

## Vulnerabilidade Aquífera com Parâmetros Geométricos na Região do Pólo Industrial de Camaçari, Bahia.

Susana Silva Cavalcanti<sup>1</sup>; Diego Menezes Novais<sup>1</sup>.

<sup>1</sup>Instituto de Geociências - Universidade Federal da Bahia

Copyright 2014, SBGf - Sociedade Brasileira de Geofísica

Este texto foi preparado para a apresentação no VI Simpósio Brasileiro de Geofísica, Porto Alegre, 14 a 16 de outubro de 2014. Seu conteúdo foi revisado pelo Comitê Técnico do VI SimBGf, mas não necessariamente representa a opinião da SBGf ou de seus associados. É proibida a reprodução total ou parcial deste material para propósitos comerciais sem prévia autorização da SBGf.

### Abstract

The Reconcavo Aquifer System is located at the Capivara Grande and Capivara Pequena river basin, in the municipalities of Camaçari and Dias D'ávila, Metropolitan Region of Salvador-Bahia. The aquifer vulnerability of the free component of this Aquifer System was studied by analyzing 64 vertical electrical soundings and data of 42 wells from the Groundwater Information System. Besides, visual analyzes of satellite images from Google software was used. The study of the aquifer absolute vulnerability allowed the identification and zonation of the region related to the probability to become contaminated.

### Introdução

O Sistema Aquífero Recôncavo é um sistema composto por dois componentes: um aquífero livre com cobertura do Grupo Barreiras, da Formação Marizal e na parte superior da Formação São Sebastião e por um aquífero semi-confinado e/ou confinado na Formação São Sebastião. O estudo das características do Sistema Aquífero do Recôncavo é muito importante, devido ao fato de possuir um enorme volume de água de boa qualidade que atualmente abastece centros industriais e urbanos. Além disso, constitui-se um dos aquíferos mais importantes do Estado Bahia, pois é o segundo maior aquífero em termos de potencial hídrico.

A estimativa da vulnerabilidade aquífera através de parâmetros geométricos se baseia no método de vulnerabilidade absoluta em que se analisa: profundidade no nível freático, tipo de litologia acima do nível freático e o grau de confinamento do aquífero. Para cada uma dessas propriedades é atribuído um valor de 0 a 1. O índice de vulnerabilidade é o produto dessas três propriedades que irá gerar um valor de 0 a 1, sendo que quanto mais próximo de 1 mais vulnerável será o aquífero.

Os municípios de Camaçari e Dias D'Ávila, Região Metropolitana de Salvador-RMS abrigam diversas indústrias bem como zonas urbanas e rurais. A ocupação e uso do solo nesta área carece de um planejamento mais eficiente especialmente no que se refere aos recursos hídricos superficiais e subterrâneos. As propriedades geométricas e litológicas do componente livre desse sistema aquífero nas bacias hidrográficas dos rios Capivara Grande e Capivara Pequena foram

analisadas visando estimar sua vulnerabilidade e indicar áreas mais propícias a contaminação.

### Área de Estudo

A área estudada faz parte da Bacia Sedimentar do Recôncavo, mais especificamente a área das bacias hidrográficas dos rios Capivara Grande e Capivara Pequena, afluentes do rio Jacuípe, situada nos municípios de Camaçari e Dias D'Ávila, Região Metropolitana de Salvador, Bahia. A região de estudo corresponde ao compartimento sul do sistema Recôncavo-Tucano-Jatobá, um rift intracontinental abortado, implantado durante o Eocretáceo, nos estágios iniciais da abertura do oceano Atlântico-Sul (Sztatmari et al., 1984), sobre os terrenos do embasamento, de idade Pré-Cambriana. As vias de acesso são a BA-099, a BA-535 e a BA-512, além de outras vias como a estrada da CETREL e da Cascalheira (Cavalcanti, 2006).



Figura 1-Localização da área de estudo.

### Sistema Aquífero Recôncavo

O Sistema Aquífero Recôncavo apresenta espessura de aproximadamente 1.500 m, saturado de água doce. Este sistema é constituído basicamente pelas formações São Sebastião e Marizal e pelo Grupo Barreiras apresentando água de excelente qualidade que abastece indústrias, vilas, inúmeros municípios e pequenas comunidades locais (Lima, 1995).

O sistema é composto por dois componentes: um livre ou freático, com coberturas do Grupo Barreiras, da Formação Marizal e pela parte superior da Formação São Sebastião, e um componente semi-confinado ou confinado, contido na Formação São Sebastião e recoberto por uma espessa camada de argila. Em toda sua extensão, o pacote sedimentar do Recôncavo foi afetado por ciclos tectônicos que deram origem a um sistema tectônico-estrutural complexo. Isso faz com que camadas permeáveis sejam separadas verticalmente por camadas semi-permeáveis (Lima, 1999). Esse estudo

abrange apenas o componente livre do Sistema Aquífero Recôncavo.

### Índice Geofísico de Vulnerabilidade Aquífera

A vulnerabilidade é um termo utilizado para caracterizar a susceptibilidade de um aquífero ser afetado por carga contaminante. Segundo Foster e Hirata (1988), o termo vulnerabilidade está relacionado a susceptibilidade intrínseca do meio aquífero a ser adversamente afetado por uma carga contaminante antrópica.

O estudo de vulnerabilidade geofísica é baseado no conceito de vulnerabilidade GOD (Foster e Hirata, 1988) juntamente com levantamentos geoeletricos de campo. Nesse contexto, auxiliando os estudos ambientais em uma fase preliminar, o método da eletrorresistividade utilizando a técnica da sondagem elétrica vertical (SEV) apresenta como produtos principais: a resistividade elétrica dos materiais geológicos; o parâmetro Dar Zarrowk condutância longitudinal e a determinação da profundidade do nível d'água (Braga, 2008). O tipo de aquífero (livre ou confinado), profundidade do nível de água e as características dos estratos acima da camada de interesse em termos de grau de consolidação e litologia são considerados aspectos fundamentais da vulnerabilidade.

A condutância longitudinal é um parâmetro de Dar Zarrowk utilizado para estimar o grau de proteção natural do aquífero frente a contaminantes. Matematicamente, quando temos n camadas homogêneas e isotrópicas com resistividade  $\rho_i$  e espessura  $h_i$ , a condutância longitudinal  $S_i$  será dada por:

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

A partir das características apresentadas acima, atribuí-se valores de 0,0 a 1,0 para o tipo de ocorrência da água subterrânea; de 0,2 a 0,8 para o tipo litológico e caracterização granulométrica acima da zona saturada do aquífero; e, de 0,2 a 1,0 para a profundidade do nível d'água. O produto dos três parâmetros será o índice de vulnerabilidade em uma escala de 0-1 (Braga, 2008).

### Metodologia

A geologia de subsuperfície na zona insaturada bem como o nível estático da água foram analisados por meio dos 42 dados de poços e das 64 SEVs espalhadas na área de estudo. A integração entre os dados dos poços e os dados de SEV é importante para uma melhor caracterização da área estudada.

Os dados de poços de abastecimento utilizados neste trabalho estão disponíveis no Sistema de Informações de Águas Subterrâneas - SIAGAS que é um sistema de informações desenvolvido pelo Serviço Geológico do Brasil - CPRM. Informações como nível estático, identificação litológica e teste de bombeamento foram utilizadas para auxiliar a avaliação de vulnerabilidade.

Os dados geoeletricos utilizados nesse trabalho foram obtidos através do método da eletrorresistividade com a técnica da SEV e o arranjo *Schlumberger*. O total de 64

SEVs foram executadas com o SYSCAL R-2 fabricado pela *Iris Instruments* com unidade receptora e transmissora totalmente digital. As SEVs utilizadas foram realizadas por estudantes e pesquisadores entre 2000 e 2006 e fazem parte dos arquivos do Centro de Pesquisa em Geofísica e Geologia - CPGG/UFBA.

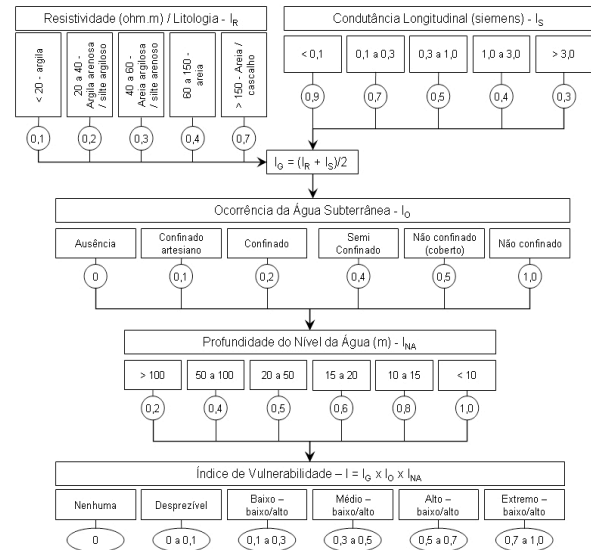


Figura 2-Fluxograma de vulnerabilidade geofísica (Braga, 2008).

A inversão das SEVs foi feita no *software* RES1DINV (*Geotomo Software*), visando estimar a profundidade do nível estático e a resistividade da litologia acima desse nível. Os parâmetros de poços e outras informações sobre a geologia local foram utilizados para auxiliar na interpretação.

Para interpolar os dados de vulnerabilidade foi utilizado o *software Surfer* da *Golden Software*, o método de interpolação escolhido foi o método da krigagem. O método da krigagem é um método geostatístico em que há continuidade espacial dos parâmetros, não tendencioso além de apresentar uma melhor fidelidade dos dados originais e uma melhor precisão dos dados interpolados.

### Resultados

Os dados geoeletricos obtidos através de sondagem elétrica vertical e os dados de poços do SIAGAS permitiram a identificação do nível estático e das características geoeletricas e geológicas da litologia acima desse nível. A identificação aérea do local, através do *software Google Earth*, foi importante para mapear os corpos d'água existentes na região.

Primeiramente identificou-se o índice de resistividade associada a cada tipo de litologia ( $I_R$ ) através dos dados de SEV, em seguida calculou-se o valor de condutância longitudinal -  $I_S$  (ou parâmetro Dar Zarrowk) através da Equação 1 finalmente tem-se o valor do índice geofísico ( $I_G = (I_R + I_S) / 2$ ). Como o aquífero em estudo é o aquífero livre, os valores adotados para o índice de ocorrência da água subterrânea ( $I_O$ ) foram 0,5 ou 1. O valor do índice de nível estático ( $I_{NA}$ ) foi adquirido através da análise dos

dados de poço e SEVs. Sendo assim, após o cálculo dos índices de vulnerabilidade geofísica, as regiões mapeadas foram classificadas como de vulnerabilidade desprezível, baixo, médio, alto e extremo.

Seguindo o fluxograma de vulnerabilidade geofísica desenvolvida por Braga (2008), construiu-se o mapa de vulnerabilidade geofísica do componente livre do aquífero na área estudada (Figura 3). Ao construir o mapa de vulnerabilidade da área observou-se grandes regiões, sem informações que geravam valores interpolados incoerentes. Como, na maioria dos espaços vazios encontravam-se rios e trechos alagadiços, adotou-se a seguinte solução para este problema: foram locados 200 pontos ao longo de cursos de água com auxílio do *software Google Earth* e atribuídos a estes o valor de vulnerabilidade máxima ( $I=0,8$ ), totalizando 306 pontos interpolados.

O novo mapa assim construído está apresentado na Figura 4. Os locais onde o índice de vulnerabilidade foi médio ou baixo estão associados a elevações de terreno. A maior parte da área apresentou valores alto a extremo de vulnerabilidade. Isso ocorre, devido ao fato da região apresentar alta condutividade hidráulica do aquífero livre e uma baixa profundidade do nível estático, facilitando a percolação de contaminantes que possam vir a atingir o aquífero (Novais, 2014)

### Conclusões

Este trabalho de mapeamento da vulnerabilidade do componente livre do Sistema Aquífero Recôncavo colabora com a exigência da legislação brasileira de caracterização da vulnerabilidade e dos riscos de poluição dos recursos hídricos subterrâneos (Brasil, 2008). A utilização de métodos geofísicos elétricos na determinação de um índice de vulnerabilidade se configura uma novidade e avanço nos estudos dos recursos hídricos subterrâneos no Estado da Bahia.

A aplicação do índice geofísico de vulnerabilidade aquífera trouxe resultados coerentes com a geologia do local. O conceito de vulnerabilidade aquífera usando parâmetros geoelétricos foi eficiente no que diz respeito a uma avaliação ambiental preliminar em uma área relativamente grande.

Recomenda-se que para um laudo mais específico novos estudos sejam feitos para regiões menores. A partir da apropriação dos resultados apresentados, os gestores ambientais e de recursos hídricos podem adotar medidas seguras de ocupação e proteção na região das bacias hidrográficas dos rios Capivara Pequena e Capivara Grande.

### Referências

BRAGA, A. C. O., 2008. Estimativa da vulnerabilidade natural de aquíferos: uma contribuição a partir da

resistividade e condutância longitudinal. *Revista Brasileira de Geofísica*, 26(1):61-68.

BRASIL, 2008. Ministério do Meio Ambiente, Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA). Resolução N° 396, de 3 de abril de 2008. In: Resolução, 2008. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br>> Acesso em 13 de maio de 2014.

CAVALCANTI, S. S., 2006. Quantificação dos recursos hídricos subterrâneos do Aquífero Recôncavo na Bacia do Rio Capivara. Dissertação de doutorado, Universidade Federal da Bahia.

FOSTER, S. S. D., HIRATA, R. C., 1988. Groundwater pollution risk evaluation: the methodology using available data. *Bol. Tec. Petrobrás*, Lima: CEPIS/PAHO/WHO, 157-192.

LIMA, O. A. L., 1995. Water saturation an permeability from resistivity, dielectric, and porosity. *Geophysics*, 60: 1756-1764.

LIMA, O. A. L., 1999. Caracterização hidráulica e padrões de poluição no aquífero Recôncavo na região de Camaçari e Dias D'Ávila. Tese de professor titular, Universidade Federal da Bahia.

NOVAIS, D. M., 2014. Vulnerabilidade aquífera com parâmetros geoelétricos na região do pólo industrial de Camaçari. Dissertação de graduação, Universidade Federal da Bahia.

SZATMARI, P., MILANI, J., LANA, M. C., 1984. Mecanismo tectônico do rifteamento sul-atlântico. XXXIII Congresso Brasileiro de Geologia, 2: 1589-1601.

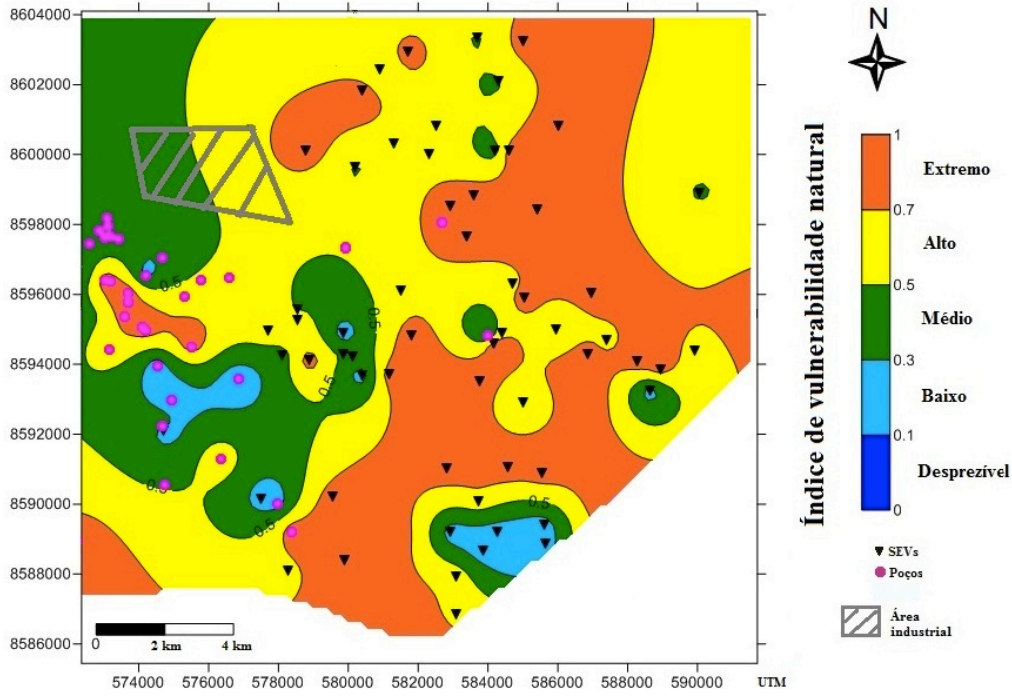


Figure 3-Mapa de vulnerabilidade geofísica da região de estudo com dados de SEVs e poços.

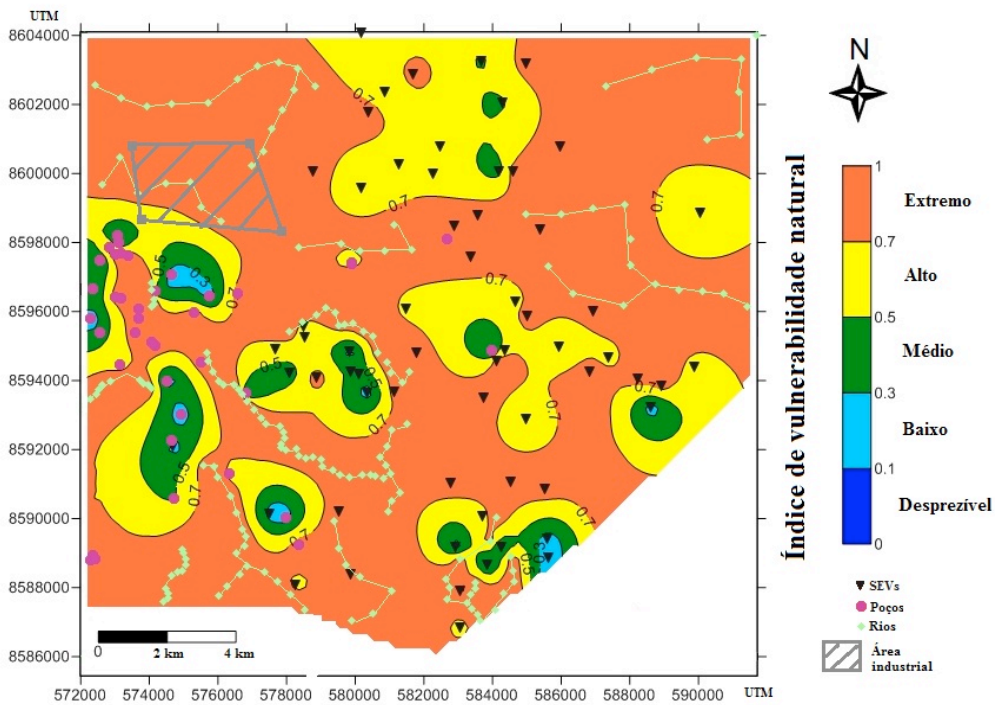


Figura 4-Mapa de vulnerabilidade geofísica da região de estudo com dados de SEVs, poços e rios.