

Estudo geofísico preliminar com os métodos TEM/FEM na Planície Costeira Norte FluminenseA

Abel Carrasquilla•, Sergio L. Fontes*, Emanuele F. La Terra*, Carlos R. Germano*

* LENEP/UENF & * ON/CNPq, Brasil

ABSTRACT

In 1998, ON/CNPq and LENEP/UENF undertook a geophysical pilot study in the Northern Coastal Plain of Rio de Janeiro State, near Rio das Ostras town. The region is characterised by both the scarcity of drinking water for human consumption and the existence of saline intrusions; this last caused mainly by the presence of a complex quaternary geology and the excessive exploitation of the aquifers. The research was performed by employing the time (TEM) and frequency (FEM) domains electromagnetic methods to evaluate the effectiveness of both methods in these geological conditions in order to be able to formulate a more comprehensive hydrogeological research in the region in near future. The FEM profiles and the uni-dimensional interpretation of the TEM were able to depict the different geological formations, to locate the main aquifers and to reveal the salty water- fresh water contact. Our results evince a promising future for using electromagnetic geophysical methods in the region as well as it confirmed that a regional survey is essential in the indication of most suitable places to locate productive fresh-water wells.

INTRODUÇÃO

O Estado do Rio de Janeiro pode ser dividido geograficamente em duas regiões principais: o Planalto Serrano e a Planície Costeira Fluminense. Nossa pesquisa foi desenvolvida num setor ao norte desta última região, nas vizinhanças do Morro de São João e da Cidade de Rio das Ostras (Figura 1). O mapa geológico regional desta área indica a predominância de rochas de idade pré-Cambriana fraturadas nas direções preferenciais NW/SE e NE/SW, agrupadas no Complexo do Litoral Fluminense. Estas rochas são constituídas por uma associação de biotitas gnáisses, gnáisses, granitóides, gnáisses facoidais, gnáisses porfiroblásticos e migmatitos. Localmente, existem vales preenchidos por sedimentos quaternários depositados em planícies de inundação junto à costa (DRM/PETROBRAS, 1997).

Na região, a CPRM realizou levantamentos aéreos magnetométrico e gama-espectrométrico, os quais mostram as grandes tendências que servem de guia para a realização de estudos em detalhe (Mourão, 1995; Mourão et al., 1997). Em nível local, Mello (1995) fez uma prospecção eletro-resistiva no Distrito de São Vicente, Município de Araruama. A interpretação desses dados revelou a existência de um embasamento granítico-gnáissico inalterado com resistividade (ρ) de 2300-2800 Ωm , o qual apresenta fraturas ou falhas localizadas saturadas com água ($\rho=900-1800 \Omega\text{m}$), além de horizontes de alteração tipo C fraturado-saturado ($\rho\approx 215 \Omega\text{m}$) e do tipo B impermeável ($\rho=620 \Omega\text{m}$). Sobre o cristalino e na forma de uma discordância litológica, existe um pacote sedimentar arenoso quartzo-feldspático ou argiloso, o qual apresenta-se saturado ($\rho=27-35, 78-100, 165-230 \Omega\text{m}$) e com espessura média de 35 m. Do exposto, pode-se concluir que, excluindo o embasamento, os valores de ρ mais altos estão associados com formações geológicas de granulometria mais grosseira, com maior porosidade/ permeabilidade e contendo uma solução saturada não-salina. Assim, existem plenas condições de se encontrar água subterrânea de boa qualidade na área estudada, tanto nas rochas fraturadas do cristalino como nas porções onde este permite, pelo seu formato, a formação de um pacote mais espesso de sedimentos. Da mesma forma, com estimativas da resistividade elétrica também é possível detectar as zonas invadidas pelas cunhas salinas provenientes do mar, que apresentariam valores baixos de ρ .



Figura 1 - Localização da área de estudo.

METODOLOGIA

Neste estudo foram utilizados os métodos geofísicos eletromagnéticos no domínio do tempo (TEM) e da frequência (FEM). No método FEM, foi utilizado o equipamento EM-34 produzido pela Geonics, com uma bobina transmissora horizontal (HLEM) ou vertical (VLEM), onde circula uma corrente elétrica alternada com frequências de 0.4, 1.6 e 6.4 kHz. Esta bobina produz um campo magnético primário, o qual, por sua vez, induz um campo magnético secundário nos corpos condutores em sub-superfície. A soma destes dois campos resulta num campo magnético total, o qual é medido numa outra bobina horizontal (HLEM) ou vertical (VLEM) em superfície, permitindo, assim, a localização da estrutura condutora subterrânea. As separações transmissor-receptor para este estudo foram de 40, 20 e 10 m. Com o sinal medido, podem ser estudadas diferentes características do campo total: a amplitude das componentes real (R, em fase) e imaginária (I, quadratura), o defasamento ou a inclinação em relação ao campo primário. Na medição da inclinação, procura-se movimentar a bobina receptora até alcançar um máximo ou mínimo na resposta do campo resultante, sendo os resultados precisos só nos casos em que o corpo perturbador possui uma ρ baixa. Na medição das componentes R e I, se obtêm maiores valores de uma componente ou outra, dependendo se o corpo em sub-superfície é um bom ou mau condutor, com a razão R/I decrescendo com a ρ da heterogeneidade. O equipamento EM-34, entretanto, apresenta seus resultados diretamente em valores de condutividade elétrica ($\sigma=1/\rho$), em unidades mS/m (Ward, 1990).

No método TEM, uma forte corrente direta (DC) é passada através de um "loop" não aterrado. No tempo $t=0$, esta corrente é interrompida e durante um determinado tempo, o mesmo "loop" atua como receptor, constituindo-se num arranjo conhecido como "coincident loop". Através deste processo se medem os campos secundários induzidos nas heterogeneidades geológicas em sub-superfície, na ausência do campo primário indutor. O equipamento utilizado, neste caso, foi o SIROTEM da Geolnstruments, que mede a taxa de decaimento da componente vertical da indução magnética em unidades nV/A-m² que, posteriormente, é convertida em valores de ρ (Ωm). A técnica TEM tem sido utilizada para delinear estruturas estratificadas de interesse geológico, assim como, na exploração de água subterrânea, corpos geotérmicos, minérios de sulfetos, condutores de grafite profundos, etc. Nos últimos tempos, esta técnica tem-se mostrado extremamente eficaz na correção do efeito estático ("static shift") que afetam as sondagens magnetotéluricas (Meju et al., 1993).

Nos trabalhos de campo com os dois métodos, realizamos um perfil de direção aproximada W-E entre o Morro de São João e a praia, sendo que o perfil TEM possui 17 sondagens e uma extensão de mais de 3 km. Os perfis FEM, por outro lado, foram realizados num pequeno setor deste perfil maior (a partir da segunda estação na direção W-E) e abrangem um comprimento de 330 m.

RESULTADOS

A Figura 2 apresenta os perfis FEM com os arranjos HLEM (dipolo magnético vertical - DV) e VLEM (dipolo magnético horizontal - DH) e na Figura 5, mostramos as posições relativas dos mesmos no perfil maior. Na interpretação qualitativa dos perfis, observamos no início dos mesmos uma ρ maior (50 Ωm), que equivale a terrenos arenosos de uma duna. A partir dos 150 m, os valores da ρ descem até valores menores que 10 Ωm , evidenciando a presença de terrenos argilosos provavelmente embebidos com água salgada. Os perfis DH são mais suaves, enquanto que os DV mostram maiores variações de ρ em sub-superfície devido às heterogeneidades. Estes valores diminuem com a profundidade (curvas com Tx-Rx = 40, 20 e 10 m e frequências = 0.4, 1.6 e 6.4 KHz, respectivamente), possivelmente pela maior saturação das formações geológicas abaixo do nível freático. No final dos perfis, as curvas DV mostram uma heterogeneidade que aumenta de tamanho e de resistividade com a profundidade, tratando-se, possivelmente, de uma lente local de areia. No decorrer da pesquisa, faremos uma interpretação quantitativa destes dados, através de algoritmos computacionais 1D e 2D elaborados por nós.

Na interpretação dos dados TEM utilizamos um algoritmo de inversão com mínimos quadrados ponderados para camadas horizontais ("dumped least squares" ou "ridge regression"), utilizando um programa produzido pela empresa INTERPEX (1996) conhecido como TEMIXXL. Duas das sondagens interpretadas, com erros de ajuste entre 6% e 8%, correspondem à Sondagem No. 1 realizada na porção W do perfil (Figura 3), acima de terrenos arenosos, e à Sondagem No. 4 do setor E (Figura 4), em terrenos argilosos possivelmente saturados com água salgada. A posição das duas

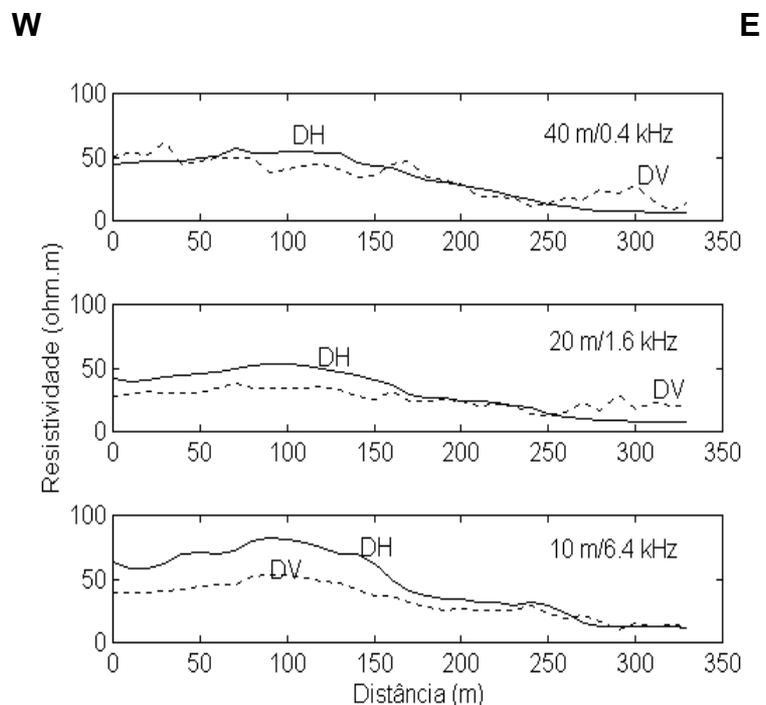


Figura 2 - Perfis Eletromagnéticos FEM.

sondagens no perfil aparece na Figura 5. A interpretação das 17 sondagens mostra a presença de quatro horizontes: a) o primeiro é o solo, mostrando $\rho \approx 12 \Omega\text{m}$ e espessuras (h) variáveis entre 10 e 24 m; b) o segundo é uma camada resistiva no setor esquerdo do perfil (com ρ entre 40 e 105 e $h \approx 4-30$ m) e uma camada muito condutora na porção direita da seção (com $\rho \approx 0.2-0.7 \Omega\text{m}$ e $h \approx 3-5 \Omega\text{m}$); c) o terceiro é uma camada ligeiramente resistiva, com $\rho \approx 100 \Omega\text{m}$ e $h \approx 30$ m no setor W, $\rho \approx 10 \Omega\text{m}$ e $h \approx 4-8$ m no setor E; e, d) o quarto é o embasamento, o qual apresenta $\rho \approx 1000-5000 \Omega\text{m}$.

A seção geoeletrica derivada da interpretação das sondagens TEM, mostra uma ρ alta no setor W (areia) e um ρ menor no setor E (argila com água salgada), assim como a presença do embasamento cristalino em profundidade (Figura 5). Entre as distâncias 370 m e 700 m foi realizado o perfil FEM, cujos resultados coincidem com os do TEM, pois em ambos os valores de ρ vão de 50 Ωm para menos de 10 Ωm (Figuras 2 e 5). A heterogeneidade mais resistiva em profundidade mostrada no final dos perfis FEM, também aparece registrada na seção TEM na altura dos 700 m. Na porção coincidente dos perfis FEM e da seção TEM, fica também evidente que a parte W apresenta um material arenoso resistivo com alta porosidade/permeabilidade, sendo portanto, onde existe água de boa qualidade. A maior espessura do aquífero no setor W do perfil pode estar associada à presença de uma fratura ou uma falha geológica com direção aproximada NE/SW.

CONCLUSÕES

Os resultados preliminares obtidos neste trabalho indicam a viabilidade do uso das técnicas TEM e FEM na determinação do contato água doce/água salgada, na delimitação dos aquíferos e na locação dos melhores locais para realizar perfurações neste setor estudado da Planície Costeira Norte Fluminense. O método TEM foi útil na determinação da estratificação (camadas de areia, argila e embasamento) e na delimitação dos contatos resistor/condutor, os quais mostram a presença das intrusões de água salgada e de uma fratura/falha no embasamento, preenchida com material arenoso. Por outro lado, o método FEM mostrou-se como uma técnica de reconhecimento rápido na determinação dos contatos laterais, assim como na determinação dos contatos água doce/água salgada nas formações geológicas. Ambos resultados mostram a presença de uma falha com direção aproximada NE/SW, indicando que estes métodos podem ser utilizados de forma complementar em estudos hidrogeológicos mais extensos, a serem projetados para a região em futuro próximo.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi realizado com recursos do PADCT III. Os autores agradecem o apoio do LENEP/UENF e ON/CNPq no que se refere à infraestrutura computacional e apoio nos trabalhos de campo. Agradecemos também ao CNPq pelo apoio financeiro na forma de bolsas de Produtividade em Pesquisa.

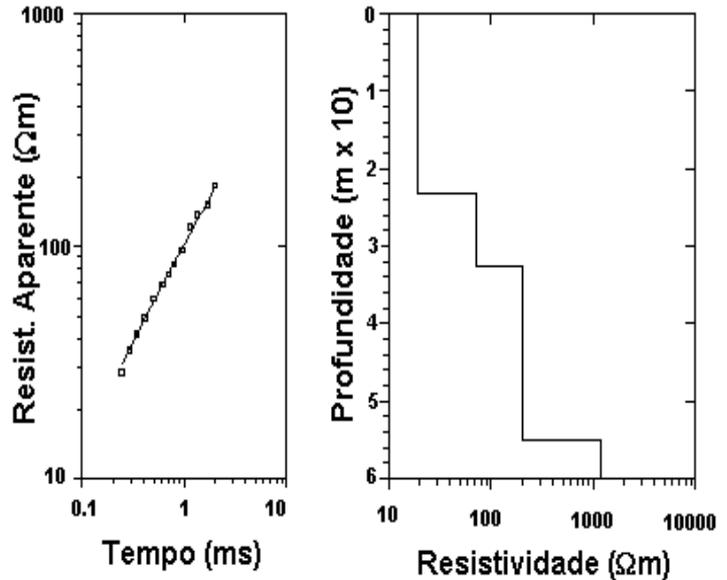


Figura 3. Sondagem TEM N° 1 no setor W e seu modelo

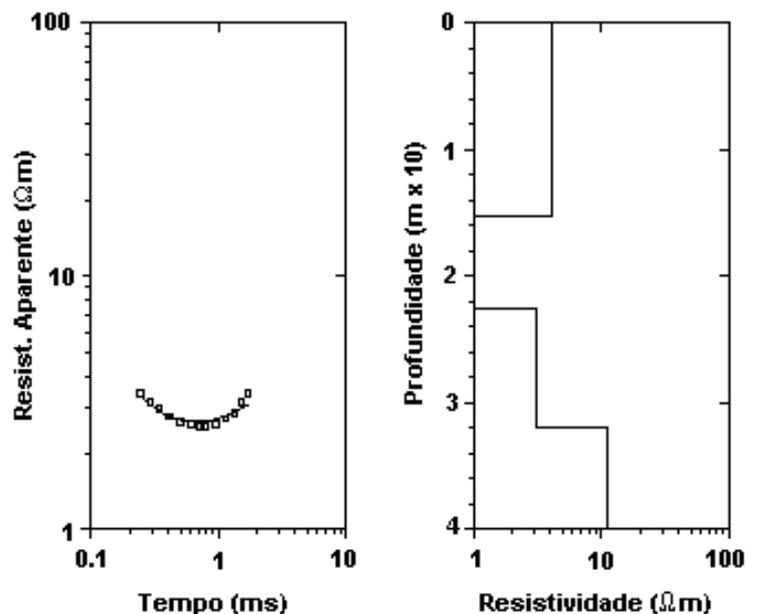


Figura 4. Sondagem TEM N° 4 no setor E e seu modelo.

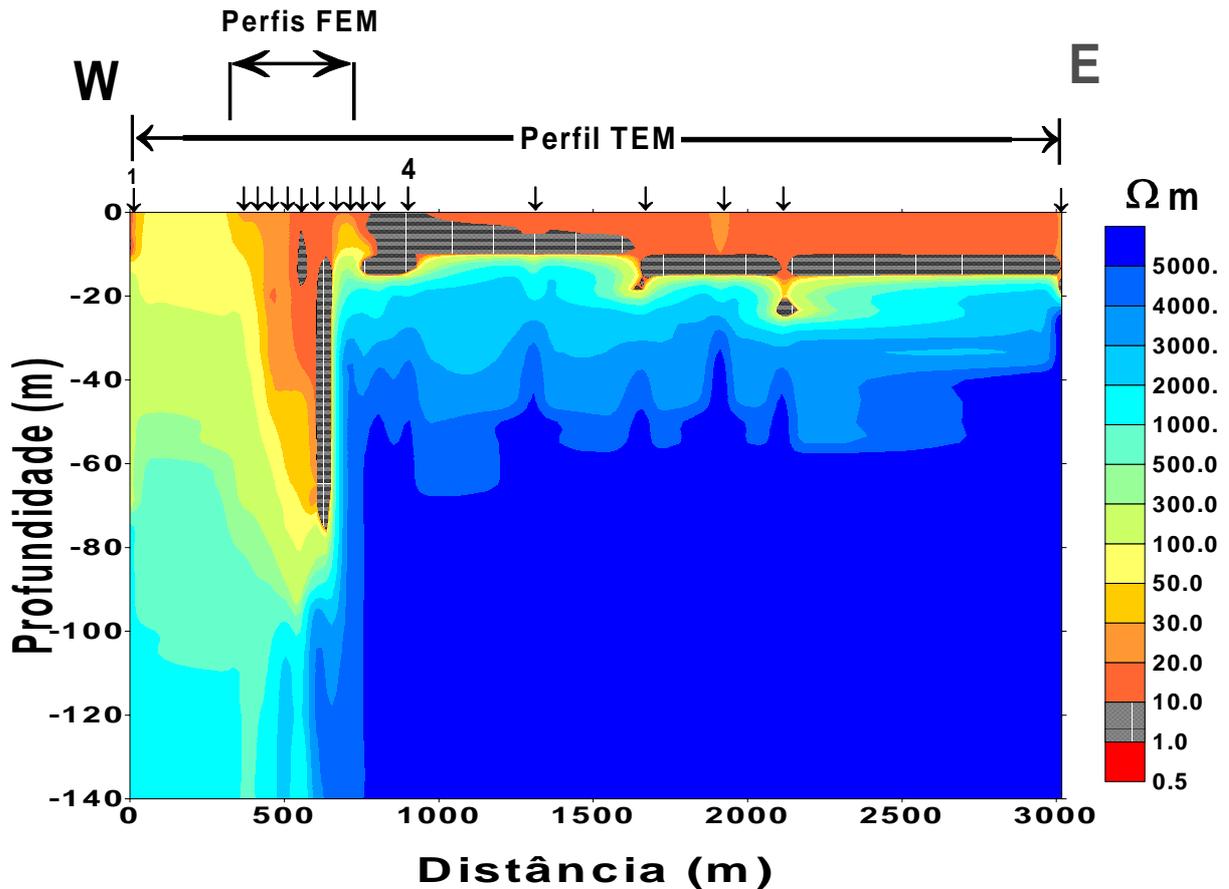


Figura 5. Seção Geoelétrica com o método TEM

REFERÊNCIAS

DRM/PETROBRAS. 1997. *Mapa Geológico do Estado do Rio de Janeiro*, escala 1:400000.

INTERPEX, Ltd. 1996. *Manual de Operação do Software TEMIXXL*. Vol. I e II.

Meju, M.A., Fontes, S.L. & Oliveira, M.F.B., 1993. *Joint TEM/AMT feasibility studies in Parnaíba basin, Brazil: Geoelectrostratigraphy and Groundwater Resource evaluation in Piauí State*, *Anais do 3º Congresso Internacional da Sociedade Brasileira de Geofísica*, Rio de Janeiro, p 1373-1378.

Mello, L.C. 1995. *Possibilidade de água subterrânea como alternativa na recuperação da citricultura no Distrito de São Vicente, Município de Araruama-RJ*. *Anais do 4º Congresso Internacional da Sociedade Brasileira de Geofísica*, Rio de Janeiro, p. 1013-1016.

Mourão, L.M.F. 1995. *Base de Dados de Projetos Aerogeofísicos do Brasil (Aero)*. *Anais do 4º Congresso Internacional da Sociedade Brasileira de Geofísica*, Rio de Janeiro, p. 237-239.

Mourão, L.M.F.; Monteiro, A.C; dos Anjos, I.L.S.; Escobar, I.P.; Sinclair, R. & Grastry, R.L. 1997. *Aplicação da técnica de back-calibration no Brasil para conversão de dados aerogamaespectométricos de cps para concentração de elementos*. *Anais do V Simpósio de Geologia do Sudeste, Penedo, Itatiaia-RJ*, p. 331-333

Ward, S.H. 1990. *Geotechnical and Environmental Geophysics*. Vol. I: Review and Tutorial; Vol. II: Environmental and Groundwater; Vol. III: Geotechnical. *Society of Exploration Geophysicist, Tulsa*. 389, 342 and 300 pp.