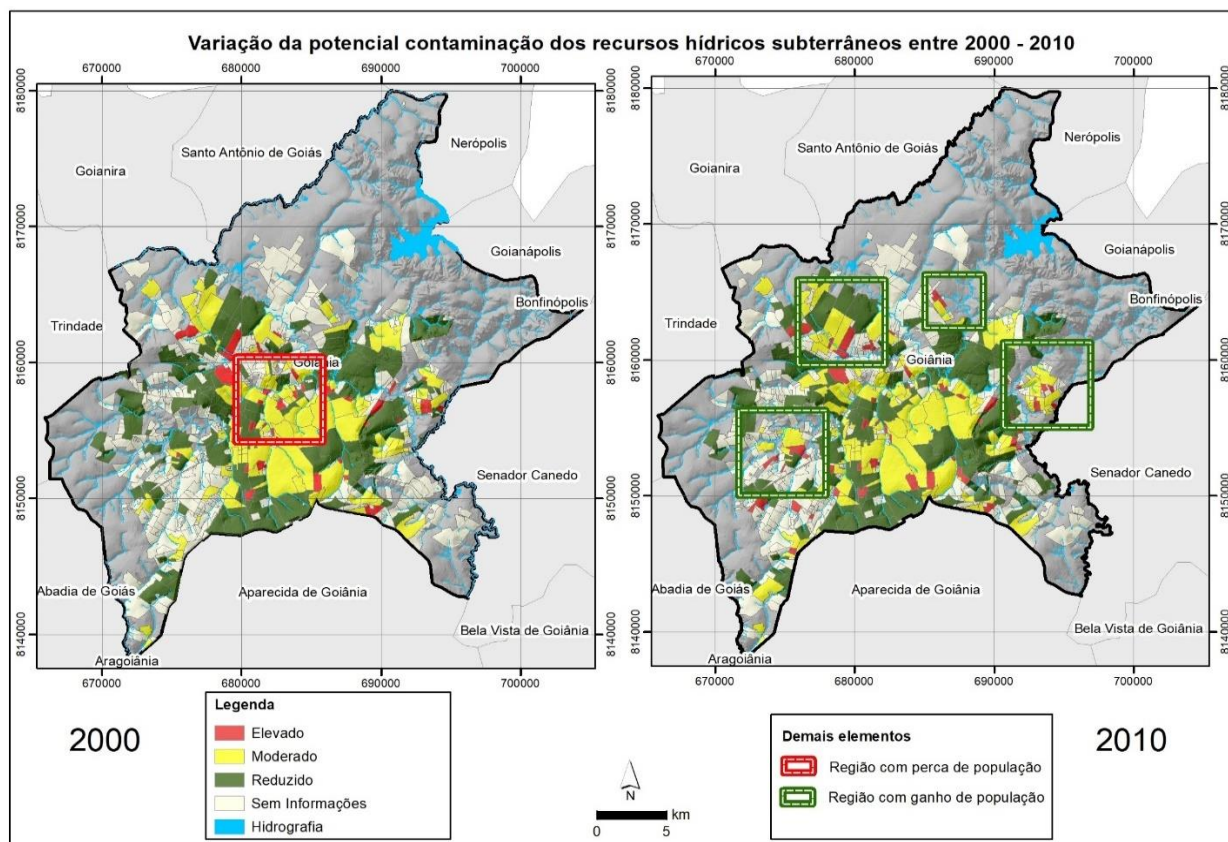


Figura 4: Síntese dos potenciais bairros contaminantes aos recursos hídricos subterrâneos.

A Figura 4 demonstra ainda que há de se considerar que algumas dessas áreas (sem informações) apresentam-se como glebas, bem como pequenos bairros que podem não ser notificados em detrimento de bairros mais tradicionais, ou seja, um único bairro pode ser sobre notificado com a população de um bairro lindeiro.

Além do mais, a figura ainda demonstra a flutuação populacional interna na cidade, por exemplo, o bairro Alto da Glória está entre os bairros que mais apresenta representativo crescimento entre o recorte temporal de 2000-2010 com um crescimento de cerca de 267% de sua densidade demográfica, partindo de uma densidade de 4.851 hab/km² no ano de 2000 para 17.805 hab/km² no ano de 2010, o que exige uma grande demanda por infraestrutura, assim como bairro planejado vertical Eldorado que apresenta uma densidade populacional de 17.988 hab/km² e iniciou sua construção a partir dos anos 2000, conforme Figura 5.



Figura 5: Evolução do Residencial Eldorado. A imagem (A) mostra o início das edificações no ano de 2002, enquanto na imagem (B) mostra o bairro em maior consolidação no ano de 2011.

Há de se considerar que bairros com infraestrutura consolidada também apresentaram uma variação populacional que tende a diminuição do risco a contaminação, por exemplo, o Setor Campinas. Este bairro evidencia uma redução populacional de 20%, partindo do potencial carga de contaminação de moderado para reduzido, assim como a Vila Paraíso que apresentou uma redução de 26%, partindo da contaminação elevada para moderada, conforme Quadro 2.

Quadro 2: Bairros com maiores contrações de densidade demográfica entre os anos de 2000 – 2010 no município de Goiânia.

Bairros	Densidade Demográfica - hab/km ² (2000)	Densidade Demográfica - hab/km ² (2010)	Redução percentual (%)	POSH (2000)	POSH (2010)
Cj. Fabiana	4.291	3.454	20%	Reduzido	Reduzido
Vl. Aguiar	21.105	16.960	20%	Elevado	Elevado
St. Campinas	5.839	4.684	20%	Moderado	Reduzido
Jd. das Esmeraldas	7.137	5.620	21%	Moderado	Moderado
St. Marista	3.596	2.820	22%	Reduzido	Reduzido
Jd. das Aroeiras	7.706	5.838	24%	Moderado	Moderado
Vl. Paraíso	10.748	7.900	26%	Elevado	Moderado
Col. Santa Marta	3.758	2.757	27%	Reduzido	Reduzido

Organização: Autores.

Este fenômeno se explica por políticas públicas que inicialmente vieram para promover a ocupação de novas áreas em detrimento de áreas já consolidadas. Essas políticas eram conhecidas como programas habitacionais que, por meio de diversos movimentos populares colocaram em evidência a importância da moradia para a baixa-renda. Ao longo dos anos, programas como “Pró-Moradia”, “Morar Melhor”, “Programa de Subsídio à Habitação de Interesse Social” e o mais recente “Minha Casa Minha Vida” promoveram a ocupação das

franjas da cidade, concomitante com a ocupação de condomínios fechados tanto horizontais, quanto verticais, promovendo uma rearticulação das centralidades da cidade de Goiânia (MOYSÉS et al., 2007; LUCAS, 2016) aumentando a densidade demográfica em direção as franjas, com destaque para Trindade, Senador Canedo, Abadia de Goiás e Santo Antônio de Goiás.

A centralidade não é uma situação estável, é permanentemente dependente da deslocação de pessoas, bens e meios de comunicação. Ressalta-se inclusive que essa relação tem se alterado em decorrência do aprofundamento das relações sociais, a partir da globalização e por meio de redes de comunicação e de transporte. O processo de centralidade observado no município de Goiânia evidencia que no início o Centro, o setor Sul e Oeste eram bairros destinados as famílias mais abastadas (localizadas no centro do sítio urbano), enquanto o bairro Vila Nova, então localizada na franja da cidade, era destinada aos operários e demais trabalhadores.

Ao decorrer do processo de urbanização, a valorização do solo e a expansão urbana acomete a ressignificação da centralidade, promovendo o desenvolvimento dos subúrbios com alta densidade populacional (CLAVAL, 2000; ARRAIS, 2003; GONÇALVES, 2006), conforme Quadro 3, e consequentemente contribuindo para um maior risco a contaminação dos recursos hídricos, conforme Figura 6.

Quadro 3: Bairros com maior densidade demográfica e maior risco a contaminação no ano 2010.

Bairros	Densidade Demográfica - hab/km ² (2000)	Densidade Demográfica - hab/km ² (2010)	POSH (2000)	POSH (2010)
Res. Recreio Panorama	5.096	18.801	Moderado	Elevado
Res. Balneário	11.626	19.026	Elevado	Elevado
Se. Sevene	9.295	19.512	Moderado	Elevado
Vl. Martins	10.994	21.242	Elevado	Elevado
Lot. Panorama Parque	25.261	23.379	Elevado	Elevado
Vl. Matilde	26.562	24.303	Elevado	Elevado
Vl. Romana	25.317	24.439	Elevado	Elevado
Cj. Campus	-	29.563	Elevado	Elevado

Organização: Autores



Figura 6: Evolução do Residencial Recreio Panorama. Fotografia (A) ano de 2002 e Fotografia (B) ano de 2010.

A correlação entre dos dados de POSH (risco), nos bairros com informação; e GOD (perigo) ainda demonstra que cerca de 96% das áreas de elevado risco a contaminação está situada em áreas de muito baixo perigo, enquanto as áreas de moderado risco apresentam-se situadas em cerca de 94% das áreas de muito baixo perigo e as áreas de Reduzido risco perfazem cerca de 85% das áreas de muito baixo perigo, apontando assim, uma tendência de muita baixa vulnerabilidade aos recursos hídricos subterrâneos conforme Figura 7.

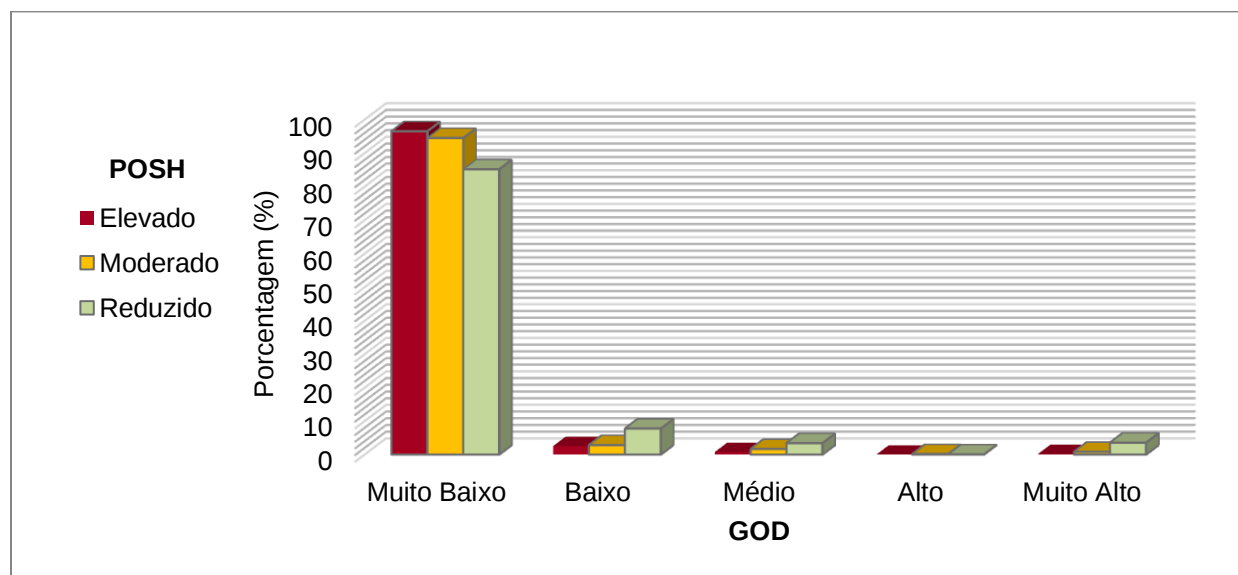


Figura 7: Síntese da vulnerabilidade a contaminação dos recursos hídricos subterrâneos na cidade de Goiânia entre os anos de 2000-2010.

As áreas centrais do município de Goiânia compostas por bairros como o Setor Bueno, Jardim América, Setor Pedro Ludovico, Setor Oeste, Nova Suíça, Setor Coimbra que estão entre os bairros com m² mais valorizados apresentam como resultados risco moderado, ou seja, densidade populacional entre 5.000 hab/km² e 10.000 hab/km² em decorrência da grande área

destes setores, associados a estarem localizados predominantemente sobre solos residuais desenvolvidos, principalmente os Latossolos.

Parte dos bairros localizados próximos ao afluente do ribeirão Anicuns com o rio Meia-Ponte tendem a apresentar moderado risco e médio perigo, por exemplo, o Bairro Progresso, Setor Perim e o Urias Magalhães, assim como bairros localizados em direção a Trindade e principalmente a Senador Canedo, conforme Figura 8.

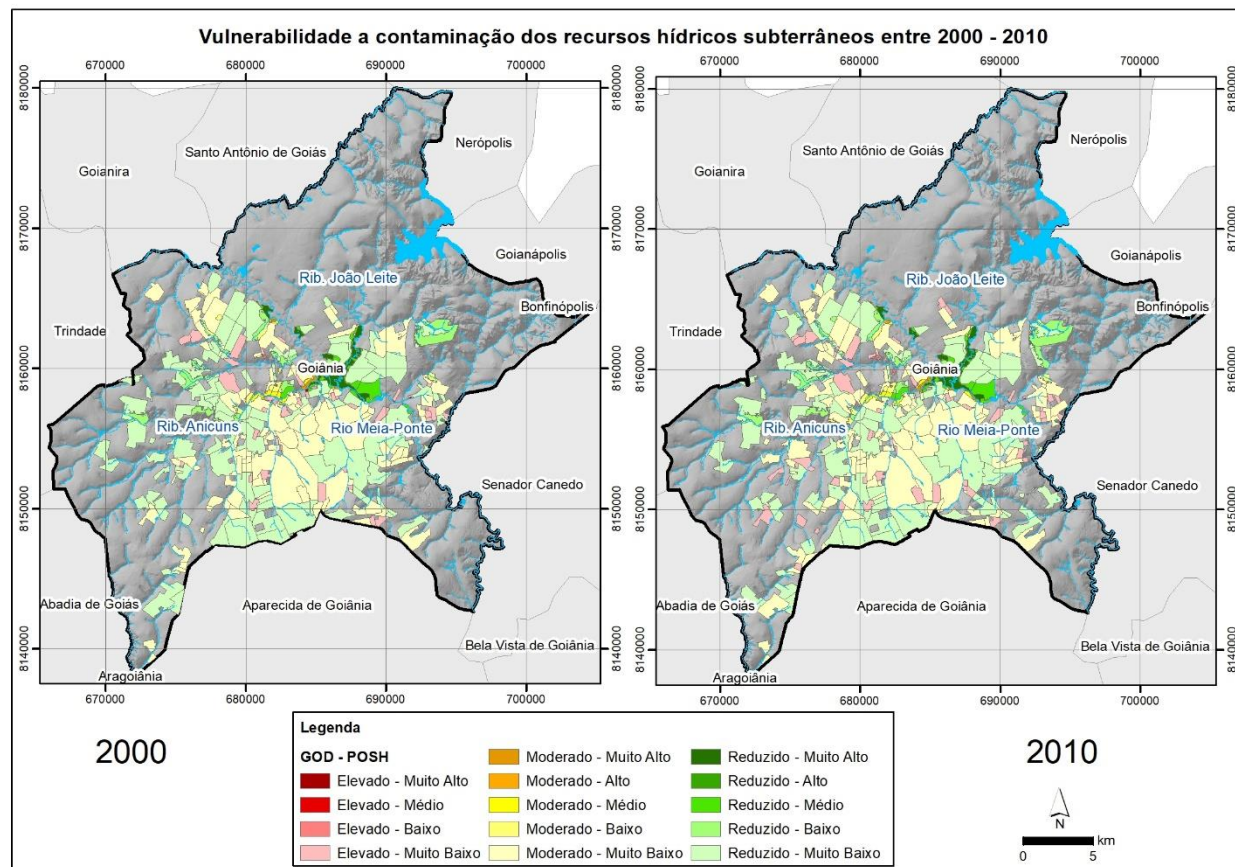


Figura 8: Vulnerabilidade a contaminação dos recursos hídricos subterrâneos da cidade de Goiânia entre 2000 – 2010.

Crispim (2015) realizando estudos a partir do método GOD aponta que no eixo Goiânia – Anápolis o município de Goiânia apresenta cerca de 8% de suas áreas de alto perigo, seguidos por 15% de médio e 64% de baixa vulnerabilidade, o que mostra-se sobre-estimado em relação aos dados dessa pesquisa, em decorrência principal do *input* de seus dados serem realizados em escala de reconhecimento (1:1.000.000).

Nogueira (2017) aponta que para a Região Metropolitana de Goiânia há uma alta e muito alta vulnerabilidade de cerca 46% de sua área, entretanto, chama atenção do desenvolvimento

dessas áreas se posicionarem predominantemente em áreas de Latossolos, que são destacados por sua profundidade do seu lençol freático, além de apresentarem capacidade retenção de metais (KAMPF et al., 2012).

Meira et al., (2014) estudando a porção do aquífero Guarani em todo município de Mineiros (GO), que evidencia grande distribuição dos arenitos de dupla porosidade da Formação Botucatu (ALMEIDA et al., 2006), apontam que cerca de 12% do município apresenta elevado risco a contaminação, seguido por cerca de 45% de moderado risco e 43% com ausência de riscos. Em relação a vulnerabilidade, que para estes autores são tratados como perigo, apresentam-se em cerca de 22% do município a alta vulnerabilidade; e cerca de 4% do município com extrema vulnerabilidade, predominando a vulnerabilidade baixa com cerca de 42% da área do município. Contudo, curiosamente, as áreas com maior vulnerabilidade verificada encontram-se sobre os Latossolos que apresentam uma profundidade do freático entre 20 e 50 m, o que pela própria descrição da metodologia já apontam áreas com tendência a risco reduzido.

Conicelli (2014) estudando a alta bacia do rio Tietê, a partir de um fatiamento em células de 2 km² apontam que as fontes de contaminação de elevada carga potencial classificadas como sem carga perfazem cerca de 62% da área de estudo, enquanto a baixa potencial apresenta cerca de 13%, média 16% e alta 9% da área de estudo, sendo as áreas de maior densidade de potencial a contaminação os núcleos urbanos de São Paulo, São Caetano do Sul e Diadema. As áreas declaradas contaminadas, podendo ou não ter sido reabilitadas, apresentam o predomínio de poluição por postos de combustíveis com 1.574 postos, ante a demais áreas que perfazem juntas 444 estabelecimentos.

Robaina et al. (2002) e Pinheiro et al. (2015), apontam que as áreas onde os riscos a contaminação da água subterrânea mostraram-se mais altos são nos núcleos urbanos, onde as fontes poluidoras estão distribuídas de uma maneira mais expressiva do que em outros locais. Os principais vetores de contaminação destas áreas são os postos de combustíveis, cemitérios, aterros sanitários, dentre outros, mas que quando consideradas isoladamente configuram-se apenas como dados de representação pontuais. Além do mais, as áreas urbanas apresentam rede de esgotamento sanitário, sendo este de elevada capacidade poluidora, e que quando da sua não existência, estando associado ao um ambiente de fácil percolação, provoca impactos irreversíveis ao meio ambiente.

Considerações Finais

O perigo a contaminação (GOD) das águas subterrâneas no município de Goiânia é predominante muito baixo com cerca de 74%; seguida pela baixa com cerca de 20,7%; média com cerca de 2,4%; alta com cerca de 0,24%; e muito alta com cerca de 2,3% do município de Goiânia. Em relação ao risco a contaminação, a partir do método POSH para os anos de 2000 e 2010 constata que cerca de 7% dos bairros do município possui áreas elevadas a potencial contaminação, seguidas por 14% de bairros com moderado risco e bairros com percentual reduzido perfazem cerca 12%.

Quando integradas as duas metodologias, a correlação entre os dados de GOD (perigo) e POSH (risco) ainda demonstram que cerca de 96% das áreas de elevado risco a contaminação estão situadas em áreas de muito baixo perigo, enquanto as áreas de moderado risco apresentam-se situadas em cerca de 94% das áreas de muito baixo perigo e as áreas de reduzido risco perfazem cerca de 85% das áreas de muito baixo perigo.

A utilização somente dos dados de densidade demográfica não se mostrara impeditiva para a realização do modelo, haja visto que no procedimento metodológico original a amplitude entre 25% e 75% de cobertura de esgotamento sanitário mostra-se muito grande. Nota-se que a proporção de esgotamento sanitário associadas as respectivas densidades demográficas apresentam grande intervalo, onde para ser reduzido risco deve apresentar uma densidade inferior a 5.000 hab/km² e 75% de cobertura de esgotamento, ou para áreas com elevado risco devem apresentar densidade igual ou superior a 10.000 hab/km² e no mínimo 25% de cobertura de esgotamento sanitário. Nestes casos, para a ocorrência de um risco alto a contaminação, somente em casos extremos de descuidado, como por exemplo, aglomerados subnormais conhecidos pejorativamente como favelas, ou áreas com grande adensamento populacional propiciada pela verticalização, mas sem tratamento dos efluentes. A título de exemplo, Nova Iorque (EUA) e Hong Kong apresentam uma densidade demográfica média de cerca de 9 mil hab/km² e 6,6 mil hab/km² respectivamente.

A aplicação destes métodos pode propiciar o zoneamento de áreas urbanas visto que fornecerá a localização dos locais mais adequados para a instalação de futuros empreendimentos

potencialmente poluidores (PINHEIRO, et al. 2015; OLIVEIRA et al, 2011). Sua importância mostra-se em decorrência de que os recursos subterrâneos podem ser utilizados como fonte de abastecimento hídrico, devendo-se dar a devida atenção para que esse recurso natural não seja contaminado (VAN STEMPVOORT et al., 1992; FOSTER e HIRATA, 1988 e ALLER et al., 1987);

Os métodos GOD e POSH são uma alternativa viável para a análise da vulnerabilidade de aquíferos, principalmente para locais onde ocorrem falta de dados de semi-detalle/detalle. Quando consorciados, mostram-se como uma boa metodologia de diagnóstico de passivos aos recursos hídricos subterrâneos, uma vez que conta fatores intrínsecos como os extrínsecos (PEREIRA JUNIOR et al., 2015; CUTRIM e CAMPOS, 2010).

Apesar da realização deste modelo, sugere-se a continuação de pesquisas evidenciando os focos pontuais como postos de combustíveis, cemitérios, lagoas de tratamento de efluente que são pontos de alto risco. A pesquisa inovou em relação as demais do tipo, visto que mostra um panorama da situação de vulnerabilidade das águas subterrâneas para a cidade de Goiânia (núcleo urbano) como um todo, não focalizando apenas em informações pontuais. Sugere-se também a adoção da variável cobertura de esgoto para novas pesquisas.

Referências Bibliográficas

- ALLER, L., BENNETT, T., LEHR, J.H., PETTY, R., HACKETT, G., DRASTIC: A **standardized system for evaluating groundwater pollution potential using hydrogeologic settings**. US E.P.A, EPA/600/2-87/035, 1987, EUA.
- ALMEIDA, L., RESENDE, L., RODRIGUES, A.P., CAMPOS, J.E.G. **Hidrogeologia do Estado de Goiás e Distrito Federal**. Goiânia (GO), 2006, 236 p.
- ANA, Agência Nacional de Águas. Atlas Brasil – **Abastecimento Urbano de Água, Panorama Nacional, Volume 01**. Brasília, 2010.
- _____. **Relatório de Esgotamento Sanitário Municipal, Goiânia (GO). Atlas Esgotos e Despoluição de Bacias Hidrográficas**. 2017.
- ARRAIS, T. P. A.; ENTRE A REDE URBANA E A CIDADE-REGIÃO: O QUE HÁ DE NOVO NO CENTRO GOIANO?. **Anais do X ENA–Encontro Nacional da ANPUR, Belo Horizonte**, 2003.
- BUOL, S.W., SOUTHARD, R.J., GRAHAM, R.C., McDANIEL, P.A. 6ª edição **Soil Genesis and classification**. Wiley-Blackwell, 2011, 556 p.
- Campos, J. E. G., Rodrigues, A. P., Almeida, L., Resende, L., Magalhães, L. F., Maranhão Sá, M. A. **Diagnóstico Hidrogeológico da Região de Goiânia**. AGIM/GO Superintendência de Geologia e Mineração da Secretaria da Indústria e Comércio, Goiânia, GO, 2003.125 p.

CLAVAL, P. (2000). Réflexions sur la centralité. Cahiers de Geographie du Quebec. Quebec. P.285-301.

CONICELLI, B.P. **Gestão das águas subterrâneas na bacia hidrográfica do Alto Tietê (SP)**. São Paulo: Tese USP, 2014, 163 p.

COUTINHO, L.V., ROSA, L.E., NUNES, E.D., BAYER, M. Vulnerabilidade dos recursos hídricos subterrâneos no município de Goiânia, primeiras aproximações. **Revista Sapiência: Sociedade, Saberes e Práticas Educacionais**. UEG/Campus Iporá, Goiás. v.8, n.1, p. 233-248, Jan./Jun., 2019. ISSN 2238-3565

CPRM, Serviço Geológico do Brasil. **Mapa Hidrogeológico da Região Metropolitana de Goiânia**. Goiânia, 2018.

CRISPIM, Diogo Coelho. **Mapeamento da vulnerabilidade de águas subterrâneas nos municípios do eixo Goiânia-Anápolis**, Goiás. 2015.

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. **Geosciences= Geociências**, v. 29, n. 3, p. 401-411, 2010.

DINIZ, J.A.O., MONTEIRO, A.B., SILVA, R. De C., PAULA, T.L.F. De. **Manual de cartografia hidrogeológica**. CPRM, 2014.

FERREIRA, M. C. **Iniciação à análise geoespacial**. SciELO-Editora UNESP, 2016.

FOSTER, S. S. D.; HIRATA, R. C. A. **Groundwater pollution risk evaluation: the methodology using available data**. Lima: CEPIS/PAHO/WHO, 1988.

FOSTER, S.; HIRATA, R.; GOMES, D.; D'ELIA, M.; PARIS, M. **Proteção da qualidade da água subterrânea: um guia para empresas de abastecimento de água, órgãos municipais e agências ambientais**. São Paulo: SERVIMAR, 2006. 114 p.

GONÇALVES, Carlos Walter Porto. **A globalização da natureza e a natureza da globalização**. Editora Record, 2006.

HIRATA, R. **As águas subterrâneas em centros urbanos**. ABAS Informa, São Paulo, n. 142, 2003, 10p.

HIRATA, R.C.A., FERREIRA, L.M.R. Os aquíferos da Bacia Hidrográfica do Alto Tietê: disponibilidade hídrica e vulnerabilidade à poluição. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 31, n. 1, p. 43-50, 2001

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo demográfico 2000**. Rio de Janeiro: 2000.

____. **Atlas de saneamento 2011**. Rio de Janeiro: 2011. Disponível em:<<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/atlas_saneamento/default_zip.sht>>.

Acesso em: 20 out. 2019.

____. **Censo demográfico 2010**. Rio de Janeiro: 2010.

ITB, INSTITUTO TRATA BRASIL. **Percepções sobre saneamento básico**. Pesquisa. IBOPE. 12 ago. 2012. Disponível em:<tratabrasil.org.br/novo_site/cms/APRESENTACAO_IBOPE_TRATA/Apresentacao_coletiva_12ago.pdf>. Acesso em: 18 out. 2019.

- ITCO, Instituto Tecnológico do Centro-Oeste. **Diagnóstico das Macrozonas Rurais**. Goiânia: 2016.
- KÄMPF, N.; CURI, N. Formação e evolução do solo (Pedogênese). **Pedologia: fundamentos**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 207-302. 2012
- KOBIYAMA, M., MENDONÇA, M., MORENO, D. A., MARCELINO, I. P. V. O., MARCELINO, E. V., GONÇALVES, E. F., RUDORFF, F. D. M. (2006). **Prevenção de desastres naturais: conceitos básicos**. Curitiba: Organic Trading.
- LACERDA FILHO, J. M., (Coord). GOIÁS (Estado). **Secretaria de Indústria e Comércio. Superintendência de Geologia e Mineração. Geologia do estado de Goiás e Distrito Federal**. Goiânia: 2008.
- LUCAS, E.R. **Cidades na cidade: Habitação social e produção do espaço urbano em Goiânia**. Goiânia: Dissertação (UFG), 2016
- MEIRA, J.C.R; CAMPOS, A.B.; PEREIRA, L.C. Vulnerabilidade natural e perigo à contaminação de zona de recarga do Aquífero Guarani. **Águas Subterrâneas** v.28, n.1, p.31-46, 2014.
- MOYSÉS, A., SILVA, E.R.Da, BORGES, E.De.M., RIBEIRO, M.G. Revista Mercator – Revista de Geografia da Universidade Federal do Ceará. Volume 06, nº 12, 2007 (37-50).
- MUBDG v.23. Prefeitura de Goiânia, 2012. Disponível em: <<http://portalmapa.goiania.go.gov.br/mapafacil/>>. Acesso em: 18 out. 2019.
- NOGUEIRA, Sérgio Henrique de Moura. **Avaliação do risco à perda da qualidade ambiental do aquífero freático na região metropolitana de Goiânia**. 2017.
- OLIVEIRA, P.T.S; SOBRINHO, T. A.; RODRIGUES, D.B.B.; PANACHUKI, ELOI. Zoneamento ambiental aplicado à conservação do solo e da água. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, n. 5, p. 1723-1734, 2011.
- PEREIRA JÚNIOR, L. C; SOARES, H. L. T; CASTRO, S.S. Vulnerabilidade natural e risco de contaminação do Aquífero Bauru no município de Rio Verde–GO. **Águas Subterrâneas**, v. 29, n. 2, p. 129-145, 2015.
- PINHEIRO, R. J.; RAUBER, A. C. C.; NUMMER, A. V.; SILVA, J. L. S. Aplicação dos Métodos GOD e POSH para determinação da vulnerabilidade e perigo à contaminação dos aquíferos na cidade de Santa Maria-RS. **Revista de Gestão de Água da América Latina**, v. 12, n. 2, p. 61-79, 2015.
- ROBAINA, L. E. S.; OLIVEIRA, E. L. A.; PIRES, C. A. F. Estudo para instalação de aterro sanitário no município de Santa Maria – RS. In: Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia e Ambiental, 10º CGBE, Ouro Preto, MG. **Anais.....ABGE**: São Paulo, 2002.CD- ROM.
- SNIS. Secretaria Nacional de Saneamento do Ministério do Desenvolvimento Regional – SNS/MDR. **Diagnósticos da Situação do Saneamento no Brasil no ano de 2017**, Brasília: 2019. Disponível em:<<http://www.snis.gov.br/component/content/article?id=175>>. Acesso em: 15 de abril 2019.
- VAN STEMPOORT, D.; EWERT, L.; WASSENAAR, L. AVI: A Method for Groundwater Protection Mapping in the Prairie Provinces of Canada. PPWD pilot project, Sept. 1991 - March 1992. **Groundwater and Contaminants Project, Environmental Sciences Division, National Hydrology Research Institute**, Saskatoon, 1992.

SOBRE OS AUTORES E AUTORAS**Lucas Espíndola Rosa**

Técnico em Mineração pelo Instituto Federal de Ciência e Tecnologia de Goiás (2012), Geógrafo (2013), Especialista em Gestão e Planejamento Ambiental (2014) e Mestre em Geografia (2016), ambos pela Universidade Federal de Goiás. Atualmente é doutorando em Geografia no Programa de Pós-Graduação em Geografia. Atua como Técnico em Mineração no Laboratório de Geomorfologia, Pedologia, e Geografia Física - LABOGEF/IESA/UFG. Tem experiência profissional em: Atividades minerárias; Planejamento Ambiental; Cartografia, Geomorfologia e Pedologia, atuando em consultorias e assessorias ambientais (elaboração de estudos ambientais que envolvam aspectos do meio-físico e socioeconômico). Apresenta interesse em pesquisa nos seguintes temas: Geomorfologia; Pedologia; Recursos Naturais; Mudanças de Uso do Solo.

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/6482962736631878>

Larissa Veridiane Coutinho

Geógrafa pela Universidade Federal de Goiás. Mestranda em Geografia - UFSC. Apresenta interesse em temas relativos à área de Geografia Física e ênfase em recursos hídricos.

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/3726787106927913>

Elizon Dias Nunes

Possui graduação - Licenciatura Plena em Geografia (2008), e Bacharelado em Geografia - Análise Ambiental (2010); Mestrado em Geografia - área de concentração Natureza e Produção do Espaço (2011), e Doutorado em Geografia - Tratamento da Informação Geográfica (2015), pela Universidade Federal de Goiás. Trabalhou de 2008 a 2009 no projeto Levantamento, Estudo e Desenvolvimento do Potencial de Produção de Biocombustíveis na Área de Influência da Ferrovia Norte-Sul, o qual envolveu mapeamento, análise integrada e relatórios técnicos de Pedologia, Geomorfologia, Hidrografia, Variabilidade e Sazonalidade da Precipitação, Cobertura e Uso do Solo, Aptidão Agrícola das Terras e Estrutura Fundiária. Durante o ano de 2010 atuou como professor nível P III dos ensinos Fundamental e Médio na Secretaria Estadual de Educação de Goiás. De 2014 a 2017 trabalhou no projeto Monitoramento e Estudos de Técnicas Alternativas na Estabilização de Processos Erosivos em Reservatórios de UHEs no âmbito do convênio Furnas-Eletronbras-UFG. Atualmente é Geógrafo no Instituto de Estudos Socioambientais no Laboratório de Geomorfologia, Pedologia e Geografia Física (LABOGEF), onde trabalha com Cartografia, Geoprocessamento, Sistemas de Informações Geográficas e Sensoriamento Remoto aplicados ao tratamento da informação geográfica e modelagem multifatorial de fenômenos ambientais entre eles modelagem hidrológica e processos erosivos em ambientes rurais e urbanos. Na área técnica possui experiência no uso e ensino dos Sistemas de Informações Geográficas SPRING (INPE), ArcGIS (ESRI), ENVI e Quantum GIS, bem como no tratamento e interpretação de imagens LANDSAT, RESOURCESAT, ALOS, SENTINEL, CBERS, Rapideye, Geoeye e MDTs e MDEs de diversas resoluções. Na docência possui experiência no ensino de Geografia nos níveis Fundamental e Médio, bem como metodologias de avaliação. Nos níveis tecnológicos e de graduação no ensino de disciplinas correlatas à Geografia Física. Eventualmente participa como colaborador convidado para ministrar módulos práticos-operacionais no ensino de Geografia Física no Mestrado e Doutorado em Geografia - PPGeo-UFG.

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/4537975818670608>

Ana Karolyna Nunes Amaral

Tem experiência na área de Geociências, com ênfase em Recursos Hídricos. Participou do Programa Institucional de Iniciação Científica/UFG/CNPq, como bolsista/PIBIC no período de 01/08/2014 a 31/07/2015 com o trabalho intitulado " Cartografia temática digital para o Estado de Goiás: elaboração de uma proposta para padronização de legendas" e também no período de 01/08/2015 a 30/04/2016 do projeto intitulado " MAPEAMENTO DAS MUDANÇAS MORFOLÓGICAS E DETERMINAÇÃO DE PROPRIEDADES TEXTURAIS NOS SEDIMENTOS FLUVIAIS DA PLANÍCIE ALUVIAL DO RIO ARAGUAIA" como bolsista de iniciação científica do CNPq. Possui graduação em Ciências Ambientais pela Universidade Federal de Goiás (2016) e mestrado em Ciências Ambientais pela Universidade Federal de Goiás (2019). Atualmente é professora temporária no Instituto de Estudos Sócio-Ambientais da Universidade Federal de Goiás e doutoranda do Programa de Pós graduação em Geografia.

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/0321317569175187>

Luís Felipe Soares Cherem

Possui graduação em Geografia - Bacharelado pela Universidade Federal de Minas Gerais (2006), mestrado em Análise e Modelagem de Sistemas Ambientais pela Universidade Federal de Minas Gerais (2008), doutorado em Evolução Crustal e Recursos Naturais pela Universidade Federal de Ouro Preto (2012) e doutorado em Ecole Doctorale Sciences de l'Environnement (ED251) - Aix-Marseille Université (2012). Atualmente é conselheiro da União da Geomorfologia Brasileira e professor adjunto iv da Universidade Federal de Goiás. Tem experiência na área de Geociências, com ênfase em Geomorfologia, atuando principalmente nos seguintes temas: indicadores ambientais, geomorfologia fluvial, gestão ambiental, proposta metodológica e sensoriamento remoto.

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/8363108286297687>

Recebido para publicação em fevereiro de 2020

Aprovado para publicação em maio de 2020