IV-236 - PROPOSIÇÃO DE MAPA DA VULNERABILIDADE DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS NO MUNICÍPIO DE NERÓPOLIS, GO

Diogo Coelho Crispim[(1)]
Engenheiro Químico pela Faculdade de Engenharia Química de Uberlândia (FEQ/UFU). Mestrando em Engenharia do Meio Ambiente pela Escola de Engenharia Civil de Goiânia (EEC/UFG).
Nilson Clementino Ferreira[(2)]
Engenheiro Cartográfico pela Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho. Mestre em Engenharia de Transportes pela Universidade de São Paulo. Doutor em Ciências Ambientais pela Universidade Federal de Goiás. Professor da Escola de Engenharia Civil da Universidade Federal de Goiás.
José Vicente Granato de Araújo[(3)]
Engenheiro Civil pela Universidade Federal de Goiás (EEC/UFG). Master Of Science em Engenharia Civil pela Oklahoma State University (EUA). Doctor Of Philosophy in Civil Engineering - Water Resources and Environmental Engineering pela Oklahoma State University (EUA). Gerente de Hidrogeologia da Saneamento de Goias S/A - SANEAGO e professor Associado da Universidade Federal de Goiás em Goiânia, GO.

Endereço[(1)]**:** Rua 54, Quadra B-07, Lote 07, Jardim Goiás, Goiânia – GO - CEP: 74810-220 - Brasil - Tel: (62) 3242-1502; (62) 9686-3054 - e-mail: dccrispim@hotmail.com
Endereço[(2)]**:** Centro Federal de Educação Tecnológica Goiás, Cefet, Coordenação de Geomática. Rua 75, número 46 - Setor Central - Goiania, GO - Brasil CEP:74055110 Telefone: (62) 32125050 - e-mail: nclferreira@gmail.com
Endereço[(3)]**:** Universidade Federal de Goiás, Escola de Engenharia Civil, Departamento de Hidráulica e Saneamento. Pça. Universitária s/nº, Bl. A, Sl. 6 Setor Universitário - Goiania, GO – Brasil - CEP:74605-220 Telefone: (62) 32096084, Ramal: 207 Fax: (62) 32020875. e-mail: jvgranato@yahoo.com

RESUMO

Com o aumento do uso dos recursos hídricos subterrâneos observa-se a crescente preocupação da sociedade com sua degradação. A importância da utilização das águas subterrâneas para abastecimento público e para importantes atividades produtivas têm forçado os gestores a desenvolverem programas de preservação mais efetivos bem como de remediação. Devido aos custos envolvidos em ambas as atividades, a remediação se faz prioritária. A definição da vulnerabilidade das águas subterrâneas à contaminação considera os conjuntos de características físicas, químicas e biológicas da zona não saturada e/ou da área confinante que, juntas, controlam a chegada do contaminante no aquífero. O município de Nerópolis é a unidade de controle utilizado no estudo, situada no estado de Goiás, fazendo parte da região metropolitana de Goiânia. Tem o seu uso prioritário de água para abastecimento público realizado por fontes de água subterrânea (35%) e água tratada (65%). O mapa de vulnerabilidade proposto possibilita a exploração consciente do aqüífero subterrâneo, verificando a existência de áreas de baixa e insignificante vulnerabilidade no município as quais favorecem a ocupação sem afetar a qualidade da água subterrânea.

PALAVRAS-CHAVE: Vulnerabilidade, Água Subterrânea, Metodologia GOD.

INTRODUÇÃO

Com o aumento do uso dos recursos hídricos subterrâneos, tanto para consumo humano como para aplicação na produção agrícola e industrial, observa-se a crescente preocupação com sua degradação. A dependência das águas subterrâneas para abastecimento público e demais atividades produtivas têm forçado os gestores a desenvolverem programas de preservação mais efetivos bem como de remediação.

A remediação de contaminações existente tem se mostrado altamente onerosa e difícil de ser realizada devido a limitações técnicas, econômicas e de disponibilidade de especialistas para sua viabilização. Desta forma os responsáveis pela gestão dos recursos hídricos estão cada vez mais conscientes que é muito mais interessante proteger o aquífero a remediar quando contaminados (HIRATA, 1994). O resultado é a popularização e desenvolvimento do uso de técnicas de mapeamento de vulnerabilidade às contaminações dos aquíferos. Tal cartografia visa compatibilizar as atividades antrópicas com a capacidade de suporte do terreno.

A ocupação de áreas urbanas e rurais é extremamente complexa apresentando diversas atividades potencialmente poluentes (FOSTER, 1987). Programas de proteção de águas subterrâneas, que visam controlar ou monitorar todas estas atividades são pouco consistentes economicamente, administrativa e socialmente. A melhor estratégia para proporcionar a eficácia destes programas deve considerar: a identificação das áreas mais susceptíveis a contaminação ou atividades que representem maior ameaça à qualidade da água; a capacidade de degradação de contaminantes que a zona não-saturada apresenta; o controle de ocupação de áreas mais sensíveis à contaminação dos aquíferos e a proteção de mananciais que são ou serão utilizados para abastecimento público. O domínio destes aspectos fornece condições mais abrangentes para destinar recursos financeiros e direcionar os técnicos de órgãos controladores para desenvolver estudos mais detalhados e aplicação de programas de monitoramento uma vez que conhecendo as características hidrogeológicas da região, dos empreendimentos a serem instalados na área definida e dos contaminantes gerados no processo produtivo é possível reduzir custos e exigências ambientais para instalação de novas atividades.

Para a definição da vulnerabilidade das águas subterrâneas à contaminação, podem ser considerados os conjuntos de características físicas, químicas e biológicas da zona não saturada e/ou da área confinante que, juntas, controlam a chegada do contaminante ao aquífero (FERNANDES, 2003).

O município de Nerópolis, situado no estado de Goiás, faz parte da região metropolitana de Goiânia, com população estimada em 22.710 habitantes (IBGE, 2006). Inicialmente caracterizado por ser um município predominantemente rural, com baixa densidade populacional e construções de pequeno porte, tem apresentado crescimento representativo atraindo para região indústrias de médio porte.

O uso de água na sede municipal é realizado de forma mista com fontes de água subterrânea (35%) e água tratada (65%) (ANA, 2010). Com o iminente crescimento industrial e urbano a avaliação da vulnerabilidade das águas subterrâneas e proposição de um mapa de vulnerabilidade podem auxiliar na preservação e exploração consciente do aquífero.

O objetivo deste trabalho foi de elaborar o Mapa de Vulnerabilidade para o município de Nerópolis, através da compilação de dados mais recentes e geração de mapas através de um programa SIG, avaliando a vulnerabilidade em relação à contaminação das águas subterrâneas, construindo diretrizes para ocupação e uso do solo visando à proteção do aquífero.

MATERIAIS E MÉTODOS

CARACTERIZAÇÃO HIDROGEOLOGIA DA ÁREA DE ESTUDO

Na Figura 1 é apresentada a localização do município de Nerópolis, para início da caracterização da área.

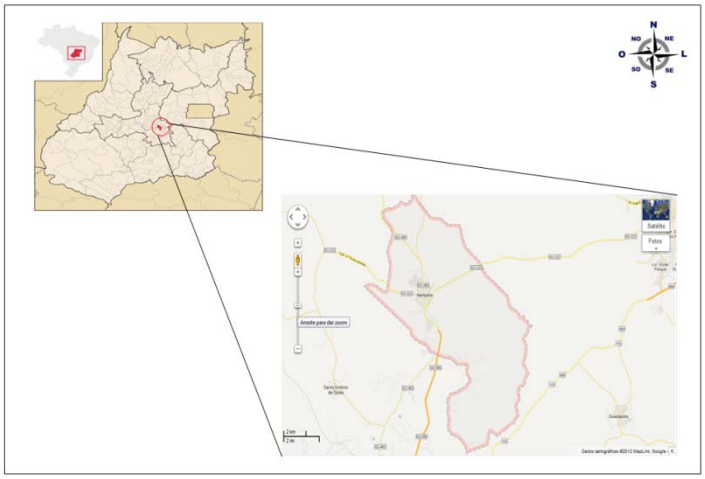


Figura 1 - Localização do Município de Nerópolis, GO.

A região tem como características de uso da terra culturas diversificadas e de criação. O terreno é composto por latossolo vermelho (IBGE, 2006). Fazendo o uso do Mapa de Domínio/Subdomínios Hidrogelológicos do Brasil, conforme visto na Figura 2 (CPRM, 2006). Define-se a região com solo composto por Metassedimentos/Metavulcânicos e Cristalino, cujas características principais são apresentadas a seguir.

Metassedimentos/Metavulcânicas que possuem baixa favorabilidade hidrogeológica. Os litótipos relacionados aos metassedimentos/metavulcânicas reúnem xistos, filitos, metarenitos, metassiltitos, anfibolitos, quartzitos, ardósias, metagrauvacas, metavulcanicas diversas etc., que estão relacionadas ao denominado aquífero fissural. Como quase não existe uma porosidade primária nestes tipos de rochas, a ocorrência de água subterrânea é condicionada por uma porosidade secundária representada por fraturas e fendas, o que se traduz por reservatórios aleatórios, descontínuos e de pequena extensão. Dentro deste contexto, em geral, as vazões produzidas por poços são pequenas, e a água é na maior parte das vezes salinizada.

O aquífero do tipo cristalino é caracterizado pela baixa e muito baixa favorabilidade hidrogeológica. Nesta região foram reunidos basicamente, granitóides, gnaisses, granulitos, migmatitos, básicos e ultrabásicos, denominados tipicamente como aquífero fissural. Como a maioria destes litótipos ocorre geralmente sob a forma de grandes e extensos corpos maciços, existe uma tendência de que este domínio seja o que apresente menor possibilidade ao acúmulo de água subterrânea dentre todos aqueles relacionados aos aquíferos fissurais. Apesar de este domínio ter comportamento similar ao do cristalino tradicional (granitos, migmatitos etc.), uma separação entre eles é necessária, uma vez que suas rochas apresentam comportamento reológico distinto: isto é, como elas possuem estruturação e competências diferentes, vão reagir também diferentemente aos esforços causadores das fendas e fraturas, parâmetros fundamentais para o acúmulo e fornecimento de água. Deve ser esperada, portanto, uma maior favorabilidade hidrogeológica neste domínio do que esperado para um aqüífero cristalino tradicional. Pode ser enquadrada neste domínio grande parte das supracrustais, aí incluídos os "greenstones belts" (CPRM, 2001).

A área de estudo considerada neste trabalho está compreendida na região hidrográfica do Tocantins-Araguaia. Apresenta grande potencialidade para a agricultura irrigada, especialmente para o cultivo de frutíferas, de arroz e outros grãos (milho e soja). Atualmente, a necessidade de uso de água para irrigação corresponde a 66% da demanda total da região e se concentra na sub-bacia do Araguaia devido ao cultivo de arroz por inundação. A área irrigável (por inundação e outros métodos) é estimada em 107.235 hectares. A Região Hidrográfica do Tocantins-Araguaia possui uma área de 967.059 km² (11% do território nacional) e abrange os estados de Goiás (26,8%), Tocantins (34,2%), Pará (20,8%), Maranhão (3,8%), Mato Grosso (14,3%) e o Distrito Federal (0,1%). Grande parte situa-se na Região Centro-Oeste, desde as nascentes dos rios Araguaia e Tocantins até a sua confluência, e daí, para jusante, adentra na Região Norte até a sua foz. Cerca de 7,9 milhões de pessoas vivem nesta região hidrográfica (4,7% da população nacional), sendo 72% em áreas urbanas. A densidade demográfica é de 8,1 hab./km², bem menor que a densidade demográfica do país (19,8 hab./km²) (ANA, 2008).

CONSTRUÇÃO DO MAPA DE VULNERABILIDADE

Visando atender o objetivo deste estudo, os parâmetros de confinamento do aquífero, a litologia da zona não saturada e a profundidade da água subterrânea foram levantadas conforme apresenta a Figura 2.

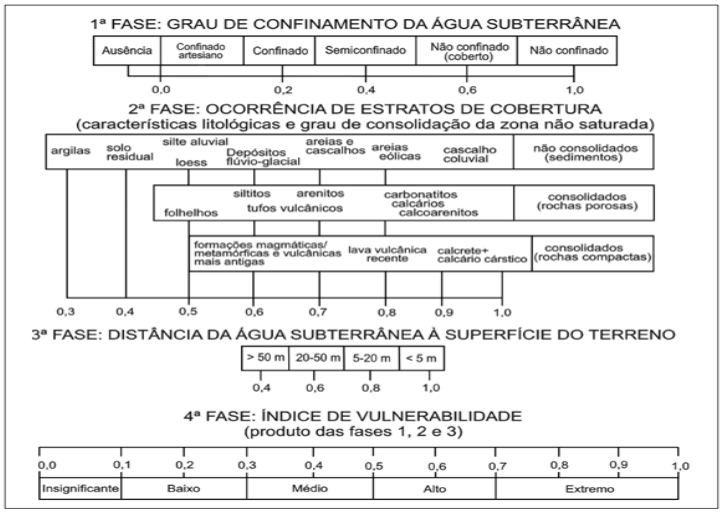


Figura 2 – Sistema GOD para avaliação da vulnerabilidade do aquífero à contaminação (Adaptado de Foster et al., 2006).

Através da disponibilização de dados pelo sítio da SIEG – Sistema Estadual de Estatística e de Informações Geográficas de Goiás foram utilizados os arquivos shapefiles para construção do Mapa de Vulnerabilidade, usando a metodologia GOD.

RESULTADOS

1ª FASE: GRAU DE CONFINAMENTO DA ÁGUA SUBTERRÂNEA

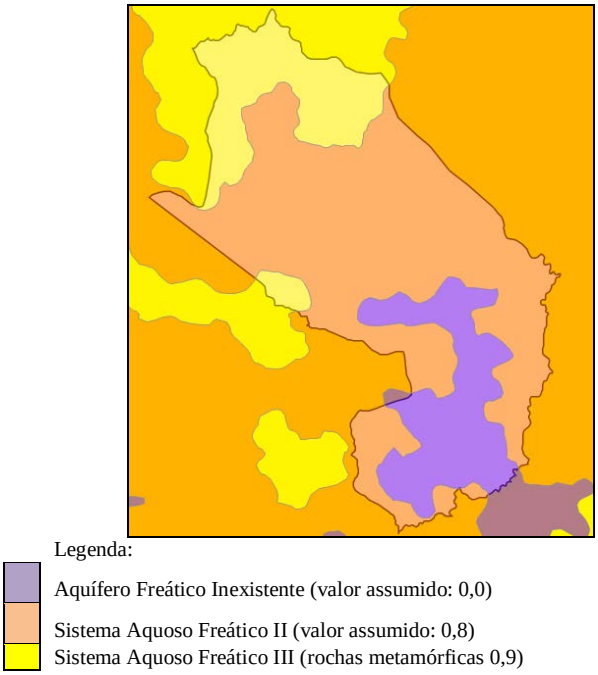


Figura 3 – Características dos Sistemas Aquosos do município de Nerópolis.

Os valores da porosidade eficaz e do índice de fraturamento interconectado foram definidos a partir da comparação direta com sistemas similares, Hidrogeologia do Estado de Goiás onde estudos específicos para a determinação destes parâmetros foram realizados (GOIÁS, 2006), conforme descrição a seguir.

Aquífero Freático Inexistente - A inexistência de aquífero na região torna a avaliação de vulnerabilidade desnecessária.

Sistema Aquoso Freático II - Esta classe de solo apresenta uma feição marcante relacionada à presença de estruturas do tipo granular ou grumosa que faz com que todos os latossolos independente de sua textura (muito argilosa, argilosa, franca, siltosa, etc.) resultem em materiais com funcionamento hídrico similar, de forma geral, de alta condutividade hidráulica e elevada porosidade efetiva (não inferior a 8%). Este sistema aquífero raso inclui todas as classes de Latossolos e, portanto é o sistema de maior expressão areal no estado. Encontra-se fortemente vinculado às Superfícies de Regionais de Aplainamento - SRA, com padrão de relevo suave ondulado a plano.

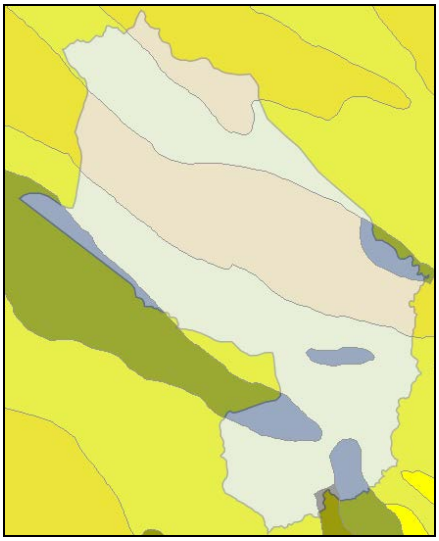
Os valores da condutividade hidráulica variam, na superfície, na ordem de grandeza de 10-7 a 10^{-4} m/s, e em profundidade, de 10-9 a 10^{-4} m/s, sendo os valores médios de 3,3 x 10^{-5} m/s em superfície, e 4,0 x 10^{-6} m/s em profundidade. A porosidade total pode ser superior a 20% e a porosidade efetiva é estimada entre 7 a 9% em função da variação textural. As espessuras totais dos regolitos associados ao Sistema F2 são geralmente menores que as do Sistema F1, sendo 20 metros considerados como um valor de referência. Compõem aquíferos intergranulares, contínuos, livres de grande distribuição lateral, com importância hidrogeológica principalmente relacionada às funções filtro e reguladora.

Sistema Aquoso Freático III - Este sistema aquífero, em geral, sobrepõe sistemas fraturados representados por rochas básicas e ultrabásicas e mais raramente carbonatos. Está distribuído sobre relevo ondulado até forte ondulado ou sobre rebordos de chapadas. Quando os solos apresentam-se ricos em fragmentos rochosos (rochosidade e/ou pedregosidade), a condutividade hidráulica pode ser incrementada, melhorando as características gerais deste sistema aquífero raso. Este sistema inclui os solos com horizonte diagnóstico B textural e B nítico, classificados como Argissolos e Nitossolos. De forma geral apresentam espessuras médias inferiores a 15 metros. Os valores de condutividade hidráulica vertical, na superfície, variam entre 1,0 x 10^{-7} e 2,0 x 10^{-4} m/s e, em profundidade, variam entre 4,1 x 10-9 e 9,4 x 10-5 m/s, com valores médios de 1,4 x 10^{-5} m/s na superfície e 2,5 x 10^{-6} m/s em profundidade.

Devido à diminuição da condutividade hidráulica em profundidade, há uma tendência de desenvolvimento de fluxo interno, que dificulta a recarga dos sistemas fraturados situados a maiores profundidades. A espessura saturada deste sistema intergranular é de, em média, 10 metros, com uma espessura total de 20 metros. Considerando que a condutividade hidráulica da zona saturada seja igual à média da zona vadosa, a transmissividade é da ordem de 2,5 x 10^{-5} m^2/s. O comportamento da porosidade é considerado similar ao dos latossolos, sendo que neste caso, a porosidade efetiva pode sofrer uma diminuição nos horizontes que recebem a argila translocada a partir dos horizontes mais rasos e o valor médio é de 6%.

O Sistema F3 constitui aquíferos intergranulares, livres, descontínuos e com distribuição lateral ampla. Apresenta pequena importância hidrogeológica relativa à função reservatório, sendo aproveitado, principalmente, para abastecimento de pequenas propriedades rurais. Do ponto de vista das funções recarga, filtro e reguladora, apresenta elevada importância hidrogeológica, uma vez que os horizontes mais ricos em argila funcionam como depuradores de cargas contaminantes e retardam o fluxo, ampliando a possibilidade de regular as descargas de base e interfluxo.

2ª FASE: OCORRÊNCIA DE ESTRATOS DE COBERTURA



Legenda:
Granada Gnaisse, Anfibolito, Quartzito (rochas metamórficas, valor assumido: 0,8).
Granulito Básico, Charnoquito (rochas metamórficas, valor assumido: 0,9).
Ortognaisse, Migmatito (rochas metamórficas, valor assumido: 0,8).
Quartzito (qt) (rochas metamórficas, valor assumido: 0,7).

Figura 4 – Características Litógicas do município de Nerópolis.

A natureza geológica constitui o principal componente da dinâmica dos processos relacionados às águas subterrâneas na superfície terrestre. Nesse sentido destaca-se a litologia (tipos de rochas e suas variações), estratigrafia (empilhamento das diversas unidades), tectônica e estruturação (deformações por dobramentos e fraturamentos), sedimentologia (ambientes de formação das rochas supracrustais) e geoquímica (composição química das diferentes rochas). Portanto, a abordagem da geologia, no desenvolvimento de um trabalho sobre a hidrogeologia de determinada região, é imprescindível e de relevante importância.

A região tem como composição litológica principal as seguintes características:
Granada Gnaisse, Anfibolito, Quartzito - Os paraderivados são predominantemente constituídos por gnaisses aluminosos e hiperaluminosos, enquanto os ortoderivados englobam ígneas metamorfizadas na fácies granulito e correspondem ao conjunto de piroxenito/gnaisses gábricos e às metabásicas e metaultrabásicas granulitizadas e/ou as típicas da transição entre as fácies anfibolito/granulito.

Granulito Básico, Charnoquito - Devido à escassez e ao elevado grau de intemperismo dos afloramentos, é bastante difícil à individualização de faixas com litótipos específicos deste conjunto. Na região de Nerópolis, Araújo et al. (1994) conseguiram caracterizar corpos de metagabro, de metabásicas e de metaultrabásicas.

Ortognaisse, Migmatito - É constituída por uma geração de granitóides de filiação calcialcalina, de baixo potássio, composta por tonalitos, com variações locais para granitos e granodioritos, além de migmatitos com encraves de granulitos. Estes litótipos, ora reagrupados em uma associação distinta, estavam incluídos anteriormente: ou no Complexo Basal Goiano (ALMEIDA, 1967), ou na Unidade Pré-Cambriana Indiferenciada (BARBOSA, 1970b). Mais recentemente, em trabalho executado pela CPRM para o PLGB na região centro-sul de Goiás, folhas Nerópolis, Goiânia, Anápolis, Leopoldo de Bulhões e Caraíba, tais rochas foram denominadas informalmente de Granitóides Gama.

Quartzito (qt) – É constituído principalmente pelo quartzo (mais de 75% como ordem de grandeza). O quartzito pode ter como protólito arenitos quartzosos (origem mais comum), porém tufos e riolitos silicosos e chert silicoso. Bolsões (pods) ou veios de quartzo, normalmente produtos de segregação metamórfica, são muitas vezes retrabalhados por cataclase e metamorfismo dando origem a quartzitos semelhantes aos de origem sedimentar. Seu principal mineral é o Quartzo. Tem estrutura maciça e não foliada, podendo haver foliação devido à presença de mica.

3ª FASE: DISTÂNCIA DA ÁGUA SUBTERRÂNEA A SUPERFÍCIE DO TERRENO

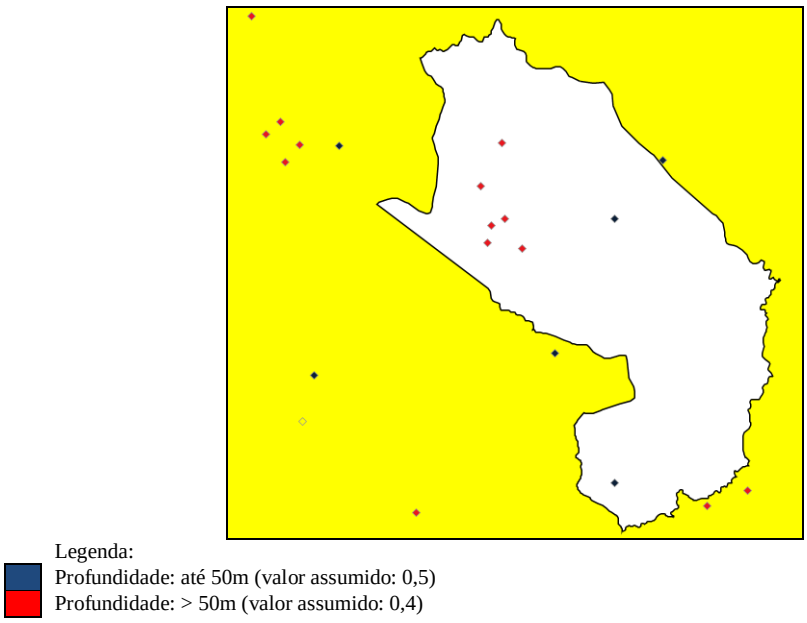
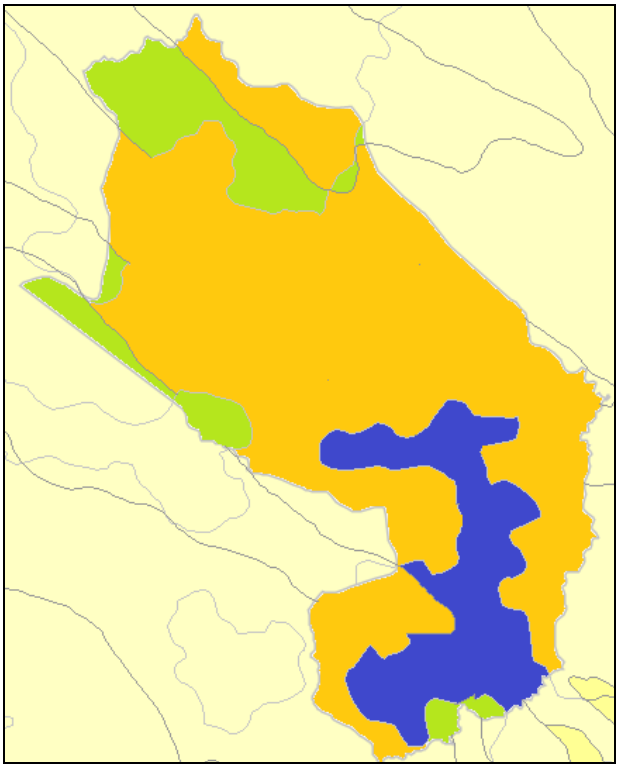


Figura 5 – Distribuição de poços no município de Nerópolis.

Para definição dos poços no estudo proposto foram utilizados os levantados pelo estudo documentado pelo trabalho Hidrogeologia do Estado de Goiás (GOIÁS, 2006) onde foram observados que os poços na região do Município de Nerópolis são em sua maioria de alta profundidade.

4ª ÍNDICE DE VULNERABILIDADE

Com os dados obtidos, foi gerado o índice de vulnerabilidade que consiste no produto das fases 1, 2 e 3 acima descritas, e gerado o mapa de vulnerabilidade à contaminação do aqüífero, conforme o sistema GOD apresentado na Figura 2. Este mapa é apresentado na Figura 6.



Legenda:
Vulnerabilidade Insignificante
Vulnerabilidade Baixa
Vulnerabilidade Média
Vulnerabilidade Alta
Vulnerabilidade Extrema

Figura 6 – Mapa de Vulnerabilidade de água subterrânea do município de Nerópolis.

CONCLUSÕES

Com base no trabalho realizado, foram levantadas as conclusões a serem descritas a seguir.

A metodologia utilizada permitiu a elaboração do mapa de vulnerabilidade à contaminação das águas subterrâneas para o município de Nerópolis, utilizando dados disponibilizados nos sitios do SIEG - Sistema Estadual de Estatística e de Informações Geográficas de Goiás, da ANA - Agência Nacional de Águas e do CPRM - Serviço Geológico do Brasil, os quais são gratuitos e representam a compilação de dados já consistidos sobre os temas necessários à montagem de mapa para avaliar a vulnerabilidade através de uso de Sistemas de Informações Geográficas - SIG.

O mapa de vulnerabilidade à contaminação obtido para o município de Nerópolis apresenta regiões de vulnerabilidade insignificante, sendo concentrada na área central inferior da cidade. Há áreas de baixa vulnerabilidade em algumas regiões ao norte e um pequeno trecho ao sul e a maior proporção do município é de áreas de média vulnerabilidade onde a maior densidade populacional se encontra, tendo a cidade de Nerópolis nesta região, e possuindo a maior quantidade de perfurações de poços.

De posse do mapa de vulnerabilidade os gestores municipais e estaduais passam a contar com um instrumento técnico para auxiliar a elaboração de diretrizes para definir os usos e ocupação do solo, visando a sustentabilidade ambiental e propiciando a proteção dos aqüíferos, reduzindo assim custos futuros com a remediação das águas subterrâneas que poderiam ser contaminadas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ALMEIDA, F.F.M. de. Observações sobre o pré-cambriano da Região Central de Goiás. Curitiba. Bol. Paranaense de Geociências, 26. p.19-22. 1967.
2. ANA, Agência Nacional de Águas. Atlas Brasil. Abastecimento Urbano de Água, 2010. Disponível em <http://atlas.ana.gov.br/Atlas/forms/analise/Geral.aspx?est=12#> Acessado em 28 de junho de 2012.
3. ANA, Agência Nacional de Águas. Bacias Hidrográficas, 2008. Disponível em <http://www2.ana.gov.br/Paginas/portais/bacias/TocantinsAraguaia.aspx> Acessado em 28 de junho de 2012.
4. ARAÚJO, V.A.et al. Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil – PLGB. Folha SE-22-X-B-I, Nerópolis, GO. Brasília - DNPM/CPRM. 1994.
5. BARBOSA, O. et al. Projeto Goiânia - Relatório Preliminar. Goiânia, PROSPEC/DNPM. 1970b. 75 p. (Relatório do Arquivo Técnico da DGM. 511).
6. CPRM, Petrobrás. In: Mapa Tectônico do Brasil, 2001. CPRM/Serviço Geológico do Brasil. Disponível em <http://www.cprm.gov.br/publique/media/RecHidSub.pdf > Acessado em 27 de junho de 2012.
7. CPMW, Central de Publicação de Mapas na WEB, 2006 - Disponível em <http://siagasweb.cprm.gov.br/layout/visualizar_mapa.php> Acessado em 30 de junho de 2012.
8. FERNANDES, A. J. The influence of Cenozoic tectonics on groundwater-production capacity and vulnerability of fractured rocks: a case in São Paulo, Brazil. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON GROUNDWATER IN FRACTURED ROCKS, 2003, Prague. Abstracts… Prague: [s.n.], 2003. (UNESCO'S Series on Groundwater, 7).
9. FOSTER, S. Fundamental concepts in aquifer vulnerability pollution risk and protection strategy. In: INTERNATIONAL CONFERENCE OF VULNERABILITY OF SOIL AND GROUNDWATER TO POLLUTANTS, 1987, Noordwijk. Proceedings... The Hague: TNO Committee on Hydrological Research; Bilthoven: National Institute of Public Health and Environmental Hygiene, 1987.
10. FOSTER, S. et al. Proteção da qualidade da água subterrânea: um guia para empresas de abastecimento de água, órgãos municipais e agências ambientais. São Paulo: SERVMAR, 2006. 114 p.
11. GOIÁS (Estado). Secretaria de Indústria e Comércio. Superintendência de Geologia e Mineração. Hidrogeologia do Estado de Goiás. Por Leonardo de Almeida, Leonardo Resende, Antônio Passos Rodrigues, José Eloi Guimarães Campos. Goiânia, 2006.
12. HIRATA, R. Fundamentos e estratégias de proteção e controle da qualidade das águas subterrâneas: estudos de casos no Estado de São Paulo. 1994. 195 f. Tese (Doutorado) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1994.
13. IBGE. Mapas de Solo, 2006. Disponível em <http://mapas.ibge.gov.br/solos/viewer.htm> Acessado em 24 de junho de 2012.