

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

ESCOLA POLITÉCNICA

MICHEL DOS SANTOS LAMANA

**Avaliação da Vulnerabilidade Natural à Contaminação das Águas Subterrâneas no
Município de Sorocaba (SP), pelo Método GOD**

São Paulo
2024

**Avaliação da Vulnerabilidade Natural à Contaminação das Águas Subterrâneas no
Município de Sorocaba (SP), pelo Método GOD**

Versão Corrigida

Monografia apresentada à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo como parte dos requisitos para a obtenção do título de Especialista em Gestão de Áreas Contaminadas, Desenvolvimento Urbano Sustentável e Revitalização de Brownfields.

Orientadora: Drª. Juliana Dorn Nóbrega

São Paulo
2024

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

Catalogação-na-publicação

Lamana, Michel dos Santos

Avaliação da Vulnerabilidade Natural à Contaminação das Águas Subterrâneas no Município de Sorocaba (SP), pelo Método GOD / M. S. Lamana – São Paulo, 2024. p.

Monografia (MBA em MBA em Gestão de Áreas Contaminadas, Desenvolvimento Urbano Sustentável e Revitalização de Brownfields) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia Química.

1.Método GOD 2.Vulnerabilidade de aquíferos 3.Água subterrânea
I.Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia

RESUMO

Lamana, M. dos S. Avaliação da Vulnerabilidade Natural à Contaminação das Águas Subterrâneas no Município de Sorocaba (SP), pelo Método GOD. Monografia (MBA em Gestão de Áreas Contaminadas, Desenvolvimento Urbano Sustentável e Revitalização de Brownfields) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia Química. São Paulo, 2024.

A água subterrânea é a principal fonte de água doce disponível no mundo, entretanto as atividades antrópicas vêm ameaçando a sua qualidade e quantidade. Deste modo, compreender a vulnerabilidade natural à contaminação das águas subterrâneas é de extrema importância para a gestão dos recursos hídricos. Assim, neste estudo propõe-se a aplicação do método GOD para a avaliação da vulnerabilidade no município de Sorocaba, SP, sendo avaliados o grau de confinamento da água subterrânea (G), a ocorrência de estratos de cobertura (O) e distância até o lençol freático ou teto do aquífero confinado (D). Foram utilizados os dados de 266 poços tubulares obtidos no SIAGAS e o mapa geológico do município de Sorocaba em escala de 1:50.000, desenvolvido pelo IPA. O parâmetro G foi definido com base nos dois aquíferos presentes na área de estudo, o Tubarão com 0,6 (não confinado, coberto) e Pré-cambriano com 1 (não confinado), enquanto o parâmetro O foi analisado por meio do mapa geológico e o parâmetro D recebeu valores de 0,7 e 0,8, para distâncias até o lençol freático entre 20-50 m e 5-20 m, respectivamente. Para a análise da vulnerabilidade também foi considerada as informações das camadas litológicas dos perfis dos poços disponíveis no SIAGAS, e posterior interpolação dos valores resultantes de vulnerabilidade usando krigagem. A aplicação das duas metodologias resultou na ocorrência de três classes de vulnerabilidade usando o mapa geológico: baixa (39,38%), média (47,63%) e alta (12,99%), e duas classes de vulnerabilidade com as informações dos perfis dos poços: baixa (40,31%) e média (59,69%), mostrando semelhança entre os métodos, porém com a ausência da vulnerabilidade alta no segundo. Conclui-se que o município de Sorocaba possui predominância das classes de vulnerabilidade baixa e média, enquanto a vulnerabilidade alta está situada em uma região com baixa densidade antrópica.

Palavras-chave: Método GOD; Vulnerabilidade de aquíferos; Água subterrânea.

ABSTRACT

Lamana, M. dos S. Evaluation of Natural Vulnerability to Groundwater Contamination in the Municipality of Sorocaba (SP), using the GOD Method. Monograph (MBA in Contaminated Areas Management, Sustainable Urban Development, and Brownfield Revitalization) – Polytechnic School of the University of São Paulo. Department of Chemical Engineering. São Paulo, 2024.

Groundwater is the primary source of freshwater available worldwide; however, anthropogenic activities have been threatening its quality and quantity. Therefore, understanding the natural vulnerability to groundwater contamination is extremely important for water resource management. Thus, this study proposes the application of the GOD method for vulnerability assessment in the municipality of Sorocaba, SP, evaluating the degree of groundwater confinement (G), the occurrence of cover strata (O), and the distance to the water table or top of the confined aquifer (D). Data from 266 tubular wells obtained from SIAGAS and the geological map of the municipality of Sorocaba at a scale of 1:50,000, developed by IPA, were used. Parameter G was defined based on the two aquifers present in the study area, Tubarão with 0.6 (unconfined, covered) and Precambrian with 1 (unconfined), while parameter O was analyzed through the geological map and parameter D received values of 0.7 and 0.8 for distances to the water table between 20-50 m and 5-20 m, respectively. For vulnerability analysis, lithological information from well profiles available in SIAGAS was also considered, and subsequent interpolation of vulnerability values was done using kriging. The application of the two methodologies resulted in the occurrence of three vulnerability classes using the geological map: low (39.38%), medium (47.63%), and high (12.99%), and two vulnerability classes with well profile information: low (40.31%) and medium (59.69%), showing similarity between the methods, but with the absence of high vulnerability in the latter. It is concluded that the municipality of Sorocaba predominantly exhibits low and medium vulnerability classes, while high vulnerability is located in a region with low anthropic density.

Keywords: GOD method; Vulnerability of aquifers; Groundwater.

INTRODUÇÃO

A água subterrânea representa cerca de 99% de toda água doce no estado líquido, desempenhando um papel crucial no suprimento de água. Em nível global, 50% de toda água captada é utilizada para o consumo humano e aproximadamente 25% para a agricultura. No entanto, com as mudanças climáticas, é esperado que o consumo de água subterrânea cresça em torno de 1% ao ano nos próximos 30 anos (UNESCO, 2022). No estado de São Paulo, estima-se que cerca de 80% dos municípios utilizam a água subterrânea como parte do sistema de abastecimento público (CETESB, 2016). Entretanto, a qualidade da água subterrânea vem sendo ameaçada. Segundo os dados de monitoramento realizado pela (CETESB, 2023), a taxa de áreas contaminadas identificadas tem aumentado anualmente no estado de São Paulo, apresentando uma ameaça para a qualidade deste recurso finito.

Deste modo, a avaliação da vulnerabilidade natural à contaminação de aquíferos se torna uma excelente ferramenta para auxiliar o poder público em tomadas de decisões em relação à proteção das águas subterrâneas, pois com o mapeamento das zonas vulneráveis de uma determinada região de interesse é possível compreender a susceptibilidade de um determinado contaminante migrar para a água subterrânea, considerando as características naturais da área de interesse (ASTM D6030, 1996). Diferentes metodologias foram utilizadas para determinar a vulnerabilidade natural à contaminação de aquíferos a partir da década de 80, como os métodos qualitativos baseados em índices e em Sistemas de Informação Geográfica (SIG). Dentro destes, os que se destacam para aquíferos porosos são os métodos (Machiwal et al., 2018): GOD (Foster, 1987), AVI (Stempvoort et al., 1992) e DRASTIC (Aller et al., 1987).

Apesar do método DRASTIC ser o mais utilizado para a avaliação da vulnerabilidade de aquíferos e apresentar melhores correlações em comparação com outros métodos, como o método GOD (Ghazavi & Ebrahim, 2015; Kirlas et al., 2022), a obtenção de dados para os parâmetros se torna complexa, principalmente em regiões extensas. Dessa forma, métodos mais simples e práticos têm sido utilizados em locais que possuem limitações de dados e que requerem uma estimativa mais rápida da vulnerabilidade, como os métodos GOD e AVI (Goyal et al., 2021). Em particular, o método GOD tem sido amplamente utilizado na América Latina por apresentar bons resultados associados a um baixo custo e facilidade de obtenção de dados (Cutrim & Campos, 2010), e apresentou melhores correlações quando comparado ao método AVI (Falowo et al, 2017; Kirlas et al., 2022). Estudos têm demonstrado que o esquema GOD é mais adequado para aplicações em regiões extensas com grandes contrastes de vulnerabilidade, do que em regiões que possuem pequenas diferenças em sua vulnerabilidade (Goyal et al.,

2021).

O método GOD consiste na aplicação de três parâmetros, sendo eles, o G = grau de confinamento da água subterrânea, O = ocorrência de estratos de cobertura e D = distância até o lençol freático ou teto do aquífero confinado. Cada parâmetro recebe um valor de vulnerabilidade de acordo com as suas características (Foster et al., 2006).

O método GOD é aplicado eficazmente para avaliar a vulnerabilidade das águas subterrâneas em escalas pequenas a moderadas, destacando-se como a opção mais eficiente quando comparado a outros métodos em aquíferos urbanos (Kaddour et al., 2018; Maria, 2018). Diante do exposto, o presente trabalho tem como objeto de estudo a aplicação do método GOD no município de Sorocaba (estado de São Paulo, Brasil). Nesta área, o Rio Sorocaba, curso d'água mais importante do referido município, possui alguns estudos sobre sua qualidade de água que mostram que a região vem sofrendo expressivos impactos ambientais nas últimas décadas com impacto também nas águas subterrâneas (Smith & Barrella, 2000; Nery et al., 2020).

Em particular, o presente estudo tem como objetivo utilizar duas abordagens para a obtenção do parâmetro O do método GOD, pela utilização do mapa geológico e pela interpolação dos valores obtidos observando-se os perfis construtivos dos poços cadastrados, bem como realizar a análise litológica na região de vulnerabilidade alta por meios dos poços existentes. Neste sentido, os resultados obtidos para a vulnerabilidade natural à contaminação das águas subterrâneas no município de Sorocaba, SP usando as duas abordagens são comparados e discutidos, visando contribuir com a discussão sobre a aplicabilidade do método GOD.

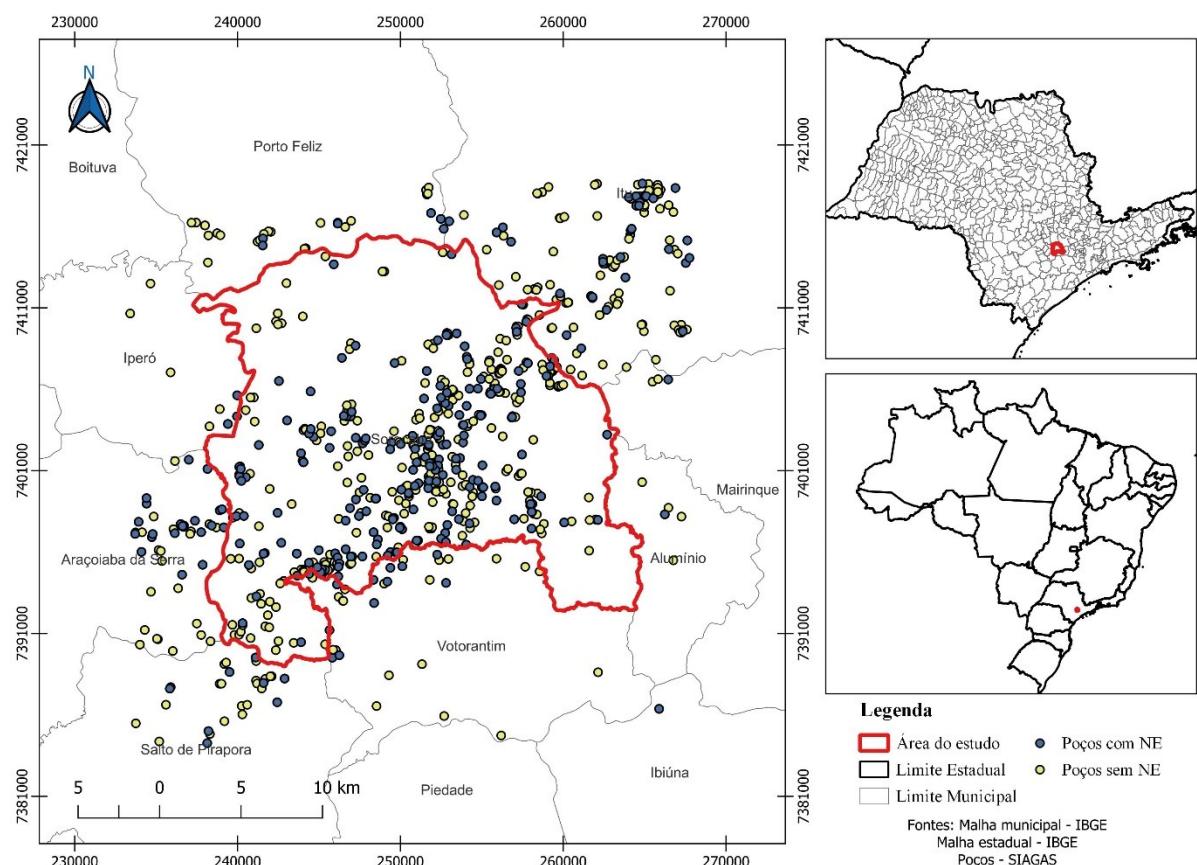
ÁREA DE ESTUDO

A área de abrangência do estudo corresponde o limite municipal de Sorocaba - SP, que possui uma área de 449,872 km² e pertence à Unidade de Gestão de Recursos Hídricos (UGRHI) Sorocaba-Médio Tietê (Figura 1). Esta área está localizada na região sudeste do estado de São Paulo, a cerca de 100 km da capital paulista. O clima na área é classificado como Cwa, de acordo com a classificação de Köppen (Köppen, 1948). Esse tipo de clima é caracterizado pela predominância de chuvas de novembro a março, seguido por um período de seca de abril a outubro. A média anual de temperatura varia de 18 a 22°C.

Segundo Ross (2000) e Perrota et al. (2005), o relevo da região consiste em colinas com

topos convexos e vales profundos, apresentando altitudes que variam entre 800 e 1000 metros. Além disso, a inclinação do relevo é superior a 20%. Na área de estudo, os solos predominantes incluem o Argissolo Vermelho, conhecido por sua fertilidade natural e é frequentemente associado a práticas agrícolas; o Latossolo Vermelho, que se destaca por sua profundidade e boa drenagem, sendo propício para o cultivo de diversas culturas; e o Latossolo Vermelho-Amarelo que se caracteriza pela coloração mais clara e também oferece condições favoráveis à agricultura (EMBRAPA, 2013; Oliveira et al., 1999).

Figura 1 - Mapa da Área de Estudo e localização dos poços.



Fonte: Autoria própria.

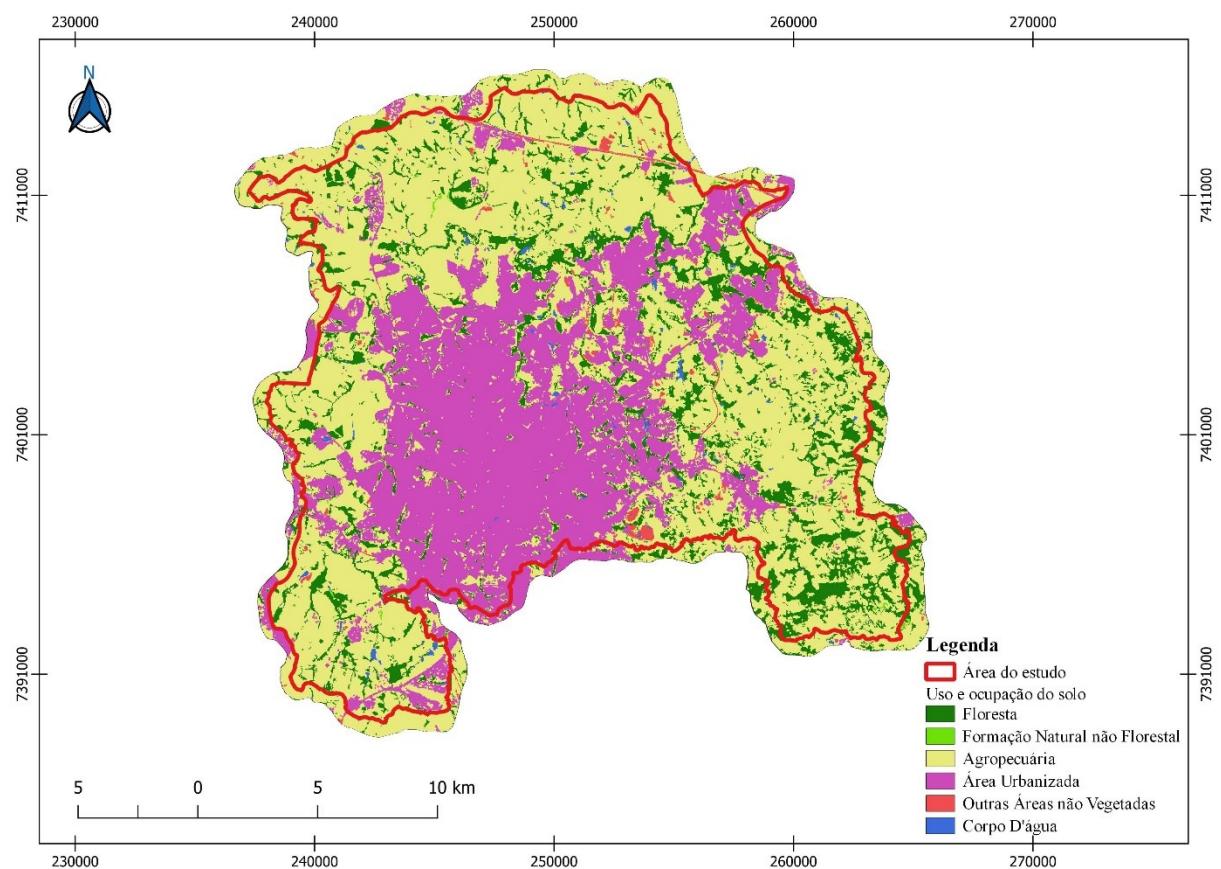
O uso e ocupação do solo da região é caracterizado por diversas atividades econômicas, como agricultura, industrialização e terceirização de processos empresariais (Figura 2). Essas atividades têm exercido uma influência significativa sobre o ambiente natural, podendo impactar tanto os recursos hídricos superficiais quanto os subterrâneos na região (Smith et al., 2018).

A captação de água superficial para o abastecimento público é efetuada a partir da

Represa do Clemente, com uma vazão de 1800 l/s, representando 75% do total captado; a Represa de Ipaneminha, com uma vazão de 300 l/s, correspondendo a 12,5%; o córrego Piragibu-Mirim com uma vazão de 180 l/s, correspondendo a 7,5%. A captação de água subterrânea pelo poder público para o abastecimento de água consiste em 46 poços tubulares profundos, com apenas 21 destes em operação, a desativação ocorre devido com a diminuição da disponibilidade de água e/ou contaminação, os poços em operação representam aproximadamente 5% de toda a água necessária para o abastecimento público, fornecendo 110 l/s para o sistema (SSRH/CSAN, 2013).

Apesar dos poços tubulares representarem cerca de 5% de toda água captada para o abastecimento público, o município de Sorocaba possui um total de 512 outorgados e cadastrados no Sistema de Informações de Águas Subterrâneas (SIAGAS), resultando em uma alta densidade de poços de 1,14 poços por km² sendo utilizados no setor privado. Entretanto, a quantidade de poços no município pode ser muito maior, pois mais de 88% dos poços perfurados no Brasil não passaram pelo processo de outorga, deste modo, não possuem cadastro em nenhuma base de dados do poder público (Instituto Trata Brasil, 2019).

Figura 2 - Mapa de Uso e Ocupação do Solo do Município de Sorocaba.

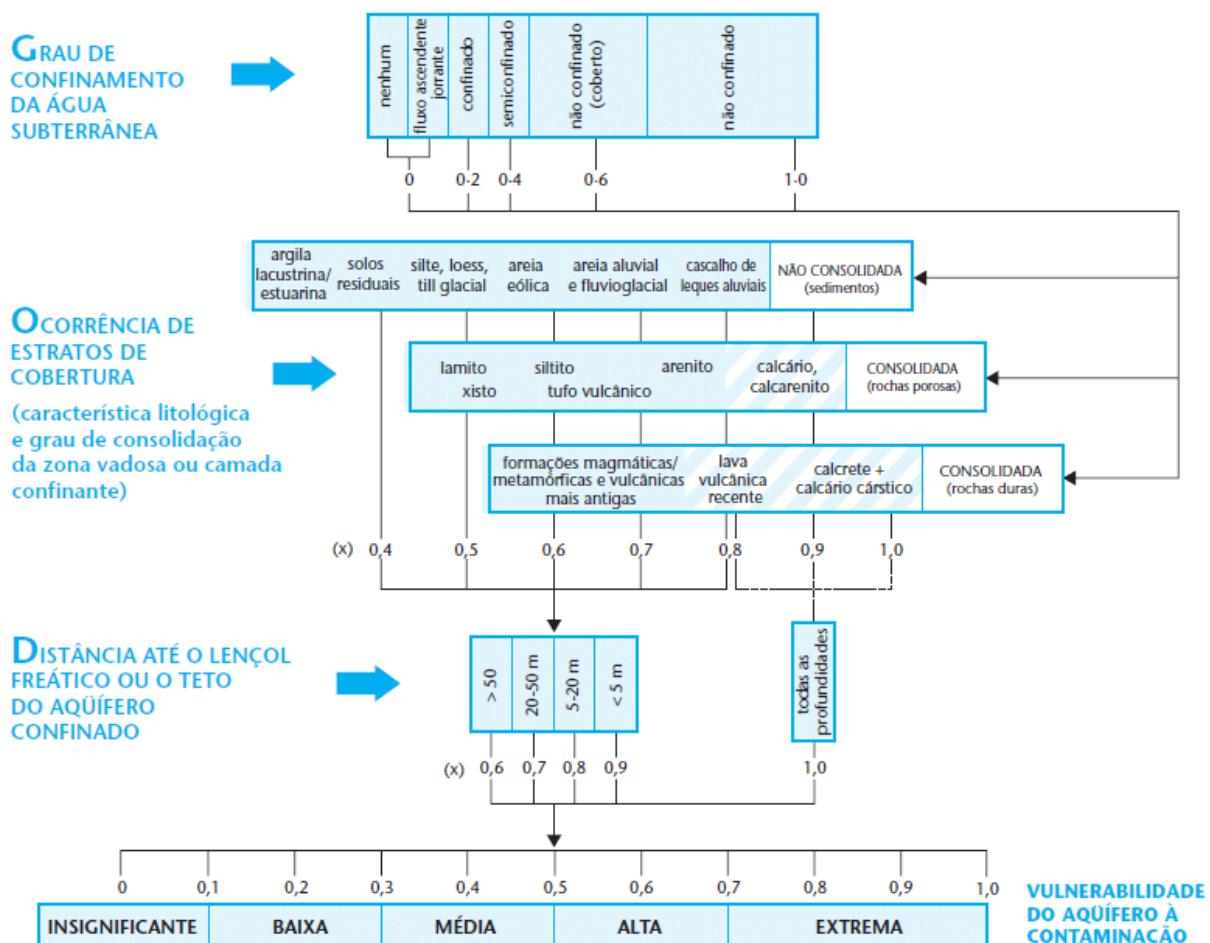


Fonte: Adaptado de MapBiomas Collection 7.1.

MATERIAS E MÉTODOS

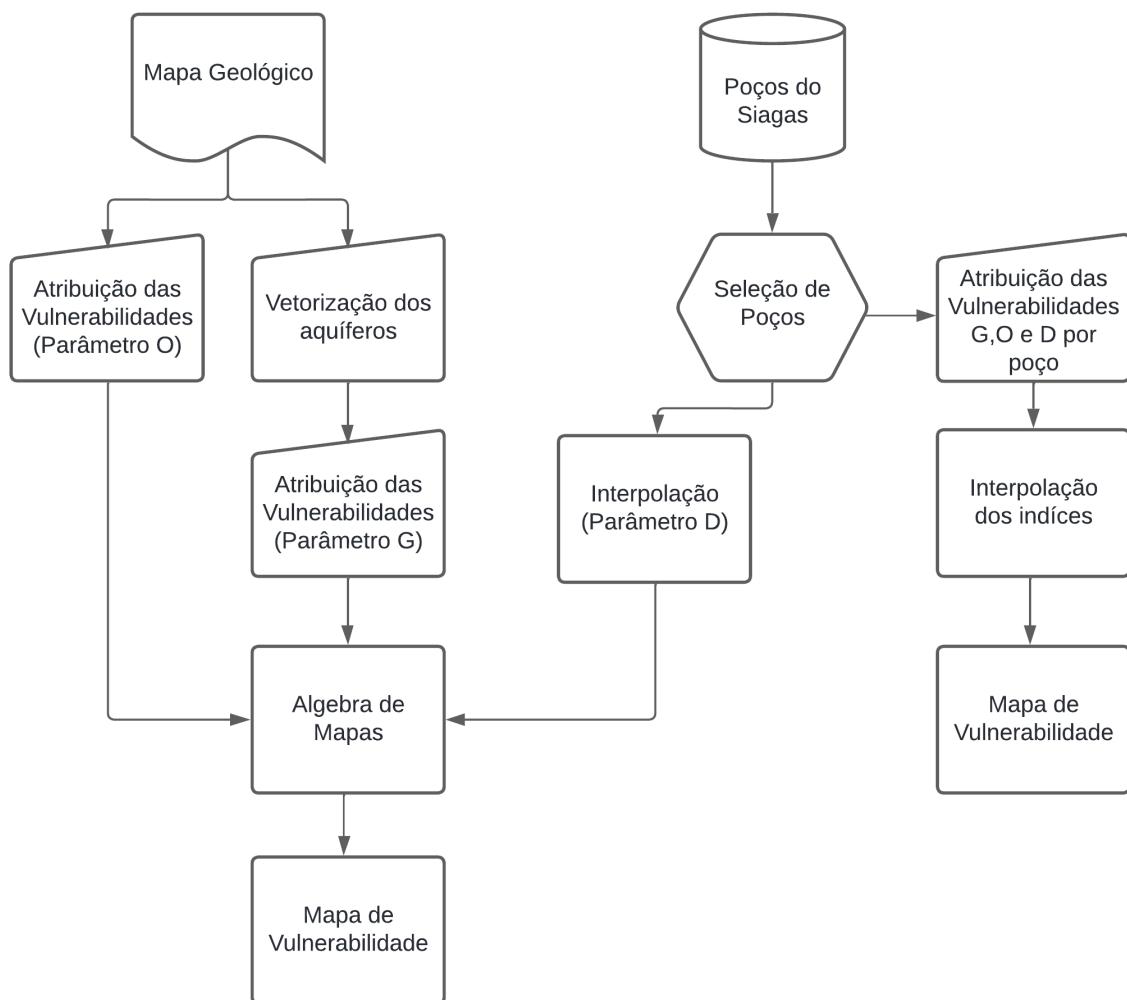
O método GOD é descrito como um método de rápida aplicação para identificar a vulnerabilidade natural de um aquífero, tendo como premissa a percolação vertical do contaminante na zona vadosa, desconsiderando a sua percolação horizontal (Foster et al., 2006). O método leva em consideração três parâmetros: G = grau de confinamento da água subterrânea, O = ocorrência de estratos de cobertura, D = distância até o lençol freático ou teto do aquífero confinado. Cada um dos parâmetros recebe um valor de vulnerabilidade de acordo com as suas características, sendo atribuídos valores de 0 a 1 para o grau de confinamento; 0,4 a 1,0 para a ocorrência de estrato de cobertura; e 0,6 a 1,0 para a distância até o lençol freático. A vulnerabilidade é calculada a partir do produto dos parâmetros e classificada em 5 classes de vulnerabilidade, de insignificante a extrema (Figura 3).

Figura 3 - Método GOD para classificar a vulnerabilidade natural à contaminação de aquíferos.



Fonte: Foster (2006).

Figura 4 – Fluxograma da metodologia.

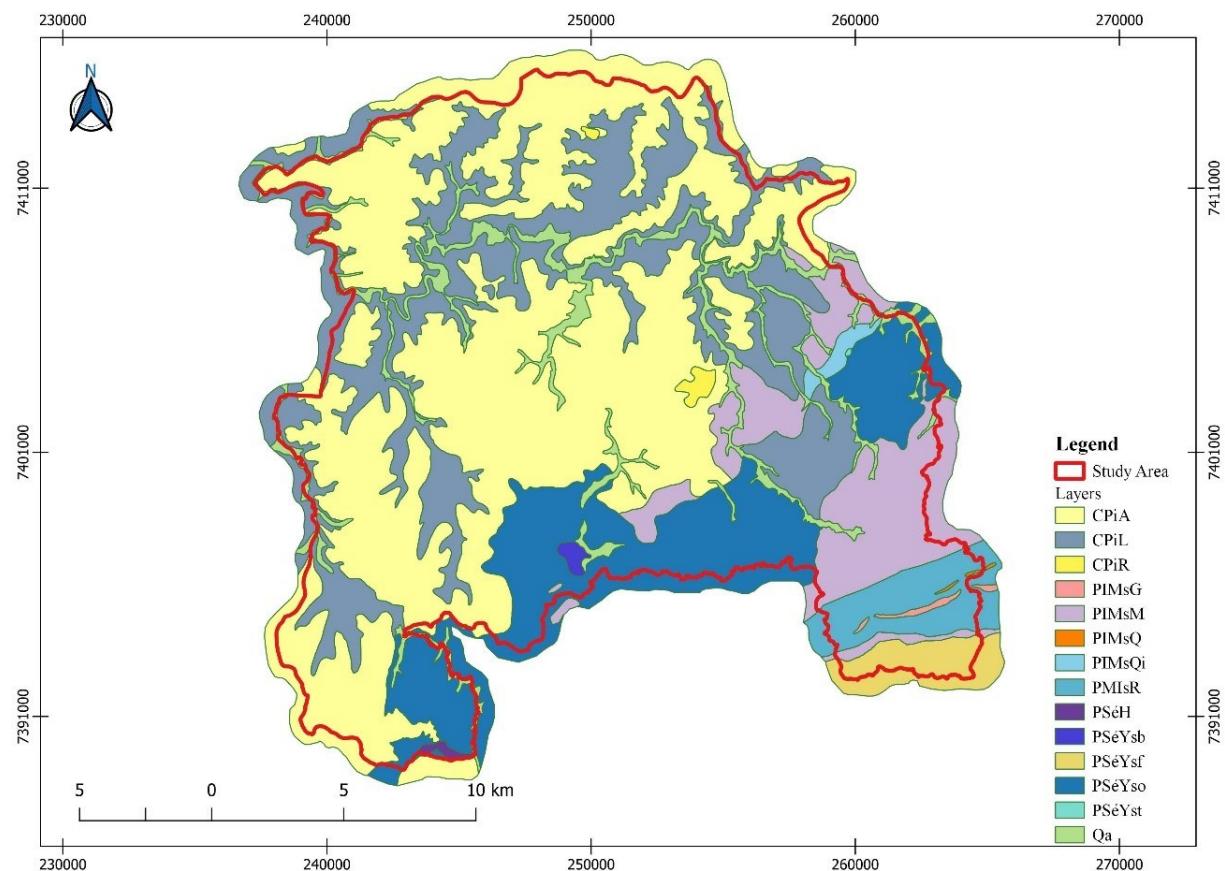


Fonte: Autoria própria.

1.1 VULNERABILIDADE UTILIZANDO O MAPA GEOLÓGICO

Para a análise da ocorrência de estratos de cobertura, foi utilizado o mapa geológico do município de Sorocaba em escala de 1:50.000 (Figura 5), disponibilizado pelo Instituto de Pesquisas Ambientais (IPA), não havendo dados públicos com escala mais detalhada para a área de estudo.

Figura 5 – Mapa geológico do município de Sorocaba.



Fonte: Adaptado de IPA.

Os aquíferos Tubarão e Pré-cambriano foram vetorizadas a partir do mapa geológico do município de Sorocaba em escala de 1:50.000, disponibilizado pelo IPA. O aquífero Tubarão, trata-se de um aquífero sedimentar descontínuo, de extensão regional, com regiões confinadas a semiconfinadas (DAEE et al., 2005). Entretanto, a área de estudo está situada na região aflorante, sendo considerado recoberto nas áreas próximas das camadas de sedimentos Cenozoicos, com interstícios de sedimentos grosseiros, como arenitos, conglomerados e diamictitos, intercalados com camadas de sedimentos finos, como lamentos, siltitos, e folhelhos, que dificulta o escoamento vertical (Tiet, s.d.). As classificações do mapa geológico e os valores atribuídos para o parâmetro O estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 - Descrição do mapa geológico e valores de vulnerabilidade para o parâmetro O.

ID	Descrição	O
CPiA	Arenitos com granulação fina a média, imaturos, com porcentagens variadas de grãos de feldspato passando a arcósios em matriz argilosa	0,7
CPiL	Lamitos, predominantemente, com argilitos, ritmitos e arenitos subordinados. Os lamitos são arenosos com grânulos de quartzo e seixos de quartzito isolados e geralmente são maciços ou com laminações plano-paralelas	0,5
CPiR	Ritmitos. Alternância rítmica de camadas com espessuras centimétricas de siltitos, argilitos e areias muito finas	0,5
PIMsG	Metaconglomerados com grãos de mica e grânulos e seixos de quartzo imersos em matriz argilosa, dispostos em camadas de espessuras centimétricas a métricas, separadas por camadas centimétricas defilitos homogêneos	0,6
PIMsM	Metarenitos com metarcósios subordinados, de granulação fina a grossa, às vezes conglomeráticos	0,7
PIMsQ	Quartzitos constituídos essencialmente de quartzo, de granulação muito fina de cor branca leitosa, com concentrações de muscovita dispostas ao longo de planos de clivagem (ou acamamento) e raros cristais milimétricos alterados de magnetita e/ou granada	0,6
PIMsQi	Quartzitos impuros constituídos de quartzo, biotita e anfibólio de granulação fina, com níveis de maior concentração de anfibólio, de cor cinza-médio a escuro	0,6
PMIsR	Metarrítitos. Alternância rítmica de metassiltitos e filitos de espessuras milimétricas a centimétricas com intercalações subordinadas centimétricas a submétricas de metarenitos finos a grossos, às vezes arcadianos e, ainda, intercalações de quartzitos	0,7
PSéH	Hornfels - metassedimentos de composição variada (arenitos, siltitos, argilitos, conglomerados e arcósios) recristalizados em processo de metamorfismo termal, onde se originaram cristais milimétricos a subcentimétricos de muscovita	0,6
PSéYsb	Biotita granito porfirítico com granada de matriz de granulação média a grossa, inequigranular, constituída de feldspatos, quartzo e biotita com cristais subcentimétricos de granada dispersos	0,6
PSéYsf	Granito São Francisco: biotita granito grosso inequigranular onde a biotita de granulação milimétrica e o quartzo de granulação fina a grossa	0,6
PSéYso	Granito Sorocaba típico: biotita granito cinza porfirítico de matriz de granulação média a fina constituída de quartzo, feldspato e biotita	0,6
PSéYst	Biotita granito com turmalina de granulação média a fina, equigranular, com cristais submilimétricos a milimétricos de biotita e quartzo e subidiomórficos de feldspato branco	0,6
Qa	Depósitos aluvionares e de terraços inconsolidados, com argilas subordinadas, com areias e argilas subordinadas	0,7

Fonte: Descrição (IPA).

O aquífero Pré-cambriano é um aquífero descontínuo, de extensão regional, tendo a sua porosidade e permeabilidade associada a fraturas, sem a presença de camadas confinantes (DAEE et al., 2005). Deste modo, o grau de confinamento da água subterrânea atribuído para o aquífero Tubarão e Pré-cambriano foram respectivamente 0,6 e 1.

Para a determinação do parâmetro de distância até o lençol freático ou teto do aquífero confinado, os dados do nível estático da água foram interpolados no software SAGA utilizando a krigagem ordinária. Esses dados foram obtidos por meio do SIAGAS. Até a data da coleta de dados, a área de estudo possui 512 poços cadastrados, entretanto, inúmeros destes não possuem o cadastro do nível estático da água, resultando apenas em 184 poços com esta informação. Além disso, foram considerados 82 poços nas proximidades da área de estudo, cujas informações foram relevantes para a krigagem (Figura 1).

A partir da associação dos índices de vulnerabilidade para os parâmetros G, O e D (Figura 6), foi realizado a álgebra de mapas no software QGIS para obtenção do mapa de vulnerabilidade intrínseca (Figura 8) para a área de estudo.

1.2 VULNERABILIDADE UTILIZANDO DADOS DOS PERFIS DOS POÇOS

A ocorrência de estratos de cobertura também foi analisada por meio da verificação dos perfis construtivos de 162 poços cadastrados no SIAGAS, que continham informações do nível estático da água e descrição litológica. Após a atribuição dos valores para o parâmetro O (Tabela 2 e Anexo 1), estes foram multiplicados pelos parâmetros G e D, onde foi obtido o índice de vulnerabilidade para cada poço, posteriormente interpolados em toda a região do município, pela krigagem ordinária no software SAGA. Ressalta-se que na zona vadosa da área de estudo é comum a presença de uma ou mais camadas litológicas, sendo que, para esses casos, foi realizado a média ponderada para o cálculo do parâmetro O, tendo como peso a espessura relativa da camada litológica em cada poço.

Tabela 2 - Descrição litológica da zona vadosa e valores de vulnerabilidade para o parâmetro O.

Descrição litológica	Vulnerabilidade
Folhelho; Solo argiloso; Argilito	0,4
Solo argilo-siltoso; Solo silto-argiloso; Argilito-arenoso; Siltito-argiloso	0,45
Solo lamítico; Solo siltoso; Solo arenó-argiloso; Arenito-argiloso; Argilito siltito arenito; Siltito; Ritmito; Rochas intemperizadas e decompostas	0,5
Arenito associado a diamictito, folhelho e ritmito	0,55
Quartzito; Granito/gnaisse	0,6
Solo siltico-arenoso; Arenito; Siltito	0,65
Solo arenoso; Areia-argilosa; Arenito fino; Arenito fino com granulação média; Arenito fino localmente fraturado; Arenito grosso	0,7
Solo arenoso com cascalho	0,75

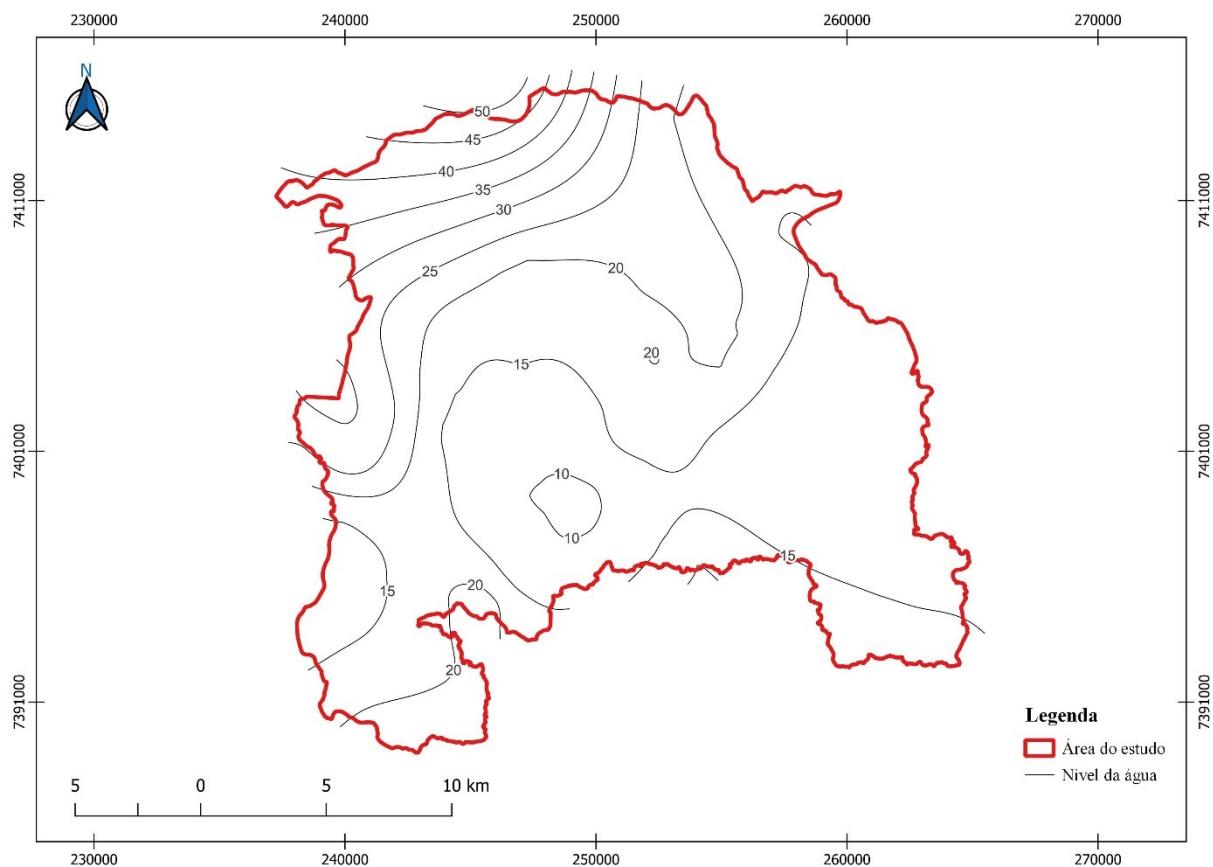
Fonte: Autoria própria.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O grau de confinamento da água subterrânea tem relação direta com a capacidade de um contaminante atingir o nível freático, em que a preocupação ocorre principalmente nas regiões não confinadas, especialmente quando a espessura da zona vadosa é pequena. Entretanto, as zonas cobertas, confinadas e semiconfinadas também apresentam um risco de contaminação se a camada confinante for relativamente fina e permeável (Foster et al., 2006). O aquífero Tubarão representa um índice de vulnerabilidade de 0,6, enquanto o aquífero Pré-cambriano uma vulnerabilidade de 1,0.

No que se refere aos valores da distância até o lençol freático, nota-se que a maior parte da área está associada a uma zona vadosa pouco espessa (Figura 5), com os níveis de profundidade inferiores a 20 m. Observaram-se classes de vulnerabilidade de 0,8 (5 a 20 m) e 0,7 (20 a 50 m). Ressalta-se que os valores dos níveis estáticos foram obtidos em diferentes períodos climáticos (chuvisco e seco), e em anos diversos, dependendo da outorga e cadastro no SIAGAS. Dessa forma, as linhas de igual NE mostradas na Figura 6 representam uma aproximação para o nível da água subterrânea na região de estudo.

Figura 6 – Linhas de igual nível estático da água subterrânea.



Fonte: Autoria própria.

Com relação aos estratos de cobertura na zona vadosa, são apresentados nos itens a seguir os valores definidos para este parâmetro tendo como base o mapa geológico e com a abordagem considerando os perfis dos poços. Também são apresentados os mapas de vulnerabilidade natural à contaminação para cada uma das abordagens utilizadas.

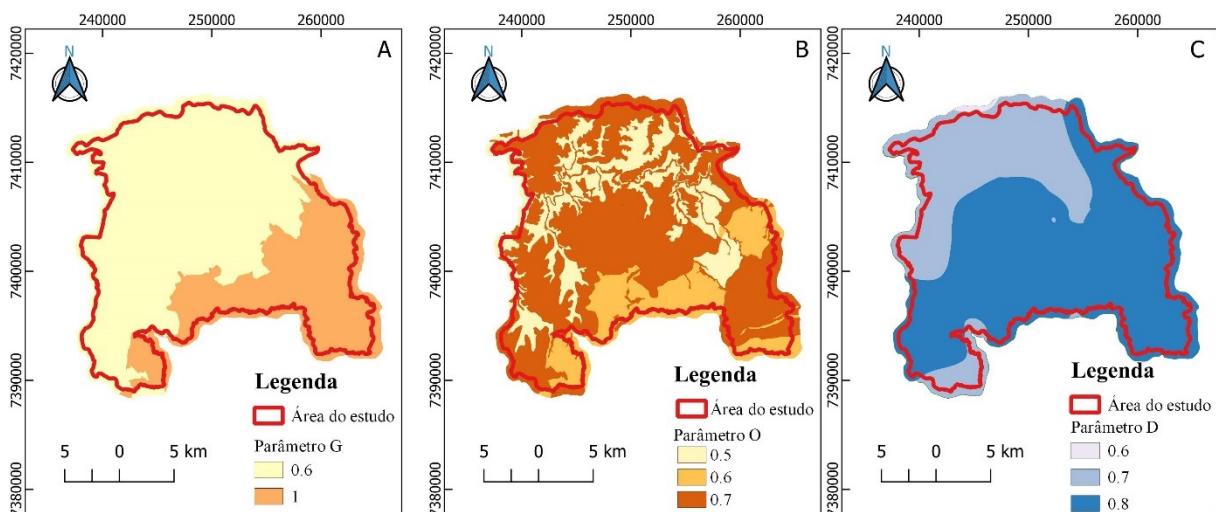
2.1 VULNERABILIDADE UTILIZANDO O MAPA GEOLÓGICO

O aquífero Tubarão representa cerca de 68,96% da área, com índice de vulnerabilidade de 0,6, enquanto o aquífero Pré-cambriano com a vulnerabilidade de 1,0 (Figura 7A). Com relação aos estratos de cobertura na zona vadosa utilizando o mapa geológico (Figura 7B), a menor vulnerabilidade identificada foi de 0,5 com alta predominância de lamitos e pouca de ritmitos, representando 21,75% da área de estudo. Valores iguais a 0,6 foram atribuídos para as camadas de metaconglomerados, granito, quartzo e hornfels, representando 15,70%. Enquanto para as camadas de arenitos, metarenitos e depósitos aluvionares foram considerados o valor de 0,7, representando 62,55% (Figura 7B).

No que se refere aos valores da distância até o lençol freático, observaram-se classes de

vulnerabilidade de 0,8 (5 a 20 m), correspondendo a 67,77% da área de estudo e 0,7 (20 a 50 m) (Figura 7C), representando 32,22%. Também foi observada uma possível subestimação do nível da água subterrânea na região do extremo norte, noroeste e sudeste da área de estudo, devido à baixa de densidade de poços disponíveis com dados do NE.

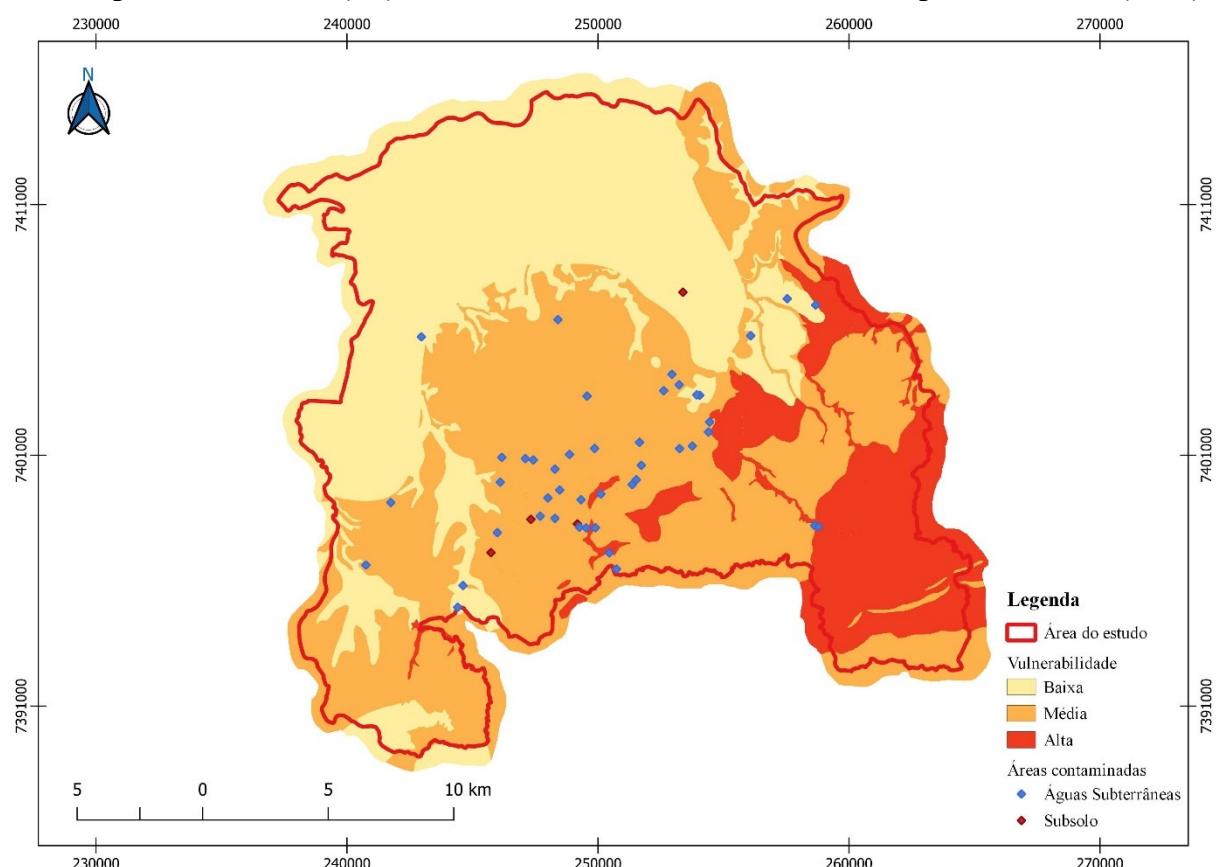
Figura 7 – Mapas de vulnerabilidade para os parâmetros: grau de confinamento (G), estratos de cobertura (O) e profundidade do nível da água (D).



Fonte: Autoria própria.

Observando-se vulnerabilidades baixa, média e alta, e a ausência de vulnerabilidades insignificante e extrema. A ausência da vulnerabilidade extrema se dá pela consideração do aquífero Tubarão como coberto na UGRHI Sorocaba-Médio Tietê, entretanto, não é esperado que toda porção do mesmo na área de estudo seja coberto, podendo haver a presença de zonas extremas onde há a intersecção de arenitos com níveis da água subterrânea inferiores a 20 m.

Figura 8 – Mapa de vulnerabilidade natural à contaminação das águas subterrâneas no município de Sorocaba (SP) e localização das áreas contaminadas pela CETESB (2023).



Fonte: Autoria própria.

Em relação a vulnerabilidade alta, esta representa a menor classe identificada neste estudo, representando 12,99% da extensão territorial, tendo como maior valor observado de 0,56, que se encontra mais concentrado na porção sudeste. Isto ocorre principalmente pela alta presença de metarenitos e depósitos aluvionares, com uma zona vadosa pouco espessa, com distâncias até o nível freático inferiores a 20 m, e característica do aquífero Pré-cambriano não confinado.

Pode-se observar que as porções central, nordeste e sudoeste possuem vulnerabilidade média, sendo a maior classe identificada, correspondendo a 47,63% da área. Apesar da grande presença de arenitos, que favorecem uma infiltração com maior facilidade devido às suas características físicas, como boa capacidade de infiltração e baixa compactação das partículas sólidas, e ainda associados a uma profundidade do nível da água subterrânea baixa, entre 5 e 20 m, a vulnerabilidade média ocorre devido à intersecção com o aquífero Tubarão, que é considerado neste estudo como coberto.

Quanto à classe de vulnerabilidade baixa, ela se encontra principalmente nas regiões

norte e noroeste, representando 39,38% da área de estudo, tendo como menor valor observado de 0,21 na intersecção de camadas de lamitos, associadas a uma zona vadosa espessa, com distâncias até o nível freático entre 20 e 50 m. Porém, a maior parte da classe baixa é constituída por arenitos, com uma vulnerabilidade de 0,29.

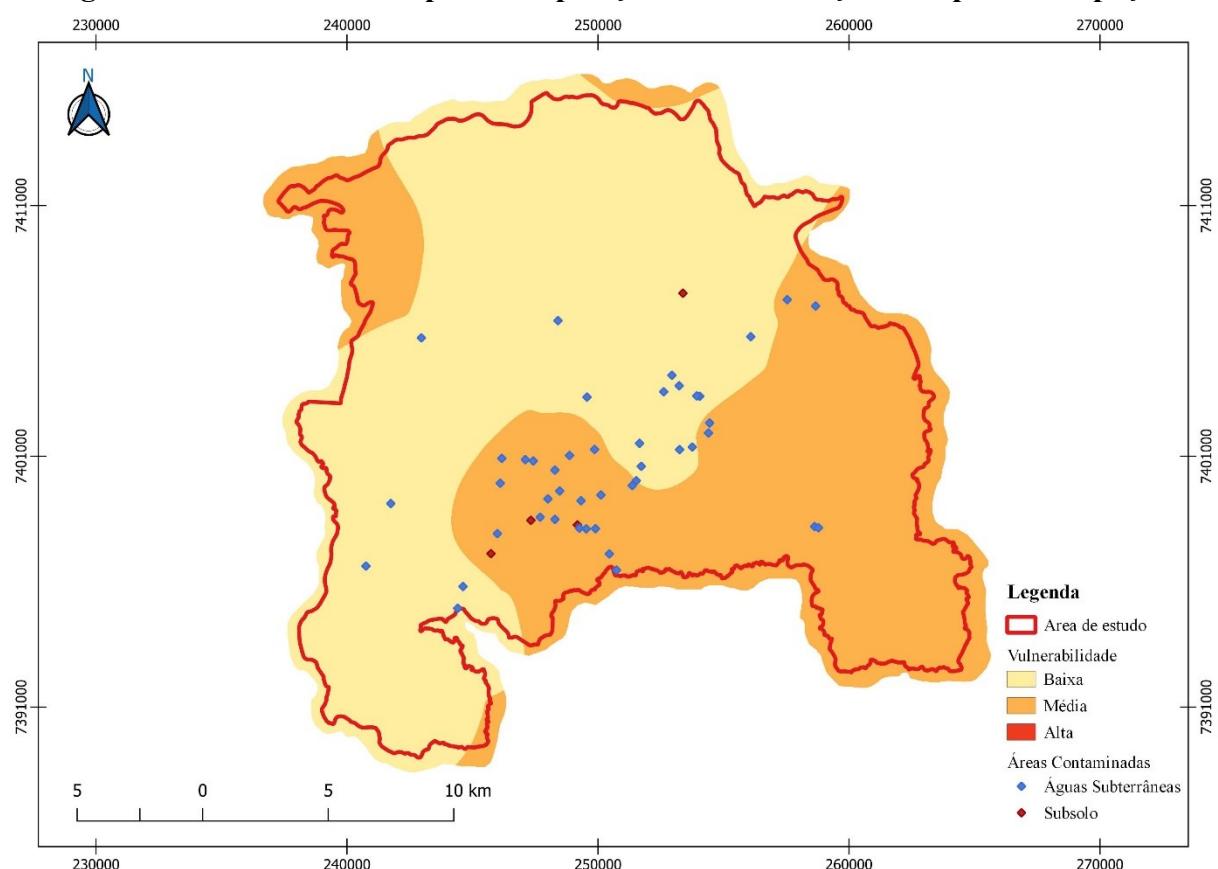
Em relação às áreas contaminadas identificadas na área de estudo pela CETESB (2023), foram identificados 48 pontos, sendo 44 áreas com contaminação na água subterrânea e 4 com contaminação no subsolo (Figura 8). Apesar da ocorrência da classe de vulnerabilidade alta na área de estudo, há apenas três contaminações de água subterrânea confirmadas em regiões com esta classificação, enquanto a classe de vulnerabilidade média possui 34 pontos com contaminação na água subterrânea, e 7 pontos em região com vulnerabilidade baixa. A elevada percentagem de pontos identificados com contaminação em classe média ocorre principalmente por causa de dois fatores, devido ao uso e ocupação do solo (ver Figura 2), onde a área urbana está predominantemente localizada na região de vulnerabilidade média, enquanto a região de vulnerabilidade alta possui uma alta presença de agropecuária e pelo fato da CETESB realizar principalmente o monitoramento em postos de combustíveis e indústrias.

2.2 VULNERABILIDADE UTILIZANDO DADOS DOS PERFIS DOS POÇOS

A análise utilizando dados dos perfis dos poços e interpolação permitiu uma avaliação da vulnerabilidade natural à contaminação da água subterrânea na região de estudo (Figura 9). O resultado da aplicação desta metodologia indicou maior predominância da vulnerabilidade média em 59,69% da área, seguida da vulnerabilidade baixa correspondendo a 40,31% da área do município. A vulnerabilidade variou de 0,20 a 0,47, o que indica áreas com diferentes graus de susceptibilidade à contaminação.

Na zona de vulnerabilidade baixa, foi identificada a presença predominante de solos lamíticos, argilosos e siltosos, caracterizados por baixa condutividade hidráulica. Essa composição sugere uma menor propensão à infiltração de água e, portanto, uma menor vulnerabilidade à contaminação. Isso pode ser atribuído à estrutura do solo, que reduz a percolação dos contaminantes através dele.

Figura 9 - Vulnerabilidade pela interpolação das informações dos perfis dos poços.

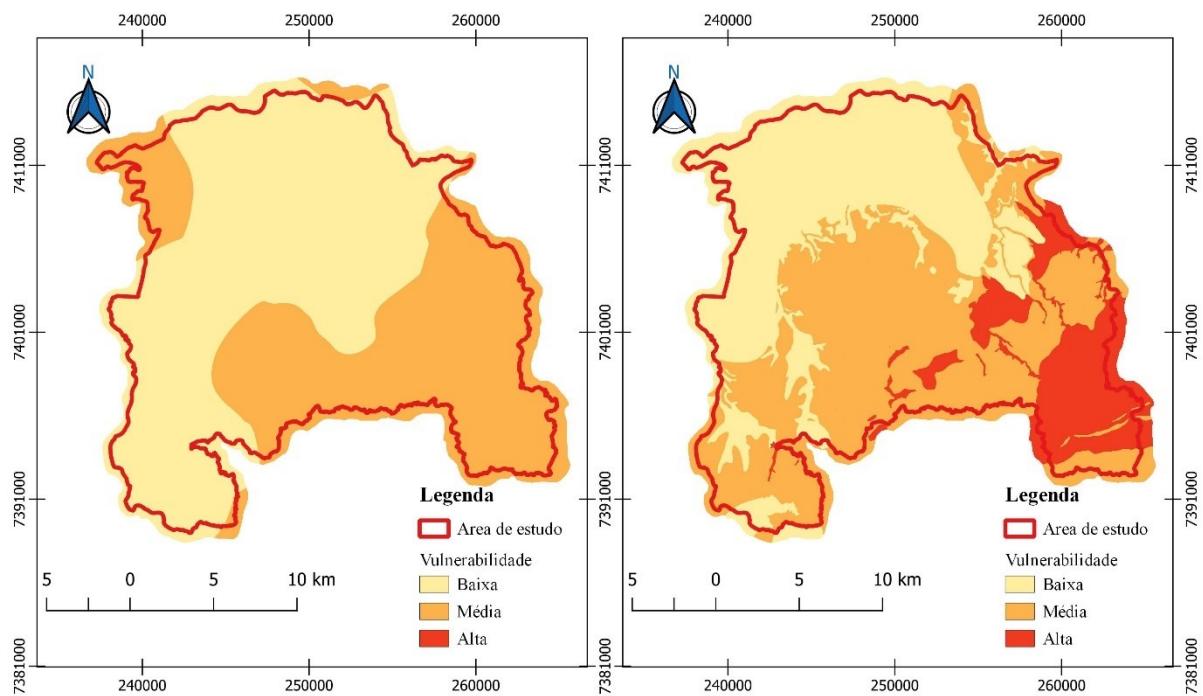


Fonte: Autoria própria.

Por outro lado, na zona de vulnerabilidade média observou-se a presença predominante de solos arenosos ou rochas sedimentares porosas, como arenito. Esses solos têm como característica uma porosidade mais alta o que facilita a movimentação da água, e consequentemente, dos contaminantes. No entanto, nessa zona também foram identificadas camadas de baixa porosidade, como silte e argilas, que podem atuar como barreiras à migração dos contaminantes para as camadas mais profundas. Além disso, a presença de múltiplos estratos na zona vadosa, como camadas argilosas e/ou siltosas também pode influenciar o fluxo dos contaminantes.

2.3 COMPARAÇÃO DA VULNERABILIDADE COM MÉTODOS DISTINDOS PARA OBTENÇÃO DO PARÂMETRO O.

Figura 10 -



Fonte: Autoria própria.

A maior diferença em relação ao método do mapa geológico é a ausência da vulnerabilidade alta. Enquanto o mapa geológico apresenta uma alta predominância de arenitos na área de estudo, refletindo um índice de vulnerabilidade mais elevado (índice vulnerabilidade do parâmetro O igual a 0,7), a análise detalhada a partir da interpolação dos dados litológicos dos poços, indica a predominância de camadas com índices menores, como solos argilosos e siltosos, e argilitos e siltitos.

Isso destaca a importância de considerar não apenas a composição superficial do solo, mas também a distribuição vertical das camadas na interpretação da vulnerabilidade à contaminação.

Além disso, foi observada a ocorrência de vulnerabilidade média no extremo noroeste da região, diferentemente do resultado obtido com o método do mapa geológico. Essa diferença pode ser atribuída à baixa densidade de poços nesta localidade, resultando em uma amostragem limitada dos dados geológicos. Dessa forma, a aplicação da metodologia de análise dos perfis dos poços depende primordialmente da disponibilidade dos dados e de uma distribuição mais uniforme dos poços na região de estudo, de forma que os resultados da interpolação sejam mais confiáveis e representativos.

ANÁLISE DA LITOLOGIA NA REGIÃO DE ALTA VULNERABILIDADE

Na região de alta vulnerabilidade identificada pela utilização do mapa geológico, situam-se onze poços cadastrados no SIAGAS, dentre os quais sete apresentam data de teste de bombeamento após o ano de 1995 e um não registro da data. Os perfis disponíveis no SIAGAS desses poços estão apresentados no Anexo 2, e contribuem para uma melhor compreensão da distribuição das camadas litológicas nessa região.

Em todos os poços na camada final, abaixo de 40m de profundidade, há presença predominante de granito semi-alterado a são, e de granulação fina ou grossa. A presença de características como fraturas nesta camada pode influenciar significativamente as condições de permeabilidade do aquífero e criar caminhos de fluxo para os contaminantes. Em geral, os poços analisados coincidem com as regiões do mapa litológico classificadas como metarenitos com metarcósios subordinados, de granulação fina a grossa, às vezes conglomeráticos (PIMsM), o que corrobora com a descrição obtida pela análise dos perfis dos poços.

Observa-se que pequenas distâncias até o lençol freático, com níveis estáticos variando entre 4,0 e 16,2 m. Essa variação pode ser influenciada por fatores, como características litológicas, topografia e o uso e ocupação do solo. Além disso, níveis estáticos baixos contribuem para que os contaminantes percoleem mais rapidamente aumentando a vulnerabilidade do aquífero.

CONCLUSÃO

O método GOD permitiu identificar e mapear a vulnerabilidade natural à contaminação das águas subterrâneas no município de Sorocaba, indicando predominância das classes de vulnerabilidade baixa e média, enquanto a vulnerabilidade alta está situada em uma região com baixa densidade antrópica, porém com predominância de atividades agropecuárias, que podem representar uma fonte de contaminação para às águas subterrâneas devido ao uso de fertilizantes e outros pesticidas.

A análise da predominância de granito nas camadas profundas, juntamente com os níveis estáticos mais baixos observados pode ter implicações para a vulnerabilidade das águas subterrâneas. Pode-se destacar a necessidade de considerar na avaliação da vulnerabilidade à contaminação, a composição superficial do solo, dada pelo mapa geológico e a distribuição das camadas, resultantes da interpolação dos dados litológicos dos poços. Entretanto, recomenda-se a realização de mais estudos envolvendo a vulnerabilidade natural à contaminação das águas subterrâneas, pois a ausência de dados disponíveis do nível estático da água subterrânea pode

ter subestimado o nível da água nessas regiões. Especificamente, as áreas do extremo norte, noroeste e sudeste da área de estudo não foram completamente representadas nos resultados obtidos devido à escassez destas informações.

O mapeamento das vulnerabilidades em ambiente SIG se torna uma excelente ferramenta para utilizar como tomada de decisão pelo poder público em uma eventual atualização de planos diretores, oferecendo informações quanto ao uso e ocupação do solo, visando a proteção das águas subterrâneas.

BIBLIOGRAFIA

- ALLER, L., Bennett, T., Lehr, J. H., Petty, R. J., & Hackett, G. (1987). *DRASTIC: A standardized system for evaluating ground water pollution potential using hydrogeologic settings.*
- ASTM D6030. (1996). *Standard Guide for Selection of Methods for Assessing Ground Water or Aquifer Sensitivity and Vulnerability.* West Conshohocken.
- CETESB. (2016). *QUALIDADE DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS NO ESTADO DE SÃO PAULO 2013-2015.* São Paulo.
- CETESB. (2023). *Relação de áreas contaminadas.* Acesso em 04 de Novembro de 2023, disponível em CETESB: <https://cetesb.sp.gov.br/areas-contaminadas/relacao-de-areas-contaminadas/>
- Cutrim, A. O., & Campos, J. E. (2010). AVALIAÇÃO DA VULNERABILIDADE E PERIGO À CONTAMINAÇÃO DO AQÜÍFERO FURNAS NA CIDADE DE RONDONÓPOLIS (MT) COM APLICAÇÃO DOS MÉTODOS GOD E POSH. *Geociências*, 29(3), 401-411.
- DAEE, IG, IPT & CPRM. (2005). *Mapa de Água Subterrânea do Estado de São Paulo Escala 1:1.000.000 : Nota Explicativa.*
- DO BRASIL, CPRM–Serviço Geológico. (2006). *Geologia e recursos minerais do estado de São Paulo.* São Paulo: CPRM.
- EMBRAPA. (2013). *Sistema brasileiro de classificação de solos* (3 ed. ed.). Brasília: EMBRAPA.
- Falowo, O., Akindureni, Y., & Ojo, O. (2017). Groundwater Assessment and Its Intrinsic Vulnerability Studies Using Aquifer Vulnerability Index and GOD Methods. *International Journal of Energy and Environmental Science*, 2(5), 103-116.
- Foster, S., Hirata, R., Gomes, D., D'Elia, M., & Paris, M. (2006). *PROTEÇÃO DA QUALIDADE da água subterrâneaum guia para empresas de abastecimento de água, órgãos municipais e agências ambientais.*
- Ghazavi, R., & Ebrahim, Z. (2015). Assessing groundwater vulnerability to contamination in an arid. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 12, 2909-2918.
- Goyal, D., Haritash, A., & Singh, S. (2021). A comprehensive review of groundwater vulnerability assessment using index-based, modelling, and coupling methods. *Journal of Environmental Management*, 296, 113161.
- Instituto Trata Brasil. (2019). *A revolução silenciosa das águas subterrâneas no Brasil: uma análise da importância do recurso e os riscos pela falta de saneamento.*

- Kaddour, K., El Hacen, B., Hlima, D., & Yasmina, D. (2018). Groundwater vulnerability assessment using GOD method in Boulimat coastal District of Bejaia area North east Algeria. *Journal of Biodiversity and Environmental Sciences*, 109(3), 109-116.
- Kirlas, M., Karpouzos, D., Georgiou, P., & Katsifarakis, K. (2022). A comparative study of groundwater vulnerability methods in a porous aquifer in Greece. *Applied Water Science*, 12(6), 123.
- Köppen, W. (1948). *Climatologia. Fondo de Cultura Econômica*, 478.
- Machiwal, D., Jha, M. K., Singh, S. V., & Mohan, C. (2018). Assessment and mapping of groundwater vulnerability to pollution: Current status and challenges. *Earth-Science Reviews*, 185, 901-927.
- Maria, R. (2018). Comparative studies of groundwater vulnerability assessment. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 118 012018.
- Nery, L. M., Simonetti, V. C., Machado, L. P., & Silva, D. C. (2020). Geotecnologias aplicadas na análise do risco de contaminação de poços de água no município de Sorocaba, SP. *Holos Environment*, 20(3), 214.
- Oliveira, J. B., Camargo, M. N., Rossi, M., & Calderano Filho, B. (1999). *Mapa pedológico do Estado de São Paulo: legenda expandida*. Instituto Agronômico.
- Ross, J. L. (2000). *Geografia do Brasil* (Vol. 3). São Paulo: EDUSP.
- Roveda, S. R., Bondanca, A. P., Silva, J. G., Roveda, J. A., & Rosa, A. H. (2010). Development of a water quality index using a fuzzy logic: A case study for the Sorocaba river. *International Conference on Fuzzy Systems*, 1-5.
- Smith, W. S., & Barrella, W. (2000). The ichthyofauna of the marginal lagoons of the Sorocaba River, SP, Brazil: composition, abundance and effect of the anthropogenic actions. *Revista Brasileira de Biologia*, 60, 627-632.
- Smith, W. S., da Silva, F. L., de Amorim, S. R., & Stefani, M. S. (2018). Urban biodiversity: how the city can do its management? *Biodiversity International Journal*, 2(2), 246-251.
- SSRH/CSAN. (2013). *PROPOSTA DO PLANO MUNICIPAL INTEGRADO DE SANEAMENTO BÁSICO MUNICÍPIO: SOROCABA*.
- Stempvoort, D. V., Ewert, L., & Wassenaar, L. (1992). *AVI: A Method for Groundwater Protection Mapping in the Prairie Provinces of Canada*. PPWD Groundwater and Contaminants Project, National Hydrology Research Institute, Saskatoon.
- Tiet, A. S. (s.d.). *Caracterização Geral da UGRHI 10*. Acesso em 9 de Janeiro de 2024, disponível em <https://sigrh.sp.gov.br/public/uploads/documents/6525/relsmtseg.pdf>
- UNESCO. (2022). *Relatório Mundial das Nações Unidas sobre o Desenvolvimento dos Recursos Hídricos 2022: águas subterrâneas: tornar visível o invisível; resumo executivo*.

ANEXOS

5.1 ANEXO 1 – TABELA COM VALORES DE VULNERABILIDADE PARA CADA POÇO.

ID Poço	NE (m)	G	O	D	Vulnerabilidade
3500000305	3.00	1.00	0.50	0.90	0.45
3500000306	3.00	1.00	0.50	0.90	0.45
3500000307	7.00	1.00	0.50	0.80	0.40
3500000311	15.00	0.60	0.60	0.80	0.29
3500000312	10.00	0.60	0.60	0.80	0.29
3500000315	29.00	0.60	0.50	0.70	0.21
3500000316	5.00	0.60	0.65	0.80	0.31
3500000317	12.00	0.60	0.50	0.80	0.24
3500000318	23.50	0.60	0.50	0.70	0.21
3500000319	3.50	0.60	0.50	0.90	0.27
3500000320	56.00	0.60	0.61	0.60	0.22
3500000321	12.63	0.60	0.40	0.80	0.19
3500000322	6.00	0.60	0.70	0.80	0.34
3500000323	4.00	0.60	0.70	0.90	0.38
3500000324	1.80	0.60	0.50	0.90	0.27
3500000325	5.00	0.60	0.50	0.80	0.24
3500000326	9.00	0.60	0.50	0.80	0.24
3500000327	4.50	0.60	0.50	0.90	0.27
3500000328	12.00	0.60	0.70	0.80	0.34
3500000329	2.50	0.60	0.50	0.90	0.27
3500000330	3.00	0.60	0.40	0.90	0.22
3500000331	14.00	0.60	0.50	0.80	0.24
3500000332	12.00	0.60	0.50	0.80	0.24
3500000333	29.20	0.60	0.50	0.70	0.21
3500000334	17.00	0.60	0.70	0.80	0.34
3500000337	11.00	0.60	0.50	0.80	0.24
3500000338	50.00	0.60	0.55	0.60	0.20
3500000339	0.20	0.60	0.70	0.90	0.38
3500000340	15.00	0.60	0.60	0.80	0.29
3500000341	6.00	0.60	0.40	0.80	0.19
3500000342	4.00	0.60	0.70	0.90	0.38
3500000343	6.00	0.60	0.60	0.80	0.29
3500000344	4.20	0.60	0.70	0.90	0.38
3500000345	14.00	0.60	0.70	0.80	0.34
3500000347	27.00	0.60	0.53	0.70	0.22
3500000348	2.50	0.60	0.70	0.90	0.38
3500000349	59.00	0.60	0.66	0.60	0.24
3500000350	9.00	0.60	0.70	0.80	0.34
3500000351	9.00	0.60	0.70	0.80	0.34
3500000352	13.00	0.60	0.70	0.80	0.34
3500000353	2.00	0.60	0.70	0.90	0.38
3500000354	4.00	1.00	0.70	0.90	0.63
3500000355	12.00	0.60	0.70	0.80	0.34
3500000356	5.00	0.60	0.50	0.80	0.24
3500000357	4.00	1.00	0.70	0.90	0.63

(continua)

Anexo 1 – Tabela com valores de vulnerabilidade para cada poço.

ID Poço	NE (m)	G	O	D	Vulnerabilidade
3500000358	8.30	1.00	0.67	0.80	0.54
3500000359	11.00	0.60	0.70	0.80	0.34
3500000361	15.09	1.00	0.50	0.80	0.40
3500000362	6.00	0.60	0.50	0.80	0.24
3500000363	3.00	1.00	0.50	0.90	0.45
3500000365	20.00	0.60	0.60	0.80	0.29
3500000366	6.00	0.60	0.47	0.80	0.22
3500000367	6.00	0.60	0.50	0.80	0.24
3500000368	6.00	0.60	0.60	0.80	0.29
3500000369	10.00	0.60	0.50	0.80	0.24
3500000370	6.00	0.60	0.50	0.80	0.24
3500000371	17.00	0.60	0.47	0.80	0.23
3500000375	13.00	0.60	0.42	0.80	0.20
3500000376	5.00	0.60	0.62	0.80	0.30
3500000377	15.00	1.00	0.50	0.80	0.40
3500000607	17.00	0.60	0.61	0.80	0.29
3500000608	10.00	0.60	0.50	0.80	0.24
3500000609	16.00	1.00	0.56	0.80	0.44
3500000610	6.00	0.60	0.70	0.80	0.34
3500000611	3.00	1.00	0.50	0.90	0.45
3500006834	27.71	0.60	0.61	0.70	0.26
3500006835	33.00	0.60	0.45	0.70	0.19
3500012232	11.00	1.00	0.40	0.80	0.32
3500012234	18.00	0.60	0.40	0.80	0.19
3500012235	43.00	1.00	0.53	0.70	0.37
3500012237	6.00	1.00	0.70	0.80	0.56
3500012238	19.00	1.00	0.48	0.80	0.39
3500012239	16.00	0.60	0.63	0.80	0.30
3500012241	2.00	0.60	0.70	0.90	0.38
3500012242	10.00	0.60	0.40	0.80	0.19
3500012243	5.00	1.00	0.40	0.80	0.32
3500012244	4.20	1.00	0.40	0.90	0.36
3500012245	8.00	1.00	0.40	0.80	0.32
3500012246	9.00	1.00	0.50	0.80	0.40
3500012247	5.50	1.00	0.40	0.80	0.32
3500012248	3.00	1.00	0.70	0.90	0.63
3500012249	0.20	1.00	0.40	0.90	0.36
3500012250	14.00	1.00	0.46	0.80	0.37
3500012251	5.00	1.00	0.50	0.80	0.40
3500012252	9.00	1.00	0.50	0.80	0.40
3500012253	23.00	1.00	0.40	0.70	0.28
3500012254	6.00	1.00	0.50	0.80	0.40
3500012255	12.00	1.00	0.55	0.80	0.44
3500012256	59.00	1.00	0.64	0.60	0.39
3500012257	6.00	1.00	0.50	0.80	0.40

(continua)

Anexo 1 – Tabela com valores de vulnerabilidade para cada poço (continuação).

ID Poço	NE (m)	G	D	O	Vulnerabilidade
3500012258	12.00	1.00	0.48	0.80	0.38
3500012259	18.00	1.00	0.50	0.80	0.40
3500012261	4.00	1.00	0.50	0.90	0.45
3500012263	13.00	0.60	0.40	0.80	0.19
3500012264	2.50	0.60	0.40	0.90	0.22
3500012265	3.00	0.60	0.40	0.90	0.22
3500012266	4.00	0.60	0.40	0.90	0.22
3500012267	24.00	1.00	0.60	0.70	0.42
3500012268	3.00	0.60	0.40	0.90	0.22
3500012269	6.00	1.00	0.50	0.80	0.40
3500012272	4.00	0.60	0.50	0.90	0.27
3500012273	6.00	0.60	0.50	0.80	0.24
3500012274	20.00	0.60	0.48	0.80	0.23
3500012290	1.00	0.60	0.50	0.90	0.27
3500012291	7.00	1.00	0.50	0.80	0.40
3500012292	16.00	0.60	0.60	0.80	0.29
3500012305	18.00	0.60	0.60	0.80	0.29
3500012306	3.40	0.60	0.60	0.90	0.32
3500012335	28.00	0.60	0.40	0.70	0.17
3500012339	20.00	0.60	0.50	0.80	0.24
3500030120	25.00	0.60	0.46	0.70	0.19
3500030121	27.00	0.60	0.60	0.70	0.25
3500030128	5.85	1.00	0.60	0.80	0.48
3500030132	6.00	0.60	0.40	0.80	0.19
3500030133	140.00	0.60	0.60	0.60	0.22
3500030134	32.00	0.60	0.55	0.70	0.23
3500030135	10.00	1.00	0.70	0.80	0.56
3500030137	14.00	1.00	0.75	0.80	0.60
3500030139	8.12	1.00	0.45	0.80	0.36
3500030141	24.00	0.60	0.43	0.70	0.18
3500030142	13.50	1.00	0.40	0.80	0.32
3500030144	9.00	1.00	0.45	0.80	0.36
3500030145	8.70	1.00	0.40	0.80	0.32
3500030146	6.98	1.00	0.60	0.80	0.48
3500030147	5.84	1.00	0.63	0.80	0.51
3500030241	12.50	0.60	0.40	0.80	0.19
3500030272	12.40	0.60	0.60	0.80	0.29
3500030273	18.50	0.60	0.65	0.80	0.31
3500030274	50.00	0.60	0.47	0.60	0.17
3500030284	61.30	0.60	0.54	0.60	0.20
3500030291	28.30	0.60	0.40	0.70	0.17
3500030298	9.30	0.60	0.70	0.80	0.34
3500030302	16.20	1.00	0.46	0.80	0.37
3500030303	27.80	0.60	0.45	0.70	0.19
3500030323	25.00	0.60	0.62	0.70	0.26
3500030327	4.00	0.60	0.50	0.90	0.27

(continua)

Anexo 1 – Tabela com valores de vulnerabilidade para cada poço (continuação).

ID Poço	NE (m)	G	D	O	Vulnerabilidade
3500030329	4.03	1.00	0.70	0.90	0.63
3500030330	46.14	0.60	0.55	0.70	0.23
3500030349	32.00	0.60	0.52	0.70	0.22
3500030350	23.20	0.60	0.53	0.70	0.22
3500030351	63.00	0.60	0.55	0.60	0.20
3500030353	47.00	0.60	0.50	0.70	0.21
3500030354	12.30	0.60	0.50	0.80	0.24
3500030355	32.00	0.60	0.46	0.70	0.19
3500030376	68.55	0.60	0.70	0.60	0.25
3500030377	18.00	0.60	0.50	0.80	0.24
3500030378	11.97	0.60	0.70	0.80	0.34
3500030379	60.45	0.60	0.70	0.60	0.25
3500030399	34.00	0.60	0.48	0.70	0.20
3500030406	15.00	1.00	0.50	0.80	0.40
3500030422	14.00	0.60	0.40	0.80	0.19
3500030424	7.00	0.60	0.54	0.80	0.26
3500030440	38.84	0.60	0.55	0.70	0.23
3500030441	10.00	1.00	0.65	0.80	0.52
3500030450	28.00	0.60	0.40	0.70	0.17
3500030451	33.05	0.60	0.54	0.70	0.23
3500030452	15.07	0.60	0.65	0.80	0.31
3500068869	24.70	0.60	0.43	0.70	0.18
3500068873	6.55	0.60	0.50	0.80	0.24
3500068874	20.04	0.60	0.47	0.70	0.20
3500068916	43.00	0.60	0.52	0.70	0.22
3500068919	6.80	1.00	0.50	0.80	0.40

5.2 ANEXO 2 – LOCALIZAÇÃO E PERFIS DOS POÇOS CLASSIFICADOS EM REGIÃO DE ALTA VULNERABILIDADE.

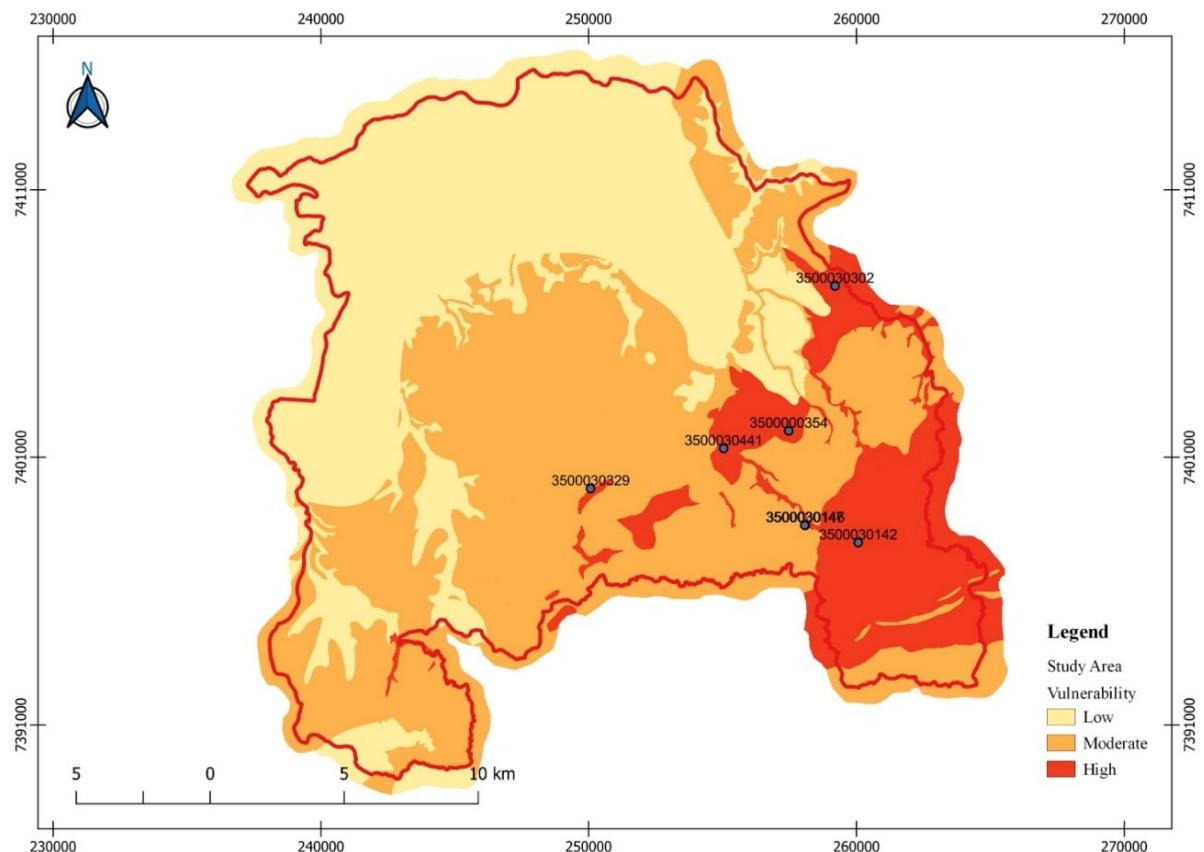


Figura A.1. Poços em região de alta vulnerabilidade pelo método GOD com data de teste de bombeamento a partir de 1995.

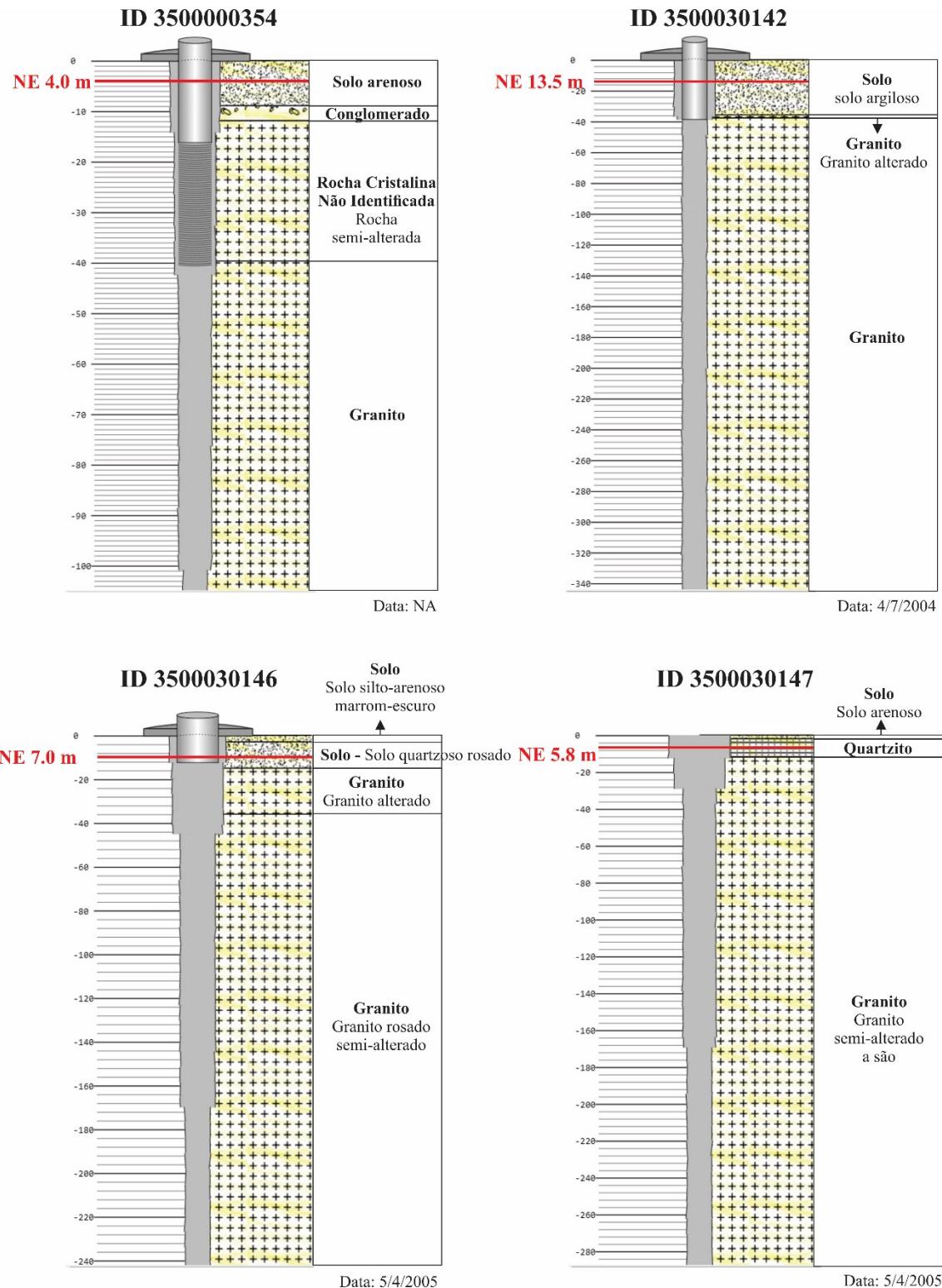
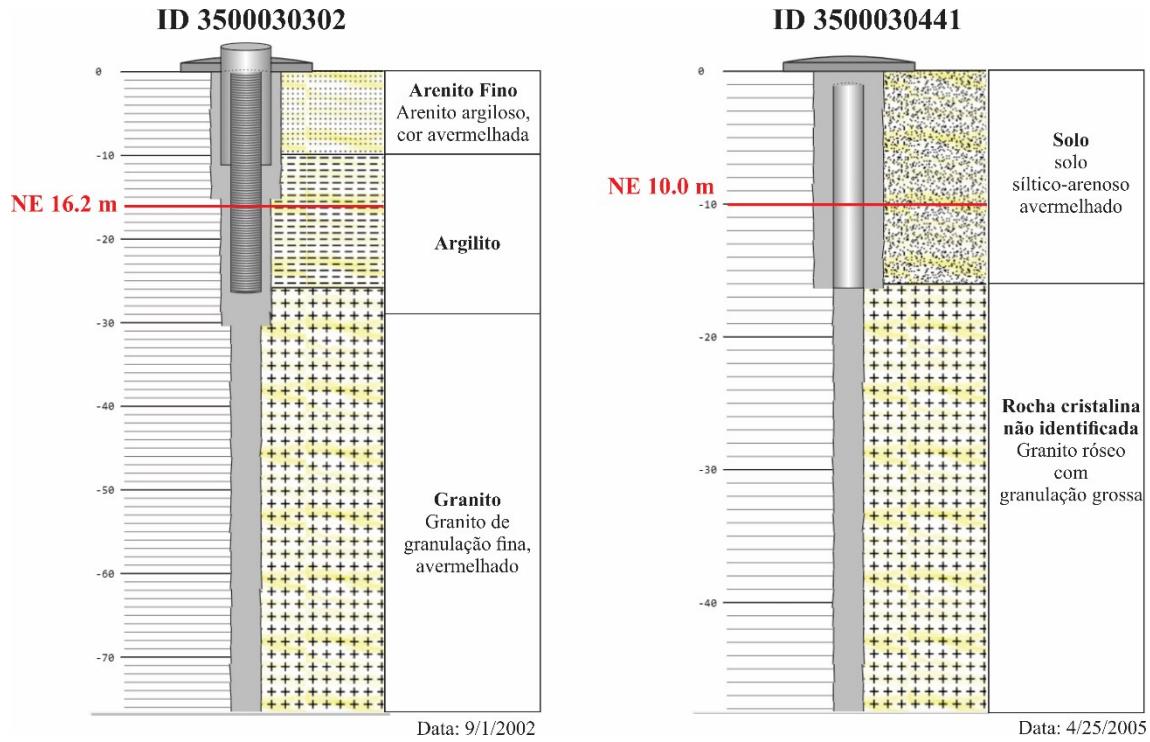


Figura A.2. Perfil dos poços em região classificada como alta vulnerabilidade: ID3500000354, ID3500030142, ID3500030146, ID3500030147.



**Figura A.3. Perfil dos poços em região classificada como alta vulnerabilidade:
ID3500030302, ID3500030441.**