

VULNERABILIDADE NATURAL À CONTAMINAÇÃO DO SISTEMA AQUÍFERO GUARANI (SAG) NO ESTADO DE SÃO PAULO

Richard Fonseca Francisco¹

Técia Regiane Bérghamo²

Vinicius Roveri³

Antonio Celso de Oliveira Braga⁴

Conservação e Educação de Recursos Hídricos

Resumo

Este trabalho apresenta os resultados provenientes do processamento de dados geofísicos, adquiridos através de sondagens elétricas verticais desenvolvidas na área de ocorrência do Sistema Aquífero Guarani (SAG), no Estado de São Paulo, Brasil. Estes ensaios geoeletricos foram realizados pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT) nas décadas de 1970 e 1980. O objetivo deste trabalho foi avaliar a vulnerabilidade natural do Sistema Aquífero Guarani no Estado de São Paulo, através do parâmetro geofísico condutância longitudinal unitária. Conforme o mapa de vulnerabilidade natural, as regiões mais vulneráveis estão situadas na área de afloramento do SAG, resultado compatível com aqueles reportados em trabalhos anteriores, a partir do emprego de outros modelos de avaliação. Regiões menos vulneráveis se concentram na porção central da bacia sedimentar (área de confinamento do SAG). Portanto, a utilização da condutância longitudinal unitária produziu resultados robustos, representando um parâmetro bastante promissor na estimativa da vulnerabilidade natural de aquíferos. Assim, é viável sua aplicação como alternativa aos modelos tradicionais, principalmente em regiões com escassez de dados, constituindo uma importante ferramenta para a proteção de aquíferos.

Palavras-chave: Águas subterrâneas; Proteção; Geofísica; Condutância Longitudinal Unitária; Geoprocessamento.

¹Prof. Dr. Universidade Metropolitana de Santos - UNIMES, richard.francisco@unimes.br

²Prof.^a. Me. Universidade Metropolitana de Santos - UNIMES, tecia.bergamo@unimes.br

³Prof. Me. Universidade Metropolitana de Santos - UNIMES, vinicius.roveri@unimes.br

⁴Prof. Dr. Universidade Estadual Paulista – Unesp, Departamento de Geologia Aplicada, acobraga@unesp.br

INTRODUÇÃO

O incremento na demanda por águas subterrâneas, somado ao aumento do número de áreas contaminadas, induzem o desenvolvimento e aplicação de técnicas de investigação de aquíferos, a fim de contribuir para a sua proteção e uso racional da água, inclusive subsidiar o planejamento e implementação de projetos de remediação.

Neste contexto, insere-se o Sistema Aquífero Guarani (SAG) como uma importante fonte de abastecimento a diversos municípios do oeste paulista e indústrias de vários setores que demandam vazões significativas de consumo. É imprescindível destacar que a qualidade das águas deste aquífero vem sendo comprometida, em virtude de práticas inadequadas de uso e ocupação territorial em regiões naturalmente mais vulneráveis à contaminação, como as áreas de recarga direta do SAG (GOMES, 2008; ALBUQUERQUE FILHO et al., 2011).

Ao longo das últimas décadas, foram desenvolvidos vários métodos para estimar a vulnerabilidade natural à contaminação de aquíferos, cada um considerando fatores específicos para as áreas estudadas, sendo que nenhum pode ser considerado o mais adequado para todos os contextos hidrogeológicos.

Recentemente, alguns trabalhos demonstraram resultados bastante favoráveis à utilização do parâmetro de *Dar Zarrouk* denominado condutância longitudinal unitária (S_i) na estimativa do “*grau de proteção*” ou “*vulnerabilidade natural*” de aquíferos, frente a contaminantes migrando verticalmente pela zona não saturada a partir da superfície do terreno, podendo ser mencionados: Braga e Francisco (2014) e Gmail et al. (2017).

A condutância longitudinal unitária fornece uma estimativa preliminar sobre a vulnerabilidade dos aquíferos, subsidiando detalhamentos posteriores em fases contínuas subsequentes. Por integrar o conjunto de produtos da execução de sondagens elétricas verticais, este parâmetro geofísico pode ser obtido para avaliações de áreas extensas, a custos e prazos reduzidos, o que representa umas de suas principais vantagens em relação a perfurações e amostragem de poços tubulares.

Portanto, o objetivo deste trabalho foi avaliar a vulnerabilidade natural do Sistema Aquífero Guarani (SAG) no Estado de São Paulo, por meio da condutância longitudinal unitária, considerando o pacote de rochas sobrepostas ao aquífero (sedimentos do Grupo Bauru e basaltos da Formação Serra Geral) e os sedimentos da área de afloramento do SAG.

METODOLOGIA

A condutância longitudinal unitária (S_i) representa a razão entre as espessuras e resistividades elétricas das camadas sobrejacentes ao aquífero de interesse. Na prática, uma camada sobrejacente com valor de S_i elevado (superior a 1,0) oferece alto grau de proteção à contaminação do aquífero, pois quanto maior a espessura desta camada, maior o tempo de infiltração do contaminante (maior filtro) e quanto menor sua resistividade, mais argiloso e menos permeável é o material (BRAGA, 2016).

Este parâmetro geofísico é calculado por meio da Equação 1. O conjunto das n camadas de uma seção geoeletrica resultará na condutância longitudinal total (S) (Equação 2).

$$S_i = \frac{E_i}{\rho_i} \quad (1) \quad S = \sum_{i=1}^n \frac{E_i}{\rho_i} \quad (2)$$

Onde: E_i é a espessura (m) e ρ_i é a resistividade ($\Omega.m$) da camada geoeletrica.

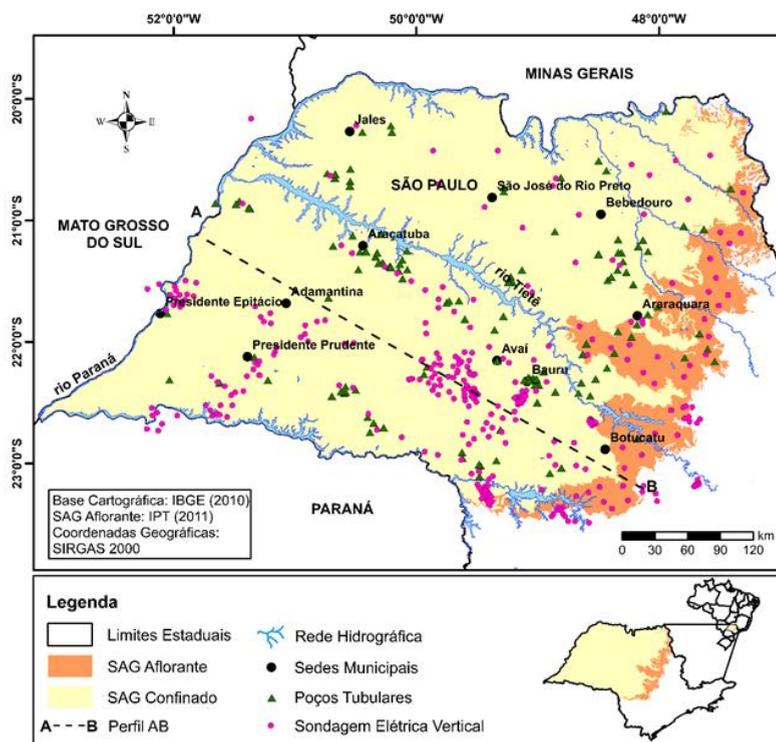


Figura 1 - Mapa de localização dos ensaios geofísicos executados e dos poços tubulares utilizados.

Neste trabalho, foram utilizadas 293 Sondagens Elétricas Verticais (SEVs), as quais foram coletadas a partir do desenvolvimento do projeto de pesquisa realizado pelo IPT e Unesp (2013). A Figura 1 apresenta a localização das SEVs e dos 179 poços tubulares profundos utilizados (CPRM, 2015).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

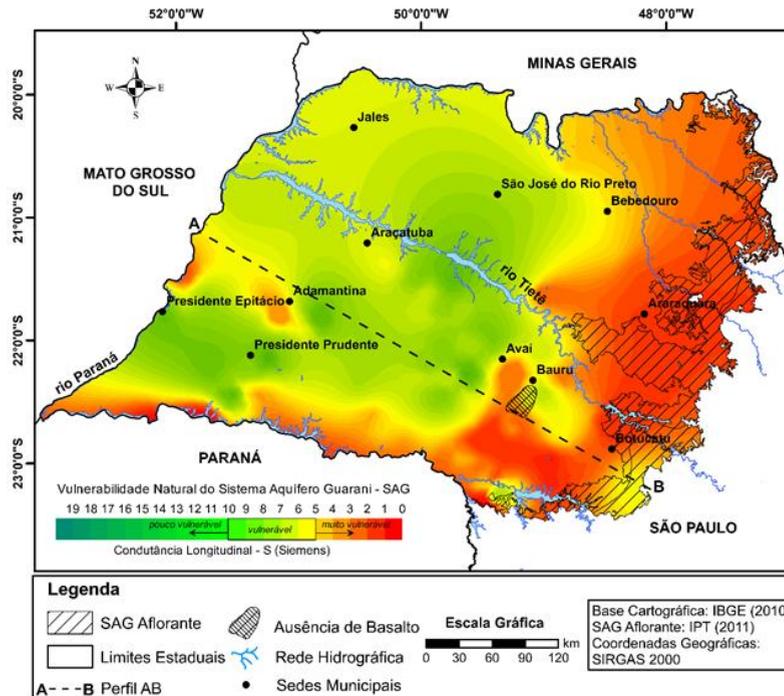


Figura 2 - Vulnerabilidade Natural do Sistema Aquífero Guarani (SAG).

Basaltos – Fm. Serra Geral. Com base nesta subdivisão, foram propostas faixas de variação para a condutância longitudinal de rochas sedimentares (S1) e rochas vulcânicas (S2), obtendo-se a vulnerabilidade natural do SAG (Figura 2) através da soma entre S1 e S2, que resulta na condutância longitudinal total (S).

Conforme o esperado, as regiões naturalmente mais vulneráveis concentram-se na área de afloramento do SAG. Nestas regiões, existem áreas de relevo plano e suave ondulado, sustentadas por espessos solos arenosos, muito friáveis, permeáveis e com baixa capacidade de retenção de poluentes. Naturalmente, áreas menos vulneráveis estão localizadas no centro da bacia (SAG confinado), devido a dois fatores: (1) grandes espessuras do pacote de rochas sobrepostas ao SAG; e (2) menores resistividades dos sedimentos Bauru (mais argilosos) e a presença de basaltos mais resistivos (menor permeabilidade), resultando no aumento da capacidade de retenção de poluentes.

Na estimativa da vulnerabilidade natural, foi necessário considerar todo o pacote de rochas sobrepostas ao SAG confinado, inclusive os sedimentos em sua área de afloramento. Portanto, devido às características geológicas, as rochas foram individualizadas em dois grupos: (1) Sedimentos do Grupo

Bauru e da área de afloramento do SAG; e (2)

CONCLUSÕES

O mapa obtido apresentou resultados robustos, devendo ser considerado como uma avaliação para o reconhecimento preliminar da distribuição espacial da vulnerabilidade natural. Portanto, devem ser conduzidos estudos mais aprofundados, principalmente nas áreas mais vulneráveis do SAG. A condutância longitudinal desponta como um parâmetro bastante promissor na estimativa da vulnerabilidade natural das águas subterrâneas, visto que permite uma avaliação rápida e precisa de áreas extensas como aquelas abrangidas pelo SAG, a partir de um número reduzido de fatores, algo muito interessante considerando o cenário de escassez de dados disponíveis em diversas regiões do Brasil.

REFERÊNCIAS

- ALBUQUERQUE FILHO, J.L.; BARBOSA, M.C.; DE CARVALHO, A.M.; IKEMATSU, P.; CAVANI, A.C.M. Avaliação do perigo de contaminação do Sistema Aquífero Guarani em sua área de afloramento do Estado de São Paulo decorrente das atividades agrícolas. **Águas Subterrâneas**, v. 25, n. 1, p. 1-14, 2011.
- BRAGA, A.C.O.; FRANCISCO, R.F. Natural vulnerability assessment to contamination of unconfined aquifers by Longitudinal Conductance – (S) method. **Journal of Geography and Geology**, p. 68-79, 2014.
- BRAGA, A.C.O. **Geofísica aplicada: métodos geoeletricos em hidrogeologia**. 1. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 160p., 2016.
- GEMAIL, KH.S.; EL-ALFY, M.; GHONEIM, M.F.; EL-SHISHTAWY, A.M.; ABD ELBARY, M.H. Comparison of DRASTIC and DC resistivity modeling for assessing aquifer vulnerability in the central Nile Delta, Egypt. **Environmental Earth Sciences**, v. 76, n. 350, 2017.
- GOMES, M.A.F. (Ed.). **Uso agrícola das áreas de afloramento do Aquífero Guarani no Brasil: implicações para a água subterrânea e propostas de gestão com enfoque agroambiental**. Brasília: EMBRAPA, 2008. 417 p.
- INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO – IPT; UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA–UNESP. **Banco de dados geofísicos da bacia do Paraná**. Rio Claro: IPT, Unesp. Projeto de pesquisa, 9p. 2013.
- SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL–CPRM. **Sistema de Informações de Águas Subterrâneas – SIGAS**. 2015.