

Caracterização estrutural e hidrológica do Aquífero Urucuia nas sub-bacias dos rios das Fêmeas e do Cachorro

Kátia Rejane F. do Nascimento*, IMA/CPGG/UFBA/Brasil e Olivar A. L. de Lima, CPGG/UFBA/Brasil

Copyright 2009, SBGF - Sociedade Brasileira de Geofísica

This paper was prepared for presentation at the 11th International Congress of the Brazilian Geophysical Society, held in Salvador, Brazil, November 24-28 2009.

Contents of this paper were reviewed by the Technical Committee of the 11th International Congress of The Brazilian Geophysical Society and do not necessarily represent any position of the SBGF, its officers or members. Electronic reproduction or storage of any part of this paper for commercial purposes without the written consent of The Brazilian Geophysical Society is prohibited.

Abstract

The physical characterization of the Urucuia aquifer in the western portion of Rio Grande basin were performed based on the inversion of 128 Schlumberger geoelectrical soundings measuring both resistivity and time domain induced polarization. Geophysical logs and well data were used to control the interpretation. The results allowed to define the aquifer structure up to 500 m depth and to outline several fault zone displaying the aquifer substratum from 20 to more 150 m.

Introdução

A área de estudo está localizada entre os paralelos 11°52'14" S e 12°45'25" S e os meridianos 44°53'36" W e 46°29'12" W no extremo oeste da Bahia, assentada, predominantemente, sobre arenitos do Grupo Urucuia. Hidrogeologicamente está inserida na bacia hidrográfica do rio Grande, que é um dos principais afluentes da margem esquerda do médio São Francisco.

A vegetação da área é de cerrado e os rios são perenes, favorecendo o desenvolvimento de atividades econômicas, principalmente a agricultura. Esta fronteira agrícola do estado começou a se expandir a partir da década de 80 e, apesar da abundância hídrica da região em algumas bacias hidrográficas, já não há mais volume de água disponível para novas outorgas de uso para irrigação.

O aquífero Urucuia é um reservatório de água importantíssimo para a região oeste da Bahia pois, além de contribuir para manter o fluxo de base da extensa rede de drenagem da região, é a principal fonte de suprimento de água à intensa agricultura irrigada ali existente. Apesar de ser enorme e permitir extração de água em grandes volumes podemos ter problemas no futuro se não forem conhecidas suas características hidrogeológicas para permitir uma gestão sustentável deste recurso hídrico.

Nessas condições, torna-se necessário realizar investigações hidrogeológicas avançadas, no sentido de apoiar os usuários da água com informações precisas sobre as reais disponibilidades hídricas, as principais características do aquífero, assim como os procedimentos adotados no ordenamento de sua exploração (Lima, 2003), norteando a exploração do aquífero de forma

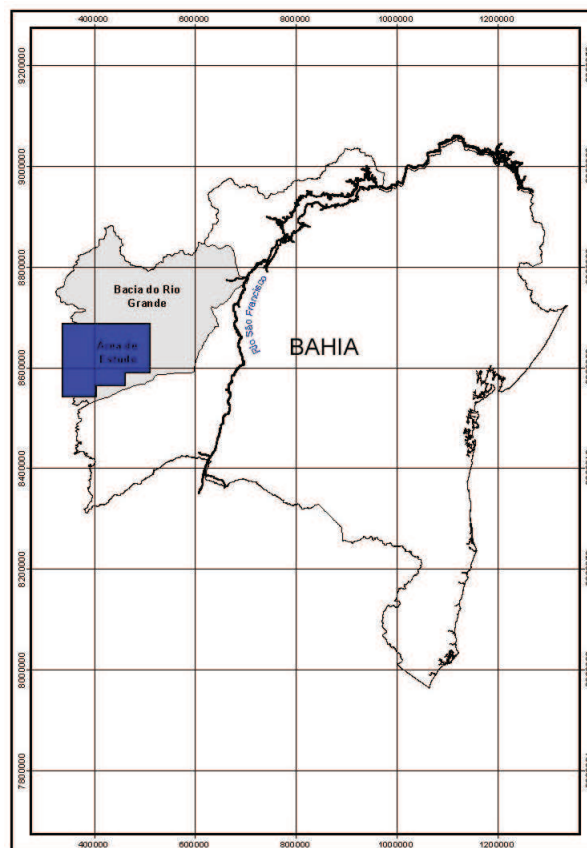


Figure 1: Localização da área de estudo.

conservativa, garantindo um geoambiente em equilíbrio.

Tomando como base sondagens geolétricas de IP e resistividade realizou-se um estudo detalhado e interpretativo delas para um mapeamento hidrogeofísico da área de estudo integrando dados geofísicos e geológicos disponíveis. Com o modelo hidrogeofísico assim definido projeta-se a estrutura física do aquífero, suas interações hidrológicas e um esquema otimizado para sua exploração.

Características da área

A região de estudo está localizada no extremo oeste da Bahia, compreendendo os municípios de Barreiras, Luís Eduardo Magalhães e São Desidério, com 21.500 km² de extensão. Corresponde as áreas das bacias do rio das Fêmeas ao sul e do rio do Cachorro ao norte que, hidraulicamente, estão inseridas na bacia do rio Grande. Este, por sua vez, é afluente da margem esquerda do

médio São Francisco.

Em termos geomorfológicos, a bacia é caracterizada por uma extensa região de chapada, com altitude variando de 600 a 1.000 metros constituindo uma unidade morfológica conhecida como "Chapadão dos Gerais". A principal feição que se destaca na área, é a Serra Geral de Goiás, representada por um paredão vertical com cerca de 200 a 300 metros de desnível, que marca o divisor de águas superficiais das bacias hidrográficas do rio São Francisco e do rio Tocantins (Bahia, 2003).

A vegetação nativa dominante na área era o cerrado, cuja presença está ligada aos tipos de solos ali encontrados que, são, predominantemente, latossolos. Nessa ecorregião de cerrado as principais alterações ambientais se devem aos grandes empreendimentos agrícolas e a pecuária, que tem causado desmatamento e queimadas do cerrado, atingindo, também, a região das veredas e nascentes dos rios. Esta intensa antropização encontra-se, mais precisamente, próximo a Serra Geral, onde os índices pluviométricos são elevados e a topografia bastante plana, garantido boa safra para as culturas aí produzidas.

Geologicamente a área de estudo está assentada, predominantemente, sobre os arenitos do Grupo Urucua que se dispõem em discordância angular sobre depósitos pré-cambrianos do Grupo Bambuí no setor oeste do Cráton do São Francisco.

Alkimim em Pinto e Martins-Neto (2001) considera como bacia sedimentar do São Francisco a porção sul do cráton homônimo, que atuou como bacia em pelo menos quatro estágios distintos no tempo posterior a 1,8 Ga. As unidades de preenchimento dessa bacia apresentam, em conjunto, uma espessura média aflorante de cerca de 900 m e máxima de cerca de 5.000 m, compreendendo quatro unidades litoestratigráficas maiores: o Supergrupo Espinhaço, o Supergrupo São Francisco, o Grupo Santa Fé e as unidades dos Grupos Areados, Mata da Corda e Urucua. Os depósitos do Grupo Urucua são compostos principalmente de corpos arenosos de origem fluvio-aluvial mas com forte retrabalhamento por ventos.

Metodologia

Os métodos elétricos incluem medidas do potencial espontâneo, da resistividade e dos efeitos da polarização induzida. Basicamente, é a ampla variação elétrica na condutividade elétrica das diferentes rochas que permite a utilização dessas técnicas.

Os métodos elétricos são muito utilizados em função da ampla possibilidade de aplicação em várias áreas, tais como na hidrologia, na mineração, na geologia, na geotecnia e em estudos ambientais. A aplicação destes métodos possibilita a investigação de parâmetros importantes para o estudo integrado de águas superficiais e subterrâneas, como a distribuição das litologias na subsuperfície, os níveis saturados, a salinidade da água e a profundidade da base do aquífero.

O método geofísico elétrico consiste na medida da diferença de potencial elétrico entre dois pontos, resultante da injeção de uma corrente elétrica, contínua ou alternada de frequência muito baixa, por meio de eletrodos cravados na superfície e conectados aos terminais de uma fonte

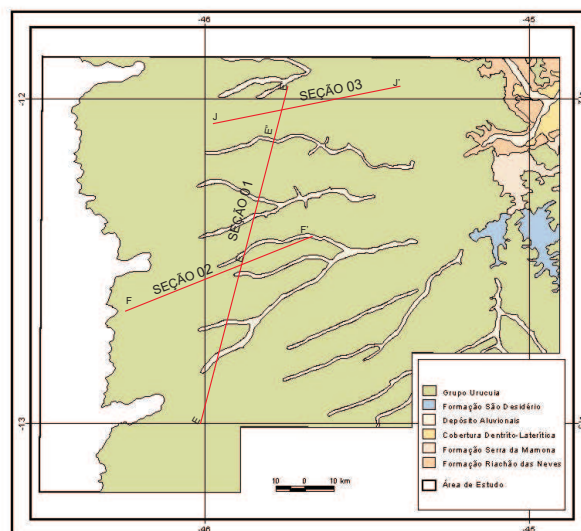


Figure 2: Mapa Geológico da área de estudo com a indicação das seções geológicas estruturais estudadas.

elétrica portátil. É principalmente empregado na busca de formações aquíferas, podendo ser utilizado em estudos ambientais, de correlações estratigráficas em campos petrolíferos e na prospecção de minerais condutores.

Normalmente, quatro eletrodos são posicionados, alinhados e dispostos simetricamente com respeito a um centro de sondagem, conforme o arranjo geométrico adotado para medir resistividade e polarizabilidade aparentes. Os arranjos de eletrodos mais utilizados são do tipo: Schlumberger, Wenner e Dipolares. Cada um apresenta vantagens e desvantagens e devido a vantagens operacionais no campo preferiu-se, aqui, utilizar o arranjo Schlumberger.

A proposta das sondagens de IP-resistividade é investigar a variação de resistividade e IP, com a profundidade. A interpretação das medidas é baseada supondo que a subsuperfície consiste de uma seqüência de camadas distintas de espessuras finitas. Cada uma delas é suposta ser eletricamente homogênea e isotrópica e as faces de contato entre elas são planas, paralelas e horizontais (Koefoed, 1979).

As curvas de sondagens elétricas verticais são representadas em escala bilogarítmica. A função resistividade aparente (ρ_a) foi automaticamente invertida, usando modelos uni-dimensionais de terra e procedimentos de ajuste não-linear por mínimos quadráticos. O grau de ajustamento obtido garante a adequabilidade do modelo de acamadamento horizontal para a área.

O método da polarização elétrica induzida (IP) tem sido, também, muito empregado em pesquisas de água subterrânea e de fontes geotermiais, em mineração e em geotecnia visando adicionar informações para melhor caracterização elétrica da geologia em subsuperfície (Telford, 1990).

A polarização induzida tem sua origem em processos

eletroquímicos interfaciais e a consideração de fontes é importante para o entendimento deste fenômeno, que pode ser medido tanto no domínio do tempo quanto no domínio da frequência.

O efeito da polarização induzida pode ser observado após a interrupção de uma corrente contínua injetada num meio polarizável no qual a voltagem não cai imediatamente a zero, mas assume um valor que cai quase exponencialmente com o tempo. Este potencial residual se deve a capacidade do meio em acumular cargas elétricas. A energia pode ser armazenada de várias formas: eletromecânica, elétrica ou eletroquímica. Contudo, estudos de laboratório tem demonstrado que a energia eletroquímica é a mais importante.

Procedimentos operacionais e de interpretação

O equipamento utilizado na aquisição dos dados de campo foi o eletrorresistivímetro modelo SYSCAL R-2 da Iris Instruments, que é constituído de uma unidade digital que funciona como transmissor e receptor. É alimentada por uma bateria de 12 V, acoplada a um conversor DC-DC capaz de produzir uma tensão máxima de saída de 800 V com potência de 250 W. Opera em corrente contínua medindo conjuntamente a resistividade e o efeito de IP no domínio do tempo.

Executa um empilhamento continuado das medidas para melhorar a relação sinal-ruído. Como eletrodos foram usados barras metálicas de aço revestidas com cobre com cerca de 60 cm, enterradas no solo e ligadas ao sistema por cabos condutores bem isolados e de baixa resistência específica.

O arranjo utilizado foi expandido até um espaçamento AB/2 máximo de 1.000 m, uma vez que, a corrente penetrará tanto mais profundamente quanto maior for a separação entre os eletrodos A e B.

O levantamento geofísico foi executado, principalmente, ao longo de rodovias principais e secundárias da área, com uma distribuição espacial suficiente para poder representar os resultados em termos de mapas e de perfis. Algumas dessas sondagens foram localizadas próximas a poços de produção de água e também a poços perfilados geofisicamente, para servirem de base na redução da ambigüidade da interpretação geoeletrica final.

O método combinado de IP-resistividade tem sido rotineiramente empregado em pesquisas de água subterrânea e de fontes geotermiais, em mineração e em geotecnia visando determinar a profundidade da rocha sã (Telford, 1990).

Os dados de cargabilidade por serem mais erráticos, foram previamente ajustados por interpolações, em cada caso, visando minimizar o erro, ou substituir medidas, espúrias. Para isso, utilizamos a interpolação quadrática, com três pontos distintos conhecidos, em torno do ponto anômalo. O polinômio interpolador é dado pela equação abaixo:

$$P_2(x) = a_2x^2 + a_1x + a_0 \quad (1)$$

Para todas as sondagens foram plotados, no campo, gráficos de resistividade aparente versus espaçamento AB/2 para garantir a confiabilidade nas medidas, pois

qualquer anormalidade ou erro na execução da sondagem poderia ser detectada imediatamente e feita sua correção.

As curvas de campo obtidas apresentam aspecto regular e suave, e, invariavelmente, mostram terminais descendentes, compatível com a boa aquisição de dados e com os modelos teóricos utilizados nos métodos elétricos. Entretanto alguns pontos precisaram ser ajustados, principalmente os pontos sobrepostos na mudança dos eletrodos de potencial. Os métodos utilizados para este ajuste fino foram a média aritmética entre os dois pontos ou a escolha do valor que melhor se ajustava a curva e a compensação numérica, com um valor constante, promovendo o ajuste dos ramos que estavam deslocados.

Caracterização geoeletrica

Os dados geofísicos elétricos adquiridos na área perfazem um total de 128 (cento e vinte e oito) sondagens elétricas simultâneas de resistividade e polarização induzida (IP) no domínio do tempo, com o arranjo de eletrodos Schlumberger. Estas sondagens tiveram o objetivo de caracterizar, estratigráfica e estruturalmente, o sistema aquífero Urucuia na área pesquisada.

Após o tratamento dos dados de campo, todas as sondagens elétricas executadas foram submetidas a processos de inversão unidimensional automática em computador. O RESIST 1.0 é um programa de domínio público elaborado por Vander Velper (1988) para efetuar a inversão não-linear por mínimos quadráticos. As inversões foram satisfatórias em função do uso das informações de controle disponíveis. Os dados foram ajustados, com erros médios quadráticos inferiores a 2%.

A maior parte das curvas de sondagens obtidas tem a forma de uma dupla de colinas intercalada por uma depressão indicando a existência de variações litológicas verticais no Grupo Urucuia, de constituição predominantemente arenosa. As colinas correspondem a pacotes arenosos mais limpos sendo a primeira, geralmente representante da zona não-saturada do aquífero. A depressão central se deve a uma redução na resistividade do aquífero, associada a um aumento na argilosidade característico da Formação Serra das Araras. Quase todas as sondagens apresentam ramos terminais descendentes indicando a existência de um pacote regional muito mais condutor, interpretado como a Formação Geribá, suportando os pacotes mais arenosos, provavelmente combinada eletricamente aos componentes meta-argilosos do Grupo Bambuí.

As Figuras 3, 4 e 5 mostram a seção geológica transversal 1, que foi dividida para facilitar a ilustração, devido a sua grande extensão de mais de 150 km. Esta seção atravessa as regiões das bacias hidrográficas dos rios das Fêmeas, das Pedras e de Janeiro, cortando a área de estudo de SSW a NNE. O nível estático no aquífero encontra-se, em média, a 25 m de profundidade, acompanhado a topografia da região. Excetua-se o trecho que apresenta uma profundidade média de 55 m, coincidente com uma alta densidade de poços de extração de água, notadamente na sede do Distrito de Roda Velha. Neste local também encontramos valores bastante elevados para a resistividade da zona saturada, em torno 45.000 Ω .m, que pode esta associado a uma maior silicificação do aquífero.

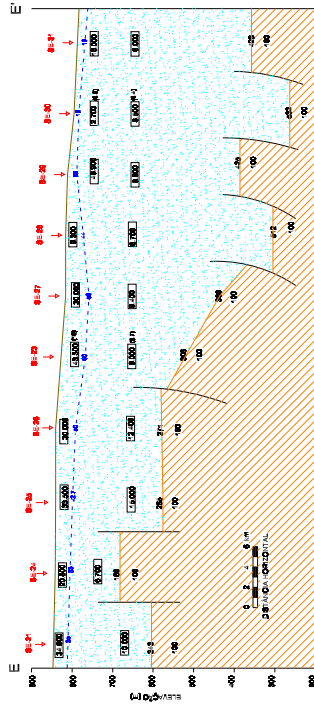


Figure 3: Seção geológica estrutural 01.

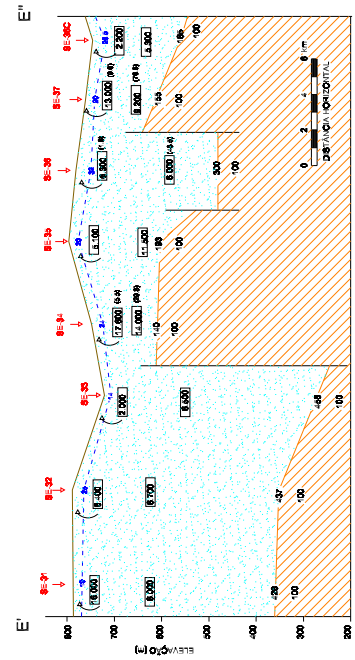


Figure 4: Seção geológica estrutural 01.

A topografia de base do aquífero, nesse trecho, também apresenta uma série de altos e baixos estruturais, onde infere-se falhas e fraturas, que orientam os cursos dos rios. Os valores de profundidade para o substrato nesta seção variam de 140 a 530 m.

A figura 6 mostra a seção transversal 2 construída com oito SEVs obtidas ao longo do Rio do Algodão orientada, praticamente, de sudoeste para nordeste. Destaca-se a zona próxima à borda da serra, mostrando que o nível estático ultrapassa 200 m de profundidade, e onde o movimento da água é invertido, passando de leste para oeste. Na topografia de base encontramos indicação de falha entre as SEVs 31 e 80.

A figura 7 mostra a seção transversal 3, construída com seis SEVs obtidas ao longo do Rio do Cachorro orientada, praticamente, de sudoeste para nordeste. Verificamos a presença de duas falhas, mostrando o rebaixamento do bloco entre as SEVs 16-C e 30-C, concordando com o padrão regional do controle da hidrografia pela topografia de base do aquífero.

Conclusões

Os dados interpretados neste trabalho permitiram definir a estrutura regional do Aquífero Urucuiá na área estudada como um espesso pacote permeável disposto em blocos falhados, com espessura que pode alcançar mais de 500 m ao longo de um alto divisor de fluxos próximo a

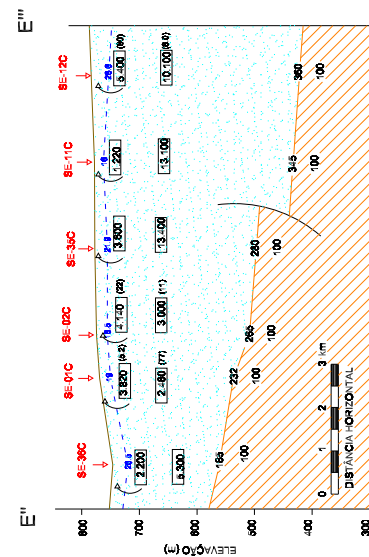


Figure 5: Seção geológica estrutural 01.

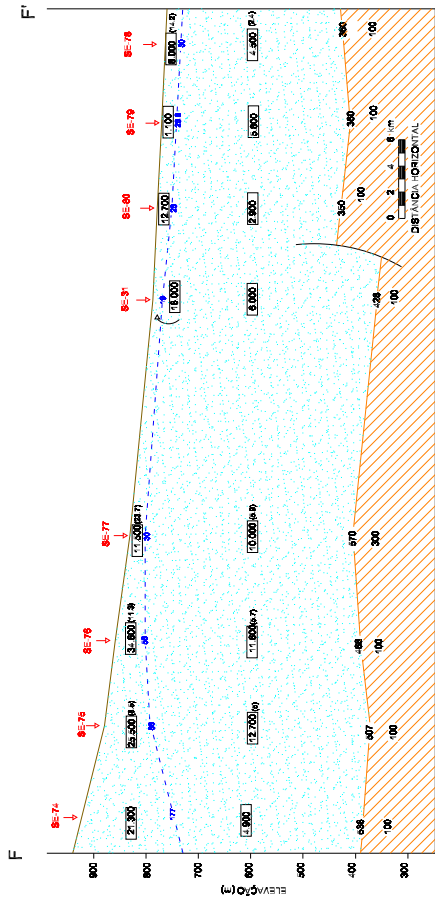


Figure 6: Seção geológica estrutural 02.

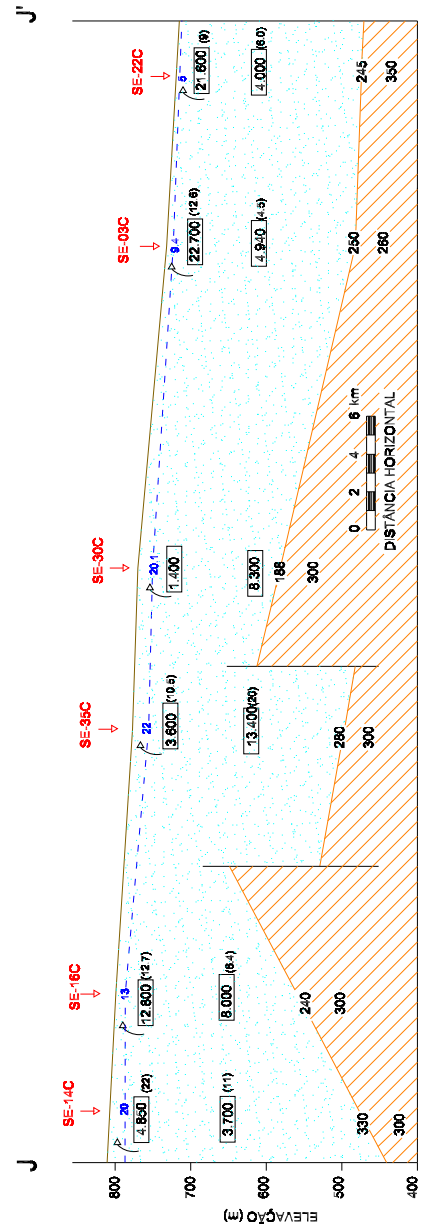


Figure 7: Seção geológica estrutural 03.

porção leste terminal da área. Essa espessura, se reduz praticamente a zero na parte oriental da área de estudo. O divisor das águas subterrâneas, distinto do divisor de águas superficiais, gera muitas fontes de encostas e as nascentes dos rios da margem direita da Bacia do Tocantins.

Todas as SEVs apresentaram boa qualidade dos dados, indicando a presença de um substrato bem mais condutivo sob os espessos pacotes arenosos. Dois poços profundos perfilados geofisicamente, que distam entre si cerca de 100 km, mostram excelentes correlações faciológicas e atestam à validade regional da presente análise.

Os valores de polarização induzida foram utilizados, principalmente, para auxiliar na determinação do nível estático do aquífero.

Os resultados elétricos estão bem controlados por informações hidrogeológicas de poços e também por medidas de nível estático de água em poços e indica a presença de altos e baixos estruturais delimitados por falhas de gravidade. Dois comportamentos aquíferos distribuídos em profundidade foram identificados na sub-bacia: (i) um sistema de superfície livre, desenvolvido nos níveis arenosos superiores da Formação Urucuia; (ii) um sistema parcialmente confinado, nos mesmos arenitos do Urucuia, controlado por intervalos arenosos muito silicificados.

Observa-se a existência de conexão entre as águas superficiais e subterrâneas. Esta ligação está fortemente demonstrada na seção 1 (Figura 3), que corta a sede do Distrito de Roda Velha, onde existe grande concentração de poços de produção para consumo humano e encontramos um rebaixamento significativo do nível estático do aquífero.

O nível estático acompanha, tanto na sub-bacia do Rio do Cachorro quanto na sub-bacia do rio das Fêmeas, a topografia superficial da região, conferindo, assim, uma característica regional. A orientação hidrográfica da região é controlada pela estrutura geológica especialmente as zonas de falhas de gravidade.

E como foi verificada a conexão entre água superficial e água subterrânea, faz-se necessária a implementação de restrições de uso da água, para que o uso descontrolado das águas superficiais não afetem as águas subterrâneas ou inversamente, já que as mesmas estão hidraulicamente conectadas.

Referências

BAHIA, 2003, Uso Conjunto da Águas Superficiais e Subterrâneas da Sub-bacia do Rio das Fêmeas - Bahia, Relatório Final, Subprojeto 3.2 (ANA/GEF/PNUMA/OEA).

Koefoed, O. 1979, Resistivity Sounding Measurements - Geosound principles - Methods in Geochemistry and Geophysics, Elsevier.

Lima, O. A. L. 2003, Geosistemas e recursos hídricos: água subterrânea no estado da Bahia, Bahia Análise e Dados, 13:391-402.

Pinto, C. P. e Martins-Neto, M. A. ,2001, Bacia do São Francisco Geologia e Recursos Naturais, Sociedade Brasileira de Geologia Núcleo de Minas Gerais, Belo

Horizonte-MG.

Telford W. M., Geldart, L. P., Sheriff, R. e Keys, D. , 1990, Applied Geophysics, Cambridge University Press, United States of America, 2 edição.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Instituto do Meio Ambiente/IMA-Ba pelo apoio e ao CNPq pela bolsa de produtividade de O. A. L. de Lima.