



**Universidade Federal do Rio de Janeiro
CCMN - Instituto de Geociências
Departamento de Geologia
Setor de Geologia de Engenharia e Ambiental**



Estágio de Campo IV

FAGNER OLIVEIRA DE ALMEIDA

Orientadora: Paula Lucia Ferrucio da Rocha

**Uso da Eletrorresistividade
na Prospecção de
Água Subterrânea na Localidade de
Campos de Goytacazes - Rio de Janeiro**

Fevereiro/2003

**Universidade Federal do Rio de Janeiro
CCMN - Instituto de Geociências
Departamento de Geologia
Setor de Geologia de Engenharia e Ambiental**

Estágio de Campo IV

FAGNER OLIVEIRA DE ALMEIDA

Orientadora: Paula Lucia Ferrucio da Rocha

Uso da Eletrorresistividade na Prospecção de *Água Subterrânea* na Localidade de Campos de Goytacazes - Rio de Janeiro

Relatório apresentado ao Departamento de Geologia da UFRJ como parte dos requisitos para obtenção do título de BACHAREL EM GEOLOGIA.

Fevereiro/2003

AGRADECIMENTOS

A UFRJ e a todos os professores de disciplinas cursadas, sem eles seria impossível o aprendizado de geologia, e a execução deste relatório.

Ao Instituto de Geociências e ao Departamento de Geologia pela infra-estrutura fornecida, durante todos os anos de graduação.

A professora Paula Ferrucio da Rocha e ao engenheiro Roberto Plastino, pelo suporte e aprendizado fornecidos durante toda a execução deste relatório.

Aos Professores Julio Cezar Mendes, Isabel Pereira Ludka e Hélio Monteiro Penha, que durante todo o curso de geologia foram meus grandes incentivadores.

Ao geólogo do DRM Aderson Marques Martins e ao ITERJ pela infra-estrutura fornecida durante os trabalhos de campo.

Aos amigos da turma de 97 do curso de geologia que sempre se fizeram presente: Alexandre Xicrete Cruz, Charles Xupinsk Young, Felipe Buneco Medeiros, Gabriel Presuntinho Guerra, Julia Fresquinha Brazil, Leonardo Motoboy Branco, Mauro Justiceiro Torres e Roberto Gigante Baldanza. Valeu por todos os momentos.

Aos “agregados” da turma de 97: Zaque Treme-treme Alves e Elisa Negão Auler, e em especial aos amigos Andersom Gogó Martins, Leonardo Esponja Penha. Muito obrigado.

Aos amigos: Carlos Dudinha Catunda e Luis Piu-piu Beckenstein que sempre estão dispostos a me criticar, valeu MARDITOS.

A minha namorada Fernanda Pires Lebeis Torres por todos os momentos bons que passo ao seu lado, com você tudo se torna especial.

Aos meus pais Alexandre Souza Almeida e Neide Farinha de Oliveira, que em nenhum momento da minha vida deixam de me apoiar e incentivar, amo vocês.

A minha irmã Andréia Oliveira Almeida, você é o grande amor da minha vida, te amo!!!

RESUMO

Este projeto foi realizado na região de Campos dos Goytacazes - RJ, visando à prospecção de água subterrânea. Os resultados foram utilizados para avaliar a profundidade do embasamento cristalino auxiliando no planejamento de possíveis locais para locação de poços. O levantamento geofísico por eletrorresistividade, usou a técnica de sondagens elétricas verticais (SEV'S) com o arranjo de schulumberger.

A pesquisa bibliográfica indica que o aquífero nesta região encontra-se localizado no embasamento fraturado. Logo, para podermos definir onde se encontrava a água subterrânea bastaríamos definir a profundidade do embasamento. Com a análise e interpretação dos dados foi possível verificar que as rochas cristalinas (Unidade São Fidelis) encontram-se a uma profundidade variando entre 13 e 23 metros cobertas por sedimentos fluviais (Quaternário). Os dados obtidos nesta pesquisa são bastante coerentes com estudos realizados em áreas circunvizinhas.

Este trabalho está inserido no **PROGRAMA DE COMUNIDADES AGRÍCOLAS** no **PROJETO DE ASSENTAMENTO ANTÔNIO DE FARIAS** do Instituto de Terras e Cartografia do Estado do Rio de Janeiro (ITERJ) e foi realizado como colaboração ao Departamento de Recursos Minerais do Estado do Rio de Janeiro (DRM).

ÍNDICE

| | |
|--|-----------|
| AGRADECIMENTOS | ii |
| RESUMO | iv |
| ÍNDICE | v |
| LISTA DE FIGURAS | vii |
| LISTA DE TABELAS | viii |
| LISTA DE ANEXOS | ix |
| | |
| 1 INTRODUÇÃO | 1 |
| | |
| 2 OBJETIVOS | 3 |
| | |
| 3 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA | 4 |
| | |
| 4 FUNDAMENTOS DOS MÉTODOS ELÉTRICOS | 7 |
| 4.1 APLICAÇÃO DO MÉTODO DA ELETORRESISTIVIDADE | 7 |
| 4.2 SONDAGEM ELÉTRICA VERTICAL | 8 |
| 4.3 ARRANJO DE ELETRODOS | 11 |
| | |
| 5 METODOLOGIA | 12 |
| 5.1 LEVANTAMENTO BIBLIOGRÁFICO | 12 |
| 5.2 LEVANTAMENTO GEOFÍSICO | 12 |
| | |
| 6 GEOLOGIA REGIONAL | 21 |
| | |
| 7 ÁREA DA PESQUISA | 22 |
| 7.1 ASPECTOS FISIAGRÁFICOS | 22 |
| 7.1.1 RELEVO | 22 |
| 7.1.2 SOLO | 23 |

| | |
|---------------------------------------|----|
| 7.2 ASPECTOS GEOLÓGICOS | 23 |
| 7.3 ASPECTOS HIDROGEOLÓGICOS | 24 |
| 8 ANÁLISE DOS RESULTADOS | 25 |
| 8.1 CARACTERÍSTICAS DAS SEV'S NA ÁREA | 25 |
| 9 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES | 27 |
| 10 BIBLIOGRAFIA | 29 |
| 11 ANEXOS | 31 |

LISTA DE FIGURAS

| | | |
|----------|--|----|
| FIGURA 1 | Localização da área | 5 |
| FIGURA 2 | Configuração do arranjo Schulumberger. | 9 |
| FIGURA 3 | Esquema de penetração da corrente nas camadas em subsuperfície | 10 |
| FIGURA 4 | Variedade de arranjo de eletrodos | 11 |
| FIGURA 5 | Levantamento de Campo | 13 |
| FIGURA 6 | Visão da serra da Itaóca | 22 |
| FIGURA 7 | Retirada de água do horizonte superficial | 26 |

LISTA DE TABELAS

| | | |
|----------|--|----|
| TABELA 1 | Exemplo de valores de resistividade | 8 |
| TABELA 2 | Dados originais de campo já processados, SEV A | 15 |
| TABELA 3 | Dados originais de campo já processados, SEV B | 16 |
| TABELA 4 | Dados originais de campo já processados, SEV C | 17 |
| TABELA 5 | Dados originais de campo já processados, SEV D | 18 |
| TABELA 6 | Dados originais de campo já processados, SEV E | 19 |
| TABELA 7 | Dados originais de campo já processados, SEV F | 20 |
| TABELA 8 | Dados do aquífero fraturado | 24 |
| TABELA 9 | Resultado das SEV's | 26 |

LISTA DE ANEXOS

| | | |
|---------|-----------------------|----|
| ANEXO 1 | Modelo final da SEV A | 32 |
| ANEXO 2 | Modelo final da SEV B | 32 |
| ANEXO 3 | Modelo final da SEV C | 33 |
| ANEXO 4 | Modelo final da SEV D | 33 |
| ANEXO 5 | Modelo final da SEV E | 34 |
| ANEXO 6 | Modelo final da SEV F | 34 |

1 – INTRODUÇÃO

Nesse relatório são apresentados os dados obtidos com um levantamento de geofísica executados com o método da eletrorresistividade e discutidos os resultados.

Este projeto foi desenvolvido com total apoio do Instituto de Terras e Cartografia do Estado do Rio de Janeiro (ITERJ) e do Departamento de Recursos Minerais do Estado do Rio de Janeiro (DRM-RJ), na localidade de Campos de Goytacazes no Estado do Rio de Janeiro.

Sabe-se que atualmente o movimento dos “sem terra” exerce grande pressão sobre os governos, buscando soluções para os problemas das comunidades rurais que há muitos anos sofrem com o descaso total das autoridades. Em vários estados estão sendo destinadas áreas para o desenvolvimento de projeto de assentamento rurais.

A área de estudo foi destinada para o assentamento de um grupo de agricultores. No decorrer do trabalho foi notado um grave problema de escassez de água para consumo doméstico e para irrigação, sendo este, um dos mais antigos desafios em nosso país, ou seja, captar e distribuir água à população. Ainda hoje, à beira do terceiro milênio, diversas regiões brasileiras sofrem com a falta de água. A grande maioria das vezes, provocadas por secas freqüentes e cíclicas que impossibilitam a manutenção da água nos rios locais, de onde, por força de um hábito secular, se retira à água para abastecimento, fora à seca, algumas regiões, apesar da riqueza hídrica, não recebem água tratada encanada por falta de recursos financeiros suficientes que permitam à administração local manter um complexo de captação, tratamento e distribuição deste bem mineral.

Observando que o principal objetivo de um assentamento rural é justamente recolocar estas comunidades no campo dando a elas oportunidades de plantar e cultivar, a existência de água é imprescindível para que estas famílias tenham condições dignas de se fixarem.

Na área que compreende este estudo, os assentados não se viram em outra opção a não ser recorrer aos órgãos do Governo do Estado responsáveis por este assentamento que são o ITERJ e o DRM. Estes órgãos definiram que uma das possibilidades de solucionar este problema seria a alocação de poços para a captação da água subterrânea. Tendo em vista que estes órgãos não dispunham, em seus quadros de funcionários, de

geofísicos capacitados para executarem esta tarefa, necessitariam de apoio externo a fim de definir possíveis locais para a locação dos poços.

Neste momento o DRM solicitou a colaboração da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) através do laboratório de geofísica do Departamento de Geologia para a execução dos serviços através de uma equipe de geofísicos uma vez que este laboratório dispõe de equipamentos para este tipo de trabalho. Tendo sido nomeado o aluno de graduação Fagner Almeida para executar o levantamento auxiliado por um técnico do laboratório o Engenheiro Roberto Plastino.

Usamos no levantamento geofísico um eletrorresistivímetro, que está sendo desenvolvido pelo laboratório com a coordenação do Engenheiro Roberto Plastino, encontrando-se em fase de aprimoramento.

Os trabalhos foram executados nos meses de outubro e novembro de 2002 e, durante os trabalhos iniciais de campo tivemos também o auxílio e o acompanhamento do Hidrogeólogo do DRM Aderson Martins.

A pesquisa inicialmente partiu para o reconhecimento geral da área de trabalho, bem como as condições de trabalho no campo, sendo definidos assim os possíveis locais para a alocação dos poços, o principal parâmetro para a escolha da localidade foi à proximidade das moradias, definido-se os pontos, partiu-se para um estudo mais aprofundado nestes locais, sendo feitas às sondagens elétricas verticais (SEV'S) com a configuração Schulumberger.

2 - OBJETIVOS

O objetivo principal da presente pesquisa é definir a profundidade da água subterrânea, a fim de fornecer informações que ajudem ao DRM e ao ITERJ a locação de poços, possibilitando assim optarem pela melhor forma de utilização do potencial hídrico da região e, avaliarem a potencialidade de exploração dos aquíferos locais além de fornecer elementos para uma análise de custo entre o abastecimento através de água superficial e de água subterrânea.

Um segundo objetivo traçado para este projeto foi a elaboração de perfis para uma melhor interpretação da geologia local a fim de apoiar as interpretações hidrogeológicas.

Como terceiro objetivo da presente pesquisa pode-se apontar geração de um banco de dados básico para subsidiar a elaboração de diretrizes para a implementação de gestão de recursos hídricos subterrâneos na região.

3 - LOCALIZAÇÃO DA ÁREA

A área em estudo chama-se Fazenda do Pau Funcho no distrito de Ururaí, encontra-se geomorfologicamente as margens do Rio Ururaí, próximo a Serra da Itaóca e a Lagoa de Cima.

O distrito de Ururaí situa-se na cidade de Campos dos Goytacazes, na região norte do estado do Rio de Janeiro, distando da capital, cerca de 275 km pela rodovia federal BR 101.

A cidade de Campos faz divisa ao norte com o estado do Espírito Santo, a nordeste com o município de São Francisco de Itabapoana, a leste com o município de São João da Barra e o oceano Atlântico, ao sul com os municípios de Quissamã, Conceição de Macabú e Santa Maria Madalena, a oeste com São Fidélis e a noroeste com Cardoso Moreira, Italva e Bom Jesus do Itabapoana. Ver figura 1

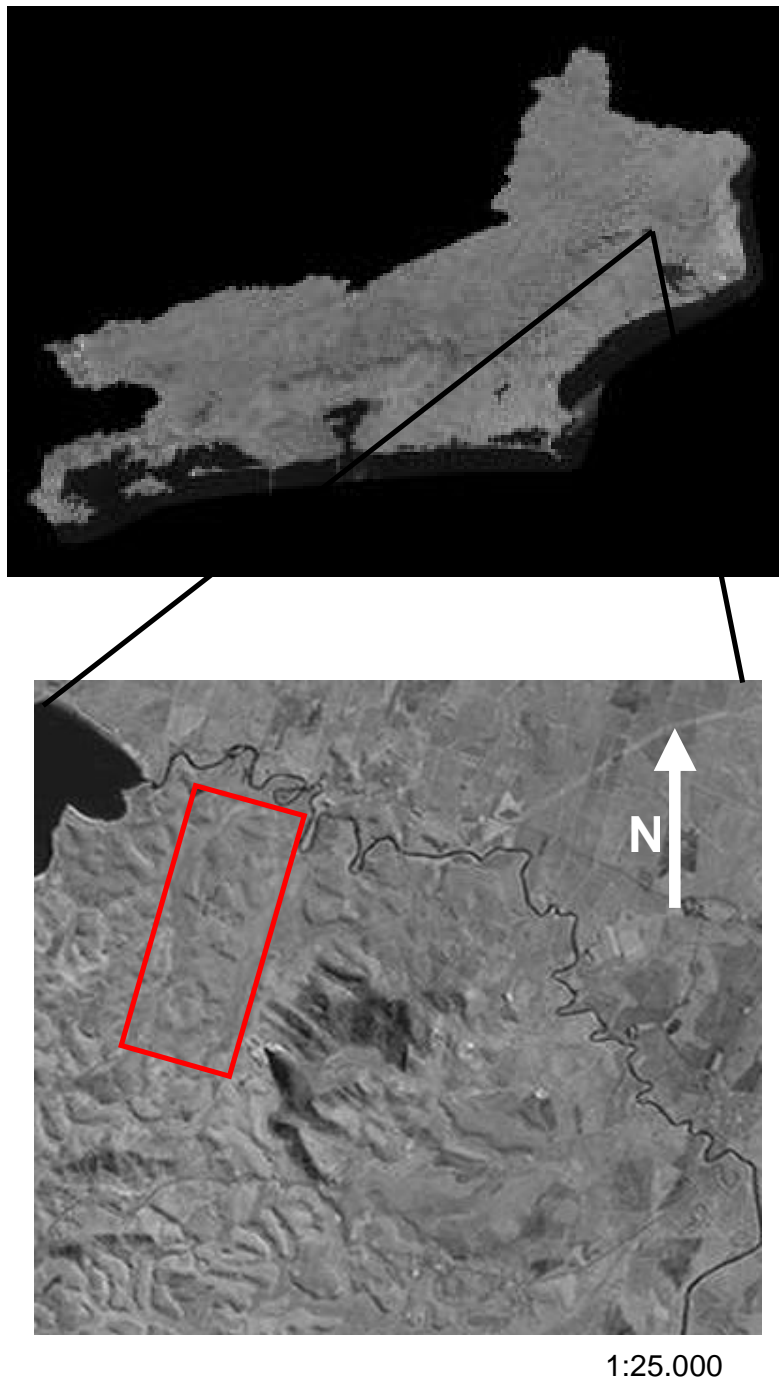


Figura 1: mapa de localização da área (Embrapa, monitoramento por satélite).

4 – FUNDAMENTOS DOS MÉTODOS ELÉTRICOS

A investigação geofísica através de métodos geoeletricos (inclui-se nestes métodos os elétricos e os eletromagnéticos) envolve a detecção, na superfície dos terrenos, dos efeitos produzidos pelo fluxo de corrente elétrica em subsuperfície. São vários os métodos disponíveis atualmente, para medição dos parâmetros relacionados ao fluxo da corrente elétrica, e podem ser classificados em dois grupos: os que utilizam fontes naturais e os que utilizam fontes artificiais (induzidas).

Com os métodos geoeletricos é possível medir correntes elétricas, diferenças de potencial e campos eletromagnéticos entre dois pontos na superfície. Os contrastes entre as várias propriedades elétricas das rochas, dos sedimentos e dos minerais viabilizam a utilização dos métodos geoeletricos como forma de investigação geológico-geotécnica.

As medições realizadas através dos métodos geoeletricos não fornecem informações absolutas de cada unidade geológica, mas medidas aparentes que representam uma resposta global de um certo volume, por onde a maior parte da corrente elétrica se propaga. Estes métodos medem impedâncias, que, quando analisadas, permitem avaliar a distribuição das propriedades elétricas em subsuperfície. É papel do geofísico elaborar a correlação destas propriedades com as características geológicas do material subjacente.

Os métodos geoeletricos são amplamente empregados para:

- Determinação da geometria do corpo rochoso;
- Caracterização de estratos sedimentares;
- Identificação de zonas de falhas, zonas alteradas, contatos, cavidades e diques;
- Localização de corpos condutores (sulfetos maciços, grafita, etc.)
- Identificação de água subterrânea;
- Profundidade do embasamento rochoso;

Os equipamentos utilizados para as medidas geoeletricas compreendem uma fonte de energia (baterias ou geradores), que alimentam uma unidade transmissora, conectadas aos eletrodos de corrente (AB) e uma unidade de recepção conectada aos eletrodos MN.

4.1 - APLICAÇÃO DO MÉTODO DA ELETRORESISTIVIDADE

Dentre as principais propriedades elétricas utilizadas na investigação geométrica destaca-se a eletroresistividade, que diz respeito à dificuldade encontrada pela corrente elétrica para se propagar num meio qualquer. Nas rochas, os mecanismos de propagação de corrente elétrica podem ser eletrônicos ou iônicos. O primeiro é devido ao transporte de elétrons na matriz da rocha, governado pelo modo de agregação dos minerais e do grau de impurezas, o segundo refere-se ao deslocamento de íons presentes na água contida nos poros e fissuras da rocha.

Dentre todas as propriedades físicas das rochas e dos minerais, a resistividade elétrica é que apresenta maior intervalo e variações, pode atingir valores tão pequenos quanto 10^{-5} ohm.m para minerais metálicos, como valores tão grandes como 10^7 ohm.m para sedimentos extremamente secos ou rochas como gábro. Um mesmo tipo de rocha pode também apresentar variações muito grandes deste parâmetro em função, por exemplo, do conteúdo de eletrólitos.

A condução elétrica em sedimentos e em rochas próximas à superfície é basicamente iônica e ocorre ao longo dos poros interconectados. Os íons que conduzem a corrente resultam da dissociação de sais, quando dissolvidos na água. Na ausência de minerais de argila, a porosidade e a permeabilidade passam a ser fatores de extrema importância, quando se analisa a resistividade elétrica de um meio. Entretanto, a presença de argila, que possui grande capacidade de troca iônica, viabiliza um caminho adicional de condução de corrente elétrica, além do caminho iônico.

Outro fator que condiciona fortemente a resistividade elétrica de um meio é a sua textura. Um arenito bem selecionado apresenta maior volume de espaços vazios para o armazenamento do eletrólito e, conseqüentemente, possui menor resistividade; ao contrário, menor porosidade significa maior resistividade. A Tabela abaixo mostra alguns exemplos de valores deste parâmetro em algumas rochas e minerais.

Os dados de eletroresistividade podem ser apresentados de várias formas, como perfis, seções, pseudo-seções e plantas de isovalores de resistividades aparentes.

| Mineral ou rochas | Resistividade em ohm.m |
|-------------------|-------------------------|
| BAUXITA | 200 - 6000 |
| ÁGUA SUPERFICIAL | 10 - 100 |
| ÁGUA DO MAR | 0,2 |
| GRAFITA | $10^{-4} - 5 * 10^{-3}$ |
| BASALTO | $10 - 1,3 * 10^7$ |
| XISTO | $20 - 10^4$ |
| GNAISSE | $3 * 10^6$ |
| QUARTZITO | $10 - 2 * 10^8$ |
| ARGILAS | $20 - 2 * 10^3$ |
| ARENITOS | $1 - 6.4 * 10^8$ |
| CALCÁRIOS | $50 - 10^7$ |
| CONGLOMERADOS | $2 * 10^3 - 10^4$ |

Tabela 1: exemplo de valores de resistividade (modif. De Telford et al.,1990)

Os métodos de medição de eletrorresistividade são dois: a sondagem elétrica vertical e o caminhamento elétrico, neste relatório nos preocuparão somente com o método da sondagem elétrica vertical, que foi o usado no levantamento geofísico da área.

4.2 - A SONDAGEM ELÉTRICA VERTICAL (SEV)

O método consiste em medir, na superfície terrestre, o parâmetro resistividade elétrica com o emprego de um arranjo de eletrodos de emissão (AB) e de recepção (MN). (ver figura 2)

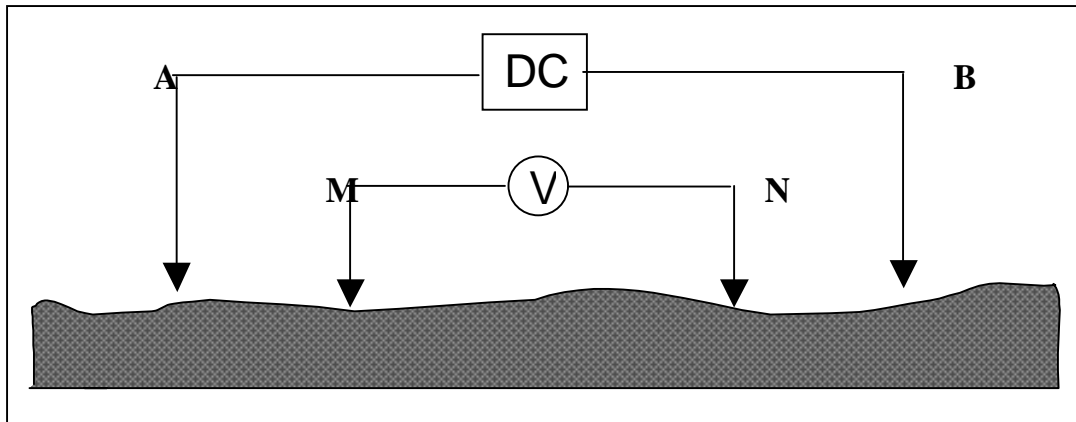


Figura 2: Configuração do arranjo Schulumberger.

Uma corrente I é enviada entre os eletrodos AB , e entre MN é medida a diferença de potencial resultante V . Deste modo, a resistência aparente (R) da porção do subsolo sob MN é dada por:

$$R = V / I$$

E a resistividade (ρ) é dada por:

$$R = \rho \frac{L}{A} \quad ; \quad \rho = R \frac{A}{L}$$

A razão A/L corresponde a uma constante geométrica (K), esta constante depende do arranjo dos eletrodos, para arranjo schulumberger é dado por:

$$K = \frac{2\Pi}{\frac{1}{AM} - \frac{1}{AN} + \frac{1}{BN} - \frac{1}{BM}}$$

Aumentando-se a distancia entre os eletrodos de corrente AB , o volume total da subsuperfície, incluída na medida, também aumenta, permitindo alcançar camadas cada vez mais profundas. A resistividade elétrica medida, representa a resistividade media de todo volume de material, entre a superfície e o ponto investigado em profundidade.

O principal objetivo da seiv é o estudo da distribuição vertical, abaixo do ponto de interesse na superfície, do parâmetro resistividade elétrica. Um melhor resultado da aplicação desta técnica sempre ocorrerá em terrenos lateralmente homogêneos composto de camadas estratificadas plano-paralelas.

Esta técnica tem fornecido subsídios fundamentais em estudos de investigações de áreas para grandes obras civis, como barragens, portos e túneis. No campo dos problemas ambientais, os resultados destes ensaios desempenham papel fundamental, na medida que subsidiam estudos de monitoramento ambiental, como em áreas contaminadas, e auxiliam no processo de escolha de áreas para aterro sanitário.

Observe o comportamento da corrente em subsuperfície (figura 3)

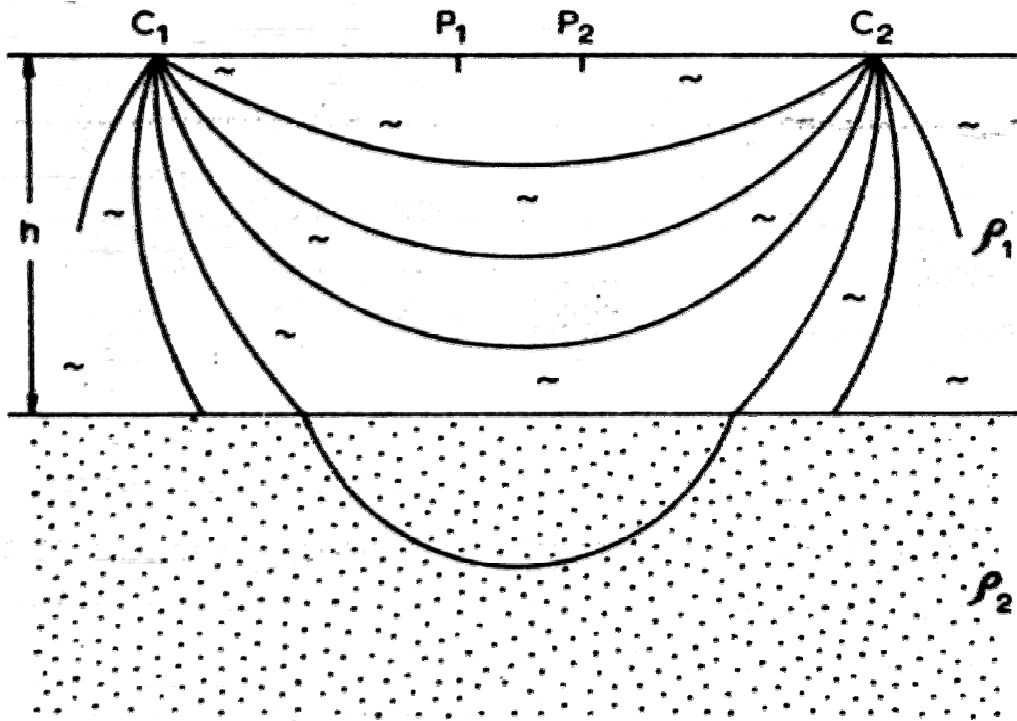


Figura 3: O esquema mostra como se dá a penetração da corrente nas camadas em subsuperfície

4.3 – ARRANJO DE ELETRODOS

Segundo Fernandes, 2000 não existe nenhum aspecto restritivo quanto à distribuição relativa dos eletrodos de corrente e de potencial. Diversas distribuições foram bastante pesquisadas e nomeadas os arranjos de eletrodos mais utilizados são os de Schulumberger e Wenner. Uma discussão exaustiva sobre a preferência entre um e outro arranjo, incluindo suas vantagens e desvantagens, está na literatura (leite e Macêdo, 1982 apud Cavalcanti, 1999). Existe uma ligeira tendência a se preferir o arranjo Schulumberger, devido as suas vantagens operacionais e econômicas e, em muitos casos, pela melhor qualidade das curvas de campo.

Em relação ao arranjo Schulumberger (usado nesta pesquisa), a disposição apresentada (figura 2) representa a maneira real da aplicação, ou seja, com quatro eletrodos.

A distância entre os eletrodos de potencial. M e N é mantida fixa enquanto a capacidade do instrumento de medir o potencial esteja garantida. Como geralmente não é possível realizar toda a sondagem com uma única abertura de MN, em face de diminuição do sinal recebido, e conseqüentemente perda da precisão da leitura, utiliza-se repetir a medida de resistividade em alguns pontos com dois valores de MN. Este procedimento permite corrigir efeitos de eletrodos que ocorrem quando há troca na posição de MN.

A figura abaixo mostra outros arranjos de eletrodos existentes.

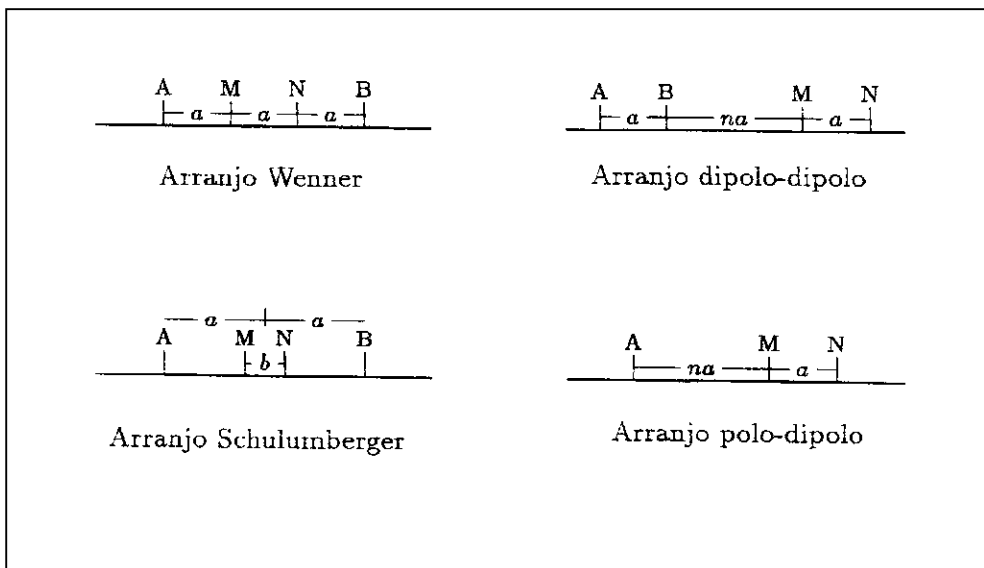


Figura 4: variedade de arranjo de eletrodos (extraído de Fernandes, 2000)

5 – METODOLOGIA

Nesse capítulo são apresentados os procedimentos executados para o cumprimento dos objetivos desse trabalho.

5.1 – LEVANTAMENTO BIBLIOGRÁFICO

Esta etapa do relatório contou com grande contribuição do geólogo Aderson Martins.

As informações necessárias foram adquiridas a partir de documentos disponíveis em bibliotecas da UFRJ, do DRM e na internet, criando-se assim um banco de informações composto de Mapas da área, imagens de satélite, informações de poços, informações da geologia local e regional.

5.2 – LEVANTAMENTO GEOFÍSICO

Buscando identificar as características do substrato rochoso nesta localidade, o projeto planejou um levantamento geoeletrico.

Para estes levantamentos foi usado o método de eletrorresistividade com arranjo de eletrodos segundo a configuração Schulumberger, com espaçamento de $AB/2$ variando entre 1 e 200 metros. O levantamento foi realizado através de sondagens elétricas verticais (SEV'S) e a localização do centro das SEV'S foi determinada pelas possíveis localidades para alocação de poços. A abertura dos cabos para os eletrodos foi limitada por drenagens e estradas. Este serviço teve como responsável o engenheiro Roberto Plastino. Ver figura 5.



Figura 5: levantamento de Campo



Nesta fase foram realizadas 6 SEV'S que possibilitou o conhecimento do substrato rochoso bem como a ocorrência de água subterrânea. O processamento dos dados para o cálculo da resistividade aparente podem ser observados nas tabelas abaixo. Onde:

AB/2 - metade do espaçamento do eletrodo de corrente AB.

MN - espaçamento do eletrodo MN

v - tensão medida

Gv – ganho da tensão

Δv – valor verdadeiro da tensão

i – corrente medida

Gi – ganho de corrente

I – valor verdadeiro de corrente

R – Resistência

K – constante para arranjo schulumberger.

ρ_a – resistividade

SEV A

| AB /2 | MN | V(mv) | Gv | Δv | i(mA) | Gi | I | R | K | $\rho_a(\Omega m)$ |
|-------|-----|-------|-----|--------------------|-------|-----|------|-----------------------|--------------------|--------------------|
| 1 | 1 | 3,55 | 2,5 | $1,42 \times 10^3$ | 2,43 | 100 | 24,3 | 58,4 | 2,36 | 138 |
| 2 | 1 | 3,03 | 10 | 303 | 3,71 | 100 | 37,1 | 8,17 | 11,8 | 96 |
| 3.5 | 1 | 3,95 | 100 | 39,5 | 1,24 | 100 | 12,4 | 3,19 | 37,7 | 12 |
| 3.5 | 2 | 2,19 | 25 | 87,6 | 1,24 | 100 | 12,4 | 7,06 | 17,7 | 125 |
| 6 | 1 | 3,70 | 100 | 37 | 4,08 | 100 | 40,8 | 0,907 | 112 | 102 |
| 6 | 2 | 3,97 | 50 | 79,4 | 4,10 | 100 | 41,0 | 1,94 | 55 | 107 |
| 10 | 2 | 1,94 | 100 | 19,4 | 3,26 | 100 | 32,6 | 0,595 | 156 | 92,8 |
| 20 | 2 | 2,25 | 100 | 22,5 | 8,51 | 50 | 170 | 0,132 | 626 | 82,9 |
| 20 | 4.5 | 2,67 | 50 | 53,4 | 9,65 | 50 | 193 | 0,277 | 275 | 76,1 |
| 35 | 2 | 3,71 | 500 | 7,42 | 5,21 | 25 | 208 | $35,7 \times 10^{-3}$ | $1,92 \times 10^3$ | 68,5 |
| 35 | 4.5 | 1,65 | 100 | 16,5 | 5,08 | 25 | 203 | $81,3 \times 10^{-3}$ | 851×10^3 | 69,2 |
| 60 | 4.5 | 2,73 | 500 | 5,46 | 4,35 | 25 | 174 | $31,4 \times 10^{-3}$ | $2,51 \times 10^3$ | 78,8 |
| 60 | 10 | 2,81 | 250 | 11,2 | 4,31 | 25 | 172 | $65,1 \times 10^{-3}$ | $1,12 \times 10^3$ | 72,9 |
| 100 | 4.5 | 1,21 | 500 | 2,42 | 6,42 | 50 | 128 | $18,9 \times 10^{-3}$ | $6,98 \times 10^3$ | 132 |
| 100 | 10 | 2,35 | 500 | 4,7 | 6,16 | 50 | 123 | $38,2 \times 10^{-3}$ | $3,13 \times 10^3$ | 120 |
| 200 | 10 | 1,38 | 500 | 2,76 | 5,03 | 50 | 101 | $27,3 \times 10^{-3}$ | $12,6 \times 10^3$ | 344 |
| 200 | 20 | 2,81 | 500 | 5,62 | 5,28 | 50 | 106 | $53,0 \times 10^{-3}$ | $6,27 \times 10^3$ | 332 |

Tabela 2: Dados originais de campo, preparados para o processamento.

SEV B

| AB /2 | MN | V(mv) | Gv | Δv | i(mA) | Gi | I | R | K | $\rho_a(\Omega m)$ |
|-------|-----|-------|-----|------------|-------|-----|-------|-------|---------------|--------------------|
| 1 | 1 | 2.5 | 2.5 | $1 * 10^3$ | 4.62 | 100 | 46.2 | 21.64 | 2.36 | 51.1 |
| 2 | 1 | 2.36 | 2.5 | 9.44 | 7.62 | 25 | 304.8 | 3.09 | 11.8 | 36.5 |
| 3.5 | 1 | 3.53 | 10 | 353 | 7.78 | 25 | 311.2 | 1.13 | 37.7 | 42.8 |
| 3.5 | 2 | 3.98 | 5 | 796 | 7.76 | 25 | 310.4 | 2.56 | 17.7 | 45.4 |
| 6 | 1 | 2.9 | 25 | 116 | 6.7 | 25 | 268.0 | 0.43 | 112 | 48.5 |
| 6 | 2 | 2.5 | 10 | 250 | 6.6 | 25 | 264.0 | 0.95 | 55 | 52.1 |
| 10 | 2 | 3.87 | 50 | 77.4 | 5.24 | 25 | 209.6 | 0.37 | 156 | 57.6 |
| 20 | 2 | 2.53 | 500 | 5.06 | 4.3 | 100 | 43.0 | 0.12 | 626 | 73.7 |
| 20 | 4.5 | 2.82 | 250 | 11.3 | 4.32 | 100 | 43.2 | 0.26 | 275 | 71.9 |
| 35 | 2 | 2.08 | 100 | 20.8 | 4.42 | 10 | 442 | 0.047 | $1.92 * 10^3$ | 90.3 |
| 35 | 4.5 | 2.34 | 50 | 46.8 | 4.43 | 10 | 443 | 0.105 | $851 * 10^3$ | 89.9 |
| 60 | 4.5 | 2.48 | 100 | 24.8 | 4.86 | 10 | 486 | 0.051 | $2.51 * 10^3$ | 128.1 |
| 60 | 10 | 2.67 | 50 | 53.4 | 4.9 | 10 | 490 | 0.109 | $1.12 * 10^3$ | 122.1 |

Tabela 3: Dados originais de campo, preparados para o processamento.

SEV C

| AB | MN | V(mv) | Gv | Δv | i(mA) | Gi | I | R | K | $\rho_a(\Omega m)$ |
|-----|-----|-------|------|------------|-------|-----|------|-------|------|--------------------|
| 1 | 1 | 2,4 | 2,5 | 960 | 0,20 | 100 | 2,0 | 480 | 2.36 | 1132.8 |
| 2 | 1 | 1,7 | 5,0 | 340 | 0,52 | 100 | 5,2 | 65.4 | 11.8 | 771.5 |
| 3.5 | 1 | 2,08 | 10,0 | 208 | 1,0 | 100 | 10 | 20.8 | 37.7 | 784.16 |
| 3.5 | 2 | 2,2 | 5,0 | 440 | 1,0 | 100 | 10 | 44 | 17.7 | 778.8 |
| 6 | 1 | 3,2 | 50,0 | 64 | 1,04 | 100 | 10,4 | 6.1 | 112 | 689.2 |
| 6 | 2 | 3,0 | 25 | 120 | 1,04 | 100 | 10,4 | 11.5 | 55 | 634.6 |
| 10 | 2 | 2,0 | 50,0 | 40 | 1,58 | 100 | 15,8 | 2.53 | 156 | 394.9 |
| 20 | 2 | 3,6 | 1000 | 3,6 | 1,06 | 100 | 10,6 | 0.34 | 626 | 212.6 |
| 20 | 4.5 | 2,2 | 250 | 8,08 | 1,06 | 100 | 10,6 | 0.762 | 275 | 209.6 |
| 35 | 2 | 1,8 | 250 | 7,2 | 8,1 | 100 | 81 | 0.089 | 1.92 | 170.6 |
| 35 | 4.5 | 1,9 | 100 | 19 | 8,1 | 100 | 81 | 0.234 | 851 | 199.6 |
| 60 | 4.5 | 1,65 | 100 | 16,5 | 7,3 | 50 | 146 | 0.113 | 2.51 | 183.6 |
| 60 | 10 | 1,9 | 50 | 38 | 7,3 | 50 | 146 | 0.260 | 1.12 | 291.5 |

Tabela 4: Dados originais de campo, preparados para o processamento.

SEVD

| AB /2 | MN | V(mv) | Gv | Δv | i(mA) | Gi | I | R | K | $\rho_a(\Omega m)$ |
|-------|-----|-------|-----|---------------|-------|-----|------|-------|---------------|--------------------|
| 1 | 1 | 3.45 | 2,5 | $1.38 * 10^3$ | 0.28 | 100 | 2.8 | 492.8 | 2.36 | 1163.1 |
| 2 | 1 | 1.33 | 5.0 | 266 | 0.78 | 100 | 7.8 | 34.1 | 11.8 | 402.4 |
| 3.5 | 1 | 1.24 | 10 | 124 | 0.78 | 100 | 7.8 | 15.89 | 37.7 | 599.3 |
| 3.5 | 2 | 2.75 | 10 | 275 | 0.74 | 100 | 7.4 | 37.16 | 17.7 | 657.8 |
| 6 | 1 | 2.2 | 50 | 44 | 0.98 | 100 | 9.8 | 4.49 | 112 | 502.8 |
| 6 | 2 | 2.15 | 25 | 86 | 0.98 | 100 | 9.8 | 8.77 | 55 | 482.6 |
| 10 | 2 | 1.62 | 100 | 16.2 | 0.62 | 100 | 6.2 | 2.61 | 156 | 407.6 |
| 20 | 2 | 2.36 | 500 | 4.72 | 0.7 | 100 | 7.0 | 0.67 | 626 | 422.1 |
| 20 | 4.5 | 2.82 | 250 | 11.3 | 0.7 | 100 | 7.0 | 1.61 | 275 | 443.9 |
| 35 | 2 | 2.05 | 100 | 20.5 | 6.68 | 100 | 66.8 | 0.31 | $1.92 * 10^3$ | 589.2 |
| 35 | 4.5 | 2.23 | 50 | 44.6 | 7.09 | 100 | 70.9 | 0.63 | $851 * 10^3$ | 535.3 |

Tabela 5: Dados originais de campo, preparados para o processamento.

SEVE

| AB /2 | MN | V(mv) | Gv | Δv | i(mA) | Gi | I | R | K | $\rho_a(\Omega m)$ |
|-------|-----|-------|------|--------------|-------|-----|------|-------|---------------|--------------------|
| 1 | 1 | 2.86 | 2,5 | $1.1 * 10^3$ | 0.32 | 100 | 3.2 | 357.5 | 2.36 | 843.7 |
| 2 | 1 | 1.84 | 10 | 1.84 | 0.14 | 100 | 1.4 | 131.4 | 11.8 | 1550.8 |
| 3.5 | 1 | 1.48 | 10 | 1.48 | 0.8 | 100 | 8.0 | 18.5 | 37.7 | 697.4 |
| 3.5 | 2 | 3.3 | 10 | 3.3 | 0.8 | 100 | 8.0 | 41.25 | 17.7 | 730.1 |
| 6 | 1 | 2.68 | 25 | 2.68 | 3.14 | 100 | 31.4 | 3.41 | 112 | 382.4 |
| 6 | 2 | 2.63 | 25 | 2.63 | 1.38 | 100 | 13.8 | 7.6 | 55 | 419.3 |
| 10 | 2 | 1.87 | 50 | 1.87 | 2.58 | 100 | 25.8 | 1.45 | 156 | 226.1 |
| 20 | 2 | 2.55 | 1000 | 2.55 | 1.86 | 100 | 18.6 | 0.137 | 626 | 85.8 |
| 20 | 4.5 | 3.23 | 500 | 3.23 | 1.86 | 100 | 18.6 | 0.347 | 275 | 95.5 |
| 35 | 2 | 2.2 | 1000 | 2.2 | 3.4 | 100 | 34.0 | 0.065 | $1.92 * 10^3$ | 124.2 |
| 35 | 4.5 | 2.54 | 500 | 2.54 | 3.36 | 100 | 33.6 | 0.151 | $851 * 10^3$ | 128.7 |

Tabela 6: Dados originais de campo, preparados para o processamento.

SEV F

| AB | MN | V(mv) | Gv | Δv | i(mA) | Gi | I | R | K | $\rho_s(\Omega m)$ |
|-----|-----|-------|-----|------------|-------|-----|------|-------|---------------|--------------------|
| 1 | 1 | 3.1 | 25 | 124 | 0.04 | 100 | 0.4 | 310 | 2.36 | 731.6 |
| 2 | 1 | 3.37 | 10 | 330 | 0.08 | 100 | 0.8 | 412.5 | 11.8 | 4867.5 |
| 3.5 | 1 | 1.51 | 10 | 151 | 0.24 | 100 | 2.4 | 62.9 | 37.7 | 2371.9 |
| 3.5 | 2 | 2.96 | 10 | 296 | 0.24 | 100 | 2.4 | 123.3 | 17.7 | 2183 |
| 6 | 1 | 2.46 | 25 | 98.4 | 1.34 | 100 | 13.4 | 7.34 | 112 | 822.4 |
| 6 | 2 | 1.73 | 10 | 173 | 1.36 | 100 | 13.6 | 12.7 | 55 | 699.6 |
| 10 | 2 | 2.96 | 100 | 29.6 | 1.5 | 100 | 15.0 | 1.97 | 156 | 307.8 |
| 20 | 2 | 2.22 | 100 | 22.2 | 5.62 | 100 | 56.2 | 0.39 | 626 | 247.3 |
| 20 | 4.5 | 2.61 | 50 | 52.2 | 5.54 | 100 | 55.4 | 0.94 | 275 | 259.1 |
| 35 | 2 | 2.70 | 250 | 10.8 | 4.59 | 100 | 45.9 | 0.23 | $1.92 * 10^3$ | 451.8 |
| 35 | 4.5 | 1.82 | 100 | 18.2 | 4.92 | 100 | 49.2 | 0.37 | $851 * 10^3$ | 314.8 |

Tabela 7: Dados originais de campo, preparados para o processamento.

6 – GEOLOGIA REGIONAL

No mapeamento executado pelo DRM/RJ em 1981 (Folha Campos) foi descrita uma unidade do Pré-Cambriano (Unidade São Fidélis), constituída de migmatitos e gnaisses, um maciço granítico, várias porções de sedimentos terciários (Formação Barreiras) ocorrendo como franjas junto ao Pré-Cambriano e grandes áreas ocupadas por sedimentos Quaternários (sedimentos fluviais, paludais e litorâneos).

Unidades Mapeadas:

Unidade São Fidélis: As rochas dessa Unidade são migmatitos constituídos predominantemente de (k-feldspato), granada, sillimanita, biotita, quartzo e plagioclásio-andesina. Gnaisses, de foliação marcante e granulometria de media a grosseira, textura granoblástica a porfiroblástica. Compõem estruturas magmáticas tipo estromática e subordinadamente, nebulítica e “schlieren”, apresentam domínios restritos da "Suíte charnockítica”.

Granito Itaóca: Granito cinza claro de granulação media textura granular xenomórfica e em vários locais porfiroblástica com porfiroblastos idiomórficos de k-feldspato. Rocha maciça constituída de k-feldspato, Plagioclásio, quartzo, biotita e acessórios. Sua origem está relacionada aos eventos do ciclo Brasileiro ou seja final do pré-cambriano.

Formação Barreiras: Unidade constituída por sedimentos continentais, pouco consolidados, caracterizados litologicamente por areias e conglomerados quartzosos, mal selecionados, com grãos subangulares, de canais fluviais. Estes sedimentos contêm grãos de feldspato caulinizados e apresentam matriz argilosa de coloração avermelhada e esbranquiçada (caulinítica).

Sedimentos Fluviais: Constitui a extensa planície de inundação, consiste em argilas e siltes micáceos de tonalidades de coloração cinza a cinza-amarelada e areias quartzosas mal selecionadas de coloração esbranquiçada ou acinzentada, por vezes conglomeráticas, micáceas, feldspáticas e apresentando estratificações plano paralelas de pequeno a médio porte de canais fluviais.

Sedimentos Paludais: unidade constituída pelos sedimentos depositados em ambientes de água doce a pouco salobra, formados pelos depósitos de lagos onde o sedimento característico é uma argila plástica de coloração que varia do cinza ao cinza-negro.

Sedimentos Litorâneos: Unidade constituída exclusivamente por areias

quartzosas litorâneas, de coloração branca a esbranquiçada, com granulometria variando de fina a grosseira, por vezes conglomeráticas medianamente selecionada, angular a subangular, apresentando traços de minerais pesados e representada pelos cordões de praia primitivos.

7 – ÁREA DA PESQUISA

7.1 - ASPECTOS FISIAGRÁFICOS

7.1.1 – RELEVO

Constituído basicamente por colinas suaves, neste contexto sobressai-se a serra da Itaóca (ver figura 6), a SE da área, com paredões escarpados e cota altimétrica de até 400m, constituindo um “inselberg” isolado no relevo predominantemente ondulado suave, este maciço granítico tem sua origem relacionada aos eventos do ciclo brasileiro, final do pré-cambriano.



Figura 6: visão da serra da Itaóca

7.1.2 - SOLO

Com base no Projeto RADAMBRASIL, 1983, podemos distinguir na área as seguintes classes de solo: Podzólico vermelho-amarelo e Orgânico.

- Nos solos Podzólico vermelho-amarelo amarelo. Em geral apresentam horizonte A variando de 10 a 30 cm e B textural típico do acúmulo de material translocado do horizonte A, geralmente profundo, variando de 70 a 150 cm, bem drenado e bastante suscetível à erosão.
- Os solos orgânicos são solos de coloração escura, hidromórficos, pouco evoluídos. Tem origem em depósitos de matéria vegetal em fase de decomposição sobre sedimentos fluviolacustres, também durante o Holoceno, mal drenados e com o horizonte superficial encharcado durante um bom período no ano.

7.2 – ASPECTOS GEOLÓGICOS

De acordo com o mapeamento executado pelo DRM (1981), esta área caracteriza-se por sedimentos Quaternários (Fluviais), depositados sobre o embasamento Pré-cambriano (Unidade São Fidelis).

A unidade São Fidelis encontra-se na área as margens da lagoa de Cima e é interceptada pelo maciço granítico Itaóca e recortada pelos vales fluviais com sedimentos quaternários, devido a grande alteração e erosão esta unidade confunde-se com sedimentos Terciários da formação Barreiras.

O maciço granítico Itaóca, não se resume apenas aos paredões de rochas frescas da Serra a Itaóca, mas também as partes intemperizadas em torno do maciço, confundindo-se no seu aspecto alterado com os sedimentos da formação Barreiras.

Os sedimentos Quaternários ocorrentes na área acompanham o baixo curso do Rio Ururáí.

7.3 – ASPECTOS HIDROGEOLÓGICOS

De acordo com trabalho executado por Caetano (2000), a área de estudo, por suas características litológicas, estruturais, sedimentares e estratigráficas, propiciou a formação de um sistema aquífero denominado:

Sistema Aquífero Fraturado do Embasamento Cristalino.

O Sistema Aquífero Fraturado está associado às zonas de fraqueza e ruptura das rochas do Embasamento Cristalino. As rochas cristalinas Pré-cambrianas que ocorrem na área de estudo propiciaram através de seu grau de faturamento a formação de aquíferos com pequena vazão, mas com água de boa qualidade. Esse aquífero totaliza uma área aproximada de 1656 km². A unidade litológica presente é o Complexo São Fidélis. Caetano (2000) definiu também alguns parâmetros do aquífero (ver tabela 8).

| Q/s (Médio) | Q/s (Limites) | T (Médio) | T (Limites) |
|--------------------|----------------------|------------------|--------------------|
| 0,44 | 0,38 a 5,44 | nd | nd |

nd = dado não disponível Q/s = Capacidade Específica [m³/h/m]

T = Transmissividade [m²/dia]

Tabela 8: dados do aquífero fraturado (modf. de Caetano, 2000).

8 - ANÁLISE DOS RESULTADOS

Os resultados das SEV's são apresentados em gráficos, nos quais plota-se o valor de $AB / 2$ na abscissa e o valor correspondente da resistividade na ordenada (ver anexos). A escala apresentada para os eixos é logarítmica, pois o uso desta escala se deve à perda de precisão com a profundidade. A precisão esperada nos resultados é mais bem expressa em valores relativos que valores absolutos.

As sondagens elétricas verticais são interpretadas com base num modelo de camadas plano-paralelas e infinitamente extensas lateralmente. O uso deste modelo facilita a inversão das sondagens de resistividade.

8.1 – CARACTERÍSTICAS DAS SEV'S DA ÁREA DE ESTUDO

Vale salientar que na área de estudo não existe, até o momento, nenhuma informação de subsuperfície tal como poço e ou trincheiras. Assim sendo, usou-se a solução matemática para as SEV'S, levando-se somente em conta a geologia de superfície da área.

Podemos destacar que as SEV's foram alocadas sobre sedimentos quaternários de origem fluvial depositados sobre o embasamento cristalino.

Esta seqüência sedimentar é composta por argilas, argilas sílticas e siltes, de planície de inundação, com boa compactação, englobando também as areias quartzosas, com granulometria variando de fina a grossa, mal selecionada, por vezes conglomeráticas, constituindo os depósitos de canais fluviais.

Os depósitos de planície de inundação apresentam forma tabular e geralmente observa-se acamamento horizontal truncado, em contato abrupto com os depósitos de canal fluvial.

Mediante as características da área de estudo conseguimos delimitar claramente nas SEV's dois horizontes geoeletricos, que correspondem na geologia da área respectivamente aos depósitos fluviais e o embasamento cristalino.

A variação da profundidade que ocorre o embasamento está descrita na tabela abaixo.

| | PROFUNDIDADE APROXIMADA DO EMBASAMENTO CRISTALINO |
|-------|---|
| SEV A | 23,0 m |
| SEV B | 20,0 m |
| SEV C | 19,0 m |
| SEV D | 15,0 m * |
| SEV E | 14,0 m |
| SEV F | 12,0 m |

Tabela 9: resultado das SEV's.

* Embora o modelo usado para a inversão dos dados não mostre claramente o embasamento cristalino, os dados sugerem que o mesmo esteja à cerca de 15 metros de profundidade.

Outra característica que consegue ser bem marcada nas SEV's é a existência de um horizonte geoeletrico superficial com espessura relativamente pequeno (1,5m), constituído por sedimentos úmidos (devido à ação de chuvas). Este horizonte é usado pelos assentados para suprimento de água com o uso de poços rasos e ou cacimbas (ver figura 7). Vale salientar que esta água não é potável, mas na total inexistência de outra fonte é usada até para beber.



FIGURA 7: retirada de água do horizonte superficial.

8 – CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

No âmbito deste relatório conclui-se que o processamento dos dados e as interpretações executadas apresentam-se bem compatível com a geologia da área.

O objetivo principal do trabalho foi alcançado, pois o intuito da pesquisa usando o levantamento geofísico era definir a profundidade do embasamento rochoso. O que foi possível em quase todas as sondagens conforme apresentado curvas de campo das figuras em anexo.

Após revisão bibliográfica constatou-se que o aquífero local ocorre no embasamento fraturado, logo, definindo a profundidade do embasamento, estaríamos definindo a localização do aquífero.

Uma das metas definidas para o trabalho foi à execução de perfis geológicos com o detalhamento das camadas sedimentares, mas, devido à falta de informações de subsuperfície, considerou-se que os erros embutidos no trabalho mascarariam os resultados.

A profundidade do embasamento varia bastante nesta área, ocorrendo numa profundidade mínima de 12,0 m e numa máxima de 23,0 m.

O método da eletrorresistividade mostrou-se ser uma ferramenta de grande utilidade em estudos de hidrogeologia. As várias técnicas e os arranjos possíveis conferem ao método uma grande versatilidade.

Sabe-se, entretanto que qualquer investigação geofísica do subsolo, como as sondagens elétricas verticais (SEV's), são classificadas como uma investigação indireta, uma vez que indica anomalias geoeletricas, mas sem capacidade de definir fisicamente a que ela corresponde. Portanto as discrepâncias com base unicamente no levantamento, significam apenas às interfaces com diferença de valores de condutividade elétrica.

A vantagem do levantamento geofísico (indireto) é direcionar a investigação direta, de modo a reduzir a probabilidade de erros, os custos e o tempo.

Espera-se que com os possíveis furos de poços que venham a ser feitos, possamos aferir os resultados, sendo assim, poderemos definir melhor os pontos seguintes, diminuindo em muito a possibilidade de erro.

Um dos pontos de suma importância que não podemos deixar de lembrar, é a completa inexistência de informações de subsuperfície na área de estudo, o que dificulta muito as interpretações dos dados obtidos.

BIBLIOGRAFIA

ABGE. Associação Brasileira de Geologia de Engenharia (1998), Geologia de Engenharia / Editores Oliveira, A.M.S. & Brito, S.N.A.

Caetano, L.C. (2000), Água subterrânea no Município de Campos dos Goytacazes (RJ): uma opção para o abastecimento: Dissertação de mestrado – IG – UNICAMP – Campinas – SP.

Cavalcanti, S.S. (1999), Hidrogeologia subterrânea da área do aterro sanitário de Salvador usando métodos elétricos: Dissertação de Mestrado – CPGG – UFBA – Salvador – Bahia.

CPRM. Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (1997), Hidrogeologia: Conceitos e Aplicações/Coordenadores: Feitosa, F.A.C. & Filho, J.M.

Departamento de recursos minerais – DRM/RJ (1980) –Projeto carta geológica 1:50.000, folha Campos; relatório final. Niterói. 3v.

Fernandes, L.S. (2000), Aplicação da Eletrorresistividade para o estudo da intrusão marinha em aquíferos costeiros no município de Niterói: relatório de Campo IV – IGEO – UFRJ – Rio de Janeiro – Rio de Janeiro.

Fonseca, M.J.G., Mapa Geológico do Estado do Rio de Janeiro. DNPM. Rio de Janeiro. 1998. 141p.

Leite, J.L. e Macedo, J.W.P. (1982) Estudo comparativo dos arranjos Wenner e Schulumberger aplicados à sondagem elétrica vertical, revista de geociências, 12 (4): 536 – 540.

Mendes, J. C., Elementos de Estratigrafia. T. A. Queiroz, São Paulo, 1992. 567p.

Ministério de Minas e Energia, Secretaria-Geral, Projeto RADAM: Levantamento de Recursos Naturais volume 32, FOLHA SF. 23/24 - RIO DE JANEIRO/VITÓRIA, Projeto RADAM, Rio de Janeiro, 1983. 775p

Resix – IP v 2.0 User’s manual, (1993), resistivity and induced polarization data interpretation software – INTERPEX LTDA – Colorado – USA.

Telford, W.M., Geldart, L.P., e Sheriff, R.E. (1990). Applied Geophysics. 2 e.d. Cambridge: University Press. 770p.

ANEXOS

