

ESTIMATIVA DO GRAU DE PROTEÇÃO NATURAL DO AQUÍFERO BARREIRAS A PARTIR DO PARÂMETRO GEOELÉTRICO CONDUTÂNCIA LONGITUDINAL - ÁREA DA BACIA DO RIO CATU-RN

Alexandre Richardson Oliveira Monteiro¹; Leandson Roberto Fernandes Lucena²; Isaac Vínicius Fagundes de Souza³; Lucas Miguel Gomez Nunes⁴ & Danyelle Cristiny Lira Cavalcante⁵.

Resumo: O presente trabalho refere-se a estudos desenvolvidos no contexto do Aquífero Barreiras, na área da bacia do Rio Catu-RN. Ponderando o caráter hidráulico local desse manancial predominantemente livre e o fato dessa área ser amplamente utilizada para a monocultura da cana-de-açúcar e adubação química de natureza nitrogenada, tem-se um risco natural à contaminação das águas subterrâneas. Com vistas a subsidiar um estudo de prevenção a essa problemática, objetivou-se elaborar uma análise preliminar do grau de proteção do referido aquífero, frente a quaisquer contaminantes antrópicos impostos em superfície. Para tal análise, elaborou-se uma cartografia referente ao parâmetro geoeletrico de Dar Zarrouk da condutância longitudinal, a partir de modelos inversos de sondagens elétricas verticais executadas. Esse mapa de condutância longitudinal evidenciou os locais com maiores e menores taxas de proteção natural, considerando os parâmetros espessura e resistividade da zona não saturada, sendo estes respectivamente os setores sudoeste (condutâncias iguais ou superiores a 0,030 Siemens) e leste-nordeste (condutâncias iguais ou inferiores a 0,015 Siemens). Além disso, foi proposta uma classificação desse grau de proteção, para essa área em específico, com base nesses parâmetros geoeletricos obtidos. Os resultados ora obtidos permitem um aperfeiçoamento da gestão hidrogeoambiental da região, enfatizando-se a proteção de aquíferos.

Abstract: This paper refers to studies on the context of Barreiras Aquifer in the area of the river Catu basin – RN. Due to the hydraulic character is predominantly free and the fact this area is widely used for monoculture of sugar cane and chemical fertilizer, mainly nitrogen nature, there is a natural risk to contamination of groundwater. In order to support a study to prevent this problem,

¹ Programa de Pós Graduação em Geodinâmica e Geofísica da UFRN – Campus Universitário, Lagoa Nova – CEP: 59078-970. Natal – RN. Fone: (84) 3342-2237 – alexandrericardson21@gmail.com.

² Departamento de Geofísica; Programa de Pós Graduação em Geodinâmica e Geofísica/UFRN – Campus Universitário, Lagoa Nova – CEP: 59078-970. Natal – RN. Fone: (84) 3342-2237 – leandson@geofisica.ufrn.br.

³ Programa de Pós Graduação em Geodinâmica e Geofísica da UFRN – Campus Universitário, Lagoa Nova – CEP: 59078-970. Natal – RN. Fone: (84) 3342-2237 – isac.geomin@yahoo.com.br.

⁴ Programa de Pós Graduação em Geodinâmica e Geofísica da UFRN – Campus Universitário, Lagoa Nova – CEP: 59078-970. Natal – RN. Fone: (84) 3342-2237 – lucassns100@gmail.com.

⁵ Departamento de Geofísica-UFRN – Campus Universitário, Lagoa Nova – CEP: 59078-970. Natal – RN. Fone: (84) 3342-2237 – davelle_cristiny@hotmail.com.

the objective was to develop a preliminary analysis of the protection aquifer degree against any anthropogenic contaminants in surface taxes. For this, the longitudinal conductance map was elaborated from inverse models of vertical electrical soundings performed. This map showed the locations with higher and lower rates of natural protection, considering thickness and resistivity parameters of the unsaturated zone, being respectively the southwest sectors (conductances greater than or equal to 0.030 Siemens) and east-northeast (conductances equal or less than 0,015 Siemens). Furthermore, an exclusive classification of protection degree for this area was maid based on these parameters obtained by geoelectric survey. The results allow a refinement of environmental management in the region, emphasizing the protection of aquifers.

Palavras-Chave: Sondagem Elétrica Vertical, Condutância Longitudinal, Aquífero Barreiras.

1 – INTRODUÇÃO E OBJETIVOS

A bacia do Rio Catu está localizada no litoral oriental do Estado do Rio Grande do Norte (nordeste brasileiro), ocupando parte dos municípios de Canguaretama, Goianinha, Tibau do Sul e Vila Flor, correspondendo uma área de aproximadamente 200 Km² (figura 1).

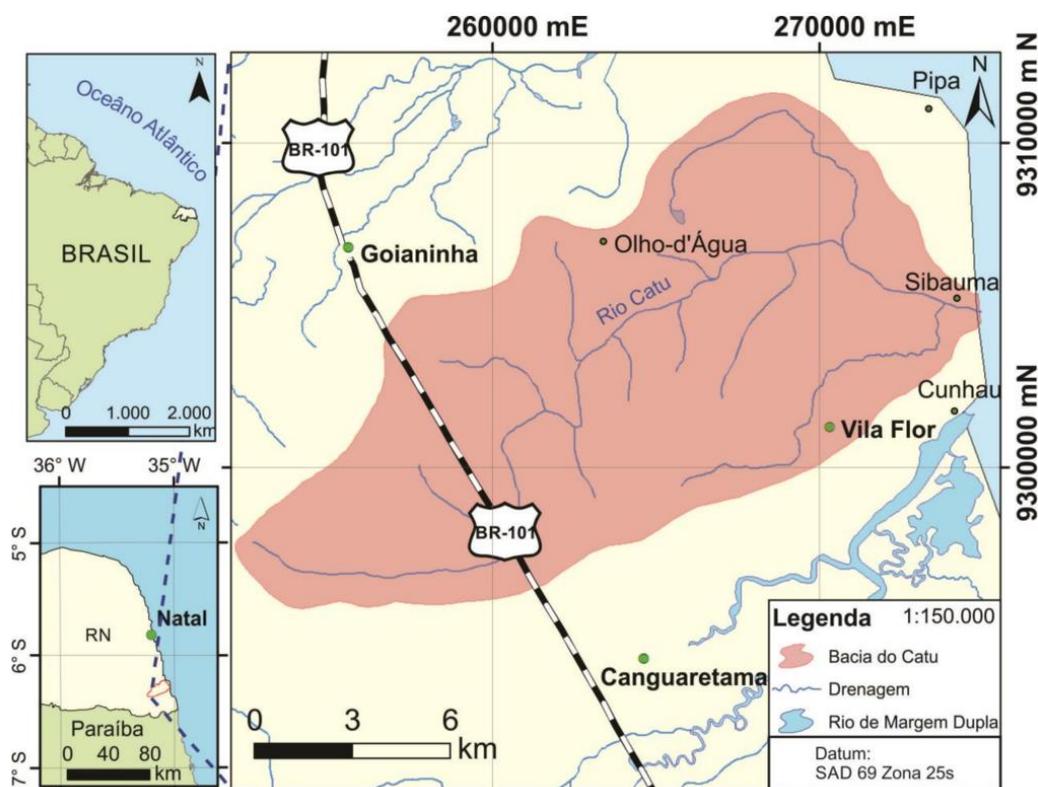


Figura 1. Localização da bacia do Rio Catu-RN (adaptado de Souza et al., 2013).

Dentre as atividades sócio-econômicas desenvolvidas na área, tais como as culturas de coco da bahia, mandioca, banana e manga, tem-se no cultivo da cana-de-açúcar aquele mais proeminente e destinado à agroindústria (produção de açúcar e etanol). Outras atividades são desenvolvidas na área da bacia em questão, como a carcinicultura e o turismo. Em termos de uso e ocupação do solo, a agricultura representa cerca de 99% de toda a área da bacia, sendo aproximadamente 90% ocupado apenas pela cana-de-açúcar (SERHID, 1998).

Embora a fertirrigação desempenhe um papel importante na produtividade agrícola, possibilitando o desenvolvimento econômico da região, sua prática intensiva e de forma aleatória pode ocasionar sérios problemas ambientais relacionados à qualidade das águas subterrâneas para o consumo humano. Esses perímetros agrícolas demandam elevadas quantidades de águas para irrigação, bem como de substanciais quantitativos de fertilização de natureza química, incluindo compostos nitrogenados. Apesar de essa adubação ser importante no tocante à produtividade, pode igualmente representar um incremento no risco de contaminação do manancial subterrâneo na área em estudo (Lucena et al., 2013), decorrente da lixiviação de excedentes não assimilados pela cobertura vegetal (cana-de-açúcar), particularmente do nitrogênio, que pode atingir a superfície livre das águas na sua forma mais oxidada (nitrato).

Nesse contexto, o presente trabalho tem o objetivo de elaborar uma análise preliminar do grau de proteção do Aquífero Barreiras na área da bacia do Rio Catu-RN, utilizando dados provenientes de sondagens geoeletricas executadas. Nesse aspecto, buscou-se sobretudo a definição do topo do aquífero, delimitando a(s) espessura(s) não saturada(s) e seu(s) respectivo(s) valor(es) de resistividade. Dados provenientes calibrações geoeletricas executadas no mesmo contexto hidrogeológico foram igualmente consideradas na interpretação dos dados geoeletricos. Esses procedimentos possibilitaram a confecção do mapa de condutância longitudinal para uma posterior análise.

A aplicação do parâmetro geoeletrico de Dar Zarrouk, condutância longitudinal (S), pode contribuir de maneira significativa com os estudos de manejo ambiental de determinada área de ocorrência de um aquífero (Braga, 2008). Através desse parâmetro, pode-se ter uma avaliação do risco de determinado sistema hidrogeológico ser alcançado por alguma carga contaminante imposta na superfície do terreno, através da determinação da espessura e resistividades das camadas que compõem essa zona não saturada. Esta última, adjacente ao aquífero, é responsável pela proteção física do manancial frente a possíveis cargas contaminantes, considerando um deslocamento vertical desta em subsuperfície (Foster & Hirata, 1988). Quanto maior a espessura da camada não saturada, maior o tempo de percolação do poluente, ou seja, mais tempo terá para a degradação deste antes que atinja o aquífero.

2 – CONTEXTO GEOLÓGICO E HIDROGEOLÓGICO DA ÁREA

O conhecimento do contexto geológico que envolve o sistema hidráulico de um aquífero a ser estudado é indispensável e fundamental para realizar uma descrição geológica a níveis confiáveis e consistentes com a hidroestratigrafia local. Neste trabalho, a descrição geológica da referida área foi fundamentada em bibliografias disponíveis e atualização do mapa geológico regional (Bezerra, 1998; Lucena, 2005; CPRM, 2006).

A estratigrafia regional é composta por duas sequências básicas (Nogueira, 1982; Bezerra, 1998; Lucena, 2005; CPRM, 2006): (1) uma sequência não aflorante, envolvendo o embasamento cristalino Pré-Cambriano e rochas sedimentares da bacia mesozóica (considerando informações de perfis de poços da região) e (2) uma sequência aflorante, abrangendo rochas sedimentares cenozóicas da Formação Barreiras, esta de idade terciária-quadernária, e as coberturas quadernária (Dunas, Aluviões, Coberturas Arenosas/Depósitos de Paleo-cascalheiras, Mangues, Beachrocks e Sedimentos Praiais).

O embasamento cristalino, por sua vez, é representado por granitos, granodioritos, migmatitos e gnaisses correlacionados ao Complexo Caicó (Bezerra et al., 1993). Já os sedimentos mesozóicos são constituídos por uma unidade arenítica (basal) e outra calcárea (topo), com intercalações areníticas.

Na sequência aflorante, a Formação Barreiras é constituída por um conjunto de litologias siliciclásticas cenozóicas, desde argilitos a conglomerados, embora com predominância de arenitos argilosos, as quais se acham sobrepostas discordantemente a rochas pré-cambrianas do embasamento cristalino ou aos sedimentos mesozóicos (Nogueira, 1982; Lucena, 2005). Dados de poços demonstram que a Formação Barreiras repousa discordantemente sobre as unidades mesozoicas da região e ocupa a base da coluna estratigráfica aflorante. Capeando a Formação Barreiras, conforme reportado, tem-se a sedimentação quadernária, a qual se pode diferenciar uma sedimentação sub-recente (dunas fixas e depósitos praias) e recente (coberturas arenosas, aluviões, dunas móveis, além dos sedimentos de mangues e de praias atuais, ambas representando a faixa litorânea do Estado). Essa terminologia, de natureza empírica, é utilizada para diferenciar as unidades litoestratigráficas do Quadernário que estão sujeitas ou não aos processos de sedimentação atuais (Lucena, 2005).

Na área da bacia do Rio Catu-RN, a reserva de água subterrânea principal é creditada ao Aquífero Barreiras, o qual possui resposta hidráulica predominantemente de sistema livre (IPT, 1982; Melo et al., 1994; Lucena et al., 2004). Seu embasamento hidrogeológico, por sua vez, é representado pelo topo da sequência carbonática mesozóica não aflorante, normalmente definidos como arenitos a argilitos de composição calcífera, de acordo com os dados de poços

disponibilizados pela CAERN (Companhia de Águas e Esgotos do Rio Grande do Norte). Considerando essa camada-guia, as espessuras do Aquífero Barreiras na área variam de 20 m a 90 m (Rodrigues et al., 2011). As captações inseridas nesse contexto hidrogeológico apresentam vazões de exploração elevadas em determinadas localidades, sobretudo naquelas de maior espessura da Formação Barreiras (vazões superiores a 100 m³/h na região sul de Natal e Parnamirim-RN). Por outro lado, valores reduzidos de vazões de poços são atribuídos a causas diversas, dentre as quais se incluem as reduzidas espessuras da referida Formação e a forma de construção e desenvolvimento de poços mais antigos, face às atuais técnicas de perfuração.

3 – METODOLOGIA

Na presente pesquisa, utilizou-se o método geofísico da eletrorresistividade, cujo princípio está baseado na determinação da resistividade elétrica dos materiais que, juntamente com a constante dielétrica e permeabilidade magnética, expressam fundamentalmente as propriedades eletromagnéticas dos solos e rochas (Orellana, 1972). A resistividade elétrica dos materiais (solos e rochas), particularmente, fornece de forma indireta as características do meio (grau de alteração, fraturamento, saturação, litotipos, dentre outros) tendo como fundamentação teórica a Lei de Ohm.

A técnica geoeletrica utilizada foi da sondagem elétrica vertical (SEV) com o arranjo de eletrodos do tipo Schlumberger. As curvas de resistividade adquiridas foram interpretadas utilizando o software WinSEV (WGeosoft), onde modelos de “resistividades elétricas x espessura” foram posteriormente obtidos a partir de inversão desses dados de campo, possibilitando a identificação de valores pontuais de espessuras saturadas e não saturadas. Nessa análise qualitativa, utilizou-se calibrações geoeletricas (SEVs executadas adjacentes a poços com perfil litológico conhecidos) executadas por Lucena (2005) no contexto hidrogeológico do Aquífero Barreiras.

A técnica da SEV consiste, basicamente, em injetar corrente elétrica no meio através dos eletrodos de corrente (A e B) e medir a diferença de potencial entre os eletrodos de potencial (M e N). Sendo o arranjo de eletrodos do tipo "Schlumberger", os eletrodos de potencial ficam posicionados entre os eletrodos de corrente de tal forma que o espaçamento MN deve ser no máximo um quinto do espaçamento AB (equação 1), ou seja:

$$\overline{MN} \leq \frac{\overline{AB}}{5} \quad (1)$$

Com o conhecimento dos valores de corrente injetada no subsolo, diferença de potencial e o fator geométrico (função do tipo de arranjo adotado), a resistividade aparente do meio e o fator geométrico para o arranjo Schlumberger são determinados pelas equação 2 e 3 (Orellana,1972; Reynolds, 1997):

$$\rho_a = k_{Schl} \frac{\Delta V}{I} \quad (2)$$

$$k_{Schl} = \frac{\pi \left(\frac{\overline{AB}}{2}\right)^2}{\overline{MN}} \left[1 - \frac{\overline{MN}^2}{4 \left(\frac{\overline{AB}}{2}\right)^2} \right] \quad (3)$$

Sendo:

ρ_a = resistividade aparente;

ΔV = diferença de potencial;

I = corrente elétrica;

k_{Schl} = Fator geométrico para o arranjo Schlumberger;

\overline{AB} = distância entre os eletrodos A e B;

\overline{MN} = distância entre os eletrodos M e N;

Foram realizadas 15 sondagens geoeletricas em torno da área em estudo. A técnica da “embreamento” (Orellana, 1972) foi necessariamente utilizada em cada SEV, conforme diminuição da precisão de leituras de diferença de potencial, frente a aberturas de eletrodos de corrente relativamente elevadas associadas. Com a definição dos horizontes geoeletricos de cada SEV, obteve-se os respectivos valores de espessura e resistividade da zona não saturada.

Considerando estes últimos valores reportados (resistividade e espessuras das camadas que compõem a zona não saturada), efetuou-se o cálculo do parâmetro de Dar Zarrouk "condutância longitudinal-S (Orellana, 1972). A condutância longitudinal (S) é definida pelo fluxo de corrente paralelo à estratificação, envolvendo a combinação de espessura e resistividade de camadas geoeletricas obtida no modelo inverso (no presente estudo, limitada ao contexto da zona não saturada, tendo em vista sua importância na análise de proteção natural de aquíferos, conforme Foster & Hirata (1988).

Dessa forma, ponderando que a resistência das camadas "i", as quais estão dispostas em circuito paralelo, possuem propriedades aditivas, torna-se conveniente a utilização de suas respectivas inversas (condutâncias). Logo, a condutância S_i , referente ao conjunto das n camadas, será (equação 4):

$$S_i = \sum_i \frac{E_i}{\rho_i} \quad (4)$$

O cálculo da S foi aplicado para a zona não saturada sobreposta ao aquífero de cada modelo geoeletrico obtido na interpretação das SEVs. Posteriormente, os valores pontuais de "S" foram interpolados e gridados, podendo ser visualizados na forma de mapas de isovalores (condutância longitudinal).

4 – RESULTADOS E DISCUSSÕES

Ressaltando-se que a vulnerabilidade de um aquífero está associada com as características intrínsecas que determinam sua sensibilidade de ser adversamente afetado por uma carga contaminante antrópica imposta (Foster, 1987; Foster & Hirata, 1988), a proteção natural desse manancial deve-se, primordialmente, ao grau de acessibilidade do contaminante à zona saturada, bem como da capacidade de atenuação da zona não saturada.

Nesse contexto, quanto maior o valor do parâmetro condutância longitudinal (S), maior será o grau de proteção do aquífero (Braga, 2006), uma vez que se tem valores associados relativos maiores de espessura não saturada (E_i), e/ou uma diminuição do valor de resistividade elétrica desse horizonte hidroestratigráfico (ρ_i), associada a rochas sedimentares de composição mais argilosa (reduzidas taxas de condutividades hidráulicas), conforme calibrações geoeletricas regionais (Lucena, 2005).

Os valores pontuais de "S" foram calculados de acordo com a equação 4, na qual as camadas referem-se à zona não saturada adjacente ao aquífero. Os resultados obtidos estão apresentados na tabela a seguir (tabela 1).

Tabela 1. Localizações geográficas das SEV's e os respectivos valores de espessura da zona não saturada e da condutância longitudinal (adaptado de Monteiro et al., 2013).

<i>SEV's</i>	<i>x</i>	<i>y</i>	<i>Espessura não saturada (m)</i>	<i>Condutância Longitudinal (S)</i>
SEV 01	259948	9296646	20,55	0,0202
SEV 02	257278	9298415	65,72	0,0543
SEV 03	262757	9297930	27,90	0,0344
SEV 04	260539	9308256	12,33	0,0119
SEV 05	266251	9310920	19,46	0,0228
SEV 06	269823	9310928	19,00	0,0199
SEV 07	268370	9310058	5,05	0,0020
SEV 08	270330	9304236	26,09	0,0181
SEV 09	268304	9303375	7,29	0,0060
SEV 10	266500	9301640	11,18	0,0077
SEV 11	263523	9300966	24,66	0,0160
SEV 12	260812	9303524	7,18	0,0162
SEV 13	262745	9306840	21,10	0,0215
SEV 14	265875	9307718	32,57	0,0401
SEV 15	267062	9308822	2,92	0,0025

Posteriormente à obtenção dos valores de "S" para cada SEV, elaborou-se um mapa de condutância longitudinal (figura 2), o qual possibilitou uma análise preliminar do grau de proteção do Aquífero Barreiras frente a eventuais excedentes de fertilização química imposta em superfície na área da bacia do Rio Catu-RN.

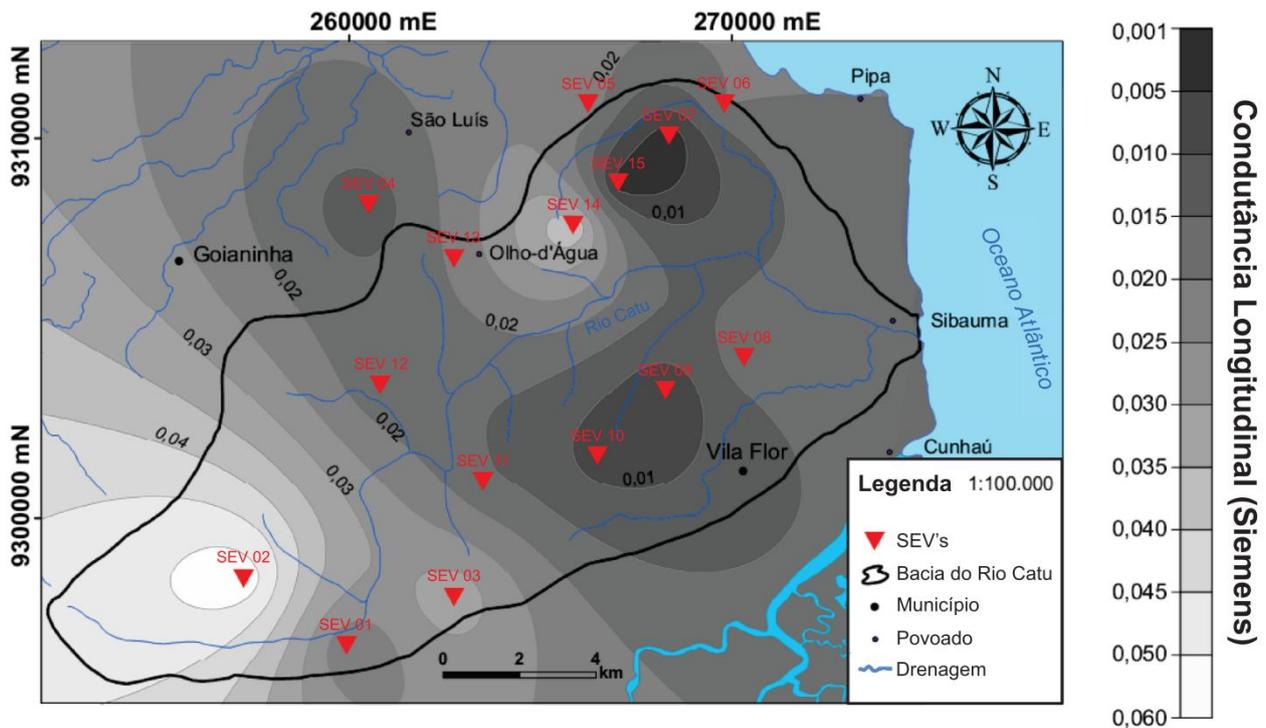


Figura 2. Mapa de condutância longitudinal da área da bacia do Rio Catu–RN (adaptado de Monteiro et al., 2013).

A variação dos valores obtidos no mapa de condutância longitudinal (S), associado com o maior ou menor grau de proteção natural do Aquífero Barreiras (Figura 2), indica uma condutância longitudinal intermediária relativa na ordem de 0,025 Siemens. Partindo-se dessa patamar, verifica-se que os setores nordeste e leste do referido mapa indicam um grau de proteção natural reduzido (condutâncias longitudinais iguais ou inferiores a 0,015 Siemens), enquanto que o setor sudeste dessa área apresenta-se com um maior grau de proteção natural do aquífero (valores de S iguais ou superiores a 0,03 Siemens).

Nessa cartografia são consideradas informações tanto de espessura não saturada, como, indiretamente, informações da sua constituição litológica. As regiões que apresentam os menores valores de resistividade da zona não saturada são as que possuem maiores conteúdos argilosos (segundo dados das calibrações geoeletricas), os quais conferem num maior grau de proteção frente às cargas contaminantes passíveis de lixiviação nesse horizonte.

Outra forma de visualização e análise dos resultados ora reportados é apresentado na figura 3. Esta demonstra a relação matemática entre os parâmetros da zona não saturada "condutância longitudinal x espessura x resistividade", individualizando subáreas no gráfico com os diferentes níveis de grau de proteção do aquífero para a realidade hidrogeofísica local. Nesse aspecto, ressalta-se que foi adotado um valor médio de resistividade de toda a zona não saturada, em detrimento de dados individuais das diferentes camadas geoeletricas desta, através do fenômeno da pseudo-

anisotropia (in Orellana, 1972), ou seja, as diferentes camadas, consideradas no modelo geofísico-matemático como homogêneas e isotrópicas, comportando-se como um meio único e anisotrópico de resistividade (ρ_m).

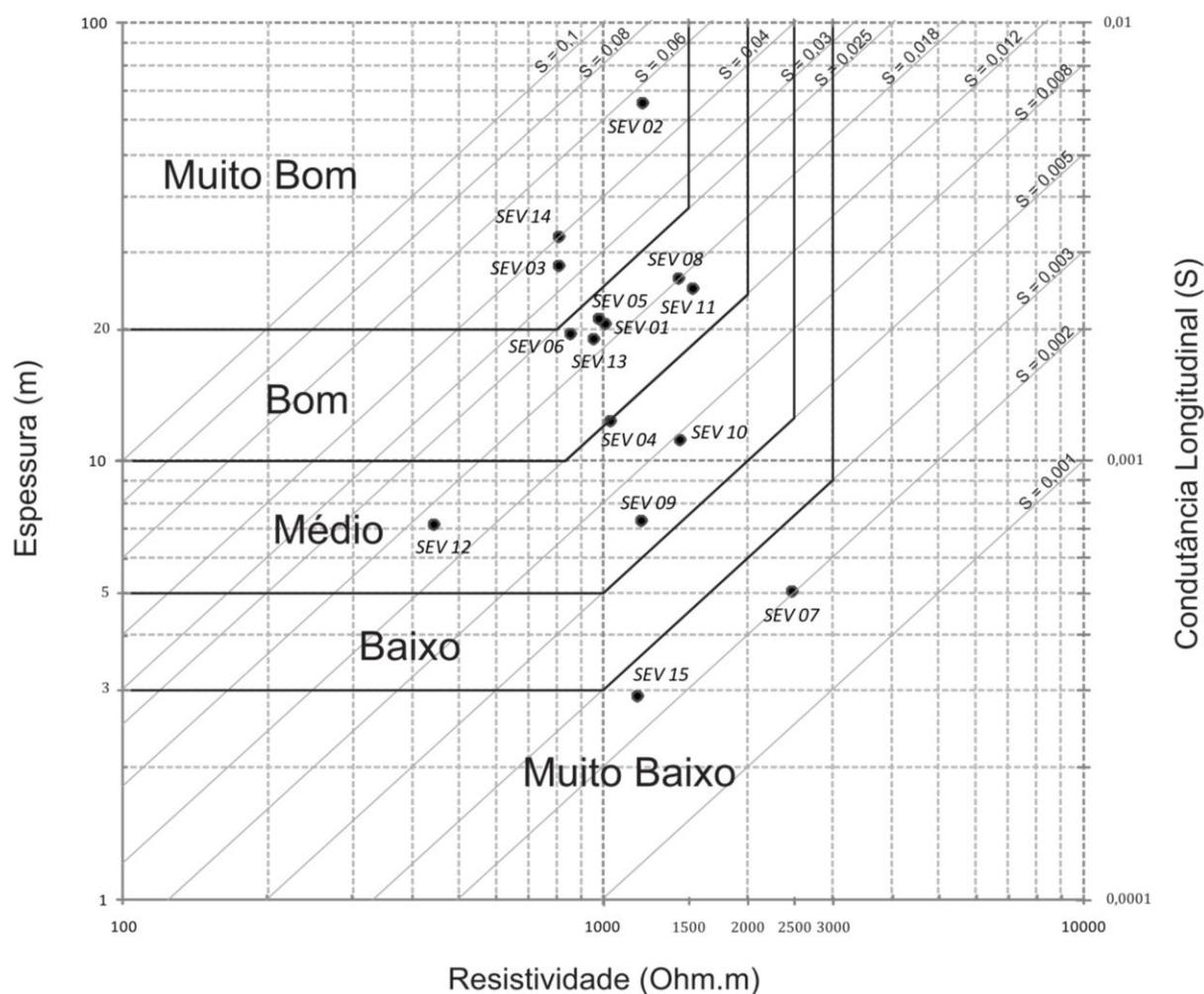


Figura 3. Relação entre "condutância longitudinal x espessura x resistividade" da zona não saturada e proteção natural do Aquífero Barreiras, área da bacia do Rio Catu-RN (modificado de Braga, 2008).

Analisando o gráfico da figura 3, pode-se verificar a reduzida variabilidade dos valores de resistividade representativa da zona não saturada (associada com sua composição litológica). Dessa forma, o grau de proteção do Aquífero Barreiras na área em estudo (valores de S) encontra-se primordialmente condicionada à variação de espessura dessa zona não saturada.

5 – CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Considerando o seu caráter não invasivo, rápido e baixo custo, o método da eletrorresistividade mostrou-se bastante eficaz na obtenção dos resultados ora reportados. Valores

de espessura, resistividade e do parâmetro de Dar Zarrow, condutância longitudinal, especificamente das diferentes camadas geológicas que compõem a zona não saturada sobreposta ao aquífero, foram bem definidos.

O mapa de condutância longitudinal confeccionado no presente estudo evidenciou que os setores nordeste e leste da área apresentam um grau de proteção do Aquífero Barreiras relativamente mais reduzido (condutâncias longitudinais iguais ou inferiores a 0,015 Siemens), enquanto que seu setor sudoeste mostra-se como a subárea detentora de um maior grau relativo de proteção do manancial hidrogeológico em questão (valores de condutância longitudinal iguais ou superiores a 0,03 Siemens). Um valor de condutância longitudinal intermediária relativa foi definido como sendo da ordem de 0,025 Siemens.

A relação matemática entre os parâmetros da zona não saturada "condutância longitudinal, espessura e resistividade" com o grau de proteção natural do aquífero, apresentada na forma de gráfico, deve ser reportada e considerada tão somente para a área de estudo. Essa observação é respaldada por dados provenientes de calibrações geoeletricas executadas no referido contexto hidrogeológico, onde, por exemplo, valores de resistividades superiores a 1500-2000 Ohm.m e inferiores a tal intervalo encontram-se associados com litologias mais arenosas e mais argilosas, respectivamente.

Considerando a busca por um sistema integrado (hídrico-agropecuário) ambientalmente sustentável, torna-se bastante recomendável a continuidade de pesquisas nesse sentido, particularmente de monitoramento e conservação de sistemas hidrogeológicos em perímetros irrigados e com utilização de uma adubação complementar (sobretudo de natureza química), com destaque para o Aquífero Barreiras na região Nordeste do Brasil. Um refinamento dos dados ora apresentados pode ser efetuado mediante adição de informações provenientes da interpretação de sondagens geoeletricas adicionais, bem como de variações da condição hidráulica do aquífero e características intrínsecas dos horizontes que compõem a zona não saturada ao longo de toda a bacia e adjacências (composição litológica, taxas de infiltração, dentre outras). Tais informações possibilitarão a elaboração de uma cartografia regional adicional de vulnerabilidade do aquífero, seja esta relativa, ou mesmo voltada para a ocorrência de um único tipo de carga contaminante, subsidiando um manejo hidroambiental otimizado e sustentável.

6 – AGRADECIMENTOS

Os presentes autores agradecem ao CNPq pelo financiamento do projeto que envolve o presente estudo.

7 – REFERÊNCIAS

BEZERRA, F.H.R.; SAAD, A.; MOREIRA, J.A.M.; LINS, F.A.P.L.; NOGUEIRA, A.M.B.; MACÊDO, J.W.P.; LUCENA, L.R.F.; NAZARÉ JR., D. Estruturação neotectônica do litoral de Natal-RN, com base na correlação entre geológicos, geomorfológicos e gravimétricos. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE ESTUDOS TECTÔNICOS, IV. Belo Horizonte, 1993. Bol. 12: p. 317-321.

BEZERRA, F.H.R. Neotectonics in Northeastern Brazil. Ph.D. Thesis. University of London. Londres, 1998. 208 p.

BRAGA, A.C.O. Métodos da Eletrorresistividade e Polarização Induzida Aplicados nos Estudos da Captação e Contaminação de Águas Subterrâneas: Uma Abordagem Metodológica e Prática. Tese de Livre-Docência na disciplina Métodos Geométricos Aplicados à Hidrogeologia. Programa de Pós-Graduação em Geociências e Meio Ambiente. Instituto de Geociências e Ciências Exatas. Universidade Estadual Paulista - Unesp. São Paulo, 2006. 121p.

BRAGA, A.C.O. Estimativa da vulnerabilidade natural de aquíferos: uma contribuição a partir da resistividade e condutância longitudinal. Revista Brasileira de Geofísica. 26(1): 61-68, 2008.

CPRM – SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. 2006. Mapa geológico do Estado do Rio Grande do Norte. Serviço Geológico do Brasil, Superintendência Regional de Recife, 1 mapa geológico, escala 1:500.000.

FOSTER, S.S.D. Fundamental Concepts in Aquifer Vulnerability Pollution Risk and Protection Strategy; Vulnerability of soil and groundwater to pollution. In: INTERNATIONAL CONFERENCE HELD IN THE NETHERLANDS. TNO/RIVM, Committee on Hydrological Research, Deft, Netherlands. Proceedings and information, 1987. p. 69-86.

FOSTER, S.S.D. & HIRATA, R.C.A. Groundwater pollution risk assessment: a methodology using available data. WHO-PAHO/HPE-CEPIS, Technical Manual. Lima, 1988. 81 p.

IPT. Estudo hidrogeológico regional detalhado do Estado do Rio Grande do Norte. Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S/A. Natal, 1982. 389 p. Secretaria de Indústria e Comércio do Estado do Rio Grande do Norte. Relatório técnico IPT nº 15.795.

LUCENA, L.R.F.; ROSA FILHO, E.F.; BITTENCOURT, A.V.L. A potenciometria do Aquífero Barreiras no setor oriental da bacia do Rio Pirangi – RN e considerações sobre a relação com mananciais superficiais. *Revista Águas Subterrâneas*, Curitiba, Nº 18, p. 19-27, 2004.

LUCENA, L.R.F. Implicação da compartimentação estrutural no Aquífero Barreiras na área da bacia do Rio Pirangi-RN. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Paraná – UFPR. Curitiba, 2005. 151 p.

LUCENA, L.R.F.; DANTAS, J.A.; MEDEIROS, A.A.; ROSA FILHO, E.F. A lixiviação de fertilizantes nitrogenados na zona não saturada superior do Aquífero Barreiras – área da bacia do Rio Catu – RN. *Revista Águas Subterrâneas*. Natal, 27(1): 79-91, 2013.

MELO, J.G.; REBOUÇAS, A.C.; QUEIROZ, M.A. Análise dos componentes hidrogeológicos da área de Natal – RN. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, VIII., Recife, 1994. Anais. Recife, Associação Brasileira de Águas Subterrâneas, 1994. p. 471-480

MONTEIRO, A.R.O.; LUCENA, L.R.F.; SOUZA, I.V.F. Preliminary analysis of Barreiras Aquifer protection rating from geoelectric data in the River Catu basin – NE Brazil. In: 13th International Congress of the Brazilian Geophysical Society. Anais. Rio de Janeiro, RJ, 2013.

NOGUEIRA, A.M.B. O Cenozóico continental da região de Natal. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Pernambuco. Recife, 1982.

ORELLANA, E. Prospeccion geoeletrica en corriente continua. Ed. Paraninfo. Madrid, 1972. 523 p.

REYNOLDS, J.M. An introduction to applied and environmental geophysics. Ed. Wiley. England, 1997. 796 p.

RODRIGUES, M.A.C.; LUCENA, L.R.F.; SOUZA, I.V.F. Preliminary geometric model of the Barreiras Aquifer derived from hydrogeophysics data at the River Catu basin, NE Brazil. In: 12th International Congress of the Brazilian Geophysical Society. Anais. Rio de Janeiro, RJ, 2011.

SERHID. Plano Estadual de Recursos Hídricos – Relatório Síntese. Secretaria de Estado dos Recursos Hídricos do Rio Grande do Norte. Natal, 1998. 254p. Disponível em: www.semarh.rn.gov.br

SOUZA, I.V.F.; LUCENA, L.R.F.; MONTEIRO, A.R.O.; CAVALCANTE, D.C.L. Characterization of subsurface fault in Barreiras Aquifer Formation from geoelectrical and hydrogeological data – area of River Catu basin, NE Brazil. In: 13th International Congress of the Brazilian Geophysical Society. Anais. Rio de Janeiro, RJ, 2013.