



Modelo preliminar de circulação de água subterrânea com suporte de Métodos Geofísicos Eletromagnéticos e Hidroquímica, litoral de Cascavel – Ceará, Nordeste, Brasil

Raimundo Mariano G. Castelo Branco¹, Luciano Soares Cunha², Welitom, R. Borges³

Recebido em 10 de setembro de 2011 / Aceito em 22 de dezembro de 2011

Resumo

A sede do Município de Cascavel (situada a 58Km para SE da cidade de Fortaleza, Estado do Ceará, Brasil) foi durante a década passada abastecida por água subterrânea. Na área de captação foram construídos 10 poços tubulares que captavam água tanto da porção sedimentar (Grupo Barreiras) quanto das rochas cristalinas (Embasamento). A variação das vazões nessa pequena área de 1,5ha era de 1 a 14 m³/h. Na caracterização hidroquímica realizada, além de outras constatações, percebeu-se que a água subterrânea evidenciava dois grupos quanto à condutividade elétrica (@300 e @1000mS/cm). Por outro lado a proximidade dos poços tubulares (150 a 200m) e as características construtivas não podiam ser evocadas para explicar tal variação na condutividade, daí buscou-se uma nova hipótese. Um levantamento geofísico integrando as técnicas da eletrorrestividade (SEV) e do eletromagnético indutivo (FEM) foi realizado com os objetivos de identificar os estratos geoeletricos e a possível presença de variações laterais de resistividade/condutividade (zonas fraturadas/falhadas). Após o processamento e a inversão dos dados geofísicos, algumas repostas para as grandes variações das vazões e da condutividade elétrica na área de interesse foram obtidas como a presença de zonas fraturadas e variações nas espessuras dos sedimentos e material saprolítico.

Palavras-chave: Hidroquímica, geofísica, água subterrânea, região litorânea, rochas cristalinas.

Abstract

The coastal zone of the city of Cascavel (58Km SE Fortaleza, Ceará, Brazil) was perforated for several groundwater wells during the past decade. In that area 10 wells extract groundwater from sediments of Barreiras Formation and from crystalline rocks. The variation of the outflow in this small area (1.5ha) was 1 to 14m³/h. The hydrochemical characterization held, among other findings, shows that the groundwater has two groups in terms of electrical conductivity (1000 and 300mS/cm). Since the proximity of the wells (150 to 200m) and the constructive characteristics could not be evoked to explain such variation in conductivity, so we sought a new hypothesis in this paper. A geophysical survey integrating the geophysical method of resistivity (electrical soundings) and the inductive electromagnetic method (FEM) was conducted with the objective to identifying the geoelectrical layers and the possible presence of lateral variation of resistivity/conductivity. After processing and inversion of all geophysical data some answers can explain the large variations of outflow and electrical conductivity in this area such as the presence of fractured zones and the variations of sedimentary and saprolite thickness.

Key words: Hydrochemical, geophysical, ground water, coast region, cristaline rocks

¹Lab. de Geofísica de Prospecção e Sensoriamento Remoto – LGPSR/UFC mariano@ufc.br, ²Laboratório de Hidrogeologia – HIDRUS/UnB

1. Introdução

Nas décadas de 80 e 90 a Companhia de Águas e Esgoto do Estado do Ceará (CAGECE) realizou muitas campanhas de construção de poços tubulares profundos com vistas ao abastecimento público para sedes municipais como foi o caso da sede do Município de Cascavel. Na denominada Área II foram construídos 09 poços tubulares com profundidades de 59 a 69m cujas vazões medidas em ensaios de produção variavam entre 1 e 14m³/h. Em termos gerais dos perfis construtivos dos poços tubulares observa-se que os primeiros 25 a 30m representam os sedimentos arenosos quaternários em conjunto com os litotipos terciários e areno-argilosos do Grupo Barreiras e o restante por rochas pertencentes ao embasamento cristalino.

A condutividade elétrica da água subterrânea extraída naqueles poços tubulares varia de 284 a 1830mS/m. Variações tão abruptas nesse parâmetro normalmente são explicadas pela distância entre os pontos de coleta e/ou por águas provenientes de diferentes profundidades.

Na área objeto desta pesquisa essa grande variação não pode ser explicada pela distância entre os poços tubulares que distam entre si 150-200m e, nem tampouco pela profundidade de captação, pois esses poços tubulares têm, praticamente, as mesmas características construtivas. Por diversos motivos esses poços tubulares não estão mais em operação. Na figura 1 encontra-se a localização e as referências dos poços aqui mencionados bem como a posição das aquisições de dados geofísicos.

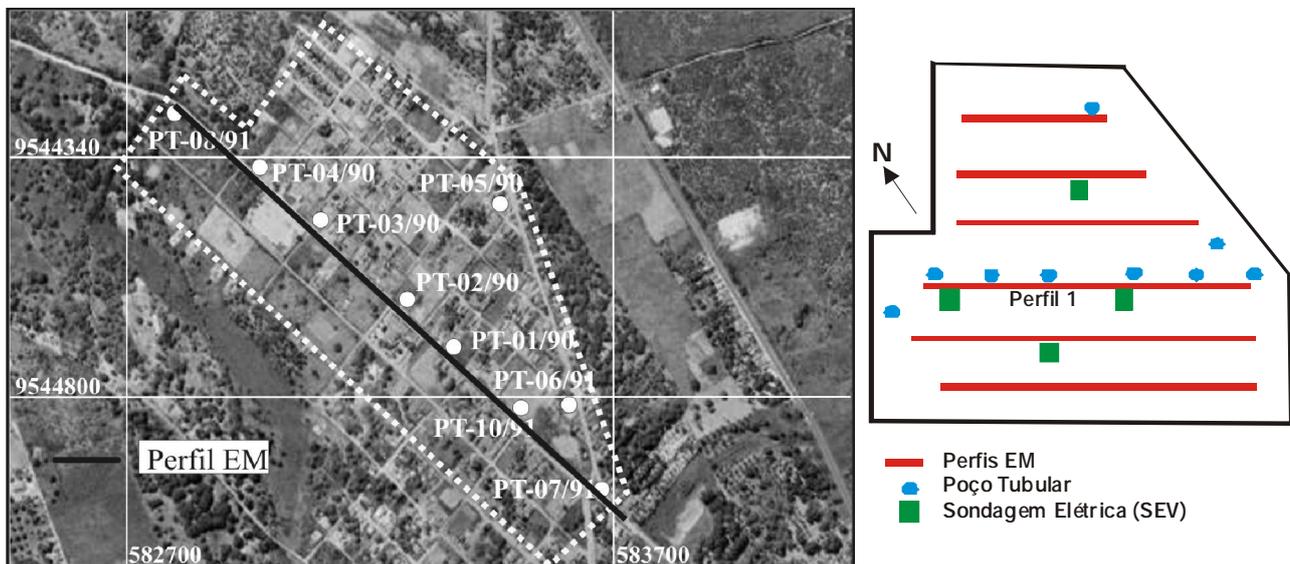


Fig. 1 - Localização e referências dos poços tubulares na área de pesquisa e posicionamento das aquisições geofísicas.

2. Contexto Geológico/Hidroológico

A área estudada está totalmente inserida em um contexto geológico dominado pelas coberturas sedimentares cenozóicas representadas pelos litotipos arenosos superiores e argilosos inferiores do Grupo Barreiras. Estes estão recobertos pelos Depósitos Flúvio-aluvionares. Todo esse pacote sedimentar repousa discordantemente sobre o

embasamento cristalino em discordância erosiva angular.

O sistema aquífero regional é composto por um aquífero livre que se comporta como semi-confinado em certas áreas do litoral cearense. Sob este aquífero livre é comum a presença de zonas intensamente fraturadas e/ou zonas falhadas que caracterizam aquíferos fissurais de diversas e

complexas geometrias e com potencial hídrico bastante variável.

Níveis espessos de saprolito estão normalmente associados com locais onde este potencial é maior devido à ação de processos de intemperismo químico como hidrólise e hidratação. Tais processos seriam impulsionados tanto pela existência de um fluxo de água quanto pela presença de material desagregado oriundo dos processos de intemperismo físico ocorridos anteriormente.

2.1 Aquífero Livre

O aquífero livre compreende as rochas sedimentares arenosas e areno-argilosas do Grupo Barreiras (Terciário) que estão sob os sedimentos arenosos (Quaternário) presentes na área de pesquisa.

O conteúdo de argila nestes arenitos aumenta com a profundidade, o que imprime a esse aquífero uma perceptível variação na sua permeabilidade. Na área em questão, a espessura do Grupo Barreiras observada nos perfis construtivos dos poços tubulares varia de 15 a 35m. O nível estático varia de 12 a 20m e, apesar de uma espessura saturada razoável, o potencial hídrico deste aquífero é baixo nessa região litorânea com uma vazão média de 2,5m³/h (SIAGAS/CPRM, 2011).

3. Hidroquímica

Serão apresentados a seguir os resultados disponibilizados de 09 análises físico-químicas da água subterrânea extraída pelos poços tubulares no Município de Cascavel, efetuadas pela CAGECE em 1991 (04 análises) e 2000 (05 análises.) A avaliação hidroquímica das águas subterrâneas na área de captação da CAGECE no Município de Cascavel teve como principal objetivo caracterizar seus principais constituintes e propriedades, procurando estabelecer uma relação com o meio físico.

As análises físico-químicas das águas subterrâneas dos poços tubulares profundos da área de pesquisa foram realizadas pelo Laboratório de

Controle da Qualidade da Companhia de Água e Esgoto do Ceará – CAGECE. Os elementos analisados foram os maiores (Ca⁺⁺, Mg⁺⁺, Na⁺, K⁺, Cl⁻, SO₄⁼, HCO₃⁻), além de outros elementos como Ferro total, Mn⁺⁺, NO₂⁻, NO₃⁼, NH₄⁺, Al⁺⁺ e O₂ consumido, não apresentados aqui.

A Tabela 1 apresenta os valores obtidos dos íons analisados expressos em miligramas por litro (mg/L) e, também, o pH e a condutividade elétrica. O erro percentual das análises foi calculado segundo os procedimentos descritos em Logan (1965). Três análises apresentaram erro um pouco acima do admissível (06/91, 09/91, 10/91), mas não serão excluídas do conjunto, apenas serão identificadas de modo diferenciado das demais. Para a caracterização química dessas águas foi utilizado o diagrama de Piper. Através deste diagrama se observa que nas duas coletas há predominância das águas do tipo cloretada sódica (Fig. 2). Duas possíveis fontes podem ser associadas à alta concentração dos íons cloretos (Cl⁻) e sódio (Na⁺): dissolução e aerossóis marinhos.

3.1 Dissolução do NaCl

Para verificar uma possível dissolução de NaCl, foi construído o gráfico de rNa⁺ versus rCl⁻ que, no caso da dissolução de NaCl, produziria uma reta de inclinação 1. Observa-se que na equação da reta de correlação ($rNa^+ = 0,2 rCl^- + 2,5$), para as amostras coletadas, o coeficiente angular muito abaixo de 1 ($a = 0,2$) descarta a hipótese da dissolução de NaCl como fonte direta dos íons Na⁺ e Cl⁻, presentes na água em questão (Fig. 3).

3.2 Aerossóis Marinhos

Uma segunda hipótese foi evocada por Aguiar (1999) que analisou a água de 40 poços profundos localizados no litoral do Município de Caucaia-CE (20 km a Norte de Fortaleza). Aquele autor concluiu serem os aerossóis marinhos a fonte mais provável dos íons cloretos (Cl⁻) e sódio (Na⁺) presentes na grande maioria das águas analisadas. Mesmo que essa conclusão tenha sido obtida por exclusão de outras hipóteses e não necessariamente da quantificação de parâmetros que a substanciasse, compartilha-se aqui da mesma opinião.

Revista de Geologia, Vol. 24 (1), 2011

Tab. 1 - Resultados físico-químicos das águas dos poços tubulares profundos analisados. O poço tubular PT-06/91 foi amostrado tanto no de 1991 quanto no ano de 2000.

Íon/Poço	PT06/91 (1991)	PT07/91 (1991)	PT09/91 (1991)	PT10/91 (1991)	PT01/90 (2000)	PT02/90 (2000)	PT08/91 (2000)	PT05/90 (2000)	PT06/91 (2000)
Ca ⁺	1,6	2,4	56,0	2,4	32,0	57,6	45,6	44,0	4,0
Mg ⁺	5,2	2,9	49,9	3,4	28,8	43,2	48,4	36,0	17,7
Na ⁺	58,0	67,0	360,0	68,0	99,0	139,5	164,5	139,5	64,1
K ⁺	10,0	15,0	35,0	12,0	29,3	38,5	40,9	37,4	15,6
Cl ⁻	48,0	49,0	487,0	55,0	239,0	354,0	417,0	337,0	91,0
HCO ₃	32,0	72,0	132,0	46,0	102,0	124,0	92,0	99,0	10,0
CO ₃	****	****	****	****	****	****	****	****	****
SO ₄	11,0	39,5	8,5	20,0	22,7	15,4	10,8	15,4	13,6
TOTAL	154,8	208,3	1119,9	186,8	530,1	756,8	808,4	692,9	202,4
pH	6,0	7,8	7,0	6,5	8,1	8,2	8,0	8,1	7,3
CDT (25°C)	284,0	322,0	1830,0	344,0	1090,0	1646,0	1804,0	1488,0	514,0

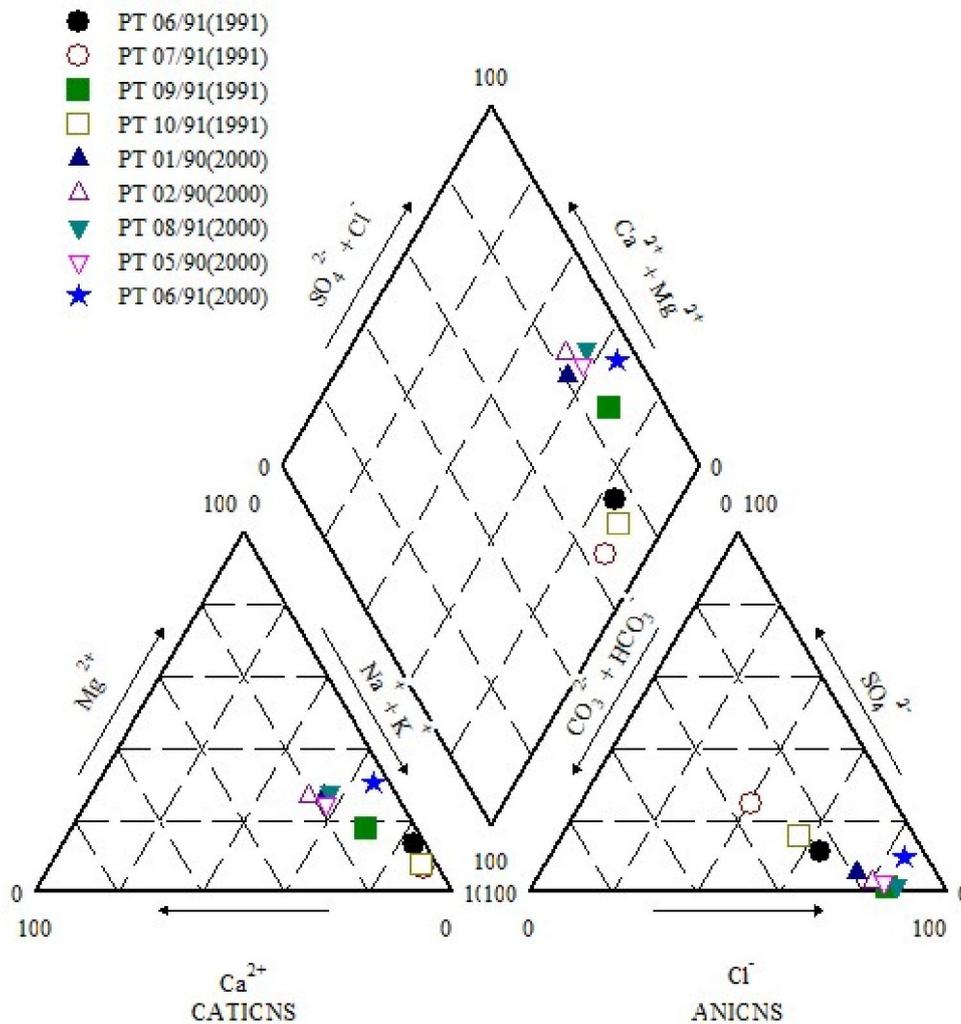


Fig. 2 - Caracterização química das águas analisadas através do Diagrama de Piper. (Obs. Ano da análise química encontra-se na legenda).

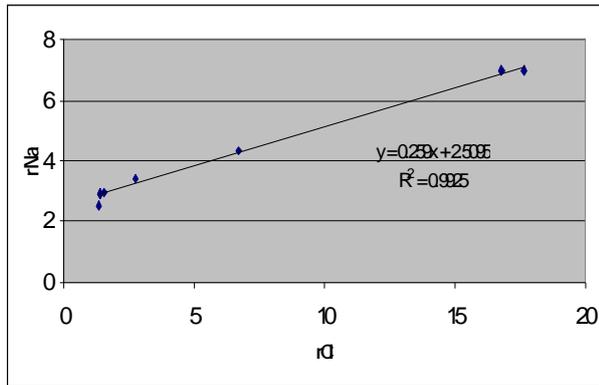


Fig. 3 - Concentração de sódio em função da concentração de cloretos evidenciando que a dissolução de NaCl não é a fonte direta desses íons.

4. Condutividade Elétrica da Água Subterrânea

A água subterrânea analisada compreende e reflete as características e propriedades de um produto gerado pela interação da água que circula em todo o sistema aquífero (rochas sedimentares e rochas cristalinas). Tal interação é ratificada pelo fato de que os poços tubulares, onde as amostras de água subterrânea foram coletadas, cruzam totalmente as rochas areno-argilosas do Grupo Barreiras e penetram parcialmente nas rochas cristalinas do embasamento.

Partindo dessa premissa era de se esperar uma certa homogeneidade no padrão de certas propriedades químicas de uma água subterrânea

dentro de uma área com pequena dimensão (1km²). No caso da condutividade elétrica da água subterrânea da área estudada, esta premissa não se confirma.

A figura 4 denota a variação que a condutividade elétrica da água subterrânea apresentou nas 08 amostras analisadas onde é possível observar dois conjuntos bem individualizados sendo o primeiro relacionado a valores da ordem de 300 mS/cm e o outro relacionado a valores até seis vezes maiores (1000 a 1800mS/cm).

Considerando a distribuição e a proximidade entre os poços tubulares (máximo de 200 m) e que os mecanismos responsáveis por parte do fornecimento de íons a água subterrânea (p.ex ações intempéricas e recarga) não são capazes de criar diferenças de concentrações iônicas desse porte, faz-se necessário encontrar uma outra fonte de íons capaz de justificar tal incremento na condutividade elétrica das amostras analisadas.

O intemperismo físico-químico evocado anteriormente não atua somente na superfície terrestre, pois tal ação sobre as rochas cristalinas que compõem o embasamento na área de estudo produz minerais solúveis e íons Ca⁺⁺, K⁺, Fe⁺⁺, Mg⁺, Na⁺ e SO₄⁻ através de processos como a desintegração física de minerais, a hidrólise total e parcial e a hidratação. Esses íons em altas ou baixas concentrações estão presentes na água subterrânea na área de estudo.

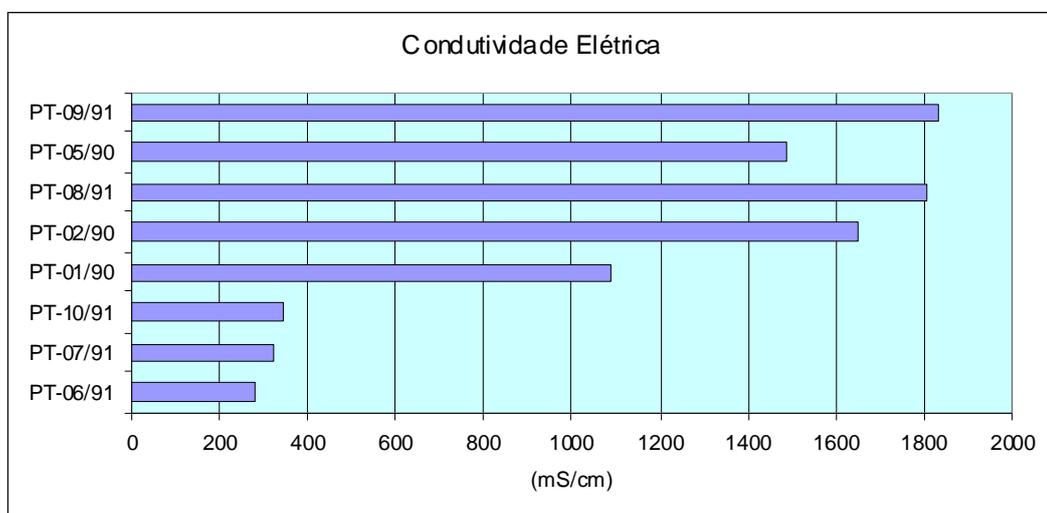


Fig. 4 - Variação da condutividade elétrica (mS/cm) da água subterrânea extraída dos poços tubulares construídos na área de pesquisa.

Fato adicional importante que deve ser considerado sobre a variação da condutividade elétrica da água subterrânea em questão é o aumento

de cerca de 100 % desse parâmetro, ocorrido na última década na água do poço tubular PT-06/91. (Fig. 5).

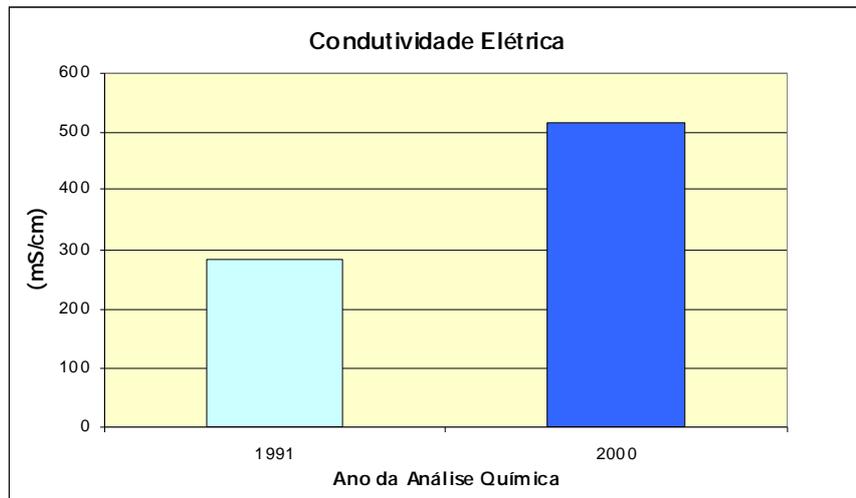


Fig. 5 - Variação da condutividade elétrica (mS/cm) da água subterrânea extraída do poço PT-06/91 nos anos de 1991 e 2000.

5. Geofísica Terrestre (Eletromagnético Indutivo - FEM)

Os métodos de prospecção por campos eletromagnéticos (EM) variáveis podem ser utilizados tanto para estudar a variação das propriedades das rochas no sentido vertical como para investigações no sentido horizontal. O método eletromagnético é influenciado principalmente pelas variações, em subsuperfície, da condutividade dos materiais terrestres.

Os objetivos do uso do método eletromagnético de indução no domínio da frequência (FEM) foram identificar os estratos geoeletricos e verificar a presença de zonas fraturadas/falhadas no embasamento cristalino que condicionam o fluxo de água subterrânea em aquíferos fissurais.

Uma corrente elétrica alternada circulando por uma bobina transmissora (Tx), cria ao seu redor um campo eletromagnético indutivo alternado (campo magnético primário, H_p), que induz correntes elétricas secundárias no solo, sob o aparelho. Estas correntes secundárias (T_s) por sua vez geram um campo eletromagnético alternado (campo magnético

secundário, H_s) que é proporcional à corrente induzida. Uma parte deste campo secundário induz corrente em uma bobina receptora (Rx), que é ligada à transmissora por meio de um cabo de referência, e produz um resultado que é proporcional à condutividade do solo (Mendes, 1987).

De maneira geral, admite-se que a relação entre os módulos dos dois campos seja dada por $H_s = K H_p$, onde K depende da frequência do campo (f), da permeabilidade magnética no vácuo (μ_0), do espaçamento entre as bobinas (L) e da condutividade do meio (σ) (Costa & Ferlin, 1992). Os valores medidos representam os efeitos combinados das diferentes camadas, suas espessuras e condutividade, desde a superfície até a profundidade de investigação permissível pelo equipamento.

A profundidade de investigação pode ser considerada, sem um erro apreciável, como dependente do espaçamento e da orientação das bobinas. No modo dipolo horizontal (DH), isto é, com o eixo da bobina na vertical, a profundidade de investigação é de cerca de 0,75 vez o espaçamento das bobinas.

No modo dipolo vertical (DV), isto é, com o eixo da bobina na horizontal, a profundidade de investigação é de cerca de 1,5 vez o espaçamento das bobinas. O EM34-3XL (Geonics, Ltd.), equipamento utilizado nesta pesquisa, permite três espaçamentos interbobinas, 10, 20 e 40 m. Assim, em condições ideais, é possível investigar profundidades de aproximadamente 7,5, 15 e 30m no modo DH e 15, 30 e 60 m no modo DV (Tab. 2 e Fig. 6). As leituras obtidas são valores da condutividade elétrica aparente do solo dadas em *mS/m* (*milSiemens/metro*).

Tab 2 - Profundidades de investigação do EM34-3XL para diferentes espaçamentos interbobinas e frequência.

<i>Espaçamento interbobinas</i>	<i>Frequência</i>	<i>profundidade modo DH</i>	<i>profundidade modo DV</i>
10 metros	6400 Hz	7.5	15
20 metros	1600 Hz	15	30
40 metros	400 Hz	30	60



Fig. 6 - Modo de operação no campo do instrumento EM34-3 XL. À esquerda, bobina transmissora e à direita, bobina receptora, ambas posicionadas em modo Dipolo Horizontal próximo ao PT-01/90, no Perfil L1.

Os perfis eletromagnéticos foram executados paralelamente às principais vias não-asfaltadas onde estão localizados os poços tubulares. Eles distam entre si 100 metros com estações de leitura espaçadas de 40 metros (Fig. 1).

No total foram adquiridos dados em 160 pontos, agrupados em 6 perfis, utilizando-se o equipamento EM34-3XL da GEONICS Inc.. Por questão de coerência com os objetivos desse trabalho só o perfil mais importante será mostrado aqui.

Com o intuito de realizar uma análise quantitativa com os dados obtidos foi realizada a inversão 1D dos dados EM, utilizando o *software* EMIX34-Plus (Interpex Ltd.), com o objetivo de obter as espessuras das camadas geoeletricas e suas respectivas condutividades.

O modelo inicial utilizado na inversão dos dados eletromagnéticos foi baseado em uma seção geoeletrica padrão para a área de estudo. Por sua vez, tal seção geoeletrica foi obtida através do processamento dos dados de 4 Sondagens Elétricas Verticais (SEV's) executadas em pontos distintos da área, a exemplo da SEV apresentada na figura 7.

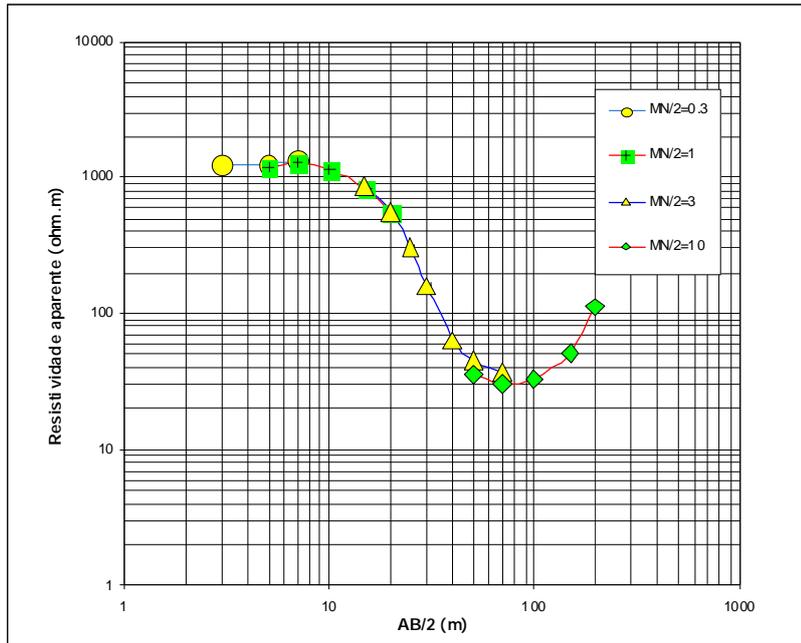


Fig. 7 - Exemplo de uma curva de resistividade elétrica aparente obtida na área ressaltando a variação elétrica vertical dos materiais em subsuperfície.

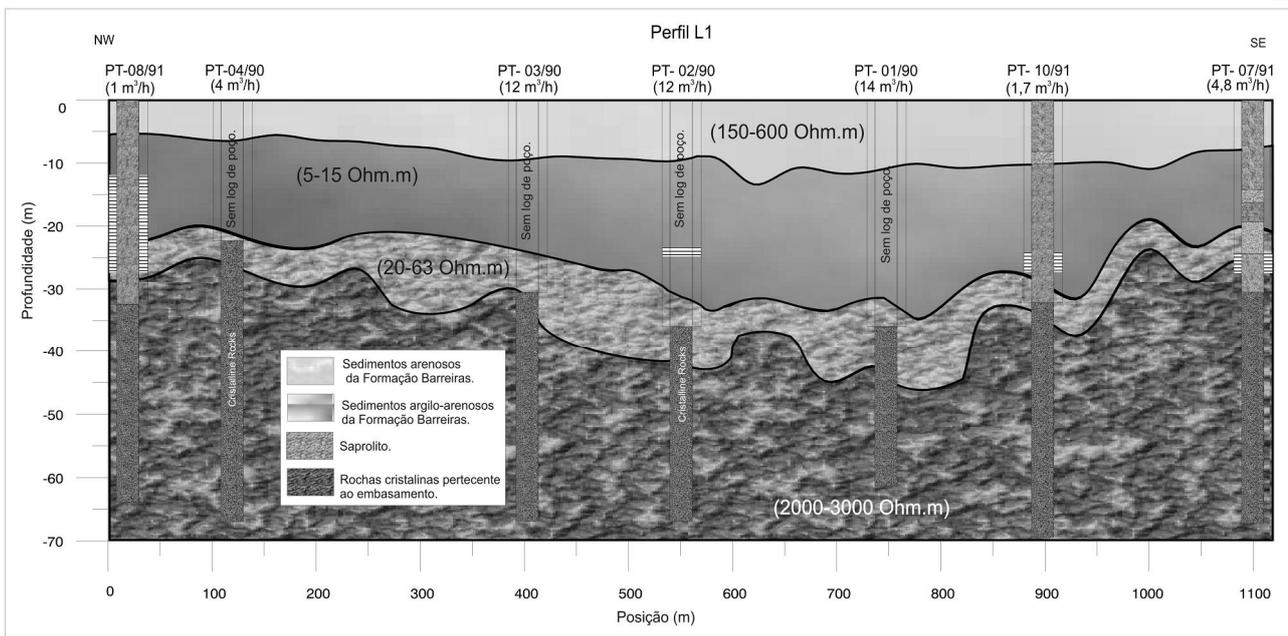


Fig. 8 - Resultado da inversão dos dados eletromagnéticos do Perfil L1. Esse perfil foi executado na rua principal da área de pesquisa onde estão localizados 07 (sete) poços tubulares.

A figura 8 traz o perfil L1 onde estão localizados 7 (sete) dos 9 (nove) poços tubulares profundos da área. A camada superficial arenosa possui espessuras entre 6 a 13 m e condutividades entre 0,5 a 1 mS/m (nível insaturado) e 1,7 a 6,7 mS/m (nível saturado). A camada geoeletrica areno-argilosa apresenta espessuras entre (5 -28m) e

condutividades entre 67 a 200 mS/m . A camada geoeletrica sapolítica possui espessuras variando entre 3 a 15m e condutividades entre 22-33 mS/m . A camada geoeletrica inferior possui condutividades que variam entre 0,4 a 0,55 mS/m e apresenta uma morfologia irregular.

Revista de Geologia, Vol. 24 (1), 2011

É possível observar que os poços tubulares com vazões acima da média regional (PT-01/90, PT-02/90, PT-03/90) estão localizados nas depressões da última camada geoeletrica. Locais estes, onde foram detectadas as maiores espessuras tanto da camada geoeletrica argilo-arenosa quanto da camada geoeletrica saprolitica. Outros aspectos observáveis é a boa correlação entre as profundidades do embasamento cristalino descritas nos perfis dos poços e as profundidades alcançadas pela inversão e que existe uma superestimativa na espessura da camada geoeletrica saprolitica devido à semelhança de condutividades com a camada sobreposta (arenito areno-argiloso). O erro RMS obtido para a inversão do Perfil L1 variou entre 3-15.

6. Integração dos resultados

A figura 9 traz a visualização da variação da condutividade elétrica da água subterrânea ao longo da rua onde foi executado o perfil eletromagnético. Mesmo com a falta de dados dos poços tubulares PT-03/90 e PT-04/90 (desativados) é possível observar que os poços tubulares posicionados nas zonas intensamente fraturadas/falhadas do embasamento cristalino possuem um grande incremento nos valores de condutividade elétrica da água subterrânea.

Essas zonas fraturadas condicionam o fluxo de água subterrânea no embasamento cristalino propiciando dessa forma um aumento considerável

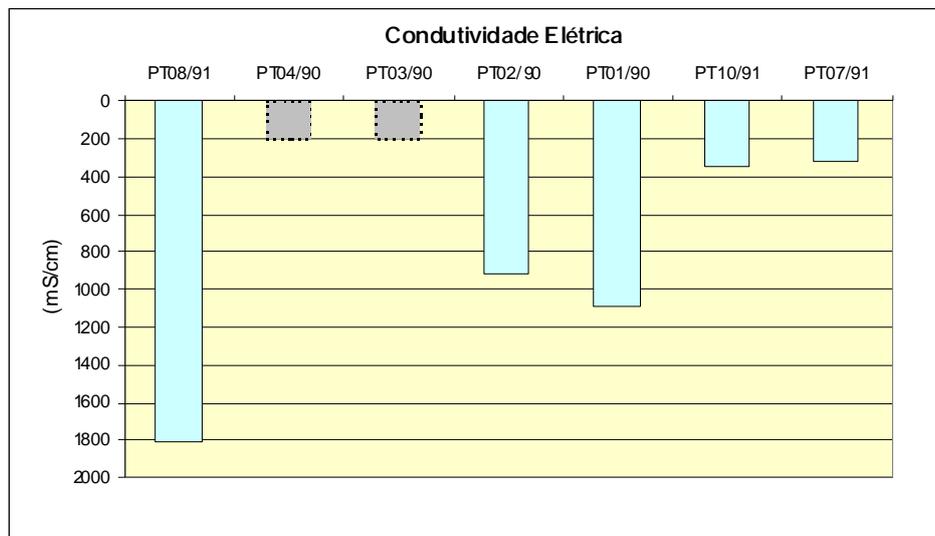


Fig. 9 - Variação da condutividade elétrica da água subterrânea ao longo da rua principal onde foi executado o perfil eletromagnético L1. Não foram coletadas amostras dos poços tubulares PT-04/90 e PT03/90 porque estes estão fora de operação (desativados).

na vazão dos poços tubulares situados nesses locais (p.ex. PT-01/0, PT-02/90 e PT-03/90). Um maior fluxo de água em tais zonas intensifica os processos químicos de intemperismo, resultando assim, em um maior conteúdo de íons dissolvidos e uma maior espessura do nível saprolítico (3ª camada geoeletrica).

Assim, a água subterrânea extraída dos poços tubulares situados na condição prevista acima terá um conteúdo adicional de íons, além dos íons oriundos das rochas sedimentares. Tal incremento no conteúdo de íons produzirá um aumento na condutividade elétrica.

Já a água subterrânea extraída dos poços tubulares situados fora dessas zonas fraturadas (p.ex. PT-101/91 e PT-06/91) terá um conteúdo de íons que reflete as características das rochas sedimentares presentes. Vale ressaltar que devido à grande espessura de rochas cristalinas perfuradas, espera-se que mesmo nessa condição de ausência de extensas zonas fraturadas uma pequena quantidade de água que circule no embasamento cristalino alcance esses poços tubulares, mas essa quantidade não deve ser capaz de modificar substancialmente o conteúdo de íons.

O poço tubular PT-08/91, aparentemente, é uma exceção à análise realizada acima, pois, apresenta a água com a maior condutividade elétrica da área (1804mS/m) e está situado no início do Perfil L1 onde não foi caracterizada nenhuma zona fraturada/falhada. A explicação mais provável para tal caso pode ser a presença de uma zona fraturada de menor porte localizada próxima ao poço tubular, mas que estaria a noroeste do início do perfil eletromagnético L1.

Já os poços tubulares PT-05/90 e PT-06/91 que não estão situados na rua principal da área de pesquisa, se enquadram em uma das duas possíveis situações evocadas neste trabalho. O poço tubular PT-05/90 (1488mS/cm) foi construído no prolongamento, para norte, da zona fraturada visível no Perfil eletromagnético L1 e, o poço tubular PT-06/91 (284mS/cm) foi construído fora de uma dessas zonas intensamente fraturadas/falhadas que justificaria a baixa condutividade elétrica da água subterrânea.

7. Conclusões

Com base nos objetivos propostos e nos resultados apresentados a respeito da área de captação de água subterrânea do Município de Cascavel – CE conclui-se:

Na área de pesquisa, a água possui caráter cloretado sódico como indica a análise físico-química das nove (09) amostras realizadas e pH na faixa de 6 a 8, comum em águas naturais. Provavelmente, pelo acima citado, não só as características como também as propriedades dessa água estão refletindo um produto gerado pela interação de uma água que circula tanto no aquífero poroso quanto no fissural (rochas sedimentares e cristalinas, respectivamente).

O caráter cloretado sódico provavelmente está associado à ação dos aerossóis-marinhos que seriam a fonte dos íons (Cl⁻) e (Na⁺) presentes na água subterrânea da área de pesquisa.

Na interface entre os dois tipos de aquíferos, zonas anômalas com baixa resistividade foram

detectadas pelo método eletromagnético utilizado. Estas anomalias podem ser interpretadas como locais intensamente fraturados e/ou falhados no embasamento cristalino. Um alto grau de fraturamento/falhamento produziria tanto porosidade quanto permeabilidade secundárias que imprimem nessa zona uma função de condicionante do fluxo de água subterrânea justificando o aumento das vazões nos poços PT-01/90, PT-02/90 e PT-03/90.

O fluxo de água subterrânea, preferencialmente em locais deste tipo, intensificaria os processos químicos de lixiviação gerando um nível saprolítico menos resistivo e mais espesso (p.ex. PT – 01/90), ao contrário dos locais menos fraturados/falhados (p.ex. PT-07/91) em que o nível saprolítico seria mais resistivo e menos espesso.

Outra consequência desse fluxo maior de água nessas zonas fraturadas seria a geração de um maior conteúdo de íons dissolvidos (p.ex. Ca⁺⁺, K⁺, Fe⁺⁺, Mg⁺, Na⁺ e SO₄⁻). Esse incremento no conteúdo de íons produzirá o aumento percebido na condutividade elétrica da água subterrânea em questão.

O aumento da condutividade elétrica da água subterrânea em cerca de 100%, na última década, do poço tubular PT-06/91, pode indicar indiretamente uma vazão de exploração superestimada, haja vista a necessidade de manter tal vazão o raio de influência teve que aumentar. Com tal crescimento, provavelmente, interceptou uma zona fratura contendo uma quantidade maior de íons.

Referências Bibliográficas

- Aguiar, R. B. – 1999 – Impacto da Ocupação Urbana na Qualidade das Águas Subterrâneas na Faixa Costeira do Município de Caucaia-CE. Dissertação de Mestrado.
- Costa, A. F. U. & C. A. Ferlin; 1992 - Mapeamento geofísico da contaminação da água subterrânea utilizando o método geofísico EM34-3. XXXVII Congresso Brasileiro de Geologia - SBG/SP, São Paulo, SP. Bol. Res. Exp., pp. 393-395.

SIAGAS/CPRM, 2011 – Sistema de Informações de Águas Subterrâneas. <http://siagasweb.cprm.gov.br/layout/index.php>. Acesso: junho de 2011.

Iplance – 2009 - Fundação Instituto de Planejamento do Ceará. *Ranking* dos Municípios: Indicadores Selecionados. Fortaleza. 132p.

Interpex Ltd. – 1989 - EMIX34-Plus, *Software* de inversão de dados eletromagnéticos no domínio da frequência, Mississauga, Canadá.

Koppen, W. – 1948 – Climatologia com un estudo de los climas de la Tierra. Version de Hendrichs, P.R. México. Fondo de Cultura Económica. 478p.

Logan, J. – 1965 – Interpretação de análises químicas d'água. Recife – Pe. In US. Agency for International Development. 67p

Mendes, J. M. B.; 1987 - Técnicas geofísicas aplicadas no mapeamento e monitoramento de poluição de águas subterrâneas. Tese de Doutorado. IG-USP.

Souza, M.J.N. – 1988 – Contribuição ao estudo das unidades morfo-estruturais do Estado do Ceará. Revista de Geologia. Imprensa Universitária --UFC. Fortaleza – Ceará. v1, nº1. p73-91.

