

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO DE FILOSOFIA E CIÊNCIAS HUMANAS
DEPARTAMENTO DE GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE MESTRADO EM GEOGRAFIA**

**APLICAÇÃO DE MÉTODOS GEOFÍSICOS AO ESTUDO DAS COBERTURAS
SUPERFICIAIS: CASO DE SOROCABA DO SUL – BIGUAÇU/SC**

Marcelo Borges Esteves

Orientador: Prof. Dr. Joel Pellerin

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

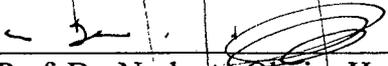
Área de Concentração: UTILIZAÇÃO E CONSERVAÇÃO DE RECURSOS NATURAIS

Florianópolis – SC, agosto de 2001

“Aplicação de métodos geofísicos ao estudo das coberturas superficiais: caso de Sorocaba do Sul – Biguaçu/SC”.

Marcelo Borges Esteves

Dissertação submetida ao Curso de Mestrado em Geografia, área de concentração, Utilização e Conservação de Recursos Naturais, do Departamento de Geociências do Centro de Filosofia e Ciências Humanas da Universidade Federal de Santa Catarina, em cumprimento aos requisitos necessários à obtenção do grau acadêmico de Mestre em Geografia.

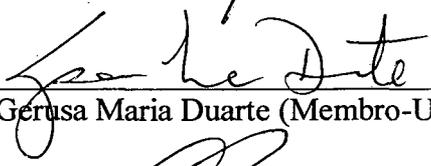


Prof. Dr. Norberto Olmiro Horn Filho
Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Geografia

APROVADO PELA COMISSÃO EXAMINADORA EM: 09/11/2001



Dr. Joel Pellerin (Presidente e Orientador-UFSC)



Dra. Gerusa Maria Duarte (Membro-UFSC)



Dr. Augustinho Rigoti (Membro-UFPR)

Florianópolis - 2001

AGRADECIMENTOS

Aos Profs. Dr. Joel Pellerin, orientador desta dissertação, e Dr. Augustinho Rigoti, que disponibilizou equipamentos de campo e auxiliou no tratamento dos dados com programas específicos.

Aos bons amigos que de uma forma ou outra colaboraram no desenvolvimento deste trabalho.

Em especial agradeço aos meus pais, Sr. Ivanir Esteves e Sra. Hermínia Jane Borges.

sumário

AGRADECIMENTOS	ii
LISTA DE FIGURAS	vi
LISTA DE TABELAS	vii
LISTA DE FOTOGRAFIAS	vii
RESUMO	viii
RÉSUMÉ	ix
MAPA	encarte
INTRODUÇÃO	1
CAPÍTULO I – OBJETIVOS E ASPECTOS GERAIS DA GEOFÍSICA APLICADA ..	4
1 – OBJETIVOS	4
1.1 – <i>OBJETIVO GERAL</i>	4
1.2 – <i>OBJETIVOS ESPECÍFICOS</i>	4
1.2 – ASPECTOS GERAIS DA GEOFÍSICA APLICADA.....	5
CAPÍTULO II – A ÁREA DE ESTUDO: LOCALIZAÇÃO; MORFOLOGIA; COBERTURA PEDOLÓGICA; GEOLOGIA; CONTEXTO ESTRUTURAL	8
2.1 - LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	8
2.2 – ENCOSTA SELECIONADA E SUA MORFOLOGIA	9
2.3 - ESTUDOS DA ORGANIZAÇÃO DA COBERTURA PEDOLÓGICA EM SOROCABA DO SUL/SC	11
2.4 - GEOLOGIA DA ÁREA DE SOROCABA DO SUL/SC	14
2.4.1 - <i>GEOLOGIA REGIONAL</i>	14
2.4.2 - <i>GEOLOGIA LOCAL</i>	16
2.4.3 - <i>CONTEXTO ESTRUTURAL</i>	18
CAPÍTULO III – PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS E OPERACIONAIS	22
3.1 – OS MÉTODOS GEOFÍSICOS UTILIZADOS NO DESENVOLVIMENTO DOS ESTUDOS	22
3.2 – BASE TEÓRICA DOS MÉTODOS GEOFÍSICOS UTILIZADOS NOS ESTUDOS ...	23
3.2.1 – <i>MÉTODO DE POTENCIAL ESPONTÂNEO – TÉCNICA DE BASE FIXA</i>	23
3.2.1.1 - <i>Aplicabilidades do Método de Potencial Espontâneo na Solução de Problemas na Engenharia e Meio Ambiente</i>	24

3.2.1.2 - Técnica de Base Fixa.....	24
3.2.2 – MÉTODO DE RESISTIVIDADE: TÉCNICAS DE SCHLUMBERGER OU SONDAGEM ELÉTRICA VERTICAL (SEV) E DE CAMINHAMENTO ELÉTRICO DIPOLO-DIPOLO (CE Dp-Dp)	25
3.2.2.1 - Aplicabilidades do Método de Resistividade na Solução de Problemas na Engenharia e Meio Ambiente	27
3.2.2.2 - Técnica de Schlumberger ou Sondagem Elétrica Vertical (SEV)	28
3.2.2.3 - Técnica de Caminhamento Elétrico Dipolo-Dipolo (CE Dp-Dp)	29
3.2.3 - MÉTODO MAGNETOMÉTRICO	30
3.3 - PROCEDIMENTOS OPERACIONAIS	33
3.3.1 – LEVANTAMENTO TOPOGRÁFICO.....	33
3.3.2 – AEROFOTOINTERPRETAÇÃO.....	33
3.3.3 – LEVANTAMENTOS GEOFÍSICOS.....	34
3.3.3.1 – Potencial Espontâneo (SP) – Técnica Base Fixa	34
3.3.3.2 – Resistividade – Técnica de Schlumberger ou Sondagem Elétrica Vertical (SEV)	37
3.3.3.3 – Resistividade – Técnica de Caminhamento Elétrico Dipolo-Dipolo (CE dp- dp).....	39
3.3.3.4 – Magnetometria – Técnica de Perfilagem Magnetométrica	40
CAPÍTULO IV – TRATAMENTO DOS DADOS DE CAMPO E INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS	43
4.1 – POTENCIAL ESPONTÂNEO (SP)	43
4.1.1 – TRATAMENTO DOS DADOS SP.....	43
4.1.2 – INTERPRETAÇÃO QUALITATIVA DOS DADOS SP.....	44
4.1.2.1 – Interpretação qualitativa com relação ao potencial de fluxo	45
4.1.2.2 – Interpretação qualitativa com relação aos caminhos preferenciais de fluxo	48
4.1.2.3 – Interpretação qualitativa com relação às estruturas geológicas	51
4.1.2.4 – Interpretação qualitativa com relação às zonas de recarga	53
4.1.2.5 – Interpretação qualitativa com relação ao movimento de massa	54
4.2 – SONDAGENS ELÉTRICAS VERTICAIS (SEV'S).....	56
4.2.1 – TRATAMENTO DOS DADOS DAS SEV'S.....	56
4.2.2 – INTERPRETAÇÕES QUANTITATIVA E QUALITATIVA DAS SEV'S	56
4.2.2.1 – As SEVs executadas na encosta (02 a 07)	61
4.2.2.1.1 – Interpretação da camada geolétrica 1 (SEVs da encosta)	62

4.2.2.1.2 – <i>Interpretação da camada geoeétrica 2 (SEVs da encosta)</i>	63
4.2.2.1.3 – <i>Interpretação da camada geoeétrica 3 (SEVs da encosta)</i>	63
4.2.2.1.4 – <i>Interpretação da camada geoeétrica 4 (SEVs da encosta)</i>	64
4.2.2.2 – <i>As SEVs executadas na encosta (01 e 08)</i>	64
4.2.2.3 – <i>Perfis topogeoeétricos das SEVs e interpretação geológica associada</i>	66
4.3 – <i>CAMINHAMENTO ELÉTRICO DIPOLO-DIPOLO (CE dp-dp)</i>	68
4.3.1 – <i>INTERPRETAÇÃO QUANTITATIVA X QUALITATIVA DO ARRANJO DIPOLO-DIPOLO</i>	68
4.4 – <i>MAGNETOMETRIA</i>	73
4.4.1 – <i>INTERPRETAÇÃO QUALITATIVA DOS PERFIS MAGNETOMÉTRICOS</i>	73
4.4.1.2 – <i>Estimativa do modelo geológico</i>	73
4.5 – <i>CRUZAMENTO DOS RESULTADOS GEOFÍSICOS</i>	77
4.5.1 – <i>CRUZAMENTO DOS PERFIS MAGNETOMÉTRICOS COM MAPA DE EQUIPOTENCIAIS SP</i>	77
4.5.2 – <i>CRUZAMENTO DOS PERFIS MAGNETOMÉTRICOS COM A SEÇÃO TOPOGEOELÉTRICA 2d (CE dp-dp)</i>	79
4.5.3 – <i>CRUZAMENTO DOS RESULTADOS REFERENTES AOS MÉTODOS E TÉCNICAS ELÉTRICAS</i>	79
CAPÍTULO V - CONCLUSÕES	82
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	87
ANEXOS	
1 – <i>Ficha de campo dos dados SP</i>	92
2 – <i>Ficha de campo dos dados das sondagens elétricas verticais</i>	94
3 – <i>Ficha de campo dos dados do caminhamento elétrico dipolo-dipolo</i>	99
4 – <i>Ficha de campo dos dados dos perfis magnetométricos</i>	101

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Localização da área selecionada para o estudo	8
Figura 2 – Representações 3D da vertente estudada e seus aspectos morfológicos	10
Figura 3 – Esboço Geotectônico de Santa Catarina	19
Figura 4 – Esboço Geológico-Estrutural da Área de Sorocaba do Sul	20
Figura 5 – Diagrama de rosetas dos principais lineamentos estruturais	21
Figura 6 – Zona de sulfeto oxidado no topo como uma placa galvânica	23
Figura 7 – Distribuição das linhas de corrente e das equipotenciais em meio homogêneo.....	27
Figura 8 – Arranjo Schlumberger	28
Figura 9 – Arranjo Dipolo-Dipolo	29
Figura 10 – Linhas de força do campo magnético terrestre e suas componentes vetoriais.....	32
Figura 11 – Eletrodo não polarizável – modelo de TELFORD, 1976	35
Figura 12 – Mapa de equipotenciais SP da área de estudo	46
Figura 13 – Perfis SP da área de estudo	47
Figura 14 – Perfis SP (a) e topogeométrico (b) representando o fluxo preferencial da água subterrânea	50
Figura 15 – Modelamento SP de infiltração d'água em um reservatório	51
Figura 16 – Resultados das SEVs 03 e 04. Modelo de quatro camadas geométricas	57
Figura 17 – Resultados das SEVs 05 e 07. Modelo de quatro camadas geométricas	58
Figura 18 – Resultados das SEVs 02 e 06. Modelo de quatro camadas geométricas	59
Figura 19 – Resultados da SEV 01. Modelo de quatro camadas geométricas	60
Figura 20 – Perfil topogeométrico com interpretação geológica, SEV 08 – SEV 02	67
Figura 21 - Seção topogeométrica com modelamento de resistividade 2d (a) e seção topogeológica (b)	69
Figura 22 - Perfis magnetométricos da área de estudo	75
Figura 23 - Perfis magnetométrico marcando o padrão estrutural.....	76
Figura 24 – Cruzamento dos perfis magnetométricos com o mapa de equipotenciais SP da área de estudo	78
Figura 25 – Cruzamento do perfil magnetométrico (norte) e seção topogeométrica 2d (CE dp-dp)	80

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Principais características físicas da área de Sorocaba do Sul	13
Quadro 2 – Algumas aplicações do método de Potencial Espontâneo	24
Quadro 3 – Algumas aplicações do método de Resistividade	27

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Relação entre propriedades físicas e métodos geofísicos	6
Tabela 2 – Potencial de aplicação das várias técnicas geofísicas na engenharia	7
Tabela 3 – Direções dos lineamentos estruturais da área de Sorocaba do Sul	21
Tabela 4 – Interpretações quantitativa x qualitativa – SEV'S da encosta	61
Tabela 5 – Interpretação quantitativa x qualitativa – SEV 01	65
Tabela 6 – Interpretação quantitativa x qualitativa – SEV 08	65
Tabela 7 – Interpretações quantitativa x qualitativa – Seção topogeolétrica CE dp-dp (espaçamento entre 30 – 130m)	70
Tabela 8 – Interpretações quantitativa x qualitativa – Seção topogeolétrica CE dp-dp (espaçamento entre 130 – 180m)	71
Tabela 9 – Interpretações quantitativa x qualitativa – Seção topogeolétrica CE dp-dp (espaçamento entre 180 – 210m)	72

LISTA DE FOTOGRAFIA

Foto 1 - Sorocaba do Sul – Biguaçu/SC. Vista da face oeste da colina policonvexa estudada. Em primeiro plano, o terraço aluvionar. Ao fundo, a porção oeste da encosta	11
--	----

RESUMO

Em geral as coberturas superficiais das encostas apresentam, em áreas tropicais e subtropicais úmidas de substratos cristalinos, horizontes de alteração muito espessos, na ordem de dezena de metros, que inviabilizam a investigação até a rocha sã por meio de tradagens manuais. Nesses locais de grande espessura de alteração são comuns os fenômenos morfológicos de movimentos de massa, fontes d'água na baixa vertente e depressões fechadas no topo de colinas policonvexas. Tais quais ocorrem na área estudada, localizada em Sorocaba do Sul, Biguaçu/SC, 50 Km NW de Florianópolis/SC - Brasil.

Com o objetivo geral de investigar essas espessas coberturas superficiais e entender seu comportamento até a rocha sã foram empregados métodos e técnicas da geofísica aplicada, mais especificamente, potencial espontâneo, sondagens elétricas verticais, caminhamento elétrico dipolo-dipolo e perfilagem magnetométrica. O potencial espontâneo foi eficiente para a investigação dos fluxos da água subterrânea e de estruturas geológicas, como fraturas e/ou falhamentos e contatos litológicos. As sondagens elétricas verticais forneceram, de modo pontual, as espessuras e variações geoeletricas verticais da cobertura superficial até a rocha sã. Com o caminhamento elétrico foi possível verificar as variações geoeletricas laterais de subsuperfície, caracterizando mudanças litoestruturais e hidrogeológicas associadas à topografia de superfície. A perfilagem magnetométrica, através da propriedade de susceptibilidade magnética dos minerais, possibilitou identificar o padrão litoestrutural ao longo de dois perfis transversais à colina estudada.

As amarrações geométricas das anomalias geofísicas com a topografia de superfície, somadas aos dados geotécnicos, observações de campo e conhecimentos históricos pertinentes possibilitaram visualizar a pequena encosta estudada de forma integrada com seu contexto de subsuperfície. Ou seja, numa espécie de tomografia de subsuperfície, foram identificados três horizontes distintos da cobertura superficial até a rocha sã e suas variações litoestruturais e hidrodinâmicas correlacionáveis às feições morfológicas de superfície.

Résumé

Dans les zones tropicales et subtropicales humides, les versants présentent des horizons d'altération bien développés, ce qui rend difficile les travaux d'échantillonnage jusqu'à la roche mère à partir des sondages manuels. Dans ces régions, les mouvements superficiels de terrain sont fréquents, ainsi que la présence de sources d'eau en bas de côte et de dépressions fermées au sommet de colines policonvexes. C'est le contexte observé dans la zone d'étude, située à Sorocada do Sul, Biguaçu/SC – Brésil.

Dans le but d'étudier ces épais horizons d'altération et de comprendre leur comportement jusqu'à la roche mère, des méthodes et des techniques en géophysique appliquée ont été employées, en particulier sondages électriques verticaux cheminement électrique dipole-dipole, potentiel spontané (self potential) et profils magnétométriques. Les premiers ont fourni les épaisseurs et les variations géoélectriques verticales entre la couche superficielle et la roche mère. L'application du potentiel spontané a permis l'investigation des flux d'eau souterrains et des structures géologiques, ainsi que l'identification des zones de failles et de fractures. Les profils de cheminement électrique ont permis la vérification des variations géoélectriques latérales de sous-sol, ainsi que la caractérisation des variations litho-structurales et hydrogéologiques associées à la topographie de surface. Les profils magnétométriques, à partir de la susceptibilité magnétique des minéraux, ont permis l'identification de litho-structures le long des deux profils réalisés dans la zone d'étude.

Les corrélations géométriques des anomalies géophysiques avec la topographie locale, appuyées sur les données géotechniques, les observations de terrain, ainsi que les connaissances préalables concernant la zone d'étude, ont permis l'analyse du versant étudié dans son contexte sub-superficiel. Il en résulte une sorte de "résonance magnétique" du sous-sol, avec l'identification de trois horizons différents jusqu'à la roche mère et leur variations litho-structurales et hydrodynamiques, associées aux faciès morphologiques de surface.

INTRODUÇÃO

A cobertura superficial em terrenos cristalinos subtropicais úmidos apresenta horizontes de alteração muito espessos que dificultam observá-la como um todo, ou seja, da superfície à rocha sã.

Também designada de cobertura móvel, a cobertura superficial possui comportamento extremamente dinâmico, sofrendo constantemente a influência de processos naturais, físicos e químicos, que modificam as formas de relevo. Exemplos são os deslizamentos e erosões dos solos comuns em áreas tropicais e subtropicais úmidas, os quais movimentam grandes quantidades de material inconsolidado, causando danos às obras de infraestrutura urbanas e rurais, expondo a sociedade, de modo geral, a situações de riscos e prejuízos ambientais e econômicos.

A área escolhida para os estudos desta dissertação está inserida dentro do contexto das seguintes problemáticas: encosta de terrenos cristalinos subtropicais úmidos com espessura da cobertura de alteração até a rocha sã desconhecida, superior a 6 metros; grandes cicatrizes de deslizamento; depressões fechadas; fontes de água na porção basal das encostas com propagação de erosão remontante.

A presença comum de blocos e matacões em meio ao horizonte de alteração dificulta as investigações de subsuperfície a trado manual, bem como a instalação de piezômetros e tensiômetros que são meios geotécnicos convencionais de estudar o comportamento dinâmico dos horizontes pedogenéticos e de alteração até o substrato rochoso.

Em vista dessas dificuldades, para o presente estudo adotou-se métodos geofísicos como ferramenta auxiliar na identificação de parâmetros geológicos, estruturais e hidrológicos de subsuperfície que poderão ser utilizados para correlação e/ou interpretação da morfodinâmica local relacionada às formas superficiais do relevo.

A busca de novos meios de estudos da cobertura superficial, referentes aos métodos geofísicos, justifica-se pelo fato de que alguns métodos permitem, de modo indireto, investigar o subsolo a grandes profundidades. Outrossim, os métodos geofísicos superam as dificuldades de acesso e, ainda, proporcionam respostas rápidas que têm sido muito bem reconhecidas na prospecção mineral (metais, petróleo e água) e nos estudos de estratigrafia e hidrogeologia.

Mais recentemente, os métodos geofísicos têm sido aplicados também aos estudos das coberturas pedológicas (BOTTRAUD, et al., 1984; GUIACHETI *et al.*, 1993; TEJADA *et al.*, 1993; CHAPLOT *et al.*, 1996; CHAPLOT *et al.*, 1997; BOSSUET, 1997), engenharia e geotecnia (TELFORD *et al.*, 1976; WARD, 1990; DOURADO *et al.* 1993; TAIOLI *et al.*, 1993; DOURADO *et al.*, 1993; RIGOTI *et al.*, 1998) e questões ambientais (COSTA *et al.*, 1993; RIGOTI *et al.*, 1997). Fica evidente, a partir da literatura que, por serem não invasivos e apresentarem excelentes razões de custo/benefício, os métodos geofísicos devem ser utilizados em conjunto com investigações diretas, complementando-as ou mesmo substituindo-as em certos casos.

A principal contribuição da presente dissertação consiste em mostrar, pela primeira vez na região metropolitana de Florianópolis/SC, resultados da aplicação de métodos geofísicos na caracterização das coberturas superficiais e no entendimento de sua dinâmica.

Entre os objetivos específicos procura-se estabelecer parâmetros geofísicos, sempre que possível apoiado em dados geotécnicos, geológicos e cruzamento de métodos e técnicas geofísicas, para obtenção de informações qualitativas com relação aos caminhos preferenciais de fluxo da água subterrânea, espessura dos horizontes pedológicos e de alteração até a rocha sã e identificação de estruturas tectônicas como falhas e/ou contatos geológicos.

Em busca de atingir os objetivos propostos foram empregados os métodos elétricos de Potencial Espontâneo (do inglês *Self Potential* – *SP*) e de resistividade (Schlumberger ou Sondagem Elétrica Vertical e caminhamento elétrico dipolo-dipolo), bem como o método

de magnetometria (perfilagem magnetométrica de superfície).

No capítulo 1 são descritos os objetivos gerais e específicos, bem como uma apresentação dos aspectos gerais e da aplicabilidade dos métodos e técnicas geofísicas. O capítulo 2 apresenta a área escolhida para os estudos, suas características geomorfológicas, pedológicas e geológicas, com base em estudos anteriores e também naqueles levantados no desenvolvimento desta. Já o capítulo 3 refere-se à metodologia empregada no desenvolvimento do trabalho, apresentando uma síntese da base teórica dos métodos geofísicos utilizados e os procedimentos operacionais. No capítulo 4 encontram-se os tratamentos dos dados levantados em campo, as formas de interpretação e a discussão dos resultados. Por fim, no capítulo 5 apresentam-se as conclusões.

Para um melhor entendimento da metodologia e discussão dos resultados sugere-se que o leitor acompanhe tais assuntos com apoio do Mapa-Base da Área de Estudo (encarte). Este mostra a planialtimetria e o posicionamento de todos os levantamentos de campo, perfis e malhas realizados.

CAPÍTULO I

OBJETIVOS DO ESTUDO E ASPECTOS GERAIS DA GEOFÍSICA APLICADA

1 - OBJETIVOS

1.1 - OBJETIVO GERAL

O objetivo geral do trabalho reside na aplicação de métodos geofísicos na caracterização das espessuras das coberturas superficiais e no entendimento de seu comportamento hidrodinâmico.

1.1.2 - OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Os objetivos específicos consistem em:

- Caracterizar a estratigrafia por camadas que apresentem variações geoeletricas até o substrato rochoso;
- Posicionar o nível do lençol freático em relação aos horizontes pedogenéticos, de alteração e ao substrato rochoso;
- Localizar os fluxos preferenciais da água em subsuperfície verificando o comportamento dos mesmos em relação à topografia de superfície ou às formas de relevo;
- Identificar estruturas tectônicas que possam estar mascaradas pela cobertura superficial;
- Correlacionar os resultados e interpretações dos levantamentos geofísicos com a geologia, as estruturas e a morfodinâmica local;
- Avaliar os métodos e técnicas geofísicas empregadas.

1.2 - ASPECTOS GERAIS DA GEOFÍSICA APLICADA

Muitos estudos de engenharia e meio ambiente têm interesse voltado para investigações em pequenas profundidades. Em princípio todas as técnicas geofísicas têm sido essencialmente desenvolvidas para investigações de subsuperfície de uma descontinuidade, isto é, quando uma unidade de subsuperfície difere suficientemente da outra em suas propriedades físicas como densidade, susceptibilidade magnética, elasticidade, polarização espontânea, condutividade e resistividade elétrica, permeabilidade dielétrica, radioatividade e condutividade termal. Desta forma, a geofísica aplicada pode ser dividida nos principais métodos ou técnicas de levantamentos que se seguem:

- gravimétricos;
- magnetométricos;
- potencial espontâneo;
- resistividade e polarização induzida;
- eletromagnéticos;
- radar de penetração (GPR);
- radioatividade;
- geotermal;
- perfilagem de poços.

De modo geral, a geofísica objetiva localizar, definir, salientar e interpretar anomalias. Estas são perturbações nos campos naturais (ex.: campo magnético) ou induzidas artificialmente (ex.: vários métodos eletromagnéticos) que geralmente podem ser interpretadas, em termos geológicos, como desvios de uma resposta regional mais uniforme. As anomalias são causadas por variações locais nas propriedades físicas dos materiais da terra.

A anomalia geofísica precisa ser interpretada para que se possa estimar a distribuição espacial da propriedade física envolvida e então indiretamente estimar o modelo geológico capaz daquela resposta. Para interpretar a anomalia geofísica frequentemente se faz necessário utilizar artifícios matemáticos para salientá-la e

individualizá-la e, então, estimar o modelo geológico-geofísico a partir dos dados observados. E, devido a isto, para os modelos gerados na interpretação não existe solução única, ao contrário, podem envolver forte ambigüidade - quando não há informações geológicas a priori para cercear a possível variabilidade dos parâmetros do modelo. Neste caso, a associação de métodos geofísicos e a experiência acumulada através de casos históricos são de grande valia para reduzir a ambigüidade e melhorar a interpretação.

O fator mais determinante na aplicabilidade de um método geofísico é a perspectiva de uma propriedade física do alvo ser contrastante com o meio encaixante, isto é, o alvo deve apresentar uma resposta anômala, ou seja, possuir características distintas que permitam diferenciá-lo do meio encaixante. O conhecimento das propriedades físicas dos minerais e das rochas é requisito básico para escolha do método e interpretação dos resultados. A tabela 1 mostra uma relação entre propriedades físicas e os principais métodos geofísicos que, em condições favoráveis, podem detectar respostas características.

PRADO & MALAGUTTI (1997) mostraram o cruzamento (tabela 2) de vários métodos e técnicas geofísicas com relação às suas principais potencialidades de aplicações na engenharia. Muito embora os valores das potencialidades dadas por estes autores possam ser discutíveis, elas podem ser úteis, de certa forma, como um referencial de orientação quanto ao emprego entre um e outro método ou técnica em relação aos objetivos de pesquisa.

Tabela 1 - Relação entre propriedades físicas das rochas e métodos geofísicos de prospecção.

Propriedades Físicas	Métodos de Prospecção
Densidade	Gravimetria
Susceptibilidade magnética	Magnetometria
Condutividade elétrica	Métodos elétricos e eletromagnéticos
Polarizabilidade (cargabilidade)	Polarização induzida (também um método elétrico)
Radioatividade	Radiometria (gamaespectometria e cintilometria)
Propriedades elásticas	Métodos sísmicos

Fonte: WARD, 1990.

Tabela 2 – Potencial de aplicação das várias técnicas geofísicas na engenharia.

	Prof. topo rocha sã	Estratig. geologia geotecnia	Litologia	Zona de Fraturas	Falhas	Módulos elásticos dinâmicos	Escarificação	Deteção de cavidades	Objetos enterrados submersos	Fluxo d'água
Sísmica de refração rasa	4	4	3	3	4	3	4	1	1	1
Sísmica de reflexão terrestre	3	3	2	2	4	0	1	2	1	1
Sísmica de reflexão na água	4	4	2	2	4	0	1	0	2	0
Crosshole	2	2	3	3	1	4	2	3	2	0
Updown-hole	3	3	2	2	2	3	3	1	0	0
Sondagem elétrica	4	3	4	2	2	0	1	2	1	3
Caminhamento Elétrico	2	3	3	4	4	0	1	4	2	3
Polarização induzida	2	2	3	3	3	0	0	3	2	2
Potencial Espontâneo	1	1	2	2	2	0	0	3	2	4
Eletromag EM/VLF	3	2	2	4	3	0	0	3	3	3
Perfilagem Elétrica	3	2	2	4	1	0	0	3	3	0
Gravimetria	1	0	1	1	1	0	0	3	2	0
Magnetometria	1	0	1	0	2	0	0	2	1	0

0 – não aplicável
 1 – uso restrito
 2 – usado, ou pode ser usado com limitações
 3 – excelente potencial (técnica não totalmente desenvolvida)
 4 – Excelente aplicação (técnica bem desenvolvida)

Fonte: PRADO & MALAGUTTI, 1995.

CAPÍTULO II

A ÁREA DE ESTUDO: LOCALIZAÇÃO; MORFOLOGIA; COBERTURA PEDOLÓGICA; GEOLOGIA; CONTEXTO ESTRUTURAL.

2.1) LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

Em Sorocaba do Sul, município de Biguaçu (SC), mais especificamente na localidade de Sorocaba de Dentro, aproximadamente a 50 Km a noroeste de Florianópolis (SC), inserida na porção do médio vale da bacia do Rio Inferninho, encontra-se a área selecionada para o desenvolvimento dos estudos, entre as coordenadas UTM 725273 e 6970940 (fig. 1).

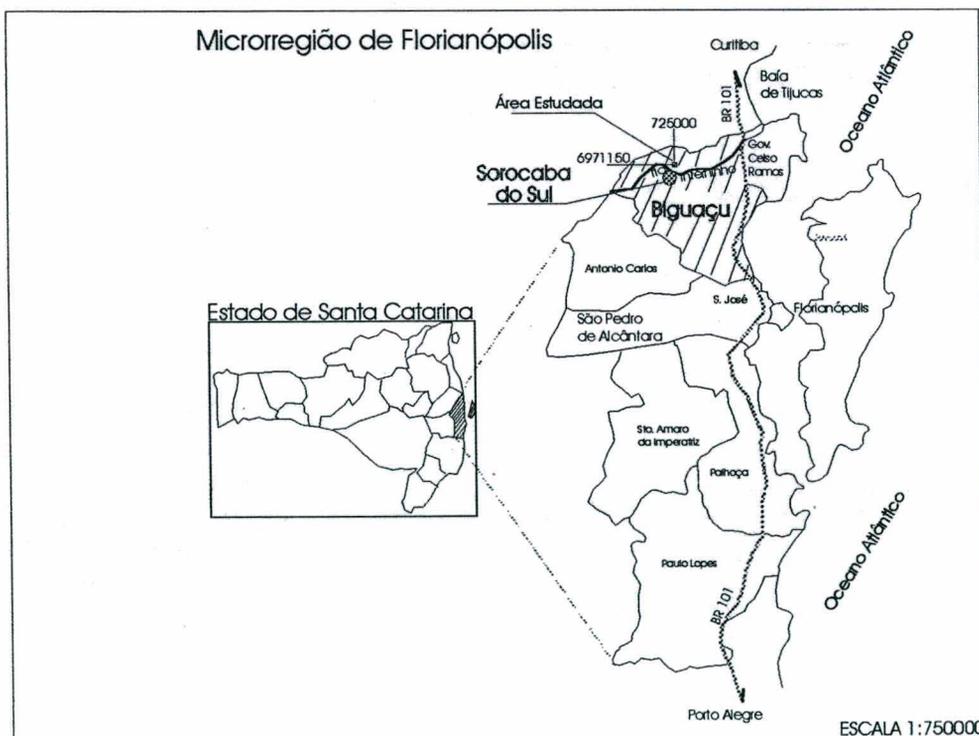


Figura 1 - Localização da área selecionada para o estudo.

2.2) ENCOSTA SELECIONADA E SUA MORFOLOGIA

Trata-se de uma colina policonvexa, situada em área rural, coberta por vegetação de gramíneas (pasto), com altitude em torno de 65 metros e declividade da ordem de 30°. Sua configuração pode ser visualizada na figura 2, onde se encontram duas representações da porção oeste da encosta em três dimensões.

A porção oeste da vertente concentra em si pelo menos os seguintes aspectos, alvos de investigação:

- cicatriz de movimento de massa;
- depressão fechada em seu topo;
- espessa cobertura superficial ou móvel;
- cicatriz na parte basal da vertente, onde se tem uma fonte d'água perene.

A área encontra-se inserida sobre substrato rochoso gnaíssico-migmatítico (SILVA, *et al.*, 1987), tendo sido palco da dissertação de mestrado de LUIZ (1996) e de outros trabalhos sobre a organização estrutural da cobertura pedológica (PELLERIN *et al.*, 1995; PELLERIN *et al.*, 1997).

Apresenta-se, de modo geral, convexa no topo, retilínea na média encosta e côncava na base. Todavia, a presença de uma cicatriz de deslizamento, na porção central da encosta (foto 1), altera localmente a forma da mesma, mostrando-se côncava-convexa no topo. Da mesma forma que a pequena cicatriz na base da vertente também modifica aquele contexto geral das vertentes, provocando uma ruptura abrupta da suavidade côncava de base, gerando uma forma caracterizada por um pequeno anfiteatro.

No topo da encosta se encontra a depressão fechada, a qual apresenta uma feição côncava em seu centro e convexa em seus colos.

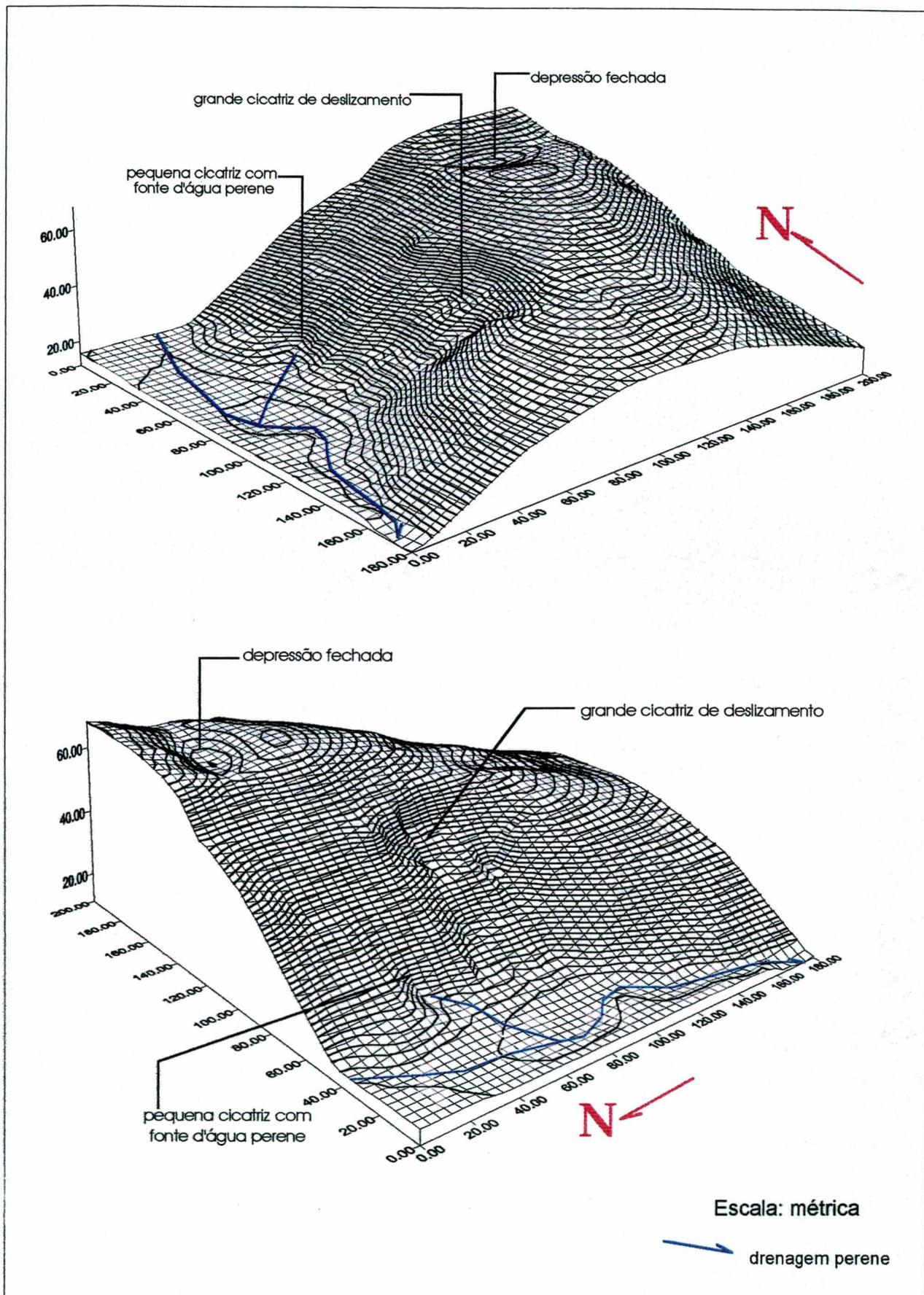


Figura 02 - Representações 3D da porção oeste da encosta pesquisada e seus aspectos morfológicos



Foto 1 – Sorocaba do Sul – Biguaçu/SC. Vista da face oeste da colina policonvexa estudada. Em primeiro plano, o terraço aluvionar. Ao fundo, a porção oeste da encosta.

2.3) ESTUDOS DA ORGANIZAÇÃO DA COBERTURA PEDOLÓGICA EM SOROCABA DO SUL/SC

A bacia do rio Infeminho, sobretudo em Sorocaba do Sul, tem sido palco de diversos estudos da cobertura pedológica. O desenvolvimento desses estudos se deu concomitante aos cursos e estágios sobre a Análise Estrutural da Cobertura Pedológica, ministrados em 1988 e 1990¹.

De lá para cá, os estudos têm se concentrado na organização estrutural pedológica, utilizando-se de perfis de solos para a compreensão de movimentos de massa e funcionamento hídrico em vertentes, bem como sobre as pequenas depressões fechadas que ocorrem no topo de algumas colinas. Isto pode ser observado em vários trabalhos apoiados na metodologia da Análise Estrutural da Cobertura Pedológica, com base em análise de topossequência, proposta por BOULET (1982 *apud*. BOULET,

¹ Cursos e estágios sobre Análise Estrutural da Cobertura Pedológica, 1988 e 1990, ministrados pelos professores R. BOULET, J. PELLERIN, A. RUELLAN, S. CASTRO, J.P. DE QUEIROZ NETO, P. CURMI.

1988); CARDOSO, 1995; PELLERIN *et al.*, 1995; PELLERIN *et al.*, 1996; LUIZ, 1996; PELLERIN *et al.*, 1997; BELTRAME, 1997; LUIZ & BELTRAME, 1998.

De modo geral, esses autores notaram que os perfis de solo acompanham, grosso modo, a topografia de superfície quando analisadas as distribuições dos volumes pedológicos até o contato com o horizonte de alteração da rocha. Este que é designado também, em muitos desses trabalhos, como alterito, cuja espessura não foi estabelecida.

LUIZ & BELTRAME (1988), através de várias observações dos perfis de solos estudados, cruzaram as informações obtidas em seus trabalhos (LUIZ, 1996 e BELTRAME, 1997) deduzindo que nas encostas que sofreram deslizamentos a atual cobertura pedológica vem se desenvolvendo a partir dos materiais que restaram na superfície de ruptura; sendo que as recuperações dessas coberturas mostraram as mesmas características das outras vertentes, “estáveis”. Com base principalmente nos trabalhos dessas autoras foi possível relacionar as principais características da cobertura pedológica de Sorocaba do Sul, as quais podem ser observadas no quadro 1.

BELTRAME *et al.* (1991) e PELLERIN *et al.* (1997) estudaram a organização estrutural dos solos associados às depressões fechadas no topo de algumas colinas na área de Sorocaba do Sul. Para esses autores, as depressões seriam na maioria constituídas por solos hidromórficos e marcariam a evolução geoquímica do tipo dolina, mesmo ocorrendo sobre rochas migmatíticas, e não cársticas. Tal argumento foi calcado na ausência de sinais de coluvionamento, tanto nos colos das depressões, como no interior das mesmas, sugerindo uma evolução pedogenética autóctone sobre a alteração do substrato rochoso.

QUADRO 1 – Principais características físicas da área de Sorocaba do Sul – com base nos trabalhos de LUIZ (1996), BELTRAME (1997), PELLERIN et al. (1997) e LUIZ & BELTRAME (1998).

Aspectos gerais					
Posicionamento da área de estudo em relação à bacia hidrográfica do rio Inferninho	Porção do médio vale (ou bacia)				
Pluviosidade média	1600 mm / anuais; bem distribuídos				
Paisagem	Colinas policonvexas				
Altitudes médias das colinas	Entre 200 e 300 metros (com relação ao nível do mar)				
Substrato rochoso	Migmatito (metatexitos)				
Declividade das encostas	30 – 40°				
Principais feições morfológicas das encostas	<ul style="list-style-type: none"> - Topo: convexo; média encosta: retilínea; sopé: côncavo. - Pequenas depressões fechadas no topo das colinas. - Cicatrizes/anfiteatros referentes aos movimentos de massa (deslizamentos). 				
Relação dos volumes e/ou horizontes pedogenéticos e de alteração, em profundidade com a superfície topográfica	Materiais <i>in situ</i> , grosso modo, acompanhando a topografia. Os solos apresentam variações laterais de hidromorfia na baixa vertente (influência do lençol freático), nas depressões fechadas (devido ao acúmulo/retenção da água pluvial), e ainda, nos materiais movimentados (deslizamentos)				
Principais volumes e/ou horizontes pedogenético e de alteração encontrados em profundidade (topos e encostas “estáveis”; sem hidromorfia).	espessura (cm)	cor	textura	estrutura	porosidade
	0 – 10 (orgânico)	10YR 3/3 – 3/4	Argilo-arenoso	Poliédrica pequena ou grumosa	Biológica (30 a 39%)
	50	10YR 3/3 – 3/4 e 7.5YR 5/6 – 6/8	Argilo-arenoso a argiloso	Poliédrica - prismática	Biológica e fissural forte (50.6%)
	50 - 100	5YR 5/6 – 5/8	Argiloso	poliédrica	Fissural e pequena tabular (44,1 a 50,9%)
	100 - 150	2.5YR 4/8 – 6/8 (transição p/ rocha alterada – isoalterito)	Argiloso (50 – 60%); caulinita e gibsita; compacto	Poliédrica fina	Interagregados e fissural (poros pequenos; pouco permeável; baixa porosidade total)
	A partir de 150	Material de alteração da rocha (alterito)	Siltico-arenoso a areno-siltoso, com grãos de quartzo	Guardam aspectos texturais da rocha sã (veios de quartzo-feldspato...)	Alto valor de porosidade total; porém pouca permeabilidade

CARDOSO (1995), associou a erosão pelo transporte superficial das águas de chuvas somente às áreas desnudas em períodos de manejo dos solos pela atividade agrícola. Não considerando preponderante o potencial de erosividade superficial atual na área de Sorocaba do Sul.

LUIZ (1996), estudando os mecanismos de movimento de massa e suas influências na evolução das vertentes da bacia do rio Inferninho, revelou menores valores de coesão e atrito para o horizonte de alteração da rocha com estrutura

conservada, caracterizando-o como o mais susceptível a rupturas em relação aos volumes sobrejacentes analisados.

Em referência aos fluxos de subsuperfície, LUIZ (1996) procurou associar a presença de “exfiltração” de fluxos na base da vertente, comumente observada na região de Sorocaba do Sul, como o mecanismo que poderia ter dado início à forma de anfiteatro analisada da cicatriz de deslizamento; tratando-se da mesma vertente estudada nesta dissertação.

2.4 - GEOLOGIA DA ÁREA DE SOROCABA DO SUL/SC

2.4.1 – GEOLOGIA REGIONAL

Existem dois mapas geológicos que incluem a área de Sorocaba do Sul - Biguaçu: Mapa Geológico de Santa Catarina, Projeto Vidal Ramos – Biguaçu, DNPM/CPRM (1978), que se encontra na escala de 1:50.000; Mapa Geológico do Estado de Santa Catarina, DNPM (1987), que se encontra na escala de 1:500.000.

O primeiro designa Complexo Metamórfico-Migmatítico para as rochas que ocorrem em Sorocaba do Sul (TRAININI *et al.*, 1978); enquanto o segundo utiliza a designação de Faixa Granito-Gnaíssica Santa Rosa de Lima – Tijucas (SILVA *et al.*, 1987). Ambos atribuem a idade Pré-Cambriano Superior para as rochas que fazem parte do Embasamento Cristalino ou arcabouço Pré-Cambriano do Escudo Catarinense.

SILVA (1987) caracterizou a Faixa Granito-Gnaíssica Santa Rosa de Lima – Tijucas em uma grande área de ocorrência, estendendo-se de maneira contínua por cerca de 150 Km, desde as proximidades de Orleães até Tijucas, com largura média aflorante em torno de 10 Km, e máxima em torno de 35 Km. Esta faixa, de direção NE, em toda a sua extensão oriental, limita-se com a Suíte Intrusiva Pedras Grandes e Complexo Brusque; sendo que sua extremidade oriental encontra-se coberta pelos depósitos da Bacia do Paraná, e o limite Norte da faixa dá-se com o Cinturão Brusque (fig. 3). O mesmo autor observou que na região entre Angelina e Tijucas, que engloba a área de

interesse desta dissertação, ocorrem associações metatonalíticas juntamente com granito-gnaiss porfiróides, sendo que aqueles foram cartografados por TRAININI *et al.* (1978) como supostos paleossomas de migmatitos de anatexia parcial “in situ”, metatexitos.

Estes últimos autores descreveram que no Complexo Metamórfico-Migmatítico, incluindo a região de Sorocaba do Sul, encontram-se metatexitos (mt) com neossomas tipo quartzomonzonito, granodiorito e granito, e paleossomas tipo ortoanfibolito, metagabro, microdiorito, metabasito, metadiorito, quartzo-diorito, granodiorito-gnaiss, biotita-quartzo-plagioclásio-gnaiss, quartzo-hornblenda-granodiorito, microclínio-biotita-oligoclásio-gnaiss, biotita-quartzo-oligoclásio-microclínio-gnaiss, oligoclásio-quartzo-biotita-gnaiss, microquartzo-diorito-gnaiss, quartzito-hornblenda-granodiorito, hornblenda-microclínio-biotita-oligoclásio-gnaiss, biotita-quartzo-oligoclásio-microclínio-gnaiss, oligoclásio-quartzo-biotita-gnaiss, microquartzodiorito-gnaiss, possivelmente de idade mais antiga, remobilizados no Pré-Cambriano Superior.

SILVA *et al.* (1987) observaram duas gerações de granitóides. O mais antigo tem caráter mesocrático, uma tonalidade cinza escuro, textura equigranular fina a média (0,1 – 0,2 cm), em que a composição petrográfica situa-se possivelmente na faixa tonalítica. Já o granitóide mais jovem trata-se de um granito “stricto sensu”, de coloração esbranquiçada e textura granular fina a média, exibindo também fortes evidências de deformação como: achatamento dos minerais félsicos, texturas porfiroclásticas e foliação, regionalmente mais desenvolvida, de alto ângulo.

Depósitos sedimentares inconsolidados do Quaternário também são observados, tratando-se basicamente de aluvião continental (Qa) constituído por sedimentos areno-silto-argilosos e cascalhos, aluvião continental subatual (Qa1) representados por sedimentos de tamanho cascalho até argila com certo grau de consolidação e estratificação e por depósitos de encosta (Qe) identificados por aglomerados extremamente mal classificados de tamanho cascalho a matacão e matriz argilo-arenosa (TRAININI *et al.*, 1978).

2.4.2) GEOLOGIA LOCAL

Antes de tudo, ressalta-se a carência de afloramentos “in situ”, pois os terrenos da região de Sorocaba do Sul são muito arrasados, constituindo-se em horizontes de alteração bem desenvolvidos, com blocos e matacões de rocha.

Os aspectos geológicos levantados em campo aqui descritos estão restritos à área dos estudos geofísicos. Sob a forma de blocos e matacões foi possível identificar na área os seguintes tipos litológicos, abaixo, descritos macroscopicamente, do topo para oeste da encosta de estudo (pontos de observação indicados no Mapa-Base da Área de Estudo, encarte):

- P.O.1 - rocha de coloração de alteração cinza amarelado, granulação média, apresentando orientação incipiente de minerais félsicos e planos de xistosidade dados pela biotita. Há porções em que ocorrem concentrações de minerais máficos (biotita), como observado em algumas tradagens realizadas no topo da vertente (PELERIN et al., 1997). Sua composição mineralógica é caracterizada por 85% de minerais félsicos, quartzo (45 – 50%) e feldspatos plagioclásios (40 – 45%), e 15 - 20% de máficos, biotita;
- P.O.2 - rocha de coloração cinza esbranquiçada rósea, granulação média, bandejamento milimétrico a centimétrico caracterizado predominantemente por minerais félsicos de coloração branca rosada e secundariamente por minerais máficos de coloração cinza esverdeada. Sua composição mineralógica é caracterizada por 85% de minerais félsicos, quartzo (45 - 50%) e feldspatos alcalinos e plagioclásios (35 – 40%), e 15% de máficos, anfibólio e biotita;
- P.O.3 - rocha de coloração rósea, granulação grossa, aspecto brechóide com microfraturamento preenchido por material de cor de alteração esverdeada, provavelmente alteração de epidoto e/ou clorita. Sua composição mineralógica é caracterizada por 95% de minerais félsicos, quartzo (40 %) e feldspatos alcalino (55 %), e 5% de máficos, anfibólio e biotita. Esta litologia parece ser fruto de um cisalhamento sobre a litologia descrita anteriormente (P.O.2);

- P.O.4 - rocha de coloração esbranquiçada, leucocrática, textura porfiróide, com megacristais de feldspatos (1,0 – 3,0 cm), microclínio. Estes cristais apresentam bordas arredondadas marcadas por deformação, na forma de “olhos” contornados por minerais máficos, principalmente biotita, encontrando-se orientados e achatados, que caracteriza uma foliação planar bem definida. Apresenta uma matriz equigranular fina a média, constituída por quartzo (50%), feldspato alcalino (45%) e biotita (5%). Essas rochas encontram-se na colina situada a oeste onde se concentraram os estudos em questão, separadas por um lineamento estrutural que guarda a presença de um pequeno córrego, e se estende até o rio Inferninho, inclusive no leito deste.

As litologias supracitadas são cortadas por injeções de leucogranito equigranular fino a médio, de cor cinza esbranquiçada, predominantemente constituído por minerais de quartzo e feldspato, e subordinadamente biotita, mostrando orientação e estrutura migmatítica.

Ainda são encontrados sedimentos inconsolidados (figura 4), sob a forma de colúvio ou depósitos de encosta (Qe), marcados por material mal selecionado com presença de blocos e matacões dispostos de modo desorganizado e matriz areno-silto-argiloso e areno-argilo-siltoso, e de depósitos aluvionares (Qa) na porção da baixa vertente, marcado por terraços (foto 1), caracterizados por sedimentos argilo-arenosos, de coloração amarela amarronzada, com granulometria média a grossa e grãos de quartzo angulosos a subangulosos.

Nas margens do rio Inferninho ocorre depósito aluvionar com cascalhos, seixos e areias de granulometria grossa. Também são observados depósitos argilo-arenosos com cascalhos compactados (Qa₁).

O horizonte de alteração das rochas mostra cores variegadas em tons de vermelho, amarelo e branco, sendo freqüente encontrar pequenos níveis de material mais preservado em tons esbranquiçados que caracterizam provavelmente veios de material quartzo-feldspáticos. Em algumas tradagens (LUIZ, 1996; PELLERIN, 1997)

foram observados materiais silto-argilosos de coloração marrom amarelado, os quais podem ser resultado da alteração de porções rochosas constituídas basicamente por minerais máficos, podendo caracterizar lentes ou bolsões de concentração de minerais máficos.

2.4.3 – *CONTEXTO ESTRUTURAL*

Optou-se por não se referir à evolução geotectônica do Escudo Catarinense, a qual é demasiadamente complexa. Contudo, a figura 3 mostra um esboço geotectônico de Santa Catarina, onde se pode identificar a Faixa Santa Rosa de Lima – Tijucas (22), supracitada. Nota-se que esta faixa apresenta direção NE.

Como já descrito no item anterior, a carência de afloramentos “in situ” nos terrenos da região de Sorocaba do Sul dificulta as tomadas de atitudes das estruturas com um bom grau de confiabilidade. Para uma melhor caracterização estrutural da área tornou-se necessária a busca de um padrão estrutural regional, com apoio nos mapas geológicos disponíveis e seus respectivos textos explicativos.

Para um maior nível de detalhamento do contexto estrutural houve o apoio de aerofotointerpretação, na escala 1:25.000, pelo menos no que concerne às direções estruturais e feições geológicas/geomorfológicas mais marcantes na região de estudo (fig. 4). Tomando as direções dos lineamentos estruturais deste foi possível construir um diagrama (fig. 5), conforme os dados que se encontram na tabela 3. Os principais lineamentos se dão na faixa de N10–40E correspondentes às zonas de cisalhamento dispostas na mesma direção da Faixa Granito-Gnaíssica Santa Rosa de Lima / Tijucas de SILVA (1987), N50-70E, N 0-30W, N40-60W e aproximadamente E-W, ou seja, N70-89E e N70-89W.

ESBOÇO GEOTECTÔNICO de SANTA CATARINA

Compilado e modificado de Silva (1984a)

Fig. 20

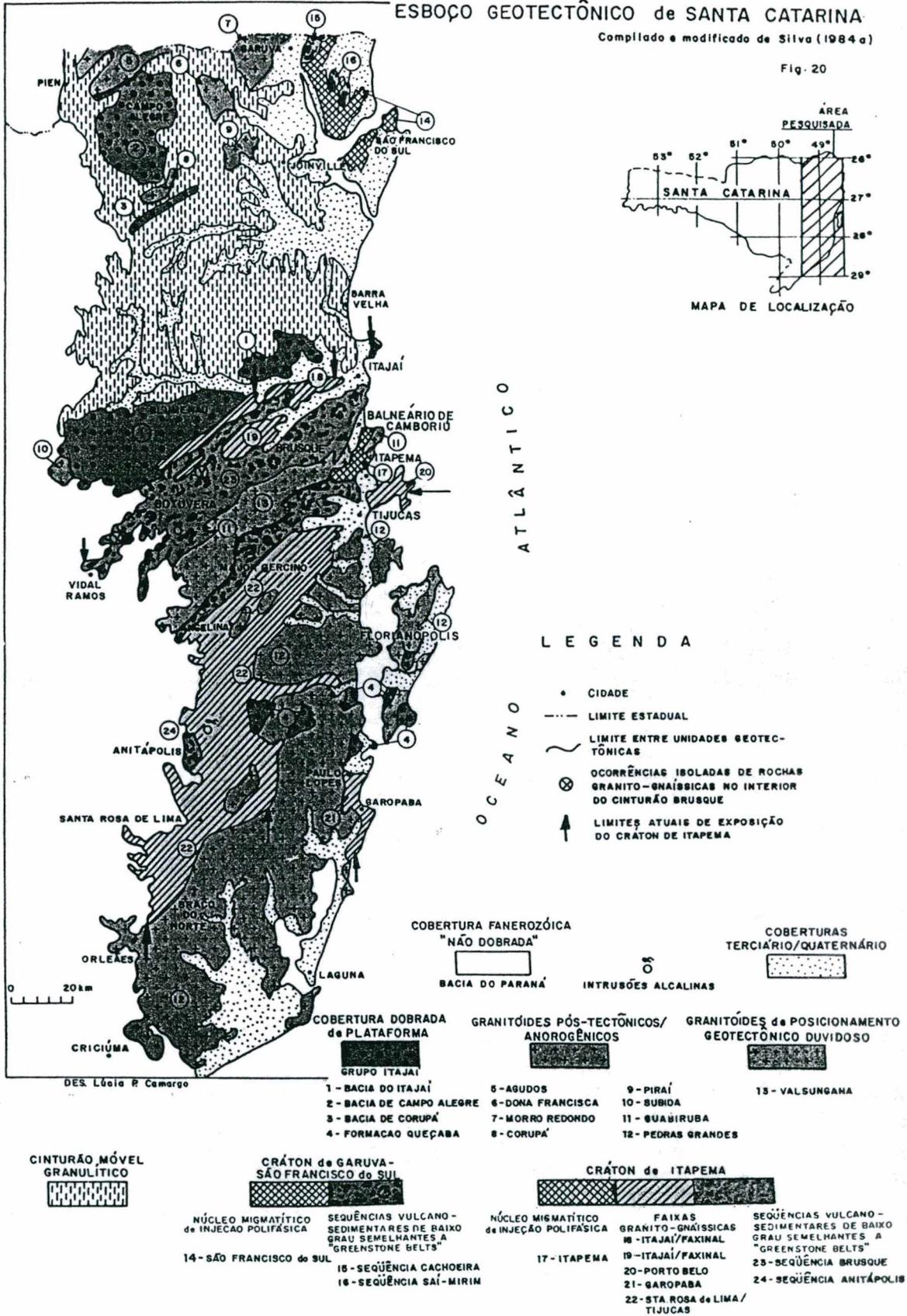
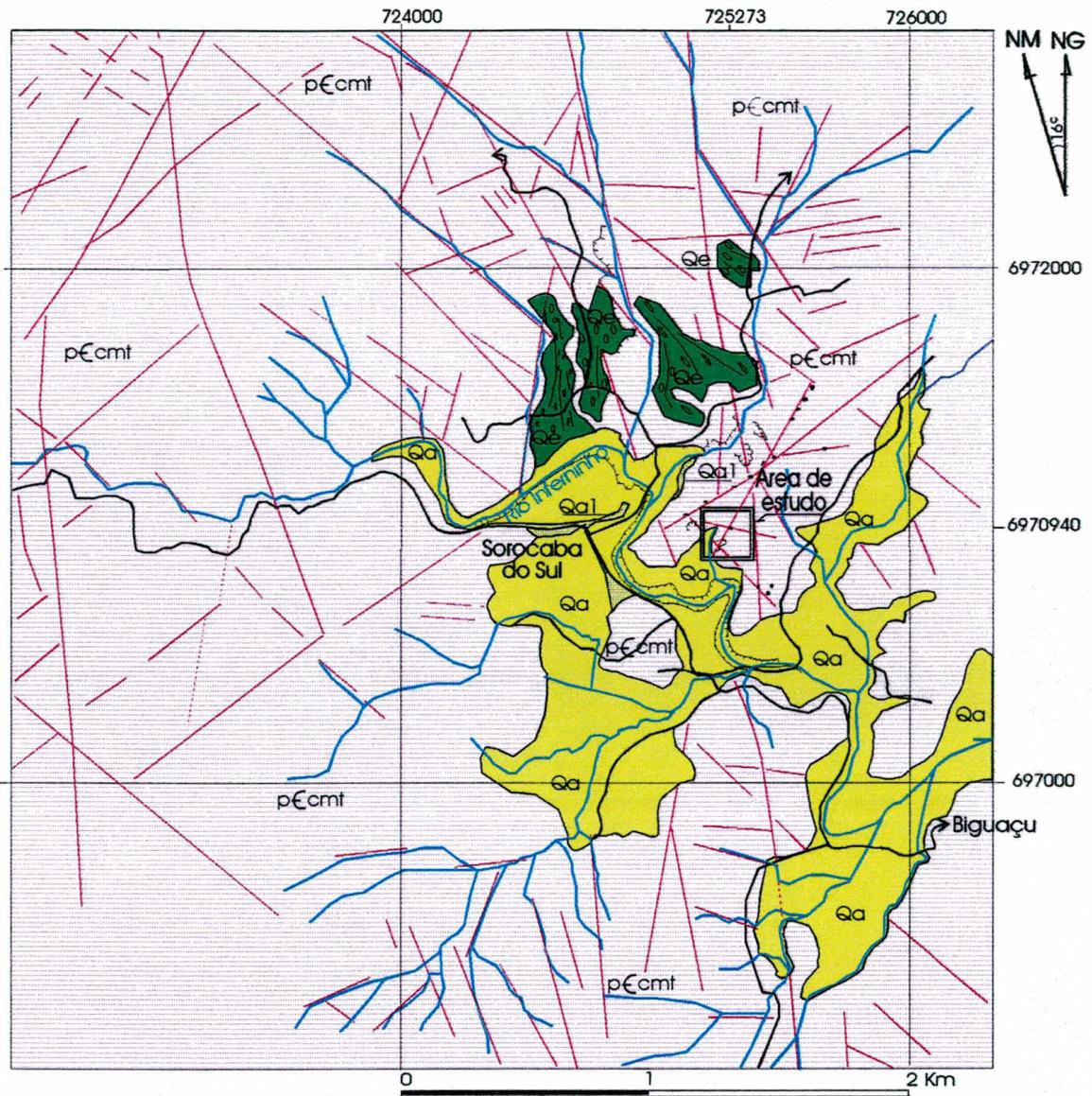


Figura 3 – Esboço geotectônico de Santa Catarina. Fonte: SILVA (1987).

ESBOÇO GEOLÓGICO-ESTRUTURAL DA ÁREA DE ESTUDO
(SOROCABA DO SUL - BIGUAÇU/SC)



Base Cartográfica:

Folha SG-22-D-11-4 - Biguaçu/SC - Escala 1:50.000 - IBGE, 1981

Fotos Aéreas Nº 21883, 21886, 21888 - Escala 1:25.000 - Aerofoto Cruzeiro, 1978

LEGENDA

Escala 1:25.000



Rios / drenagens



Estradas não pavimentadas



Depressões fechadas



Cicatrices de deslizamento



Lineamentos estruturais



Contato geológico

COLONA ESTRATIGRÁFICA (TRAININI *et al.*, 1978)

Quaternário



Qa - Aluvião: sedimentos argilo-arenosos inconsolidados



Qa1 - Aluvião: sedimentos argilo-arenosos e cascalhos compactados



Qe - Depósito de encosta constituído de sedimentos mal seleccionados c/ blocos e matações e matriz argilo-silto-arenosa

Proterozóico Superior



pЄcmt - Metatextitos

Figura 4 - Esboço geológico-estrutural da região de Sorocaba do Sul - Biguaçu/SC.

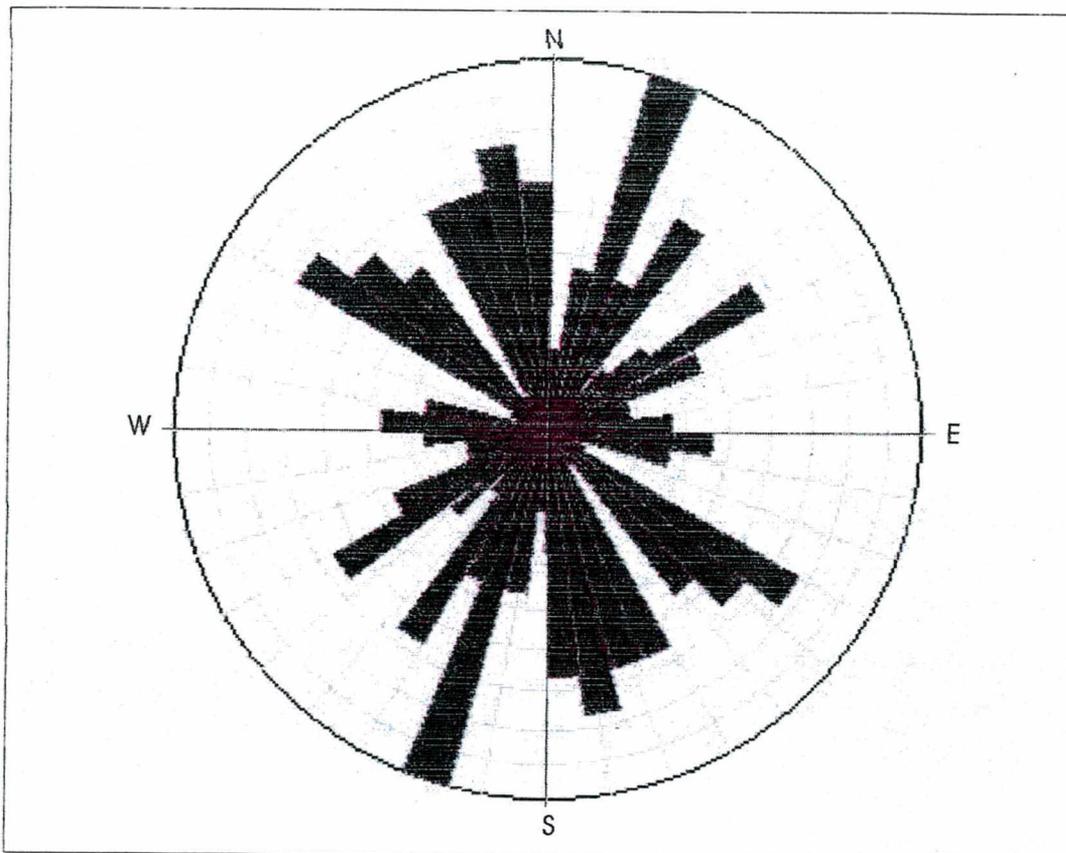


Figura 5 - Diagrama de rosetas.

Tabela 3 – Direções dos principais lineamentos estruturais da área de estudo.

N53W	N05W	N40E	N33E
N52W	N56W	N40E	N70E
N57W	N53E	N14E	N25W
N21W	N50E	N28W	N40W
N41W	N54E	N11W	N67E
N53W	N85W	N33W	N79E
N85W	N55E	N60E	N83E
N07W	N03E	N10E	N11W
N15W	N43W	N13W	N40W
N48W	N37W	N88E	N63E
N50W	N28E	N04W	N82E
N23W	N28E	N02W	N23W
N18W	N20W	N16W	N11W
N53W	N20W	N78W	
N51W	N80E	N86W	
N52W	N20W	N84W	
N52W	N51E	N54W	
N68E	N31E	N19E	
N10E	N30E	N26W	

CAPÍTULO III

PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS E OPERACIONAIS

3.1 - OS MÉTODOS GEOFÍSICOS UTILIZADOS NO DESENVOLVIMENTO DOS ESTUDOS

Conforme os objetivos da pesquisa foram selecionados os seguintes métodos e técnicas geofísicas:

Métodos Elétricos

- *Potencial Espontâneo (do inglês: Self Potential – SP) ou Potencial Elétrico Natural - Técnica de Base Fixa.*
- *Resistividade – Técnicas de Schlumberger, ou Sondagem Elétrica Vertical (SEV) e Caminhamento Elétrico Dipolo-Dipolo (CE dp-dp).*

Método Magnetométrico

- *Técnica de Medidas Magnetométricas ao Longo de Perfis de Superfície*

3.2 - BASE TEÓRICA DOS MÉTODOS GEOFÍSICOS UTILIZADOS NOS ESTUDOS

3.2.1 - MÉTODO DE POTENCIAL ESPONTÂNEO – TÉCNICA DE BASE-FIXA

O método de Potencial Espontâneo (do inglês: *Self Potential* – SP), também conhecido com Potencial Elétrico Natural, mede as variações de potenciais elétricos naturais dos solos e rochas, em milivolts (mV). As anomalias SP são geradas por fluxos de fluidos, calor, atividade bioelétrica da vegetação, variações da concentração eletrolítica na água de subsuperfície entre outras ações geoquímicas e íons da Terra. Deste modo, as investigações SP têm sido usadas para ajudar a localizar e delinear os caminhos associados a vários fluxos (CORWIN, 1990).

A explanação que deu origem ao método SP baseia-se na evidência de que um corpo de sulfetos metálicos comporta-se como uma placa galvânica, com uma diferença de potencial natural criado entre a zona de oxidação, localizada geralmente na porção superior, e o restante do corpo (TELFORD *et. al.*, 1976). A ação dessa placa está ilustrada na figura 6.

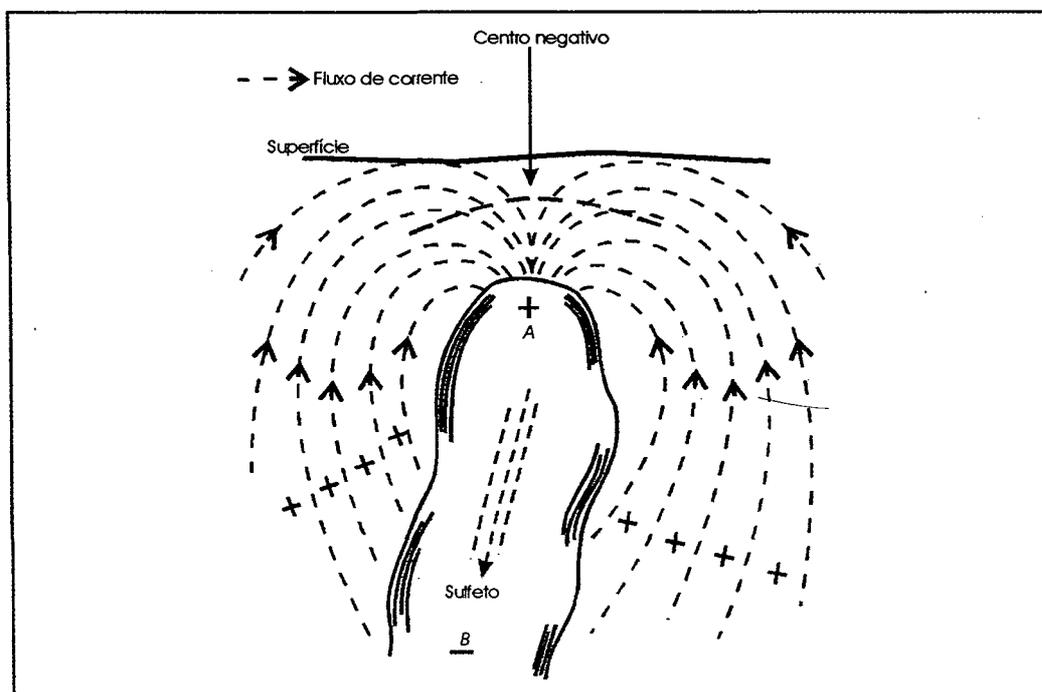


Figura 6 - Zona de sulfeto oxidado no topo como uma placa galvânica (TELFORD, 1976).

3.2.1.1 - Aplicabilidades do Método de Potencial Espontâneo na Solução de Problemas na Engenharia e Meio Ambiente

As principais aplicabilidades do método de Potencial Espontâneo na solução de problemas na engenharia e meio ambiente foram relacionadas por CORWIN (1990), conforme quadro 2.

Quadro 2 - Algumas aplicações do método de Potencial Espontâneo.

- Estudos do movimento da água de subsuperfície na identificação de:
 - vazamentos em reservatórios, barragens, diques, canais e outras estruturas de recipientes;
 - localização de falhas, vazios, poços, zonas de cascalho,
 - reconhecimento arqueológico, e outras feições de subsuperfície que afetam o padrão das águas de subsuperfície;
 - delimitação de fluxos nas vizinhanças de movimentos de massa, poços, estruturas de drenagem (drenos), nascentes (fontes);
 - fluxo regional das águas de subsuperfície.
- Possibilita, ainda, investigar solos de composição química diferente, ou zonas de solos secos e hidromórficos, bem como na detecção de anomalias termais de subsuperfície.

Fonte: CORWIN (1990) - tradução livre.

3.2.1.2 - Técnica de Base Fixa

Na técnica de base fixa os eletrodos são colocados, conforme o alinhamento que se pretende investigar, numa cavidade que permita o contato direto com o solo, e que, preferencialmente, ultrapassem a zona de raízes (em geral, a uma profundidade de 30 cm). Então, seguindo CORWIN (1990), um eletrodo deverá ser estabelecido como estação base (fixo), e o outro percorre a linha de modo sucessivo conforme os intervalos estabelecidos para a realização das medições, em milivolts (mV). As leituras das diferenças de potencial, dadas em milivolts (dV), são obtidas no aparelho multímetro, e as distâncias (ds) ou intervalos entre os pontos de leitura são preestabelecidas conforme o arranjo ou malha adotado para a área que se pretende investigar.

3.2.2 - MÉTODO DE RESISTIVIDADE: TÉCNICAS DE SCHLUMBERGER OU SONDAGENS ELÉTRICAS VERTICAIS (SEV) E DE CAMINHAMENTO ELÉTRICO DIPOLO-DIPOLO (CE Dp-Dp)

Com base na propriedade física da resistividade, este método elétrico mede impedâncias cujas interpretações permitem avaliar a distribuição das propriedades elétricas em subsuperfície e, conseqüentemente, da geologia de subsuperfície.

Seguindo WARD (1990) uma corrente (I) é injetada no solo entre dois eletrodos e uma diferença de potencial (ΔV) é medida entre dois outros eletrodos. A razão entre a voltagem medida e a corrente transmitida é entendida como impedância da porção da terra através da qual a corrente se propaga.

Se o eletrodo está na superfície de um semi-espaco, a corrente flui radialmente através de um hemisfério de raio r , e a área de superfície é $2\pi r^2$. Então, a densidade de corrente para um eletrodo num semi-espaco homogêneo é:

$$J_r = \frac{I}{2\pi r^2}, \text{ e o potencial é: } V = \frac{I\rho}{2\pi r};$$

esta é a relação fundamental para todas as técnicas de resistividade na superfície da Terra (WARD, 1990).

Na realidade se introduz uma corrente elétrica no terreno por meio de dois eletrodos ou tomadas de terra, **A** e **B**, e com outros dois eletrodos, **M** e **N**, investiga-se o campo elétrico por eles criado (fig. 7). A este conjunto de eletrodos, **AMNB**, com a ajuda dos quais se provocam e estudam campos elétricos, denomina-se dispositivo eletródico e, embora possam ter uma forma geométrica qualquer, na prática utilizam, normalmente, dispositivos eletródicos lineares e simétricos.

Os eletrodos **A** e **B** pertencem ao circuito de corrente e os **M** e **N** ao circuito de potencial. Por um dos eletrodos, **A** e **B**, a corrente entra e pelo outro sai da Terra, fechando o circuito, figura 7.

Na figura 7, **A** e **B** são os eletrodos de corrente, enquanto **M** e **N** são os eletrodos de potencial, entre os quais se mede a diferença de potencial (ΔV). Seguindo WARD (1990), o potencial medido no eletrodo **M**, devido à corrente entrando em **A** e saindo via **B**, é:

$$V_M = \frac{I\rho}{2\pi} \left(\frac{1}{r_{AM}} - \frac{1}{r_{BM}} \right).$$

Nesta equação o sinal de menos, no segundo termo, leva em conta a troca de sinal da corrente no eletrodo **B**, onde r_{AM} é a distância entre **A** e **M**, sendo que r_{BM} caracteriza a distância entre **B** e **M**.

A diferença de potencial entre **M** e **N** pode ser expressa como:

$$\Delta V = \frac{I\rho}{2\pi} \left(\frac{1}{r_{AM}} - \frac{1}{r_{BM}} - \frac{1}{r_{BN}} + \frac{1}{r_{AN}} \right);$$

em que r_{BN} e r_{AN} são as distâncias entre o eletrodo de potencial **N** e os eletrodos de corrente, **B** e **A**, respectivamente. A resistividade do semi-espaco é dada por:

$$\rho = \frac{\Delta V}{I} \cdot K,$$

em que I é a corrente transmitida, ΔV é a diferença de potencial medida entre **M** e **N**, e K é o fator geométrico (que depende do arranjo específico dos eletrodos). Esta equação serve para calcular a resistividade de um semi-espaco homogêneo e isotrópico, conforme figura 7. O espaçamento entre os eletrodos determina, teoricamente, a profundidade investigada. Porém, a superfície da Terra é heterogênea e/ou anisotrópica, logo a resistividade calculada varia com a posição e direção do arranjo dos eletrodos. Desta forma, a resistividade que se mede é um valor de resistividade aparente, que varia para cada posição e orientação do arranjo, sendo escrita como:

$$\rho_a = \frac{\Delta V}{I} \cdot K, \text{ onde:}$$

- ρ_a = resistividade aparente e é dada em **ohm.m**;
- ΔV = mede-se no circuito de potencial e é dado em **milivolts**;
- I = mede-se no circuito de corrente e é expresso em **miliampères**;
- K = é uma constante que depende da geometria do dispositivo empregado e se mede em **metros**.

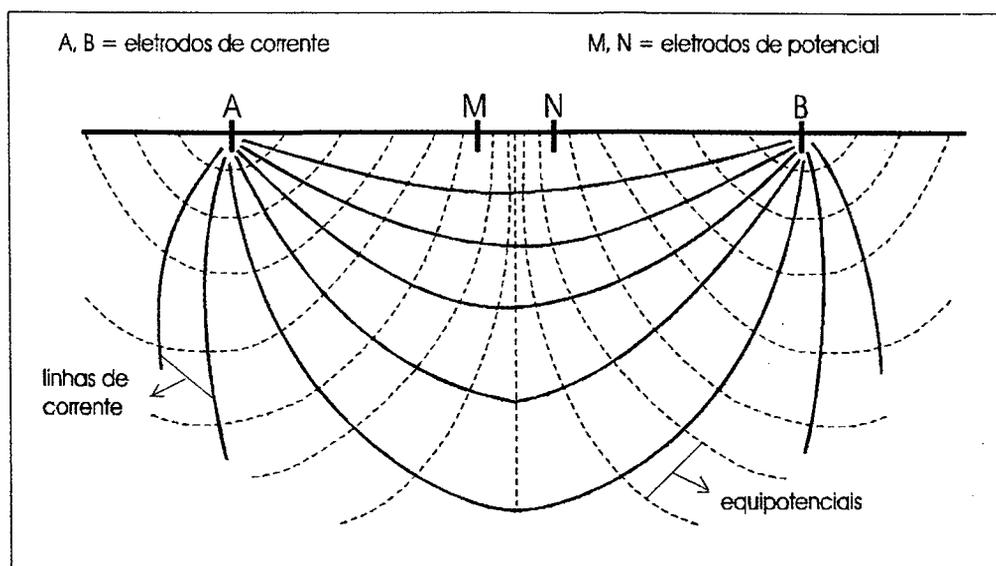


Figura 7 - Distribuição das linhas de corrente e das equipotenciais em meio homogêneo.
 Fonte: VAN NOSTRAND, 1966 - *apud* WARD, 1990.

3.2.2.1 - Aplicabilidades do Método de Resistividade na Solução de Problemas na Engenharia e Meio Ambiente

As principais aplicabilidades do método de Resistividade na solução de problemas na engenharia e meio ambiente são relacionadas por WARD (1990), conforme quadro 3.

Quadro 3 – Algumas aplicações dos métodos de Resistividade.

- Detecção de minas abandonadas.
- Delineação de sítios arqueológicos.
- Detecção de plumas de contaminação de resíduos químicos.
- Mudanças, no tempo e espaço, na produção de salinização e dessalinização.
- Posicionamento, integrando fundações, de reservatórios (represas, barragens, diques).
- Avaliação de movimentos de falhas.
- Mapeamento para engenharia de geologia.
- Delineação, detecção de falhas.
- Fundações, integrando interface solo / rocha.
- Delineação, proteção, avaliação, contaminação de águas subterrâneas.
- Topografia de terrenos cársticos – interface solo / rocha.
- Delineação de plumas de contaminação em aterros sanitários e industriais.
- Delineação, conteúdo de água em escorregamentos.
- Detecção, delineação na exploração de materiais.
- Delineação de pré-viabilidade de sítios para depósitos de resíduos nucleares.
- Monitoramento de rejeitos de retorta de óleo.
- Detecção e delineamento de túneis e cavidades.
- Apoio na locação ou construção de estradas - interface solo / rocha.

Fonte: WARD (1990) - tradução livre.

3.2.2.2 - Técnica de Schlumberger ou Sondagem Elétrica Vertical (SEV)

A técnica de sondagem elétrica vertical (SEV), também denominada de arranjo de SCHLUMBERGER, permite investigar a variação vertical da distribuição da resistividade.

As medidas são atribuídas ao ponto central do arranjo, onde são dispostos os eletrodos de potencial (V), e a profundidade de investigação cresce, teoricamente, conforme se aumenta o espaçamento entre os eletrodos de corrente (I). Isto está representado na figura 8 (WARD, 1990).

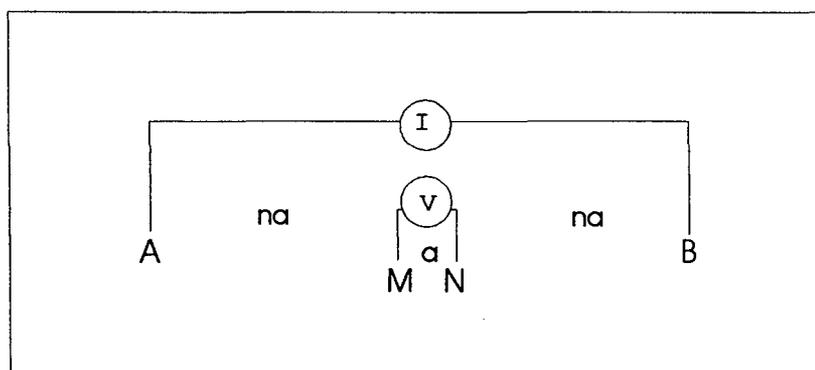


Figura 8 - Arranjo de Schlumberger. Fonte: WARD, 1990.

As medições de campo não permitem isolar diretamente o efeito de cada camada geoeétrica visto que, via de regra, percebe-se simultaneamente a influência de várias camadas. Por esta razão, a grandeza física que se mede é chamada de resistividade aparente, a partir da qual se deve deduzir as resistividades verdadeiras, espessuras e profundidades das camadas em subsuperfície, por meio do processo denominado inversão.

3.2.2.3 - Técnica de Caminhamento Elétrico Dipolo-Dipolo (CE Dp-Dp)

Trata-se de uma técnica geofísica de investigação lateral a uma ou várias profundidades aproximadamente constantes, a partir de medidas de resistividades aparentes camadas de subsuperfície efetuadas na superfície do terreno.

Tem sido empregada para caracterizar as variações no conteúdo em água (em rochas sedimentares), delimitar zonas de materiais saturados e/ou não saturados, direções de fluxo d'água subterrâneo e, ainda, para determinar contatos entre diferentes tipos geológicos.

Os dispositivos de corrente (I) e de voltagem (V) são dispostos lado a lado, conforme pode ser observado na figura 9, em espaçamentos geométricos preestabelecidos, "a" e "na".

Ressalta-se que as profundidades atingidas são teóricas, devido à forma de marcar os dados em função do arranjo utilizado. A resistividade aparente é calculada da mesma forma que na sondagem elétrica vertical, onde a constante "K" pode ser calculada, através da seguinte fórmula simplificada: $K = 2 \cdot \pi \cdot g \cdot x$; onde "x" corresponde ao espaçamento utilizado (em metros) e "g" pode ser expresso, também em metros, assim: $g = (1/AM - 1/NA + 1/BN - 1/BM)^{-1}$.

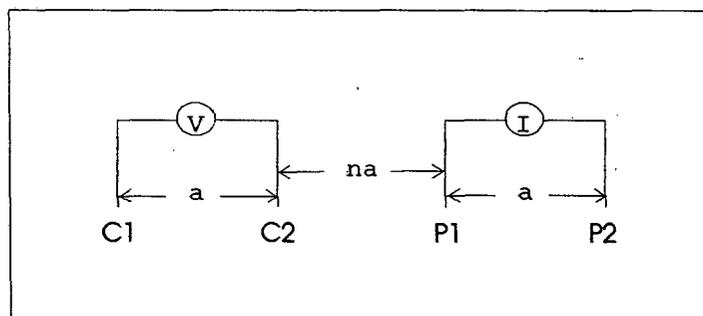


Figura 9 - Arranjo Dipolo-Dipolo. Fonte: WARD, 1990.

3.2.3 - MÉTODO MAGNETOMÉTRICO

O método se baseia no fato de que a maioria das rochas contém pequena, mas significativa quantidade de minerais ferromagnéticos, principalmente magnetita, em proporções variáveis conforme os tipos de rochas. Assim, a maioria das rochas tem uma fraca imantação, em parte induzida, provavelmente pelo campo magnético terrestre, e em parte remanescente, como se costuma chamá-la (O'BRIEN, 1972). A imantação modifica o campo terrestre em uma quantidade que pode ser medida na superfície com ajuda de instrumentos sensíveis, denominados de magnetômetros.

Uma anomalia representa um distúrbio no campo magnético terrestre originado de uma mudança local de magnetização, ou contraste de magnetização como é designado. Um perfil sobre uma superfície magnética ampla, uniformemente magnetizada, apesar do próprio magnetismo, não exibirá uma anomalia magnética, pois não há mudança na magnetização. Contudo, um aumento ou decréscimo local constitui uma mudança e produz localmente uma anomalia positiva ou negativa. A anomalia observada expressa somente o efeito da magnetização induzida e remanescente que usualmente tem diferentes direções e intensidades de magnetismo (O'BRIEN, *op. cit.*).

Seguindo DOBRIN (1976) para as bases do método magnetométrico encontra-se a equação básica da força magnética entre dois pólos magnéticos:

$$F = \pm (P_1 P_2) / r^2.$$

Nesta, P_1 e P_2 são intensidades de pólo e "r" é a distância que os separa. O sinal \pm indica que a força pode ser de atração mútua quando os pólos são de sinais contrários ou de repulsão quando são de mesmo sinal. Os campos magnéticos são dipolares, constituídos de ambas as componentes negativa e positiva. A força em um ponto no espaço devida a um dipolo é o vetor soma de uma força direcionada para dentro na direção do pólo positivo e outra direcionada para fora a partir do pólo negativo.

Já a indução magnética é definida como a magnetização que um corpo experimenta na presença de um campo magnético H. Esta magnetização é dita como

sendo induzida pelo campo H. Para os materiais nos quais a magnetização é paralela e proporcional ao campo indutor H, vale a seguinte relação (DOBRIN, 1976):

$$M = K.H; \text{ onde } K \text{ é a suscetibilidade magnética do material.}$$

O campo magnético terrestre, num determinado ponto de observação, pode ser representado na forma de um vetor, a partir da combinação de sete grandezas, denominadas de elementos geomagnéticos (DOBRIN, 1976): declinação magnética (D); inclinação (I); intensidade total do campo (F); componente vertical (Z); componente horizontal (H); componente de intensidade (X); componente de intensidade (Y). Combinando estas sete componentes do campo magnético obtém-se:

$$F^2 = H^2 + Z^2 = X^2 + Y^2 + Z^2$$

$$F = H/\cos I = Z/\sin I.$$

Qualquer combinação de três destes elementos é suficiente para definir F e os diversos instrumentos foram construídos para medir uns ou outros destes elementos.

Na figura 10 (HINZE, 1990) são vistas as componentes do campo magnético terrestre, onde: F é o vetor do campo magnético; H é a sua componente horizontal; Z é a componente vertical; D é a declinação magnética, ângulo que a componente horizontal faz com o Norte Geográfico; I é a inclinação magnética, ângulo que o campo F faz com a horizontal.

Quanto ao magnetismo de minerais e rochas, RIGOTI (1998) comenta que os únicos minerais magnéticos de importância na geofísica são os óxidos de ferro e titânio, particularmente a magnetita e a pirrotita. E que, de forma geral, a suscetibilidade de uma rocha cristalina depende de seu conteúdo em magnetita, mas a relação não é tão simples por causa da influência do tamanho dos grãos e variações na composição química dos óxidos de Fe-Ti. Rochas básicas e ultrabásicas são geralmente mais magnéticas do que as rochas ácidas. A suscetibilidade das rochas sedimentares é quase sempre baixa, mas horizontes ricos em magnetita ou hematita detriticas podem ocorrer e formar

marcadores magnéticos importantes, principalmente em trabalhos magnetométricos de alta resolução (RIGOTI, 1998).

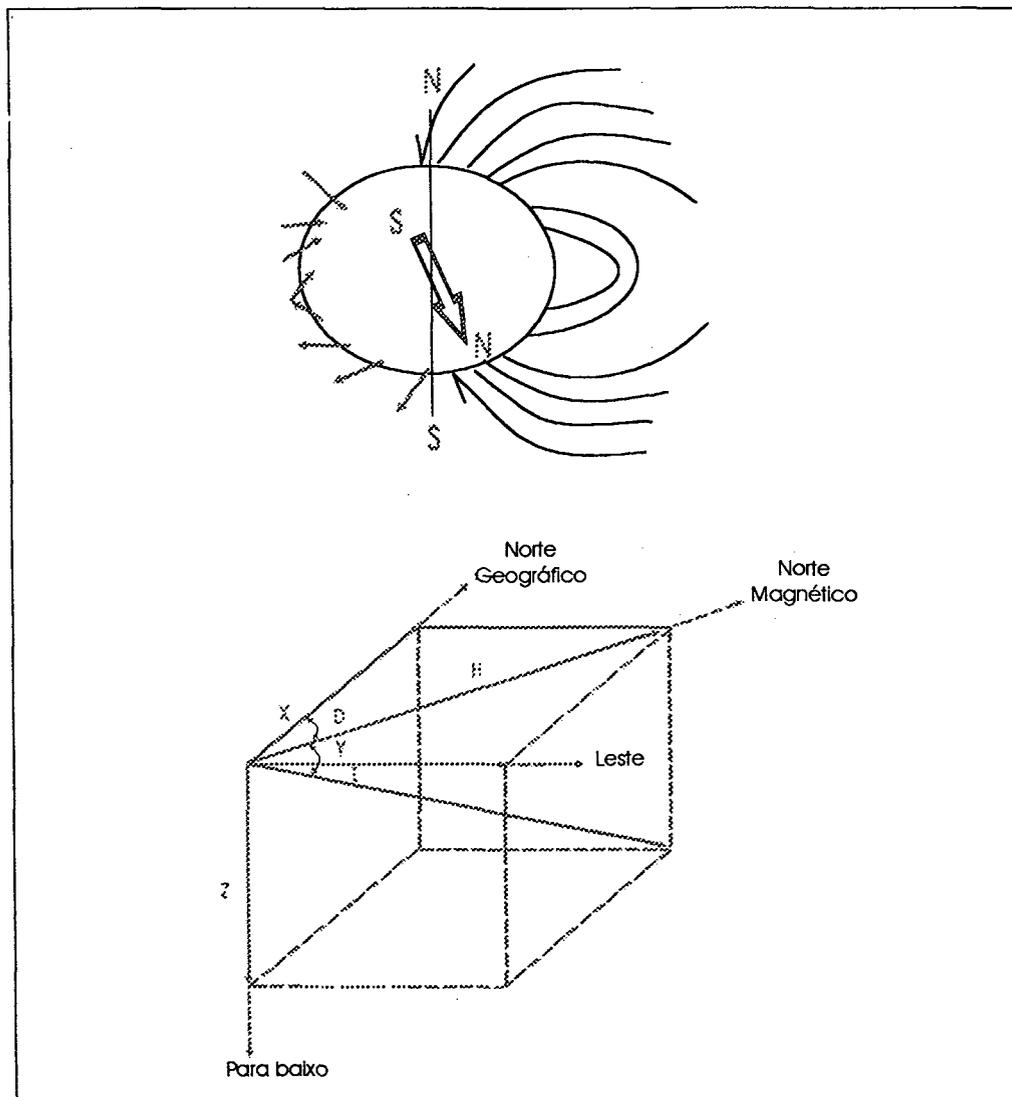


Figura 10 - Linhas de força do campo magnético terrestre e suas componentes vetoriais. Fonte: HINZE (1990).

3.3.3 - PROCEDIMENTOS OPERACIONAIS

3.3.3.1 - LEVANTAMENTO TOPOGRÁFICO

Foi realizada uma junção dos levantamentos topográficos dos trabalhos de LUIZ (1996) e PELLERIN (1997). Para a utilização desses levantamentos, bem como a ampliação de seus limites, foram utilizados pontos de amarração existentes na área de estudo (piezômetros de LUIZ *op. cit.*), bússola de geólogo, clinômetro, trena e régua graduada. Desta forma, considera-se que o produto final gerado seja caracterizado como um levantamento topográfico expedito, do qual foi confeccionado o Mapa-Base da Área de Estudo.

Os dados de campo e dos mapas já existentes foram tratados no programa SURFER 6.0, através da interpolação triangular, 200 linhas por 200 colunas, resultando em mapas, blocos diagramas e perfis apresentados neste trabalho.

A importância da topografia para o presente estudo reside na necessidade da representação planialtimétrica e em 3D, bem como na amarração das malhas utilizadas para os levantamentos geofísicos de campo. Isto foi importante, pois possibilitou a associação da geometria das anomalias geofísicas à topografia de superfície.

3.3.3.2 - AEROFOTOINTERPRETAÇÃO

Através das fotografias aéreas N^{os} 21883, 21886, 21888, em escala 1:25.000 (Aerofoto Cruzeiro, 1978), e dados de campo, foi elaborado um esboço geológico-estrutural, em escala 1:25.000. Também foram utilizadas informações dos trabalhos do Mapa Geológico do Projeto CPRM-DNPM Vidal Ramos-Biguaçu, 1978, em escala de 1:50.000.

O produto final teve sua importância voltada para as direções principais dos lineamentos que ocorrem na área da pesquisa e suas adjacências.

Os lineamentos estruturais tiveram suas direções medidas em relação ao Norte Geográfico, para posterior lançamento no programa STERONET, onde se pode obter um diagrama. Tais informações foram importantes para as interpretações geológicas e geofísicas, bem como correlação com as feições morfológicas da área de estudo.

3.3.3- LEVANTAMENTOS GEOFÍSICOS

Nota: os arranjos geofísicos encontram-se representados no Mapa-Base da Área de Estudo, encarte.

3.3.3.1- Potencial Espontâneo (SP) – Técnica Base Fixa

- Objetivos

A aplicação deste método objetivou a investigação dos caminhos preferenciais de fluxos da água de subsuperfície e, ainda, para identificação de prováveis estruturas e variações litológicas mascaradas pelo manto de alteração.

- Equipamentos Utilizados

Os equipamentos para efetuar as medidas de campo constaram de um par de eletrodos conectados a um multímetro por fios de cobre, conforme seguem:

- 01 multímetro de marca MINIPA, modelo ET-2070;
- 01 bobina com 400 metros de fio de cobre;
- 02 eletrodos do tipo não polarizáveis, confeccionados artesanalmente;
- solução líquida de sulfato de cobre (CuSO_4).

Os eletrodos, confeccionados artesanalmente pelo próprio autor desta dissertação, seguiram o modelo de TELFORD (1976), sendo constituídos de fios de cobre imersos numa solução salina de sulfato de cobre (sal de mesma composição do fio elétrico), em iguais proporções (figura 11). Ambos contidos numa cápsula de porcelana

porosa que é soldada em um tubo de PVC, como um “pote”, permitindo o isolamento do eletrodo e da solução salina, exceto na sua base, a qual faz contato com o solo. Estes tipos de eletrodos são denominados de eletrodos de junção líquido cobre-cobre (IVES & JANZ, 1961 *apud* PATELLA, 1997), muito embora o termo mais comumente utilizado seja o de eletrodo “não polarizado” (PATELLA, *op. cit.*; TELFORD, *op. cit.*; CORWIN, 1990), o qual será utilizado no decorrer das discussões.

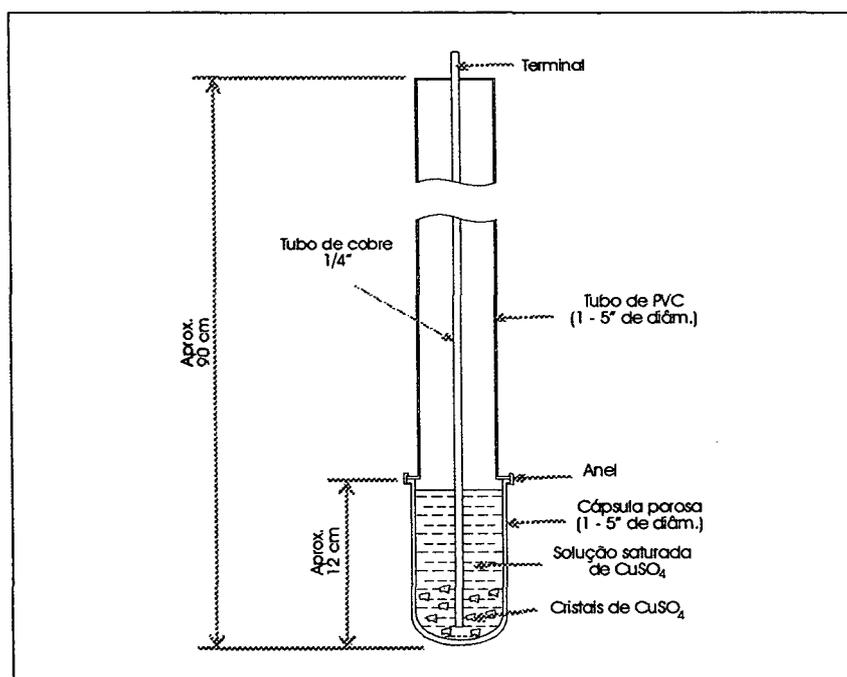


Figura 11 - Eletrodo não polarizado - modelo de TELFORD, 1976.

- Procedimentos de Campo

Adotou-se uma malha quadrada espaçada de 20m sobre o topo e a porção oeste da encosta de estudo, sendo reduzida para 10m, nas zonas de deslizamento e da depressão fechada, para maior detalhamento dessas feições, totalizando 72 pontos de investigação SP (vide Mapa-Base da Área de Estudo, no encarte). A construção desta malha foi realizada com o auxílio de bússola de geólogo e trena, partindo de pontos de

controle conhecidos.

Com o apoio de trado manual foram feitas cavidades (buracos) nos pontos preestabelecidos para a realização do levantamento SP, sempre ultrapassando a zona de raízes, em geral, a uma profundidade de 40 cm, de tal forma que permitisse o contato direto do eletrodo com o solo, conforme recomendações de TELFORD (1976) e CORWIN (1990).

Seguindo TELFORD (1976), em que o autor recomenda adicionar a solução salina de mesma composição do fio condutor em iguais proporções, foram adicionados 250 gramas de sulfato de cobre e 500 mililitros de água para cada eletrodo, correspondendo à solução eletrolítica utilizada para os ensaios com fios de cobre. Ainda, os dois eletrodos foram mantidos dentro de uma bacia com solução de sulfato de cobre interligados por um fio de cobre por um período de aproximadamente 4 horas, a fim de eliminar possível diferença de potencial entre ambos, ou seja, estabelecer um equilíbrio eletrolítico entre os eletrodos. Estes procedimentos são importantes para que seja bem sucedida a investigação.

Então, um eletrodo foi fixado no extremo centro-leste da área de estudo. Para a escolha deste ponto considerou-se a ausência de feições anômalas e maior praticidade operacional, requerendo a menor extensão de fio condutor possível.

O outro eletrodo foi sendo deslocado para cada ponto da malha de investigação, conforme os intervalos estabelecidos.

Os eletrodos foram conectados a uma bobina de fio de cobre e ao aparelho multímetro. Adotando a convenção requerida para os levantamentos, segundo CORWIN (1990), o eletrodo da estação base foi conectado no terminal negativo do aparelho e o eletrodo que se deslocava para as estações foi conectado no terminal positivo. Assim foram realizadas as leituras de diferença de potencial elétrico (dV), dadas em milivolts, entre o eletrodo fixo e o de caminhamento para cada intervalo de distância preestabelecido (ds).

As diferenças de potencial foram lidas em milivolts (mV), sendo também anotadas as leituras de resistência de contato para cada ponto de investigação, em ohms. As fichas de campo se encontram no ANEXO 1.

3.3.3.2 - Método Elétrico de Resistividade – Técnica de Schlumberger ou Sondagem Elétrica Vertical (SEV)

- Objetivos:

A aplicação da técnica de Schlumberger ou SEV voltou-se para o reconhecimento estratigráfico, mais especificamente na obtenção de parâmetros geoeletricos da superfície até a rocha sã, buscando ainda determinar o lençol freático.

- Equipamentos Utilizados

Os equipamentos utilizados para realização dos levantamentos de resistividade foram:

- 08 eletrodos de aço inox;
- 02 bobinas com 300 metros de fio de cobre cada;
- 01 bateria de 12 Volts e 45 Amperes;
- 01 resistivímetro com potência de transmissão de 1000W, de marca Tectrol;
- 01 receptor IPR de marca Sintrex.

- Procedimentos de campo

O procedimento de campo consistiu em deslocar foram efetuados deslocando-se os eletrodos de corrente (A e B) para distâncias sucessivamente crescentes, mantendo-se o centro fixo. O mesmo se fez para os eletrodos de recepção, MN, observando-se sempre a relação $MN < AB/5$ (WARD, 1990).

Ao todo foram realizadas 8 SEV's, dispostas entre o depósito aluvionar, baixa, média e topo da vertente. As aberturas máximas dos eletrodos de corrente, AB/2, e de recepção, MN/2, foram de 69,62m e 3,23m, respectivamente. O posicionamento exato das SEV's, bem como direções de abertura dos eletrodos podem ser observados no Mapa-Base da Área de Estudo, encarte. As fichas com os dados de campo se encontram no ANEXO 2.

Como o método considera, na interpretação 1D, camadas plano-paralelas horizontais (RIGOTI, 1985; RIGOTI & CROSLY, 1987; WARD, 1990), procurou-se estender a linha de transmissão de corrente ao longo da superfície mais plana possível para maior confiabilidade dos resultados. Isto é, procurou-se seguir as curvas de nível de mesmas cotas, sempre que possível, para cada SEV. Num local foram realizadas SEVs ortogonais (SEVs 03 e 04) para verificar o grau de anisotropia elétrica. Os resultados das duas SEVs foram muito semelhantes.

Os dados de resistividade, medidos no campo, assim obtidos em cada SEV, foram representados por meio de uma curva bilogarítmica, com os valores da resistividade aparente (em Ohm.m) e os valores das distâncias entre os eletrodos de emissão de corrente (AB/2 em metros) nos eixos das ordenadas e das abcissas, respectivamente. Nas fichas de campo, ANEXO 2, também podem ser observados os espaçamentos utilizados entre os eletrodos "AB" e "MN".

A constante "K", que corresponde ao arranjo geométrico utilizado, cujas unidades de medidas são dadas em metros, foi calculada da seguinte forma:

$$K = \pi \cdot AM \cdot NA / MN; \text{ onde } AM = AB/2 - MN/2, \text{ e } AN = AB/2 + MN/2.$$

3.3.3.3 - Resistividade – Técnica de Caminhamento Elétrico Dipolo-Dipolo (CE dp-dp)

- Objetivos

Com a técnica de Caminhamento Elétrico Dipolo-Dipolo buscou-se verificar variações laterais de camadas resistivas e condutoras interceptadas em profundidade.

- Equipamentos Utilizados

Os equipamentos utilizados no campo foram os mesmos utilizados para a técnica de Sondagem Elétrica Vertical.

- Procedimentos de campo

Na execução dessa técnica utilizou-se a modalidade de arranjo de eletrodos denominado Dipolo-Dipolo. As medidas foram executadas com seis níveis de investigação, onde os eletrodos de corrente (A e B) e os eletrodos de potencial (M e N) foram alinhados com 20 metros de espaçamento entre eles, cortando transversalmente a colina estudada, na direção N30W. A extensão total deste levantamento foi de 260 metros (vide Mapa-Base da Área de Estudo, no encarte).

Para cada posição de AB tinha-se MN afastado de 1xa, 2xa, 3xa, 4xa, 5xa e 6xa, onde $a=20m$ foi o espaçamento utilizado entre os eletrodos para os pares transmissor AB e receptor MN. Os dados de campo podem ser observados no ANEXO 3.

NOTA:

- a) *este ensaio foi executado concomitantemente à realização do Curso de Geofísica Aplicada à Engenharia e Meio Ambiente, ministrado na UFSC no período de 02 a 06 de julho de 2000, pelo Prof. Dr. Augustinho Rigoti;*
- b) *contou com a participação no campo de todos os pós-graduandos e professores inscritos no referido curso;*
- c) *a aparelhagem utilizada foi cedida gentilmente pelo professor ministrante.*

3.3.3.4 - Magnetometria

- Objetivos

Considerando a propriedade física de susceptibilidade magnética dos minerais constituintes das rochas, este método foi empregado para verificar variações litológicas e estruturais na área de estudo.

- Equipamentos Utilizados

- 01 Magnetômetro de Prótons para medição do campo magnético total de marca GEM – System Corporation, modelo GSM19.

O magnetômetro de prótons é sem dúvida o mais utilizado atualmente na exploração mineral. Seguindo RIGOTI (1998), tal equipamento baseia-se na medida da frequência de precessão dos prótons, núcleos de hidrogênio, que são polarizados na direção aproximadamente normal à direção do campo da Terra.

Assim, quando campo polarizador é removido subitamente, os prótons entram em precessão em torno do campo terrestre como um “peão” girando; sendo que o campo magnético da Terra fornece a energia para a precessão correspondente à gravimétrica no caso do “peão”.

A precessão dos prótons se dá a uma velocidade angular ω , conhecida como frequência de precessão de Larmor, que é proporcional ao campo magnético “F”, de tal forma que: $\omega = \gamma_p F$. A constante γ_p é a razão giromagnética do próton, isto é, a razão magnética de seu momento magnético com relação ao momento angular de giro, *spin*. O valor desta constante é conhecido com precisão de 0,001% - uma vez que a eletrônica consegue medir frequências com grande facilidade, o campo magnético pode ser determinado com esta mesma precisão.

O próton, que é uma carga em movimento, induz uma voltagem numa bobina

enrolada em torno de um recipiente rico em hidrogênio, por exemplo o querosene, que varia na mesma frequência “ ν ” da precessão. O campo magnético pode então ser determinado como: $F=2\pi\nu/\gamma_p$, em que o fator $2\pi/\gamma_p = 23,487\pm 0,002$ nT/Hz. Apenas a intensidade do campo magnético pode ser medida, isto é, o campo magnético total.

- Procedimentos de campo

As estações foram posicionadas ao longo de dois perfis de interesse, espaçadas de forma compatível com a escala do trabalho, de 20 em 20m:

- a) Ao longo do mesmo perfil do Caminhamento Elétrico Dipolo-Dipolo, ou seja, cortando transversalmente a colina estudada, de SE para NW, na direção N30W (vide Mapa-Base da Área de Estudo, no encarte), atingindo 280m de extensão;
- b) Cortando a colina de SE para NW, porém na direção N55W (vide Mapa-Base da Área de Estudo, no encarte), atingindo 240m de extensão.

As medidas foram tomadas pelo menos 3 vezes para ser obtido um valor médio de cada estação, visando reduzir erros ocasionados por ruídos ou eventuais problemas no equipamento. Os dados de campo se encontram no ANEXO 4.

Foi mantida a altura de 2,20m para o sensor de prótons, sempre na posição vertical em relação à superfície do terreno, direcionado para o norte, a fim de garantir um máximo de amplitude de sinal, conforme sugerido por O'BRIEN (1972).

Com o intuito de se efetuar correções nas variações do campo magnético, as variações de campo externo foram monitoradas entre início e fim de cada perfil, reocupando a estação base em períodos que não excederam ao tempo de 20 minutos. Contudo, não foram necessárias efetuar correções das leituras de campo, pois as variações registradas não foram significativas.

NOTAS:

- a) *Este ensaio se deu concomitantemente à realização do Curso de Geofísica Aplicada à Engenharia e Meio Ambiente, ministrado na UFSC no período de 02 a 06 de julho de 2000, pelo Prof. Dr. Augustinho Rigoti;*
- b) *Contou com a participação no campo de todos os pós-graduandos e professores inscritos no referido curso;*
- c) *A aparelhagem utilizada foi cedida gentilmente pelo professor ministrante.*

CAPÍTULO IV

TRATAMENTO DOS DADOS DE CAMPO E INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS

4.1 - POTENCIAL ESPONTÂNEO (SP)

4.1.1 – *TRATAMENTOS DOS DADOS SP*

Os dados do levantamento SP são apresentados por uma série de perfis e mapa de contorno de equipotenciais. Estes indicaram as anomalias que foram interpretadas qualitativamente.

Os dados de campo foram carregados no programa Surfer 6.0, utilizando-se coordenadas da malha de investigação “x” e “y” arbitrárias a partir de pontos conhecidos no terreno. A localização dos pontos SP medidos e seus respectivos valores podem ser visualizados no Mapa-Base da Área de Estudo, vide encarte.

Os 72 pontos de leituras de potencial geraram uma malha regular através da técnica de krigagem. A partir desta malha foi possível confeccionar o mapa de contorno de equipotenciais sobrepondo a topografia da área estudada (fig. 12). Nesta figura, o mapa de contorno de equipotenciais SP foi rotacionado 90° para oeste juntamente com a topografia do terreno, tornando possível assim visualizar as feições morfológicas e a geometria das anomalias geofísicas num plano frontal.

Para evidenciar melhor o contraste das anomalias foram adotadas cores de preenchimento de contorno das equipotenciais, partindo-se do azul para o vermelho respectivamente dos valores de menor para o maior potencial medido. O estabelecimento dessas cores visou realçar as anomalias e feições de maior interesse aos objetivos da pesquisa.

As cores em vermelho, potenciais maiores, indicam os caminhos preferenciais do fluxo da água subterrânea e servem para chamar atenção ao risco ou problemática que eles geralmente representam às obras de engenharia, por exemplo, na estabilidade de taludes ou encostas.

Na confecção dos perfis, as distâncias da superfície do terreno foram colocadas no eixo “x” e os valores SP no eixo “y”. Os valores das abscissas referem-se às mesmas coordenadas arbitrárias da figura 12, ou seja, os perfis estão referenciados ao mapa de equipotenciais SP e também ao Mapa-Base da Área de Estudo, no encarte.

Foram confeccionados oito perfis N-S (a, b, c, d, e, f, g, h), paralelamente à encosta oeste da área estudada, figura 13. Os perfis cortam a depressão no topo da colina, a grande cicatriz de deslizamento e a pequena cicatriz relacionada à fonte de água.

4.1.2 - INTERPRETAÇÃO QUALITATIVA DOS DADOS SP

Uma das principais aplicações do método SP reside na observação de que a quantidade e velocidade do fluxo da água subterrânea marcam forças eletromotivas em profundidade, resultando em variações de potencial elétrico que são detectadas em superfície (ERCHUL, 1988). Os íons negativos são retidos nas paredes dos poros dos solos e rochas por onde a água subterrânea se move, enquanto os íons positivos são arrastados pelo movimento da água, resultando numa diferença de potencial entre os extremos dos capilares, conhecido como potencial de fluxo ou eletrofiltração que reflete a imagem de espelho (inverso) da topografia (BOGOSLOVISK *et al.*, 1977; BOGOSLOVISK & OGILVY, 1977; CORWIN *et al.*, 1989). A acumulação de íons negativos na interface sólido-líquido é detectada como anomalias de cargas positivas envolvendo corpos rochosos e essas áreas são tidas como caminhos preferenciais de escoamento da água subterrânea que flui através de condutos, fissuras e falhas (ERCHUL, *op. cit.*).

A interpretação qualitativa envolve a confecção de perfis e mapas de contorno e inspeção visual dos padrões conhecidos ou das características dos campos distintos, fornecidos pelas anomalias SP. Por exemplo, os resultados de várias investigações indicam que anomalias negativas SP são geradas em áreas onde o fluxo de infiltração está entrando em uma barragem ou outra estrutura similar de recarga ou retenção da água subterrânea (TELFORD *et al.*, 1976; BUTLER, 1984; ERCHUL, 1988; CORWIN *et al.*, 1989; JANSEN, 1995), e as anomalias positivas são geradas sobre áreas onde o fluxo dirige-se para superfície ou zonas de descarga (BOGOSLOVISK *et al.*, *op.cit.*; CORWIN *et al.*, *op. cit.*; CORWIN, 1990; JANSEN, *op. cit.*).

Com base no conhecimento histórico e analisando o mapa de equipotenciais e perfis SP da área de estudo (figs. 12 e 13) foram possíveis algumas interpretações qualitativas.

4.1.2.1 – Interpretação qualitativa com relação ao potencial de fluxo

Nota-se claramente que as equipotenciais SP (fig. 12) refletem o inverso da topografia; ou seja, os valores mais negativos encontram-se no topo da vertente, aumentando progressivamente para valores positivos conforme decrescem as cotas topográficas, dadas pelas curvas de nível (em preto) e de equipotenciais (em amarelo). Este tipo de anomalia tem sido evidenciado por vários autores e é provavelmente provocada, segundo TELFORD *et al.* (*op. cit.*), por potencial de fluxo (*streaming potential*). CORWIN *et al.* (1989) descreveram que os “picos negativos” (*negative summit*) foram observados em áreas de relevo topográfico em que o fluxo descendente da água subterrânea frequentemente gerou sinais SP como a imagem de espelho, ou seja, o inverso da topografia. Isto também foi observado por TELFORD *et al.* (1976), cujos autores observaram valores geralmente negativos para o alto das elevações (*uphill*) e valores crescentes positivos à medida que decresce a topografia (*downhill*), tal qual ocorreu na área de estudo (fig. 14). Assim, pode-se admitir que há uma tendência geral de escoamento da água subterrânea paralelo à vertente, do topo para o sopé da encosta, onde puderam ser identificados caminhos preferenciais de fluxo.

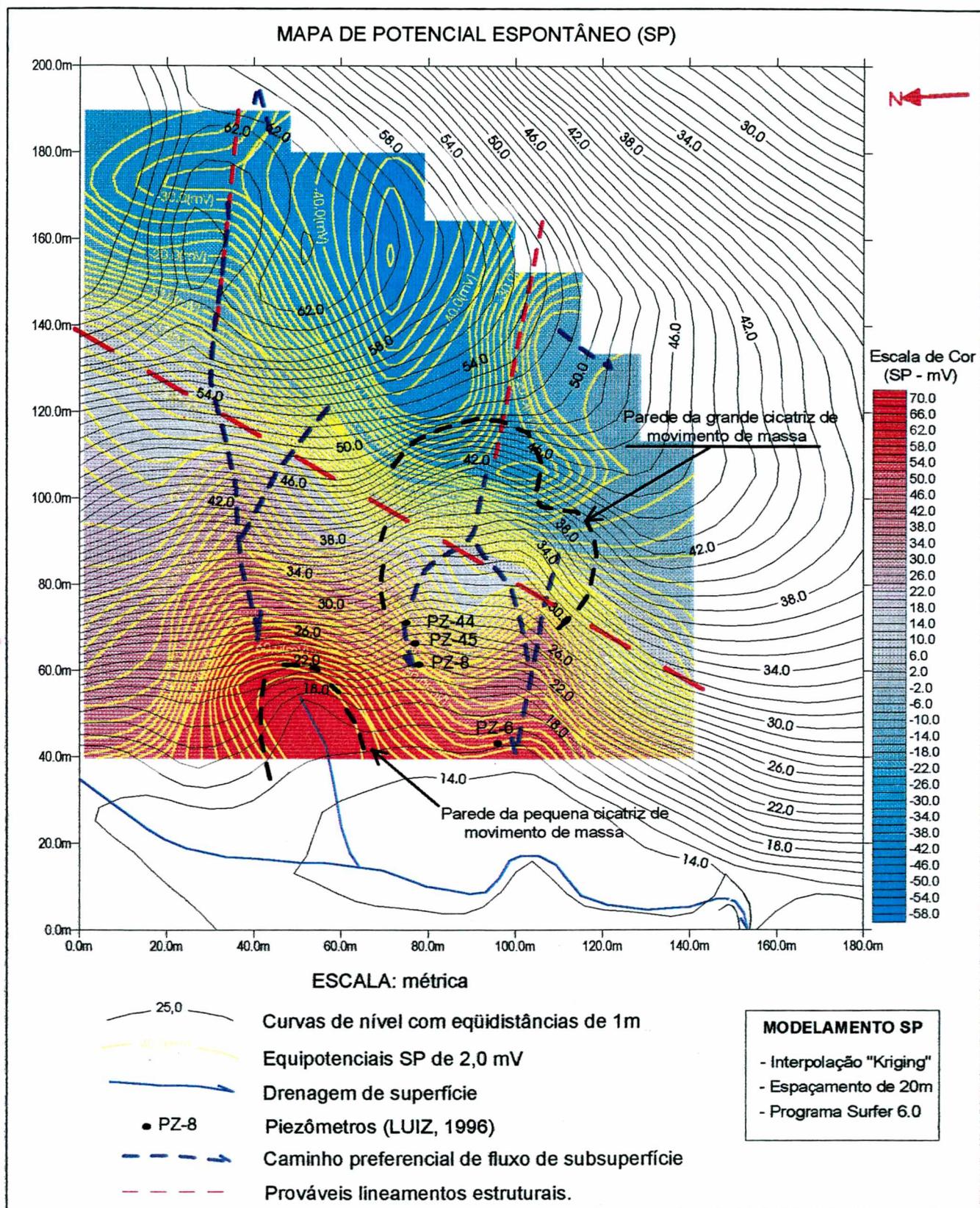


Figura 12 - Mapa de equipotenciais SP da área de estudo.

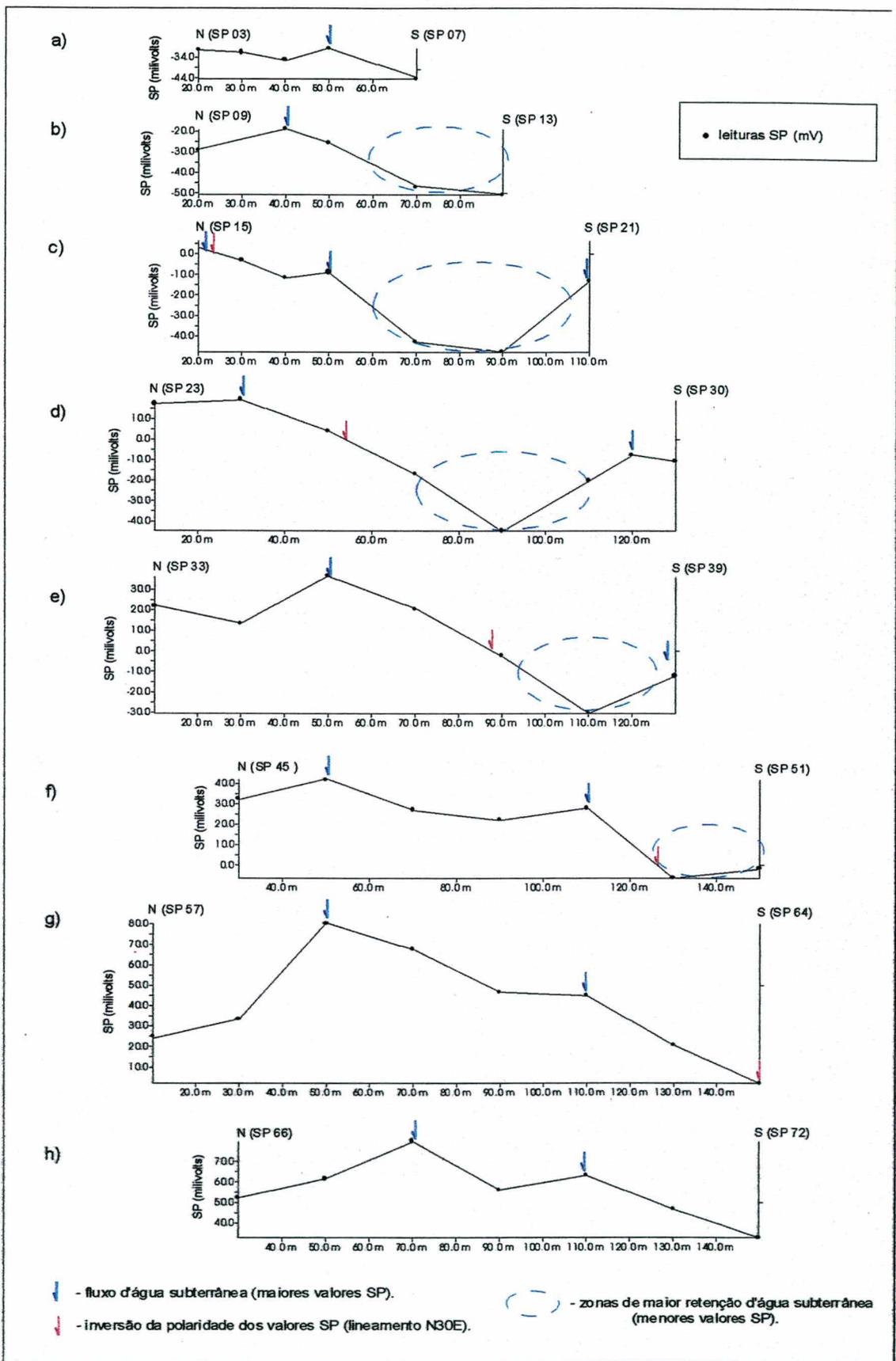


Figura 13 – Perfis SP da área de estudo.

4.1.2.2 – Interpretação qualitativa com relação aos caminhos preferenciais de fluxo

Os caminhos preferenciais de fluxo da água subterrânea encontram-se representados no mapa de equipotenciais (fig. 12) com linhas tracejadas em tom de azul claro. Estes foram estabelecidos considerando que o fluxo da água subterrânea provoca um aumento crescente positivo dos valores SP no sentido decrescente da topografia, isto provavelmente em função dos aumentos de sais dissolvidos na água e da velocidade da mesma encosta abaixo (TELFORD, 1976; BOGOSLOVISK & OGILVY, 1977; BOGOSLOVISK *et al.*, 1977). Isto pode ser observado considerando que o caminho preferencial de fluxo percorre ortogonalmente a menor distância de espaçamento entre as curvas de equipotenciais SP, do mesmo modo que se dá às drenagens nas curvas de nível da topografia de superfície.

Observando a figura 12 nota-se que foram identificados pelo menos dois caminhos preferenciais de fluxo bem definidos na porção oeste da vertente estudada. Eles apresentaram direções aproximadamente leste-oeste e sentido de fluxo para oeste. No extremo norte da área também foi possível definir o traçado de um caminho preferencial do fluxo. Este, provavelmente é o que alimenta a fonte d'água perene na porção basal da vertente, parte da pequena depressão fechada no topo da encosta (figs. 12 e 14). O outro caminho parte do topo da vertente, na porção centro-sul da área, anomalia elipsoidal de valores negativos, dissipando em dois caminhos laterais ao colúvio, provavelmente associados às paredes da cicatriz de deslizamento, rumo ao sopé da encosta.

Outros dois caminhos puderam ser inferidos: um partindo da pequena depressão para leste; outro partindo do topo, na porção sul, para sudoeste (fig.12).

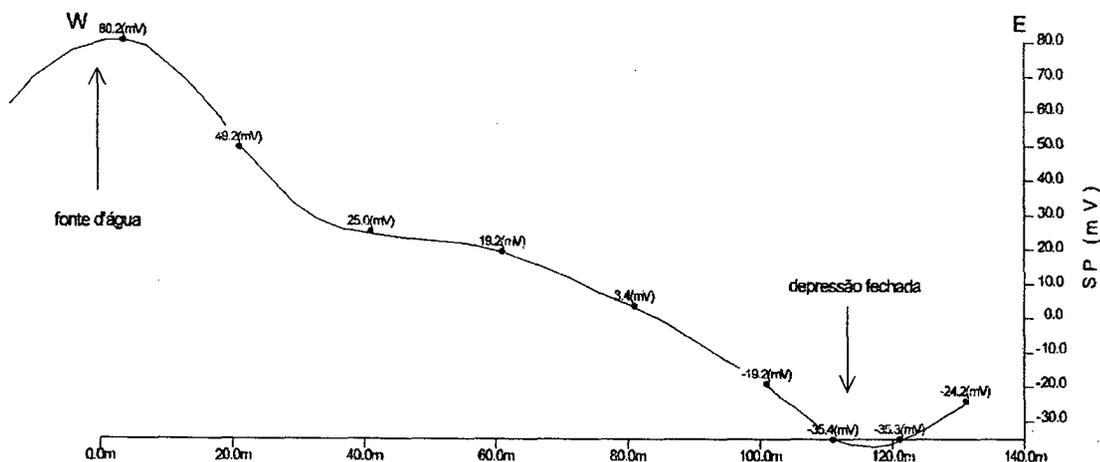
Nos perfis, figura 13, os caminhos preferenciais de fluxo estão representados por setas azuis nos picos dos maiores valores SP, não necessariamente positivos.

A figura 14a mostra o caminho preferencial de fluxo da água subterrânea identificado na porção noroeste da área de estudo, partindo da depressão fechada no topo da colina com valores SP negativos, dirigindo-se à fonte d'água na

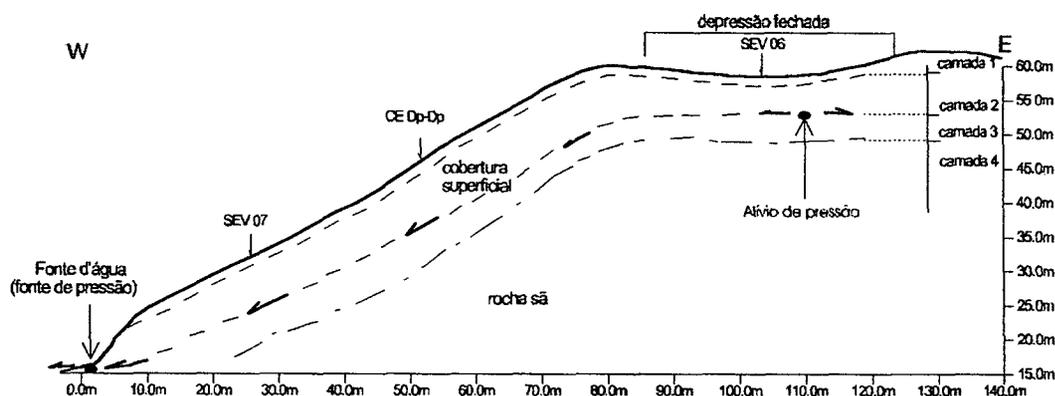
pequena cicatriz de movimento de massa com máximos valores SP positivos. A figura 14b foi confeccionada utilizando os dados de resistividade, SEV's 6, 7 e do caminhamento elétrico (CE Dp-Dp), além da observação visual da fonte d'água no sopé da vertente. Com isso foi possível construir um perfil designado topo-geoelétrico. A profundidade de fluxo da água subterrânea foi situada no topo da camada geoelétrica 3, condutora, considerando esta camada como representativa do nível piezométrico. Já a figura 15 refere-se ao modelamento SP de infiltração d'água em um reservatório. Nesta, CORWIN *et al.* (1989) mostraram que o ponto de infiltração de água em uma barragem apresentou valores negativos, comportando-se como um ponto de alívio de pressão, e que em seu percurso até a fonte de pressão, onde a água se aproxima da superfície do terreno, os valores tornaram-se crescentemente positivos. O autor menciona que este gradiente positivo crescente é verdadeiro para o fluxo descendente à estrutura. Tal representação e sua fundamentação teórica serviram de modelo para a construção da figura 14, supracitada, sendo possível uma correlação entre ambas.

Outro exemplo de aplicação do método de potencial espontâneo na identificação dos caminhos da água de subsuperfície pode ser encontrado em RIGOTI *et al.* (1998). Neste trabalho os autores apresentam os resultados das técnicas geoelétricas em estudos de contenção de taludes num trecho da BR 116 que liga Curitiba/PR e São Paulo/SP, onde o SP determinou os caminhos preferenciais de fluxo da água subterrânea, sendo que o sentido de fluxo parte dos menores valores para os maiores valores SP, corroborando as exposições supracitadas.

a) Perfil SP (W - E) da fonte d'água à depressão fechada no topo da colina.



b) Perfil topogeométrico - Fonte d'água à depressão fechada do topo da colina.



meio	SEV 06		SEV 07		Interpretação qualitativa
	res. (Ohm.m)	espessura (m)	res. (Ohm.m)	espessura (m)	
cobertura superficial	297	1,4	346	1,6	camada 1 - condutora / horizonte pedogenético aerado úmido
	1121	3,2	2489	7,9	camada 2 - resistente / horizonte de alteração
	293	5,5	472	3,8	camada 3 - condutora / horizonte de transição, rocha alterada e rocha sã, saturado
rocha sã	7809	embasamento geoeletrico	5980	embasamento geoeletrico	camada 4 - resistente / representa o embasamento cristalino

Figura 14 - Perfis SP (a) e topogeométrico (b) representando o fluxo preferencial da água subterrânea.

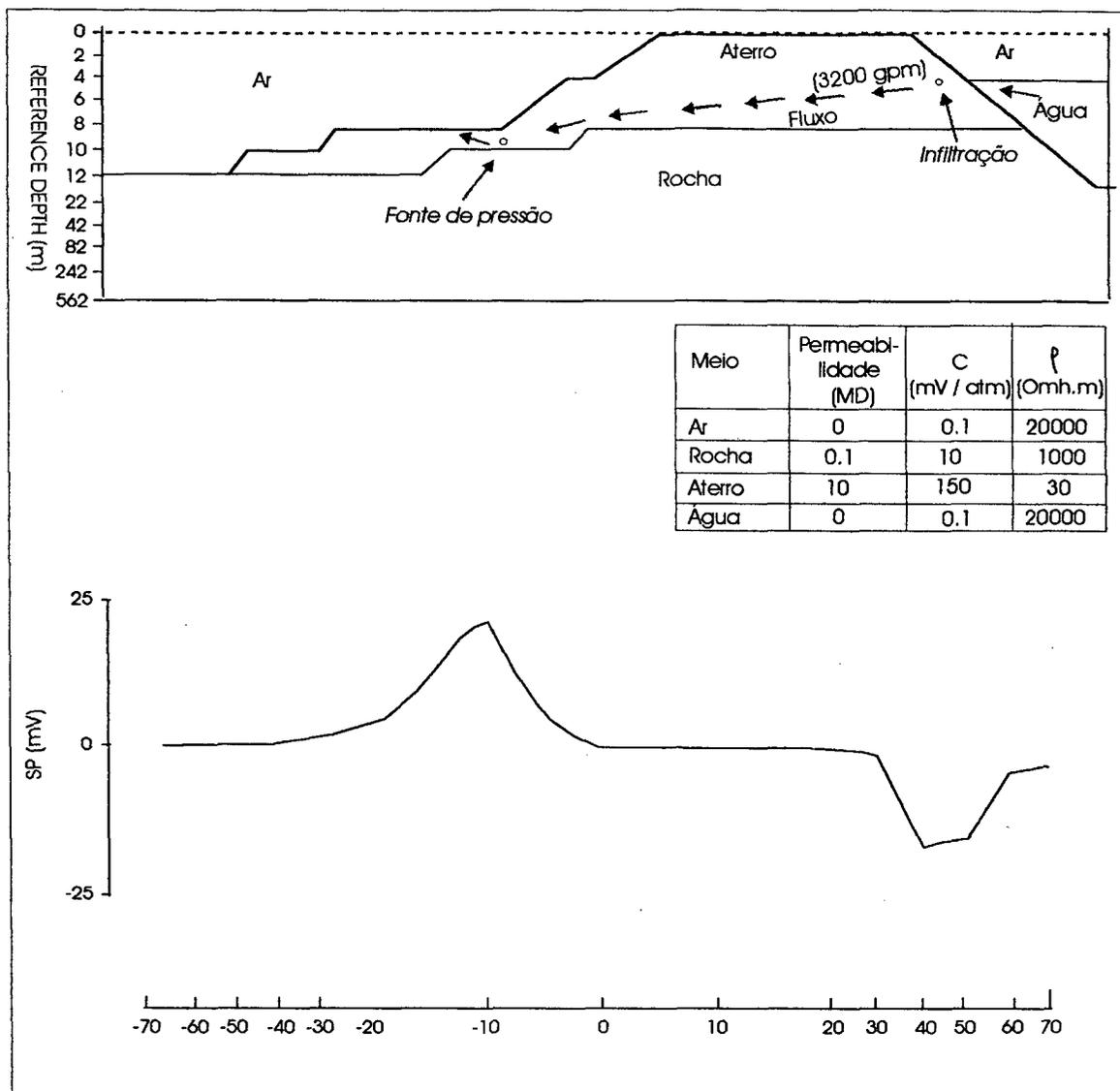


Figura 15 - Modelamento SP de infiltração d'água em reservatório. CORWIN *et al.*, 1989.

4.1.2.3 - Interpretação qualitativa com relação às estruturas geológicas

Na figura 12, o contraste das cores azul, SP mais baixo, indo para o vermelho, SP mais positivos, nota-se maior aproximação das curvas de equipotenciais convergindo, neste caso, para a equipotencial 0,0 mV de forma aproximadamente retilínea na direção N30E, representada por uma linha tracejada na cor vermelha. Esta evidência sugere marcar uma mudança brusca de relevo, ou seja o ponto de inflexão do topo da encosta. No entanto, percebe-se que esta anomalia se dispõe cortando as curvas de nível, marcando provavelmente uma mudança litológica e/ou posicionamento de uma estrutura de

falha. Isto pode ser observado também nos perfis *c*, *d*, *e*, *f* e *g* (fig. 13), marcando uma variação de gradientes entre máximos e mínimos valores SP dirigindo-se para o sudoeste da área.

Um exemplo comum de campo SP associado a uma estrutura de falha foi apresentado por CORWIN (1990). A locação do traço da falha foi estabelecida através da investigação por aberturas de trincheiras, encontrando-se, portanto, próximo à superfície. CORWIN (1990) evidenciou que a falha atuava como uma barreira lateral ao movimento da água subterrânea de abastecimento, marcada também pela presença de solos úmidos com vegetação verde na superfície do lado norte e solos secos com vegetação ressecada do lado sul da estrutura.

Ao contrário do exemplo supracitado, na área do presente estudo há uma espessa cobertura de alteração da rocha, inferida pelos métodos de resistividade em torno de 10 – 15 metros, tornando-se difícil uma investigação direta. Muito embora, variações litológicas em terrenos constituídos por rochas migmatíticas são previsíveis, tais quais ocorrem na área de estudo e que foram descritas no capítulo 3 deste trabalho. São vários os lineamentos estruturais que também mostraram padrão N20-40E que, dados pelo esboço geológico-estrutural da área de estudo (fig. 4) e diagrama de roseta (fig. 5), podem sustentar a hipótese da existência de uma estrutura geológica nesta direção.

Devida a esta suspeita de contato litológico e/ou falhamento e procurando reduzir tal ambigüidade foram empregados ainda os métodos geofísicos de resistividade, através da técnica de caminhamento elétrico dipolo-dipolo, e magnetométrico com a técnica de caminhamento de superfície. Estes métodos, que serão discutidos adiante, são bastante apropriados para investigações de variações laterais de subsuperfície e com a aplicação dos mesmos foi possível confirmar a existência de uma anomalia na mesma posição daquela dada pelo SP (fig. 12).

As linhas tracejadas em vermelho que apresentam direções N85W e N80W (fig. 12) podem de fato ser representativas de lineamentos estruturais conforme as interpretações de fotografias aéreas (fig. 4), do mesmo modo para aquela de

direção N30E. A existência dessas estruturas caracterizaria zonas de maior permeabilidade, o que facilitaria o escoamento das águas subterrâneas segundo o lineamento das mesmas. Desta forma, parece ser possível admitir que os caminhos preferenciais do fluxo da água subterrânea sejam correlacionáveis, neste caso, aos lineamentos estruturais da área de estudo, conforme pode ser observado no mapa de equipotenciais (fig. 12).

4.1.2.4– Interpretação qualitativa com relação às zonas de recarga

No topo da vertente, na porção central do mapa de equipotenciais SP (fig. 12), nota-se uma anomalia de altos valores SP negativos, apresentando uma configuração concêntrica-elipsoidal, de eixo aproximadamente E-W, onde os valores aumentam radialmente para as laterais, causando um certo estreitamento do espaçamento entre as equipotenciais. A noroeste, as equipotenciais tendem a ficar aproximadamente paralelas com a estrutura N30E descrita acima. O mesmo também ocorre para os extremos norte e sul do mapa de equipotenciais (fig. 12), onde se encontram as linhas tracejadas em vermelho com direções aproximadas N85W e N80W, respectivamente.

A anomalia de valores SP negativos pode estar representando uma zona de recarga ou retentora da água subterrânea, podendo estar associada às estruturas de fraturamentos e/ou falhamentos laterais. Nota-se nos perfis *b*, *c*, *d* e *e* (fig. 13) que, entre as abscissas 50m e 140m, a configuração deles sugere zonas de aprisionamento da água subterrânea, dada pelos maiores valores negativos.

Para a porção da depressão fechada, uma feição na forma de cava em subsuperfície, provavelmente mais porosa, poderia estar provocando uma espécie de aprisionamento da água subterrânea, como um poço, com conseqüente dispersão longitudinal da mesma, aproximadamente para leste e para oeste.

JANSEN (1995) aplicou o método SP ao redor de poços de abastecimento d'água, realizando medidas com e sem bombeamento. Neste trabalho o autor constatou que na ausência de bombeamento do aquífero as leituras apresentavam valores SP negativos ao longo de uma estrutura permeável, linha de fratura,

interpretada pelo autor como zona de recarga. Durante o bombeamento as medidas SP assumiam valores positivos ao redor do poço, assemelhando-se a um ponto de descarga.

Considerando o exposto acima nota-se que há uma coerência na interpretação de que as anomalias negativas representam uma zona de recarga no topo da vertente, atuando como uma cabeceira de drenagem ou zona dispersora da água subterrânea. As anomalias positivas estariam representando uma zona de descarga lateral, vertente abaixo, apresentando certos caminhos preferenciais de fluxo linear da água subterrânea.

4.1.2.5- Interpretação qualitativa com relação ao movimento de massa

Com relação específica à porção do movimento de massa, o fluxo da água subterrânea mostrou-se contornando o material coluvionar. Isto pode ser em função de que o material movimentado apresenta-se muito heterogêneo, com pouca coesão. Segundo LUIZ (1996) o colúvio contém mistura de materiais argilo-arenosos a argilo-siltosos do horizonte pedogenético e silto-arenosos a areno-siltosos com presença de blocos constituintes do horizonte de alteração. Sendo assim, algumas partes do colúvio podem atuar como uma barreira que impede e/ou retêm o fluxo da água e conseqüentemente provoca a saturação, ou hidromorfia, em algumas porções em seu interior – mas que como um todo deve ser mais seco, aerado. O mapa de equipotenciais SP (fig. 12) marcou provavelmente o contorno do colúvio na porção em que as curvas de potencial espontâneo encontram-se dispostas na forma côncava para leste limitada pelas curvas laterais côncavas para oeste. As primeiras podem estar representando justamente a porção do colúvio que se encontra mais seca, marcada pela grande heterogeneidade composicional do material movimentado, apresentando uma drenagem lateral mais rápida. Cabe lembrar que os valores negativos para oeste, ou seja, para o alto topográfico, podem ser representativos de infiltração d'água em uma zona de fratura. Já as segundas representariam os caminhos preferenciais do fluxo da água subterrânea, entre as paredes da cicatriz e o material movimentado, local de maior umidade que, de certa forma, coincidem

com as linhas de drenagens superficiais que envolvem o colúvio. LUIZ (1996) observou nos piezômetros 6, 7 e 22 menores valores das cargas piezométricas e cargas totais, sendo que isto poderia estar relacionado à presença de materiais com textura grossa e de blocos em profundidade, os quais proporcionariam uma zona de alívio de pressão, podendo gerar uma zona de maior permeabilidade nesse trecho da encosta. De fato a evidência, levantada pela autora citada, pode ser correlacionada a uma das linhas de fluxo interpretada na figura 12, onde se encontram localizados tais piezômetros.

BOGOSLOVSKY & OGILVY (1977) estudaram movimentos de massa aplicando métodos geofísicos, incluindo o SP. Estes autores puderam delimitar zonas de material movimentado. Eles observaram que a posição do deslizamento foi indicada por anomalias negativas distintas. Nesta, as equipotenciais de contorno geralmente seguiram os limites do deslizamento, sendo que o potencial mínimo ocorreu ao longo do eixo do deslizamento e refletiu o caráter de infiltração da água controlada por intercalações de leitos ou camadas subjacentes impermeáveis e permeáveis, característicos do material movimentado. A anomalia negativa na cabeça desse deslizamento foi associada com a água de infiltração através de fraturas localizadas próximas da parede da cicatriz. O corpo movimentado foi também caracterizado pelo aumento de temperaturas que atingiram 31° C. O aumento da temperatura foi associado com o aquecimento dos horizontes mais superficiais do solo – material mais seco, aerado - em lugares onde o nível da água subterrânea era mais profundo. Nos locais de descarga da água de infiltração, nas partes periféricas do deslizamento e próximas da base do mesmo, as temperaturas decaíram para 23°C – sendo associado a uma maior umidade das paredes do deslizamento.

Rigoti *et. al.* (1988) também evidenciou um padrão de baixo valores SP, semelhante ao da figura 12, em relação à cobertura aerada, pouco coesa, sendo que as rupturas periféricas se encontravam mais úmidas.

As descrições desses autores parecem ser bastante razoáveis para uma comparação com os resultados e constatações observadas na área de estudo desta dissertação.

4.2 - SONDAGENS ELÉTRICAS VERTICAIS (SEV's)

4.2.1 – TRATAMENTO DOS DADOS DAS SEV's

Ao todo foram realizadas oito SEV's, sendo que a localização dos pontos investigados e o sentido de abertura dos eletrodos AB/MN podem ser visualizados no Mapa-Base da Área de Estudo, vide encarte.

As sondagens elétricas verticais foram tratadas através do programa de inversão desenvolvido por RIGOTTI & CROSLLEY (1987). Os programas fornecem as espessuras e profundidades, bem como as resistividades reais das camadas geoeletricas interceptadas, e atendem aos modelos simples de camadas plano-paralelas, modelo 1-d.

Os dados de campo foram carregados nos programas considerando as distâncias do arranjo eletródico empregado e as suas respectivas leituras de resistividade aparente, efetuando-se, então, um teste de conversão dos dados. Os programas permitem também efetuar ajustes e/ou correções para o modelo geoeletrico que melhor se adapta ao modelo geológico que se investiga. Isto é, os programas permitem interagir com valores de espessura, profundidade e resistividade.

4.2.2 - INTERPRETAÇÕES QUANTITATIVA E QUALITATIVA DAS SEV'S

Os resultados das SEV's encontram-se nas figuras 16 (a: SEV 03; b: SEV 04), 17 (a: SEV 05; b: SEV 07), 18 (a: SEV 02; b: SEV 06) e 19 (SEV 01). Essas figuras apresentam as curvas bilogármicas e os dados quantitativos de espessura, resistividade e profundidade para cada camada geoeletrica interceptada.

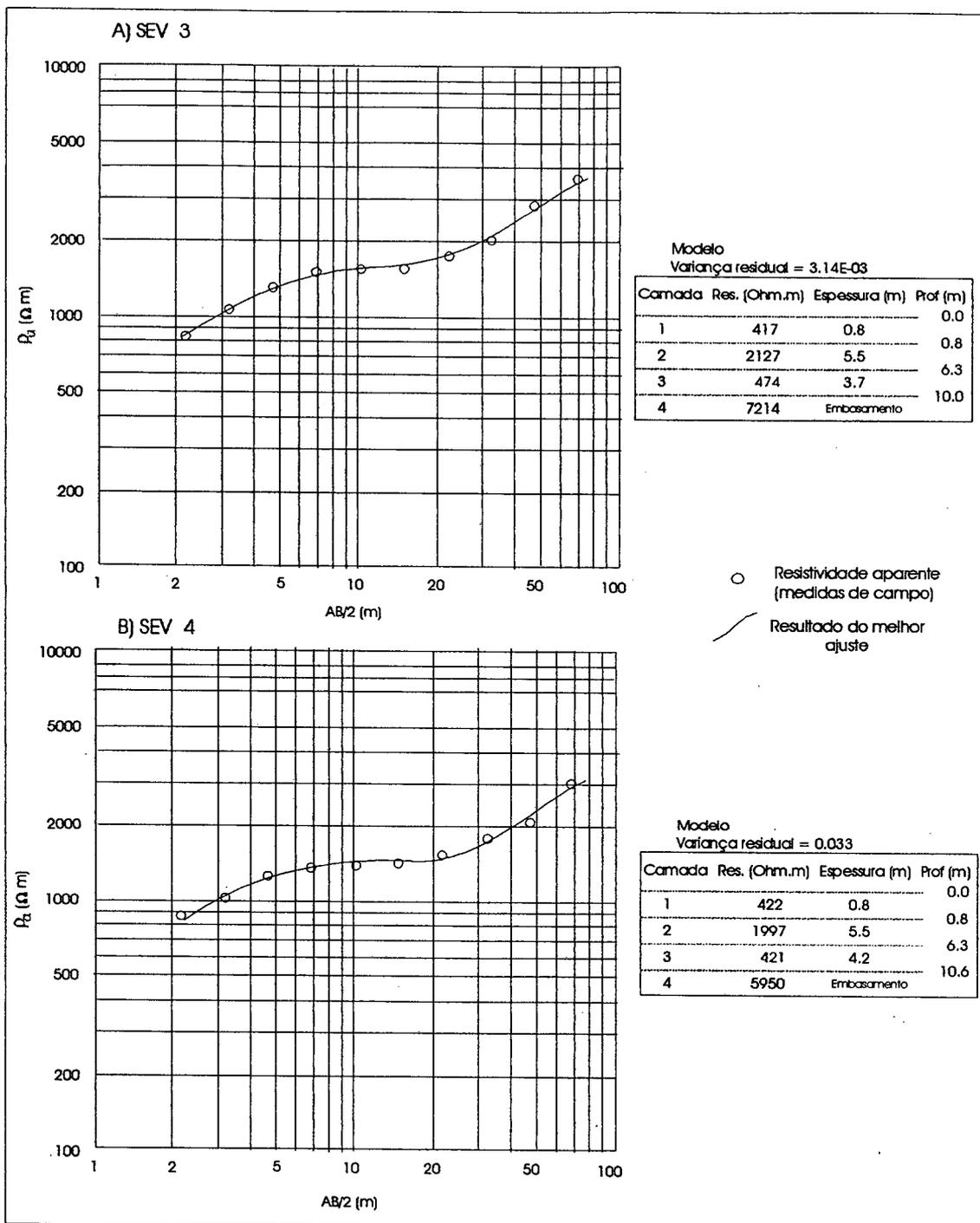


Figura 16 - Resultados das SEV's 03 e 04, na encosta da colina. Modelo de quatro camadas geológicas.

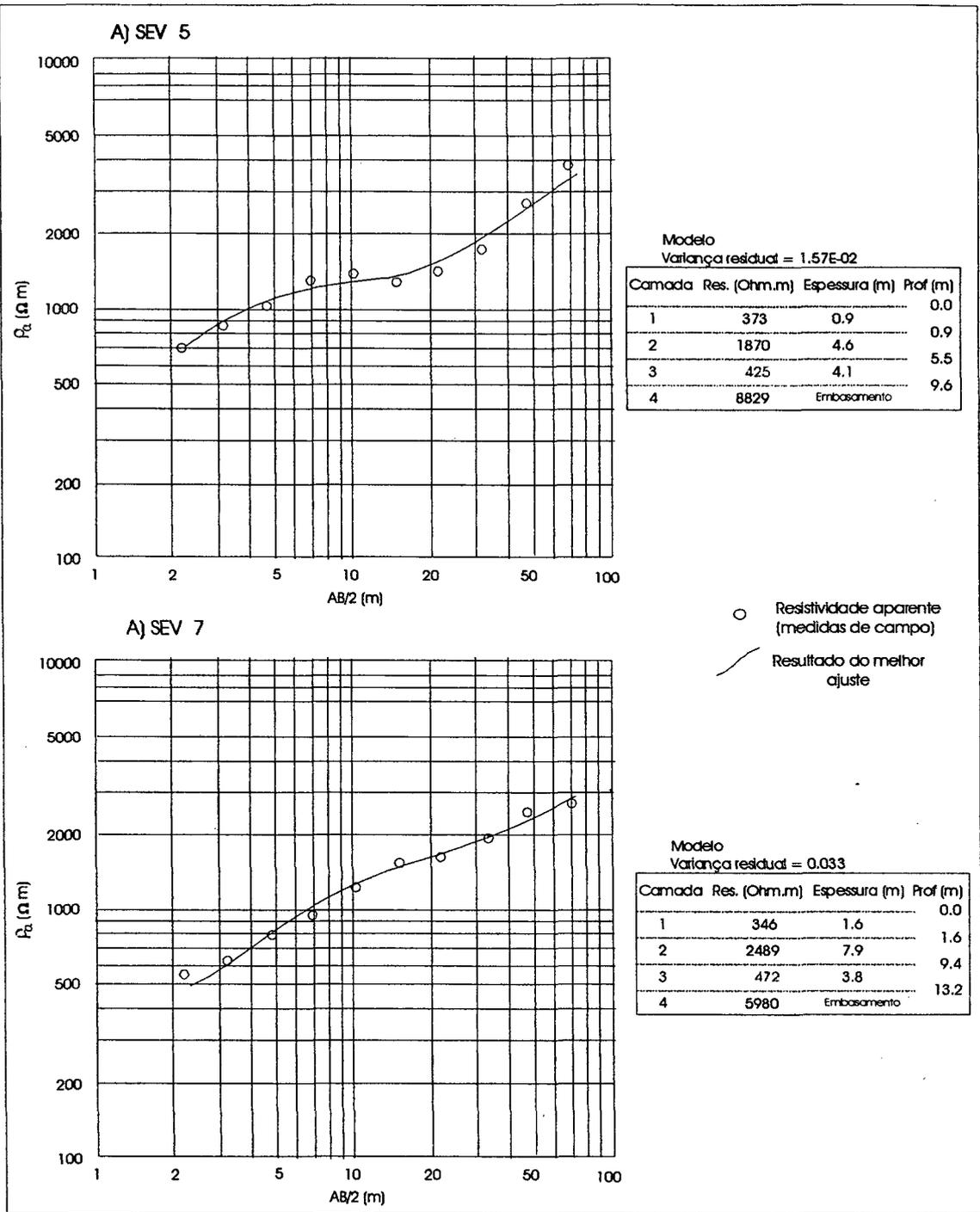


Figura 17 - Resultados das SEV's 05 e 07, na encosta da elevação. Modelo de quatro camadas geoeletricas.

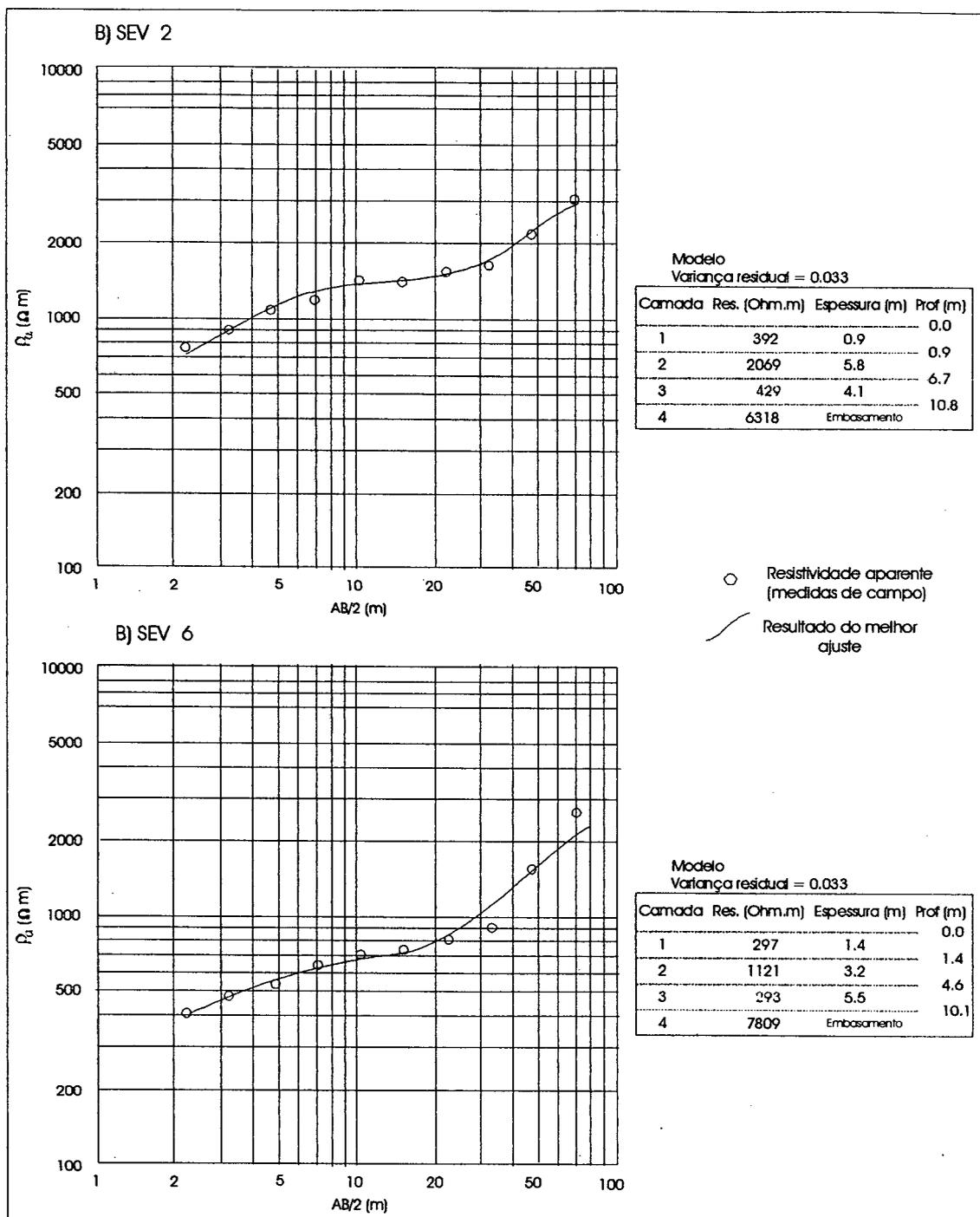


Figura 18 - Resultados das SEV's 02 e 06, no topo da colina. Modelo de quatro camadas geoeletricas.

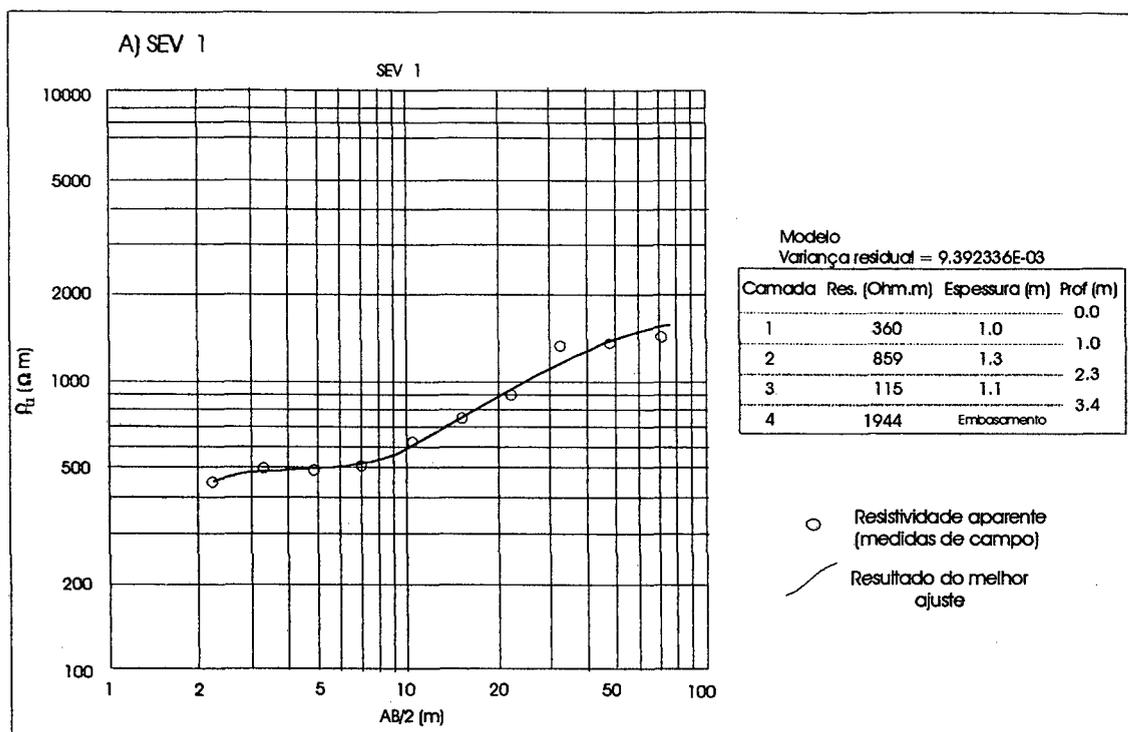


Figura 19 - Resultados da SEV 01, no sopé da encosta. Modelo de quatro camadas geoeletricas.

Nas inversões dos dados de campo, o modelo geoeletrico que melhor se ajustou à curva bilogaritmica foi o de 4 camadas. Ou seja, as SEV's mostraram, de modo geral, a sucessão de 4 camadas de resistividades distintas em subsuperfície. Com isso foi possível realizar uma relação estratigráfica com as informações geológicas / pedológicas observadas na área de estudo.

As SEV's foram realizadas em duas porções distintas:

- Encosta - onde a cobertura superficial é distribuída, de modo geral, por um primeiro horizonte pedológico, de espessura na ordem de 2,0m, sucedido de um horizonte de alteração de rocha, de espessura desconhecida, sendo esperada, em profundidade, a rocha sã. Nesta porção foram realizadas as SEV's 3, 4, 5 e 7 distribuídas na média e alta encosta (figs. 16 e 17) e as SEV's 02 e 06 no topo da colina (fig. 18);

- **Aluvião** - onde a cobertura superficial é dada por um horizonte pedológico pouco espesso, da ordem de 0,8m, sucedido por um depósito arenoso, sendo esperada, em profundidade, a rocha sã. Nesta porção foram realizadas as SEV's 01, aproximadamente no contato entre a baixa vertente e o aluvião, e 08 situada na planície aluvionar.

4.2.2.1 - As SEV's executadas na encosta (02 , 03, 04, 05, 06 e 07)

De modo geral as SEV's apresentaram um mesmo padrão das curvas bilogarithmicas para as mesmas aberturas de AB/2, com máximo de 69.62m.

A interpretação qualitativa dos resultados das SEV's foi feita com base na correlação das camadas geoeletricas, apoio em interpretações geoeletricas disponíveis na literatura e dados de investigação geotécnica na área de estudo. A tabela 4 refere-se à interpretação qualitativa geral das SEV's realizadas na encosta da área de estudo.

Interpretação quantitativa			Interpretação qualitativa
Camadas Geoeletricas	Resistividade (Ohm.m)	Espessuras (m)	Camadas geológicas
1	297 - 417	0,8 - 1,6	Camada condutora ou de baixa resistividade. Horizonte pedogenético caracterizado por solo húmifero argilo-areno-siltoso que guarda boa umidade com influência de raízes.
2	1.121 - 2489	3,2 - 7,9	Camada resistiva. Horizonte de alteração da rocha, caracterizado por uma textura areno-silto-argilosa, com pouca ou nenhuma umidade.
3	293 - 472	3,7 - 5,5	Camada condutora ou de baixa resistividade. Marca provavelmente o horizonte de transição entre a rocha alterada e a rocha sã. Guarda uma boa umidade e/ou saturação, podendo estar relacionada ao lençol freático.
4	5950 - 8829	Embasamento geoeletrico	Camada muito resistiva. Marca a rocha sã, migmatito.

4.2.2.1.1 – Interpretação da camada geométrica 1 (SEV's da encosta)

LUIZ (1996), caracterizou os horizontes pedogenético e de alteração, através de coleta de amostras para ensaios de granulometria e de caracterização geotécnica. O horizonte pedogenético, subjacente ao de alteração, apresentou em geral texturas argilo-areno-siltosa e argilosa na base. Já o horizonte de alteração, também designado de alterito pela autora, apresentou textura areno-siltosa. Outras duas distinções entre esses horizontes dizem respeito ao grau de saturação e de umidade gravimétrica, onde o horizonte pedogenético apresentou aproximadamente o dobro do grau de saturação e umidade gravimétrica em relação ao horizonte de alteração.

A camada geométrica 1 definiu, com certa precisão, o contato entre o horizonte pedogenético e o de alteração. A camada geométrica 1, condutora, oscilou entre 0,7 e 1,6 metros de profundidade, e pode ser interpretada como um horizonte pedogenético de solo superficial apresentando boa umidade, bastante estruturado, poroso, e com influência de zona de raízes. Isto, pode ser comparado com o quadro 1. Essas autoras também observaram um horizonte argiloso que se mostrou úmido, porém com pouca permeabilidade e baixa porosidade total, entre 1,00 e 1,50 metros de profundidade. Este horizonte marca o contato para o horizonte de alteração subjacente, que apresentou altos valores de porosidade total, porém com baixa permeabilidade, seco ao tato.

WARD (1990) observou que a conexão da água, como solução eletrolítica carregada de sais, ao longo dos poros dos grãos e fissuras é que caracteriza uma camada condutora.

Considerando o exposto acima, pode-se deduzir que o horizonte argiloso que antecede ao horizonte de alteração funciona como uma camada praticamente impermeável retentora da umidade no horizonte mais superficial. Muito embora tal camada não tenha marcado exatamente o contato entre os horizontes pedogenéticos e de alteração, as evidências dadas pela investigação direta, porosidade e umidade, corroboraram assim para a interpretação qualitativa da condutividade da primeira camada geométrica.

4.2.2.1.2 – Interpretação da camada geolétrica 2 (SEV's da encosta)

A segunda camada geolétrica apresentou espessuras entre 3,2 e 7,9 metros. Essa camada mostrou uma elevada resistividade, da ordem de 2000 Ohm.m, ou maior, e pode ser associada à rocha alterada seca, quando confrontada com as observações dos dados diretos disponíveis, tradagens e ensaios geotécnicos.

Comparando os dados texturais e geotécnicos, quadro 1, percebe-se que a partir da profundidade de 1,5 metros ocorre uma mudança brusca de textura, estrutura e porosidade, que marca a passagem do horizonte pedogenético, úmido, para o horizonte de alteração, seco. Nesta situação, a resistividade assumiu valores maiores, o que permitiu a distinção da camada sobrejacente, condutora, para a camada subjacente, resistiva.

4.2.2.1.3 – Interpretação da camada geolétrica 3 (SEV's da encosta)

A terceira camada geolétrica apresentou baixa resistividade, na ordem de 400 Ohm.m, ou menor, com espessuras entre 3,7 e 5,5 metros. A condutividade dessa camada provavelmente marca um horizonte mais úmido e/ou saturado e bastante poroso, posicionado na transição entre o horizonte de alteração seco, sobrejacente, e a rocha sã, subjacente. Esta camada condutora pode ser constituída do mesmo material da camada sobrejacente, horizonte de alteração, porém, na profundidade que ocorre, encontra-se saturada, no nível do lençol freático. De certa forma, pode-se considerar que é previsível uma acumulação d'água próximo ao contato da rocha sã, neste caso uma rocha cristalina, praticamente impermeável. Isto justifica a camada geolétrica bastante condutora.

WOLLE & PEDROSA (1981), realizaram uma série de sondagens em terrenos de substrato migmatíticos e gnáissicos de áreas subtropicais, semelhantes ao da área de estudo em questão. Estes autores definiram como horizonte de transição a passagem do horizonte de alteração para a rocha sã, caracterizado por blocos com alguns espaços vazios abertos, enquanto que outros se apresentaram obturados com material de alteração em estado bastante fofo, com elevada permeabilidade. Por outro lado, resultados de sondagens elétricas

verticais apontam uma camada geoeétrica condutora próximo ao contato com a rocha sã, WARD (1990).

Trata-se do mesmo horizonte anterior, de alteração, porém saturado, marcando o nível do lençol freático, e que nesta dissertação é denominado de horizonte de transição.

4.2.2.1.4 – Interpretação da camada geoeétrica 4 (SEV's da encosta):

A quarta camada geoeétrica apresentou elevada resistividade, maior que 5.000 Ohms.m, o que permitiu, conforme previsto na descrição geológica, defini-la como representativa da rocha sã, cristalina, praticamente impermeável.

Desta forma, as SEV's sugeriram que, de modo geral, a rocha sã se encontra a partir da profundidade de 10 metros. Ou seja, pode-se caracterizar que a cobertura superficial na área de estudo, referindo-se à encosta, apresenta uma espessura média na ordem de 10 e 13 metros.

4.2.2.2 - As SEV's executadas no aluvião (01 e 08)

Foram realizadas duas SEV's sobre o aluvião: SEV 01 (fig. 19) e SEV 08. Ambas admitiram um modelo de quatro camadas.

A SEV 01 foi realizada no sopé da encosta, junto ao piezômetro 6 de LUIZ (1996). Este serviu como referencial do nível do freático para ajuste do topo da terceira camada geoeétrica, muito condutora, a partir de 2,0 metros de profundidade. Os resultados desta SEV permitiram propor a interpretação qualitativa mostrada na tabela 5.

Para a SEV 01, a quarta camada geoeétrica ocorreu a 3,4 metros de profundidade. Porém, pode ser que ela não esteja caracterizando o embasamento geoeétrico, ou rocha sã, pois a resistividade mostrou-se muito baixa para tal. Contudo, o resultado do caminhamento elétrico, dipolo-dipolo (CE dp-dp), também apontou a presença da rocha sã próxima da superfície, em torno de 3 metros, com resistividade mais baixa do que as resistividades laterais (fig. 21); onde foram encontrados blocos e matacões de rocha cataclástica, com silicificação e muito fraturamento, o que talvez justifique uma resistividade mais baixa.

Também coincide com o lineamento observado na magnetometria (fig.24). Desta forma, pode-se considerar que a camada geoeétrica 4 da SEV 01 represente, de fato, a rocha sã, contudo, fraturada.

TABELA 5 – INTERPRETAÇÃO QUANTITATIVA X QUALITATIVA - SEV 01

Interpretação quantitativa			Interpretação qualitativa
Camadas Geoeétricas	Res. (Ohm.m)	Prof. (m)	Camadas Geológicas
1	360	0,0 - 1,0	Camada condutora ou de baixa resistividade. Horizonte pedogenético caracterizado por solo humífero argilo-areno-siltoso que guarda boa umidade com influência de raízes.
2	859	1,0 - 2,3	Camada resistiva. Horizonte coluvionar caracterizado por um material bastante heterogêneo, com mistura dos horizontes pedogenético e de alteração, ainda com a presença de blocos rochosos, guardando alguma umidade.
3	115	2,3 - 3,4	Camada muito condutora. Marca o topo do lençol freático, o qual foi aferido com medida direta junto ao piezômetro 6 de LUIZ (1996), mantido na área. Está caracterizada por material aluvionar, constituído por areia e cascalho, encontrando-se completamente saturado.
4	1.944	Embasamento geoeétrico	Camada tendendo à elevada resistividade. Marca provavelmente o topo da rocha sã, porém fraturada, justificando a baixa resistividade.

Já a SEV 08 foi executada sobre o terraço aluvionar (Mapa-Base da Área de Estudo, no encarte). As interpretações quantitativa e qualitativa desta SEV podem ser observadas na tabela 6.

TABELA 6 – INTERPRETAÇÃO QUANTITATIVA X QUALITATIVA - SEV 08

Interpretação quantitativa			Interpretação qualitativa
Camadas Geoeétricas	Res. (Ohm.m)	Prof. (m)	Camadas Geológicas
1	704,55	0,0 - 0,82	Camada condutora ou de baixa resistividade. Horizonte pedogenético caracterizado por solo humífero argilo-areno-siltoso que guarda boa umidade com influência da zona de raízes.
2	14.216	0,82 - 4,12	Camada muito resistiva. Depósito aluvionar constituído por areia quartzosa média a grossa, seca.
3	140	4,12 - 10,8	Camada muito condutora. Marca provavelmente o topo e a base do lençol freático livre em meio ao depósito aluvionar constituído de areia e cascalho.
4	> 10.000	Embasamento	Camada muito resistiva. Marca o topo da rocha sã.

4.2.2.2 – Perfis topogeolétricos das SEV's e interpretação geológica associada

Com base nas interpretações quantitativa e qualitativa das SEV's foi possível confeccionar dois perfis topogeolétricos associados à geologia (figs. 14b e 20). O posicionamento exato das SEV's pode ser visualizado no Mapa-Base da Área de Estudo, vide encarte.

A figura 14b representa o perfil entre a fonte d'água da pequena cicatriz na base da vertente, a oeste, e a depressão fechada no topo, a leste. Sua confecção foi com base nos dados de observação visual, interpretações das sondagens elétricas verticais (SEV's 07 e 06) e caminhamento elétrico dipolo-dipolo.

A figura 20 mostra o perfil desde o depósito aluvionar, a oeste, representado pelas SEV's 08 e 01, até o topo da colina, a leste, representado pelas SEV's 05, 04/03 e 02. Sua confecção foi com base em observações visuais, dados de sondagens de LUIZ (1996) e interpretação das sondagens elétricas verticais (SEV's). Notar que a quarta camada da SEV01 apresenta resistividade baixa em relação à quarta camada das demais SEVs, marcando possivelmente uma estrutura no sopé da encosta, característica de rocha fraturada.

Os perfis topogeolétricos mostram a caracterização da estratigrafia por camadas que apresentaram variações geolétricas da superfície topográfica ao substrato rochoso, bem como o posicionamento do provável nível do freático em relação aos horizontes pedogenético, de alteração e ao substrato rochoso.

Cabe ressaltar que, grosso modo, os horizontes pedogenético, de alteração e de transição acompanham não somente a topografia da superfície mas também o substrato rochoso, quando do ponto de observação da encosta. Isto é uma informação importante que vem acrescentar às observações de outros autores (LUIZ, 1996; BELTRAME, 1997; PELLERIN, 1997) que estudaram a organização estrutural da cobertura superficial na região de Sorocaba do Sul, quando observaram que os horizontes pedogenético e de alteração acompanhavam a topografia de superfície.

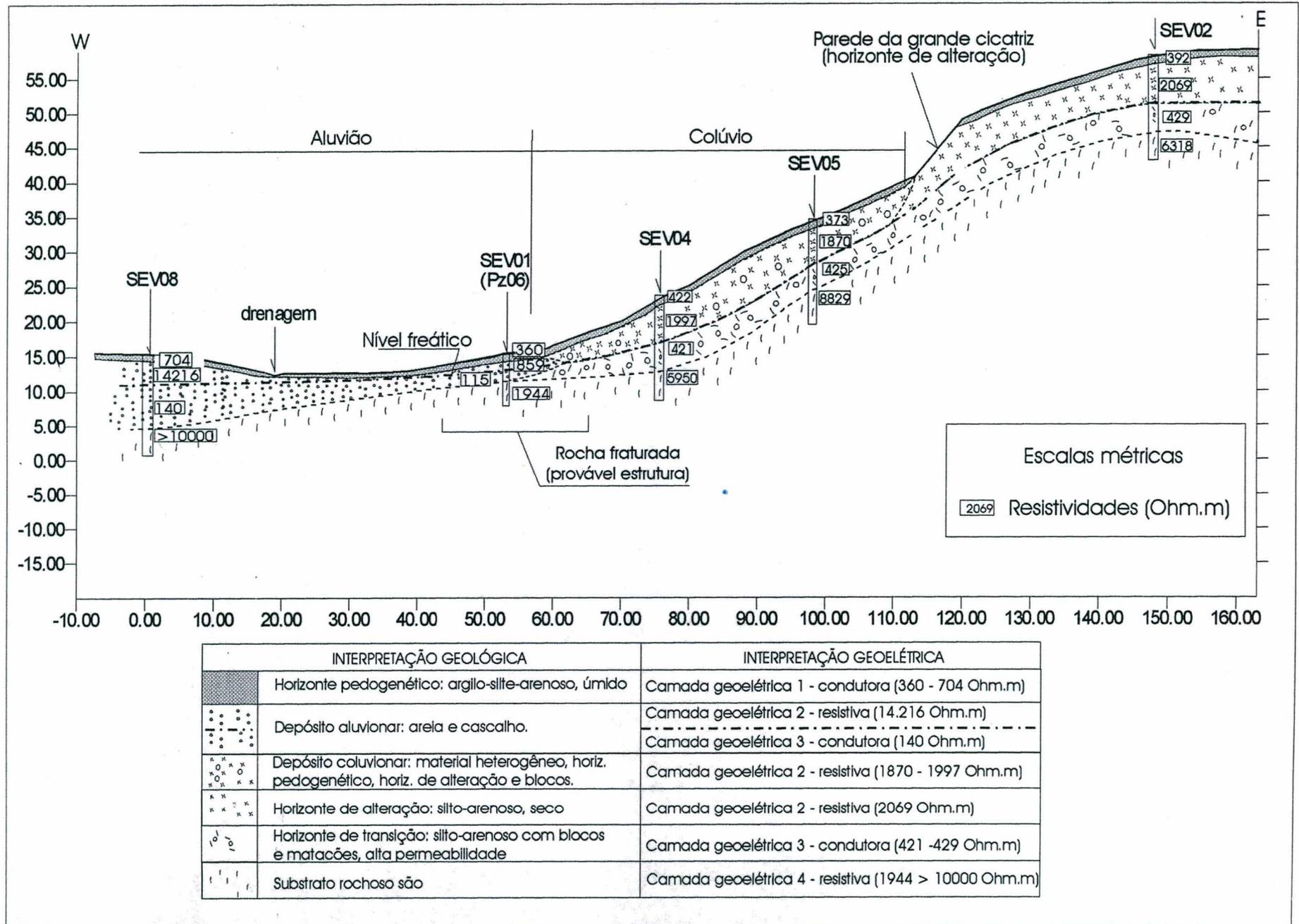


Figura 20 - Perfil topogeoeétrico com interpretação geológica, SEV08 - SEV02.

4.3 - CAMINHAMENTO ELÉTRICO DIPOLO-DIPOLO (CE dp-dp)

Estabeleceu-se o arranjo dipolo-dipolo de SE para NW, na direção N15W (vide Mapa-Base da Área de Estudo, no encarte). O primeiro par de eletrodos, AB, foi colocado em 0,0m e a última leitura realizada se deu com o par de eletrodos NM em 240m, totalizando 180m de seção real de resistividade, na ordem de 3 a 30 metros de profundidade (fig. 21a).

O modelamento dos dados dipolo-dipolo executado na área de estudo foi realizado pelo programa RES2DINV, desenvolvido por LOKE (1999). Este programa faz a inversão da seção de resistividade aparente buscando um modelo 2d de distribuição de resistividade capaz de gerar uma seção de resistividade que se ajusta à observada. O modelo, então, aproxima-se assim da seção real de resistividade; porém com maior confiabilidade quanto a variações laterais e mais limitada na resolução vertical. Daí a importância das SEVs com detalhamento na vertical.

O resultado do caminhamento elétrico utilizando o modelamento 2d foi uma seção topogeométrica que mostrou as variações laterais de resistividade, através da inversão dos dados de resistividade aparente, em Ohm.m.

Com base nos resultados da seção topogeométrica 2d e das observações de campo foi possível confeccionar uma seção topogeológica, representada na figura 21b.

4.3.1 - INTERPRETAÇÃO QUANTITATIVA X QUALITATIVA DO ARRANJO DIPOLO-DIPOLO

A seção topogeométrica mostra camadas de resistividades bem distintas ao longo da colina estudada, o que permitiu uma relação entre as interpretações quantitativa e a qualitativa das variações laterais, associando os resultados à geologia da área de estudo, considerando as observações de campo (fig. 21 a e b).

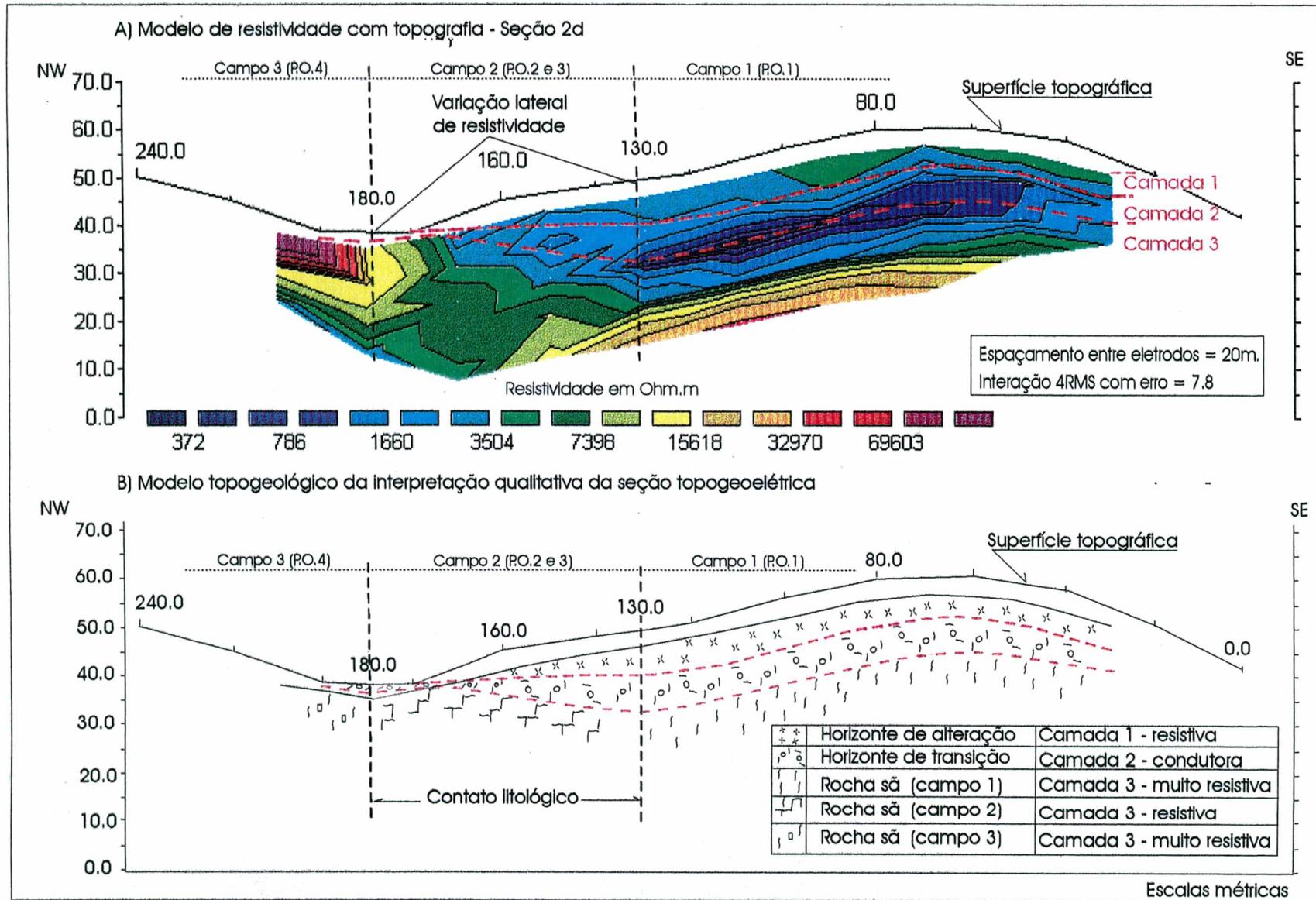


Figura 21 - Seção topogeoeletrica com modelamento de resistividade 2d (A) e seção topogeológica com interpretação qualitativa (B).

Partindo de SE para NW até os 130m da seção real de resistividade (fig. 21a) foram interceptadas 3 camadas geoeletricas, respectivamente resistiva, condutora e resistiva. Os resultados sugerem que a colina, neste corte, encontra-se com uma cobertura superficial bastante espessa, da ordem de 15 m, com um horizonte muito úmido e/ou saturado na transição para a rocha sã. A rocha sã foi associada aos pontos de observação das litologias encontradas no campo, sob a forma de blocos e matacões (P.O.1 – Mapa-Base da Área de Estudo, no encarte). As interpretações são apresentadas na tabela 7 e figura 21b.

TABELA 7 – INTERPRETAÇÃO QUANTITATIVA X QUALITATIVA			
Seção topogeoeletrica CE Dp-Dp (espaçamento entre 30 e 130m)			
Interpretação quantitativa			Interpretação qualitativa
Camadas Geoeletricas	Res. (Ohm.m)	Prof. (m)	Camadas Geológicas
1	3.504 – 1.660	+/- 3,0 - 7,0	Camada resistiva. Horizonte de alteração com pouca umidade.
2	1.660 - 372	+/- 7,0 – 14,0	Camada muito condutora. Horizonte de alteração muito úmido e/ou saturado de transição para a rocha sã. Marca provavelmente o topo e a base do lençol freático.
3	372 - 32970	> 14,0 Embasamento	Camada muito resistiva . Marca o topo da rocha sã (*P.O.1)

* **P.O.1** – Pontos de observação de campo das litologias descritas no item 2.4.2 .

Entre o espaçamento de 130 e 180m, a seção topogeoeletrica mostrou 3 camadas de resistividades reais, respectivamente resistiva, condutora e resistiva (tabela 8). Os resultados sugerem que a partir da porção da alta e média encosta a cobertura superficial, em torno de 14m de espessura, vai se tornando menos espessa até praticamente 2-3m. na baixa encosta. A primeira camada geoeletrica, resistiva, entre o espaçamento de 130-170m, foi associada ao horizonte de alteração.

A camada 2, condutora, foi associada ao horizonte de transição para a rocha sã, sendo representativa do lençol freático. Este horizonte aflora entre o espaçamento de 170 e

190m da seção 2d. (fig. 21 a e b), e é constituído por blocos e matacões lavados e também em meio a material areno-argiloso saturado, com algumas surgências de água que se dirigiam para a calha de drenagem na direção NE, sentido SW. Este horizonte marcou a transição para o topo da rocha sã.

A terceira camada geolétrica, substrato rochoso, mostrou-se resistiva, porém com valores menores do que as resistividades laterais, encontrando-se próximo à superfície topográfica, em torno de 2-3m de profundidade.

É interessante observar que este trecho da seção caracterizou uma importante variação geolétrica lateral, a qual foi interpretada como uma mudança litológica. Isto é, as resistividades maiores se mantiveram na ordem 3.504 a 7.398 Ohm.m por toda a profundidade investigada bem menores que as resistividades laterais, fato que justifica uma variação geológica ao longo da seção. Esta evidência geolétrica foi associada a uma rocha cataclástica, encontrada no local (P.O.3 – Mapa-Base da Área Estudada, vide encarte), bastante silicificada, aspecto brechóide, com muitas microfraturas. Estas últimas permitem percolação e intercomunicação da água, justificando a menor resistividade da rocha nessa porção da seção 2d.

TABELA 8 – INTERPRETAÇÃO QUANTITATIVA X QUALITATIVA			
Seção topogeolétrica CE Dp-Dp (espaçamento entre 130-180m)			
Interpretação quantitativa			Interpretação qualitativa
Camadas Geolétricas	Res. (Ohm.m)	Prof. (m)	Camadas Geológicas
1	3.504 – 1.660	+/- 3,0 - 7,0	Camada resistiva. Horizonte de alteração com pouca ou ausente de umidade.
2	372 – 1.660	+/- 3,0 - 10,0 (ou 5,0 p/ NW)	Camada muito condutora. Horizonte de alteração muito úmido e/ou saturado de transição para a rocha sã.
3	3.504 – 7.398	10,0 (ou 5,0 p/ NW)	Camada resistiva . Marca o topo da rocha sã menos resistiva que as encaixantes (*P.O.2 e 3).

* P.O.2 e 3 – Pontos de observação de campo das litologias descritas no item 2.4.2.

Entre o espaçamento de 180 e 210m a seção topogeométrica mostrou apenas uma camada geométrica. Esta apresentou resistividades elevadas bem próximo da superfície topográfica, junto à pequena calha de drenagem NE – SW. Observações de campo nesta porção mostraram que a água corre sobre afloramento rochoso, constituído por blocos e matacões de uma rocha de granulação grossa com textura porfírica (P.O.4), em meio a materiais areno-argilosos, que pode ser correlacionado ao horizonte de transição à rocha sã. As interpretações quantitativa e qualitativa deste trecho da seção topogeométrica se encontram representadas na tabela 9. Cabe ressaltar que os altos valores de resistividade próximos à superfície podem ser resultantes de uma possível instabilidade da inversão, como um detalhe numérico do modelo, ou mesmo de uma má amostragem no final da linha, pois falta resolução no topo da seção, uma vez que o espaçamento utilizado foi de 20m.

TABELA 9 – INTERPRETAÇÃO QUANTITATIVA X QUALITATIVA

Seção topogeométrica CE Dp-Dp (espaçamento entre 180 e 210m)

Interpretação quantitativa			Interpretação qualitativa
Camadas Geométricas	Res. (Ohm.m)	Prof. (m)	Camadas Geológicas
1	69.603	3	Camada muito resistiva . Marca o topo da rocha sã próximo à superfície *(P.O.4). Porém, a alta resistividade pode ser um detalhe numérico do modelo de inversão.

* P.O.4 – Pontos de observação de campo das litologias descritas no item 2.4.2.

A definição da espessura da cobertura superficial entre 170 e 210m, mesmo com a indicação de ser delgada, pelos resultados da seção 2d, sua confirmação não foi possível, em função do próprio material de que é constituída. Isto é, blocos e matacões em meio a material areno-argiloso saturado, dificultando tradagens e escavações. Contudo, estas mesmas características foram correlacionáveis ao horizonte de transição para a rocha sã, subjacente, onde o horizonte pedogenético e de alteração já teriam sido lavados pela drenagem, sendo passível de se esperar que de fato a rocha sã se encontre bem próxima da superfície, conforme sugerem as indicações geométricas.

4.4 - MAGNETOMETRIA

Foram realizados dois perfis magnetométricos, N30W (L1) e N50W (L2), cuja localização exata pode ser vista no Mapa-Base da Área de Estudo, no encarte. As suscetibilidades magnetométricas foram colocadas no eixo “y” e as distâncias no eixo “x” conforme as direções e posicionamento das medidas de campo (fig. 22).

É importante citar que as direções dos perfis foram determinadas com base no conhecimento geológico da área e, ainda, devida a suspeita da existência de um lineamento e/ou contato estrutural, observado no levantamento SP, item 4.1.2.3, com direção N30E. Desta forma, procurou-se estabelecer linhas aproximadamente transversais ao padrão regional com a expectativa de verificar as variações litológicas comuns em terrenos gnáissico-migmatíticos.

Os perfis apontaram uma variação de suscetibilidade magnética caracterizada pelo aumento e diminuição de anomalias locais, cujas leituras magnéticas oscilaram na ordem de 180 nanoTeslas (nT) (vide ficha de campo, no anexo 4).

4.4.1 - INTERPRETAÇÃO QUALITATIVA DOS PERFIS MAGNETOMÉTRICOS

4.4.2.1 - Estimativa do modelo geológico

A estruturação qualitativa esboçada nos perfis parece marcar o padrão estrutural da área na direção aproximada N30E (fig. 23), possivelmente devido a variações na composição mineralógica das rochas interceptadas, sobretudo no conteúdo de minerais ferromagnéticos.

Notou-se que há contraste de magnetização ao longo dos perfis, em que, de fato, observa-se uma estruturação, apesar de apenas duas linhas terem sido levantadas. Os lineamentos sugeridos são os mais prováveis. Porém, a compartimentação litológica não

parece ser tão facilmente explicável pelos percentuais de ferromagnesianos quando relacionada à diversidade das rochas encontradas na área de estudo, conforme as descrições do item 3.4.2 e posicionamento no Mapa-Base da Área de Estudo, no encarte.

Mesmo assim, procurou-se correlacionar os resultados dos perfis a três tipos litológicos distintos, de SE para NW, com ênfase ao percentual de ferromagnesianos, conforme descrito abaixo.

- Campo 1: rochas com maiores percentuais de minerais ferromagnesianos, biotita e anfibólio, na ordem de 15-20% (P.O.1 e P.O.2), correspondendo provavelmente aos maiores valores de suscetibilidade magnética.

- Campo 2: rocha cataclástica (P.O.3), basicamente constituída de quartzo e feldspatos alcalinos. Porém, densa, com várias microfraturas preenchidas por material de alteração de coloração esverdeada, provavelmente epidoto, como fruto de alteração de minerais tais como feldspato, piroxênio, anfibólio e biotita. Esta evidência pode justificar a anomalia magnética um pouco menor que a das rochas situadas a SE e maior do que as rochas situadas a NW. Neste campo ainda podem ocorrer porções da rocha do campo 1, sobretudo da rocha com bandeamento típico de gnaiss (P.O.2).

- Campo 3: rocha com baixo percentual de minerais ferromagnesianos, na ordem de 5% (P.O.4), justificando o contraste magnético dado pelos perfis, com menor suscetibilidade magnética.

A figura 23 mostra a correlação dos dados magnéticos com os tipos de rocha observados em campo.

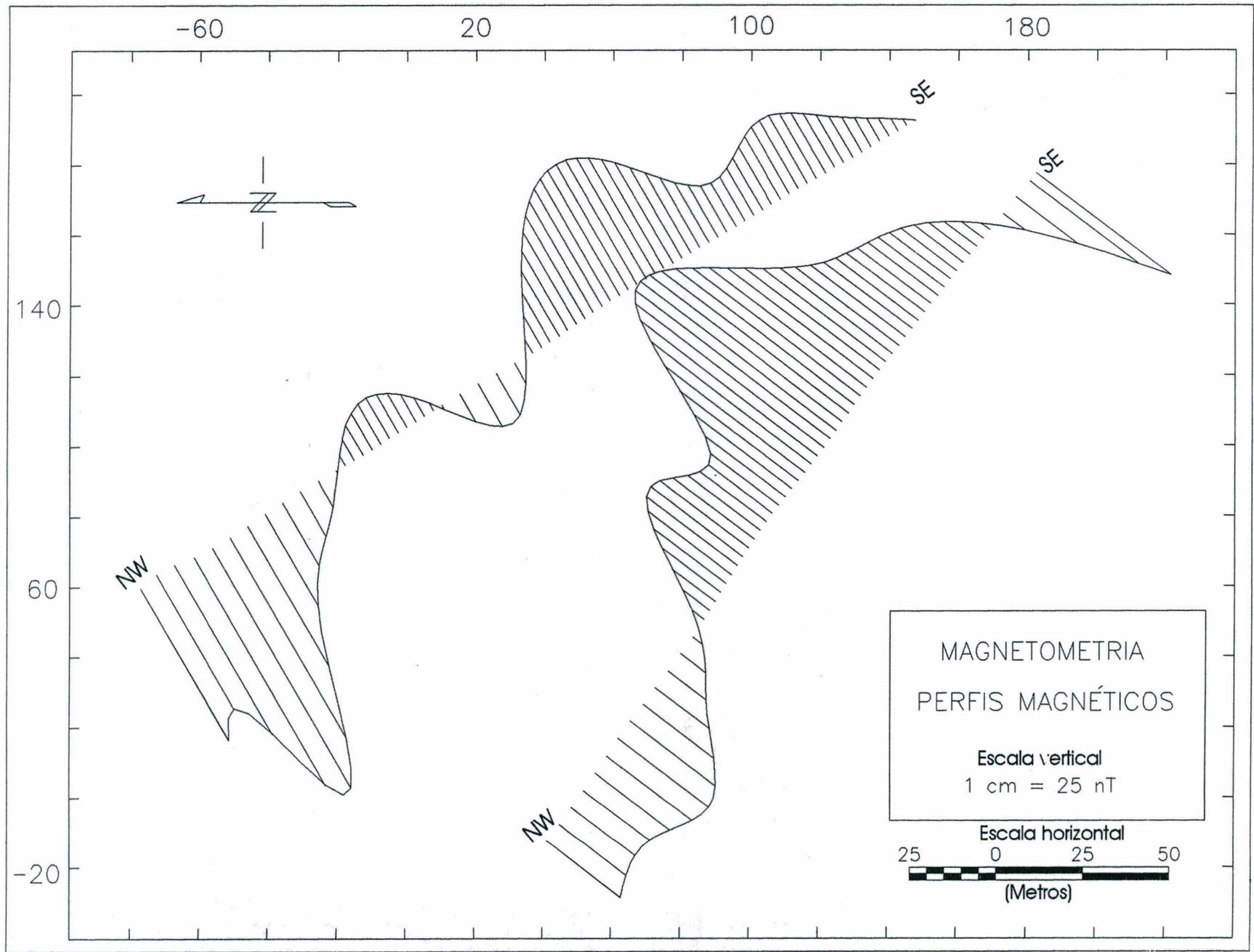


Figura 22 - Perfis magnetométricos da área de estudo

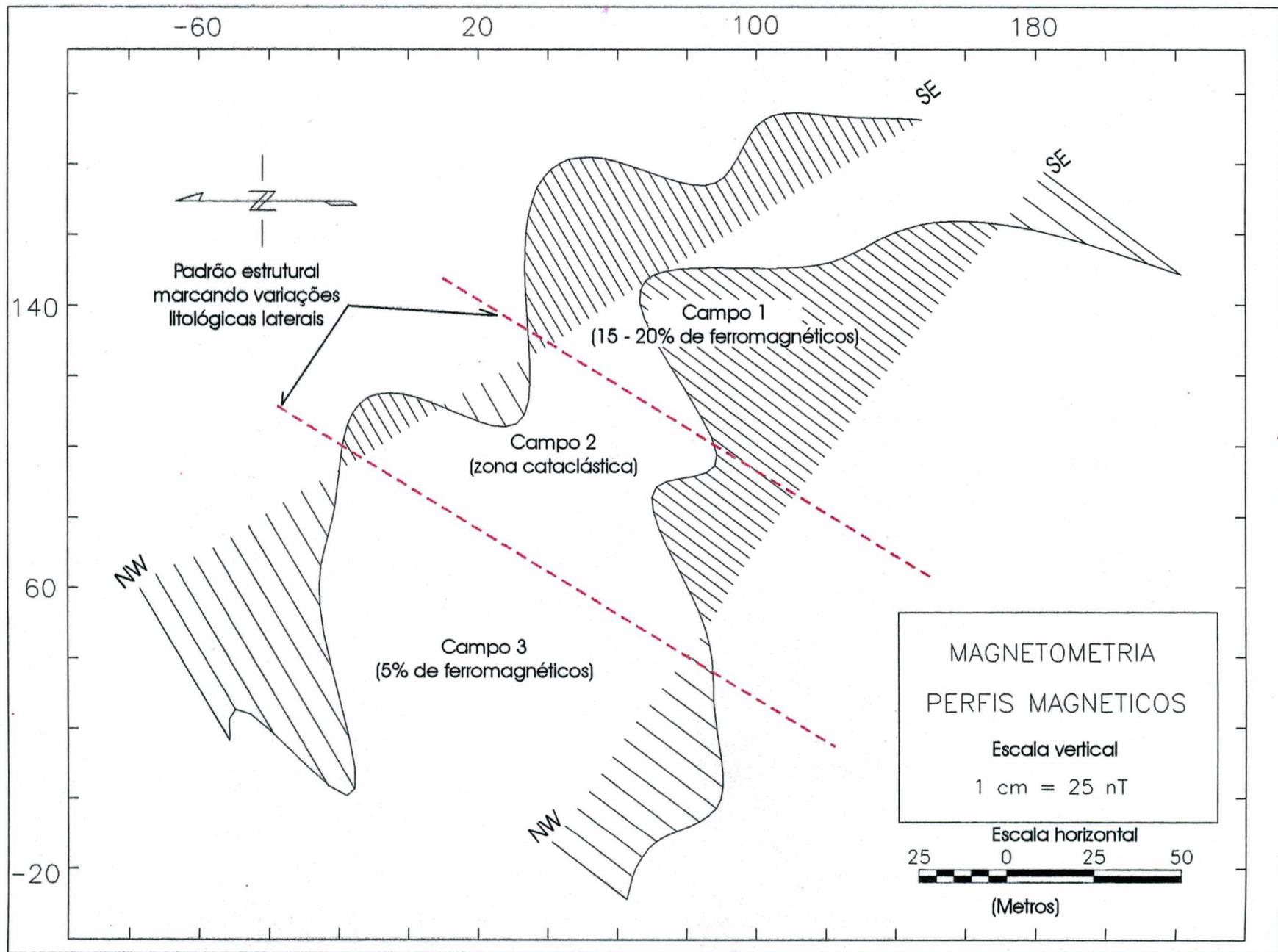


Figura 23 - Perfis magnetométricos marcando o padrão estrutural da área de estudo.

4.5 - CRUZAMENTO DOS RESULTADOS GEOFÍSICOS

A título de melhorar as interpretações e igualmente reduzir as ambigüidades inerentes a cada método e técnica geofísica utilizados, procurou-se cruzar os resultados obtidos dos levantamentos realizados na área de estudo.

4.5.1) *CRUZAMENTO DOS PERFIS MAGNETOMÉTRICOS COM MAPA DE EQUIPOTENCIAIS SP*

A figura 24 apresenta a sobreposição dos perfis magnetométricos aos mapas topográfico e de equipotenciais SP. Os dados SP estão representados pelas curvas equipotenciais, em milivolts (mV), e os perfis magnetométricos encontram-se com traço preto, posicionados nas linhas de leitura realizadas no campo.

É interessante perceber que o contato brusco das cores em tons de azul e tons de vermelho dos dados SP, onde se encontra tracejado em vermelho na direção N30E, foi interpretado qualitativamente como um provável contato litológico, item 4.1.2.3, e mostrou-se coincidente com a interpretação qualitativa dos perfis magnetométricos, que também apontaram uma variação litológica naquela porção, item 4.4.2.1, considerados como um contato entre os campos 1 e 2.

Muito embora os perfis magnetométricos apontaram uma outra queda brusca mais para NW, caracterizando um outro tipo litológico (campo 3 – P.O.4), não foi possível correlacionar tal anomalia com o levantamento SP, pois este não atingiu a mesma extensão da perfilagem magnética naquela direção (Mapa-Base da Área de Estudo, vide encarte).

4.5.2) CRUZAMENTO DOS PERFIS MAGNETOMÉTRICOS COM A SEÇÃO TOPOGEOELÉTRICA 2d (CE Dp-Dp)

Uma vez que o caminhamento elétrico dipolo-dipolo e o perfil magnetométrico norte foram realizados na mesma linha topográfica e com o mesmo espaçamento dos arranjos (20 metros) foi possível correlacionar as variações laterais das anomalias dadas para as duas técnicas utilizadas.

Na figura 25, partindo-se de SE para NW, vê-se que há uma variação magnética forte juntamente com a queda dos valores de resistividade da seção topogeoelétrica, que foi interpretado como uma variação litológica lateral entre os campos 1 e 2.

Seguindo para NW, o campo magnético decresce abruptamente, mantendo-se com valores menores, enquanto a resistividade aumenta abruptamente, sendo interpretado como um contato litológico entre os campos 2 e 3.

5.3) CRUZAMENTO DOS RESULTADOS REFERENTES AOS MÉTODOS E TÉCNICAS ELÉTRICAS

Os resultados do levantamento SP mostraram que há um potencial de fluxo da alta para baixa vertente, dado pelo aumento crescente dos valores SP na medida em que decresce a topografia (fig. 12). De fato, isto pode ser afirmativo quando comparado com os resultados das SEVs e do CE dp-dp, que apontaram uma zona muito condutora entre os horizontes de alteração e da rocha sã, denominado neste trabalho de horizonte de transição.

O horizonte de transição foi encontrado em toda a encosta estudada, sendo caracterizado como uma camada muito úmida e com alta permeabilidade, que possivelmente seja representativa do lençol freático, por se mostrar muito condutora às respostas elétricas.

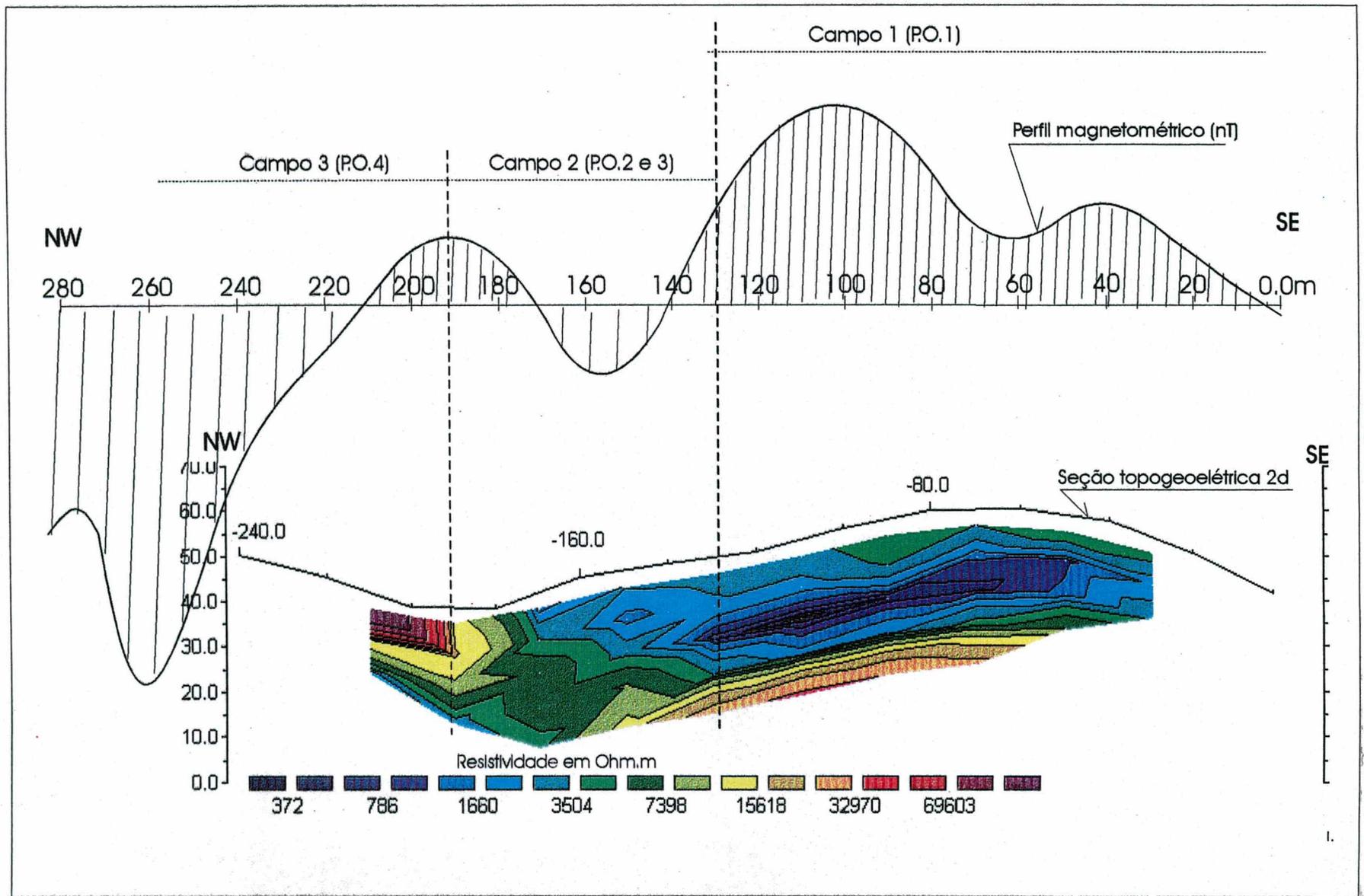


Figura 25 - Cruzamento do perfil magnetométrico (norte) e seção topogeométrica 2d (CE dp-dp).

Analisando as figuras 14, 20 e 21ab, pode-se perceber que, com relação às profundidades e espessuras dos horizontes e/ou camadas geoeletricas, as respostas elétricas das SEVs e do CE dp-dp mostraram-se coerentes. Nota-se que as profundidades e espessuras dos horizontes identificados diminuem em direção à baixa encosta. Isto é, a cobertura superficial apresentou maior espessura no topo, diminuindo para a baixa encosta, mostrando um padrão em cunha. Concomitantemente, o lençol freático se aproxima da superfície topográfica também, às vezes aflorando, conforme observado em campo. Esta condição pode ser correlacionada com os resultados SP, pois os valores das leituras tendem a aumentar não somente com o desnível topográfico, mas também com a surgência ou proximidade da água subterrânea à superfície do terreno (fig. 14 e 15).

CAPÍTULO V

CONCLUSÕES

Com a aplicação dos métodos e técnicas geofísicas escolhidas para a realização dos estudos foi possível atingir os objetivos propostos. Os resultados do potencial espontâneo, das sondagens elétricas verticais, do caminhamento elétrico dipolo-dipolo e dos perfis magnetométricos forneceram, dentro das limitações inerentes a cada método e técnica, uma idéia geral dos horizontes da cobertura superficial e sua espessura até a rocha sã, bem como das variações litoestruturais e do comportamento hidrodinâmico ao longo da encosta estudada.

A partir do método de potencial espontâneo (SP) pode-se ter um rápido reconhecimento de toda a encosta estudada no que tange aos caminhos preferenciais de fluxo da água subterrânea e variações litoestruturais. Os resultados permitiram deduzir que há um potencial de fluxo ao longo de toda a encosta, do topo ao sopé, e que os caminhos preferenciais do fluxo da água de subsuperfície encontram-se associados aos movimentos de massa da área estudada, condicionados às estruturas, tais como fraturamentos e/ou falhamentos.

Do ponto de vista científico é possível associar os deslizamentos ao comportamento hidrodinâmico de subsuperfície da encosta, podendo-se a partir daí criar estratégias para um melhor entendimento do desenvolvimento e funcionamento desses fenômenos, por exemplo: através de monitoramento dessas áreas, utilizando-se dessa e de outras técnicas geofísicas e geotécnicas que permitam maior nível de detalhamento. Para as questões geotécnicas/ambientais a importância em conhecer os caminhos preferenciais da água subterrânea, e que os mesmos encontram-se associados aos fenômenos de movimento de massa, decorre de vários aspectos de segurança para obras de infraestrutura e de ocupação humana em encostas. Neste caso, para a geotecnia e ambiental esses pontos envolvem altos riscos de acidentes. Assim sendo, é de fundamental importância saber o local exato dos caminhos preferenciais da água de subsuperfície para instalação de filtros e estruturas de

contenção no caso, por exemplo, da necessidade de se efetuar um corte de uma encosta para instalação de uma obra de infraestrutura como estrada, dutos de petróleo e gás, entre outros.

De modo geral, pode-se dizer que a aquisição dos dados SP e as suas respostas aos fluxos de interesse foram obtidas qualitativamente de maneira rápida e com baixo custo, o que se torna muito interessante para o reconhecimento inicial das investigações de uma área, seja do ponto de vista de uma investigação técnico-científica, geotécnica e/ou ambiental. Essa rápida e ampla visualização inicial de subsuperfície de uma área possibilita estabelecer novas estratégias para um detalhamento posterior, utilizando-se de outras técnicas geofísicas e geotécnicas.

Existem programas desenvolvidos para interpretações quantitativas dos dados SP (TELFORD, 1976; CORWIN, 1987; ERCHUL, 1988; PATELLA, 1997). Os programas fornecem uma estimativa da profundidade das fontes dos potenciais de fluxo. Para o presente trabalho não foi possível disponibilizar essas formas de tratamento quantitativas, contudo a estimativa da profundidade das fontes de fluxos foi possibilitada pelos resultados das técnicas geofísicas de sondagens elétricas verticais e caminhamento elétrico dipolo-dipolo.

Com a aplicação dos métodos de resistividade, sondagens elétricas verticais (SEV's) e caminhamento elétrico dipolo-dipolo (CE dp-dp), foi possível obter parâmetros das variações geoeletricas verticais e laterais.

As SEV's mostraram, de modo pontual, as variações verticais da cobertura superficial até a rocha sã, com ajuste de modelo de quatro camadas, sendo as três primeiras camadas geoeletricas correlacionáveis aos horizontes da cobertura superficial e a quarta ao embasamento. A SEV 01, junto ao sopé da encosta, definiu a presença do nível do lençol freático a 2,3 metros de profundidade representado por uma camada muito condutora, da ordem de 115 Ohm.m. Tal profundidade pode ser constatada em campo, através de medida

do nível do freático em um piezômetro existente no local desta SEV. Esta confirmação foi muito importante para a credibilidade dos resultados da técnica empregada.

A técnica de caminamento dipolo-dipolo, através do modelamento 2d com a confecção de uma seção topogeométrica de resistividades e espessuras reais, permitiu observar tanto as variações verticais como laterais, tanto da cobertura superficial como do substrato rochoso ao longo de um perfil NW cortando transversalmente a encosta estudada. Tal direção do perfil foi determinada a partir do conhecimento geológico prévio da área de estudo, considerando embasamento geológico teórico e de campo, e ainda os resultados do levantamento SP, os quais apontaram suspeita de variações litoestruturais de direção NE justificando um perfil de direção NW, ou seja, cortando as prováveis variações laterais esperadas. O modelamento resultou numa seção topogeométrica 2d. Esta mostrou que há um horizonte muito condutor antes de se atingir o topo da rocha sã, que se estende por toda a colina, sendo o mesmo associado ao horizonte de transição, representativo do lençol freático, como interpretado nas SEV's. Também mostrou uma variação lateral de resistividades altas, representativas da rocha sã, caracterizando contatos litoestruturais encobertos pela cobertura superficial.

A aplicação desses métodos e técnicas de resistividade permitiu estimar as espessuras da cobertura superficial na ordem de até 14 metros entre as porções de topo e média encosta, diminuindo para algo em torno de 3,0 metros no sopé e calha de drenagem. Também possibilitaram mostrar, através da confecção de perfis ligando as SEV's, o arranjo estrutural dos horizontes da cobertura superficial até a rocha sã. Foram identificados três horizontes distintos para a cobertura superficial. Os dois primeiros puderam ser associados aos dados geotécnicos existentes, horizonte pedogenético e o horizonte de alteração, respectivamente condutor e resistivo. A terceira camada foi interpretada como um horizonte muito condutor entre a camada de alteração e a rocha sã, o qual se mostrou contínuo por toda a colina, topo e base, sugerindo uma camada piezométrica constituída provavelmente por blocos e matacões de rocha alterada e sã saturados, conforme observações de campo. Este horizonte, definido como de transição, entre o horizonte de alteração e a rocha sã, no sopé da encosta se aproxima da superfície do terreno. Ou seja, os

resultados demonstraram que a cobertura superficial se apresenta como uma cunha mais espessa no topo afinando para o sopé da encosta. Por fim, a quarta camada geoeétrica apresentou resistividades muito elevadas, sendo então interpretada como embasamento geoeétrico, marcando o topo da rocha sã.

A importância geotécnica/ambiental de se conhecer a espessura total da cobertura superficial decorrem da necessidade de determinar o volume de material inconsolidado e influência do lençol freático no contexto hidrodinâmico, seja para obras de infraestrutura ou ocupação humana. Neste contexto, referindo-se ao lado ambiental, pode-se obter dados aproximados da quantidade de material da cobertura móvel que estaria susceptível a um deslizamento.

A magnetometria foi aplicada em dois perfis NW e revelou variações de suscetibilidade magnética caracterizadas por variações do campo magnético medido. Estas puderam ser associadas às variações litológicas da encosta identificadas em campo, mostrando um padrão estrutural de direção aproximadamente N30E vertical.

Os cruzamentos dos métodos e técnicas geofísicas utilizadas no desenvolvimento dos trabalhos mostraram-se correlacionáveis entre si, reduzindo as ambigüidades inerentes a cada método e técnica, dando com isso maior credibilidade às interpretações.

No desenvolver dos trabalhos ficou claro que a geofísica por si só não pode fornecer bons resultados sobre a geologia de uma área ou região. Isto porque na interpretação dos resultados são envolvidos tratamentos matemáticos que admitem um grande número de soluções na análise de campos potenciais. Ou seja, podem ser vários os resultados para um único levantamento geofísico. Em razão disto, foram necessários outros artificios como apoio em dados disponíveis sobre a geologia e cruzamento dos métodos e técnicas geofísicas utilizados para então buscar o melhor ajuste dos resultados à realidade da área investigada.

Ao lado o conhecimento da geologia, da problemática da área, fatores fundamentais na escolha dos métodos aplicados, ressalta-se que, para o sucesso da investigação, são igualmente importantes os procedimentos de campo com espaçamentos adequados dos arranjos e suas amarrações à topografia, pois permitem associar a geometria das anomalias geofísicas à superfície do terreno.

Para um maior nível de detalhamento da área seriam necessário mais investigações geofísicas, incluindo mais SEV's, outros CE dp-dp e perfis magnetométricos. Também o método sísmico, através da técnica de sísmica de refração rasa na identificação de camadas da cobertura superficial e topo da rocha sã. E, ainda, algumas sondagens geotécnicas rotativas com recuperação de testemunhos que possibilitariam ajustes mais precisos às interpretações geofísicas.

Contudo, para uma primeira etapa de trabalhos geofísicos aplicados ao estudo das coberturas superficiais em Santa Catarina, no caso específico de uma encosta em Sorocaba do Sul, Biguaçu/SC, considera-se que a geofísica serviu como uma importante ferramenta de apoio que, numa espécie de tomografia de subsuperfície, permitiu uma rápida visualização do comportamento estrutural e hidrodinâmico da cobertura superficial.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ACEDO, J. L. G. Emprego da Geofísica Aplicada à Hidrogeologia e à Engenharia Civil. Consórcio OSEA – OTI / DNOCS. Editado pela Divisão de Documentação DNOCS. V. 1. 1975.
- BELTRAME, A. V. Estudo das propriedades físicas do solo, visando conhecer seu funcionamento hídrico – Sorocaba do Sul – Biguaçu /SC - Tese Doutorado / USP – São Paulo/SP, 1997.
- BOGOSLOVSKY, V.A.; OGILVY, A. A. Geophysical Methods for the Investigation of Landslides. Geophysics. Vol. 42. 1997.
- BOGOSLOVSKY, V.A.; OGILVY, A. A.; STRAKHOVA, N. A. Magnetometric and Eletrometric Methods for the Investigation of the Dynamics of Landslide Processes. Geophysics Prospection. Vol. 25. 1977.
- BOTTRAUD, J.C.; BORNAND, M.; SERVAT, E. Measures de Resistivité Appliquées a la Cartographie en Pédologie – Science du Sol – INRA – ENSA , 1984.
- BOSSUET, G. Contribution des Sondages Électriques à L'Étude des Sites de Tourbières - L'Etang du Lautrey. 1997.
- BOULET, R. Análise Estrutural da Cobertura Pedológica e Cartografia. In: A Responsabilidade Social da Ciência do Solo. SBCS, XXI Congresso Ciência do Solo. Campinas/SP, 1988.
- CARDOSO, A. S. Caracterização do Solo Degradado a partir de Processos Superficiais de Erosão: Sorocaba do Sul, Biguaçu, SC. Monografia do Curso de Bacharelado em Geografia. Departamento de Geociências da Universidade Federal de Santa Catarina, 1995.

- CAMARGO, G.; OLIVEIRA, M.A.T. Análise Tridimensional de Volumes de Solo e Evolução de Encosta em Área Afetada por Erosão em Voçorocas e em Túneis no Sul do Segundo Planalto Paranaense. Revista Geosul. Florianópolis/SC, 1998.
- CHAPLOT, V.; BESTAUTTE, E.; CURMI, P.; HOULLIER-LAROUSSE, A.; PELLERIN, J. and WALTER, C. Apport de la Geophysique pour L'Identification des Systemes Pedologiques Hidromorphes – Actes du 2ème Congrès Géophysique de L'ingénieur et de l'environnement, 1996.
- CHAPLOT, V.; CURMI, P.; HOULLIER-LAROUSSE, A.; PELLERIN, J. and WALTER, C. The Interest of Geophysical Methods for Locating Hidromorphic Horizons in Acid Pedological Systems. Symposium on the Application of Geophysics to Engineering and Environmental Problems, 1997.
- CORWIN, R. W. The Self - Potential Method for Environmental and Engineering Applications. Geotechnical and Environmental Geophysics. Vol.5. 1990.
- CORWIN R. W. Geotechnical Applications of the Self Potential (SP) Method, Report 3, Development of Self-Potential Interpretation Techniques for Seepage Detection in the Detection. Technical Report. US Army Corps of Engineers, 1989.
- DOBRIN, M. B. Introduction to Geophysical Prospecting . McGraw – Hill, Inc. USA, 1976.
- ERCHUL, R. A. Geotechnical Applications of the Self Potential (SP) Method, Report 1, The Use of Self Potential in the Detection of Subsurface Flow Patterns in and around Sinkholes. Technical Report. US Army Corps of Engineers, 1988.
- HINZE, W.J. The Role of Gravity and Magnetic Methods in Engineering and Environmental Studies. In: Geotechnical and Environmental Geophysics. Vol. 1: Review and Tutorial; Ed. By Stanley H. Wards. Society of Exploration Geophysicists. Tulsa, 1990.

LOKE, M. H. Time-lapse resistivity imaging inversion. Proceedings of the 5th meeting of the environmental and engineering geophysical society. 1999.

LUIZ, E. L. Estudo de Movimentos de Massa na Bacia do Rio Inferninho e sua Influência na Evolução das Vertentes – Sorocaba de Dentro – Biguaçu / SC - Dissertação de Mestrado – Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC – Dep. de Geociências - Florianópolis/SC, 1996.

LUIZ, E. L. & BELTRAME, A. A. Cobertura Pedológica das Colinas Policonvexas da Bacia do Rio Inferninho/SC e seu Papel nos Processos Morfogenéticos Locais. Revista Geosul. Florianópolis/SC, 1998.

O'BRIEN, D. Comput Depth – A New Method for Depth-to-Basement Comutation. GeoMetrics. 1972

PELLERIN, J.; BELTRAME, A.; BOULET, R.; LUIZ, E.L.; OLIVEIRA, M.A.T.; QUEIROZ-NETO, J.P. Organização e Evolução Pedológica e Geomorfológica das Coberturas de Alteração sobre Migmatitos no Vale do Inferninho, Município de Biguaçu/SC - Reunião Aid - São Paulo/SP, 1995.

PELLERIN, J.; LUIZ, E. L.; OLIVEIRA, M.A.T.; BELTRAME, A. Organização e Comportamento Hídrico das Coberturas de Alteração das Colinas Policonvexas na Bacia do Rio Inferninho, Biguaçu/SC. Congresso Latino-Americano de Ciências do Solo “Solo-Suelo 96” - Águas de Lindóia/SP., 1996.

PELLERIN, J.; VIEIRA, A.F.G.; LIMA, M. dos S.L.; ESTEVES, M. B. Análise Tridimensional da Cobertura Pedológica de uma Pequena Depressão Fechada. VI Encontro de Geógrafos da América Latina - CD-Rom Actas de Trabajos Presentados - Sesiones Temáticas Libres 1/n.759 - Buenos Aires.- Argentina, 1997.

PRADO, R. L.; MALAGUTTI, F^o W. Curso de Geofísica Aplicada - IV Congresso Internacional da Sociedade Brasileira de Geofísica - Rio de Janeiro/RJ, 1995.

- RIGOTI, A. Reduction of Ambiguity in Geoelectric Models Using Multiple Data Sets. MSc. Thesis, McGill University, Canada, 1985.
- RIGOTI, A. and CROSSLEY, D.J. Reduction of Ambiguity in Geoelectric Models Using Multiple Data Sets. Revista Brasileira de Geofísica, Vol.5, 1987. p. 29-41.
- RIGOTI, A., ALBERTI F.N.R., NETO L. A., ALVES M. Técnicas Geométricas em Estudos de Contenção de Taludes nas Obras de Duplicação da BR 116-PR. In: XL Congresso Brasileiro de Geologia. XL Congresso Brasileiro de Geologia - SBG-MG Belo Horizonte/BH, 1998.
- RIGOTI, A. Cursos de Aperfeiçoamento em Exploração Mineral – EXMIN. Promoção da Agência para o Desenvolvimento Tecnológico da Indústria Mineral Brasileira – ADIMB. Patrocínio do PADCT III – GTM. Módulo 1, Exploração Geofísica Terrestre por Métodos Gravimétricos, Magnetométricos e Gamaespectométricos – Primeira Parte – Base Teórica. Curitiba/PR, 1998.
- SILVA, L.C. & BORTULUZZI, C.A. Texto Explicativo para o Mapa Geológico do Estado de Santa Catarina – Escala = 1: 500.000. Florianópolis: 11º Distrito do DNPM; Coordenadoria de Recursos Minerais da Secretaria da Ciência e Tecnologia, Minas e Energia, 1987.
- TEJADA, P. A. C.; WOODBRIDGE, E. M.; FIORE, J. M. Aplicación de Métodos Geofísicos para la Caracterización Dinámica de los Suelos del Gran San Juan, Prov. de San Juan, Rep. Argentina - 3º Congresso Internacional da Sociedade Brasileira de Geofísica - Rio de Janeiro/RJ - Vol 1. 1993.
- TELFORD, W. M.; GELDART, L. P.; SHERIFF, R. E.; KEYS, D. A. Methods Employing Natural Electrical Sources – Applied Geophysics. 1976.
- TRAININI, D.R.; DIAS, A. A.; KREBS, A. S. J.; SOUZA, E. C.; CAPELETTI, I.; TONIOLO, J. A.; SILVA, L. C. & SILVA, M. A. S. - Projeto Vidal Ramos – Biguaçu/SC. Brasil. Conv. DNPM/CPRM. Porto Alegre, 303 p. (Rel. Inéd.), 1978.

WARD, S. H. Resistivity and Induced Polarization Methods. Geotechnical and Environmental Geophysics. 1990.

WOLLE, C.M.; PEDROSA, J. A. B. A. Horizontes de Transição Condicionam Mecanismo de Instabilização de Encostas na Serra do Mar - 3^o Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia - Itapema/SC - Vol. 3. 1981.

WOLLE, C. M.; CARVALHO, P. A. S. Ruptura de um Talude Rodoviário Condicionada por Estruturas Reliquiarias e sua Estabilização. 5^o Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia. V. 2. São Paulo/SP. 1987.

A
N
E
X
O
I

FICHA DE CAMPO

POTENCIAL ESPONTÂNEO (Self Potential – SP)					
Projeto: Sorocaba de Dentro – Biguaçu/SC			Espaçam.: 20m		Data: 28.06.99
Operadores: Esteves / Pellerin / Janaína			Equipamento: Minipa 2070 – Eletrodos cobre-cobre (fi-polariz.)		
Ponto	SP (mV)	Observações	Ponto	SP (mV)	Observações
01	-24.0		49	2.8	
02	-24.2		50	-6.3	
03	-30.5		51	-2.0	
04	-31.7		52	49.2	
05	-35.3		53	54.1	
06	-29.5		54	42.4	
07	-44.4		55	9.7	
08	-35.4		56	4.3	
09	-28.7		57	24.4	
10	-19.2		58	33.6	
11	-25.7		59	80.2	
12	-46.8		60	67.3	
13	-50.6		61	46.7	
14	-16.1		62	44.7	
15	13.4		63	20.8	
16	-3.0		64	-2.2	
17	-11.9		65	60.7	
18	-9.0		66	52.5	
19	-42.5		67	61.8	
20	-47.7		68	79.8	
21	-13.2		69	56.0	
22	-2.9		70	63.2	
23	17.5		71	46.7	
24	19.2		72	32.9	
25	14.1				
26	-17.0				
27	-44.6				
28	-20.2				
29	-7.8				
30	-10.5				
31	-25.8				
32	-28.5				
33	21.8				
34	13.5				
35	36.3				
36	20.6				
37	-2.5				
38	-30.4				
39	-12.0				
40	7.4				
41	18.6				
42	10.6				
43	-12.3				
44	-0.3				
45	32.6				
46	42.2				
47	27.0				
48	22.4				

A
N
E
X
O
S

FICHA DE CAMPO

Sondagem Elétrica Vertical (SEV)		$\rho_a = K \cdot \Delta V / I$	$K = \pi \cdot AM \cdot AN / MN$	$AM = AB/2 - MN/2$	$AN = AB/2 + MN/2$				
Projeto: Sorocaba de Dentro – Biguaçu/SC			SEV N°= 01 (P. 06 E-W)		Data: 26.02.97				
Operadores: Esteves; Rigoti; Pellerin; Luiz				Equipamento: Eletroresistivímetro PER-80					
AB/2 (m)	MN/2 (m)	K	Escala ΔV_{mV} leitura	Escala I_{mA} leitura	ρ_a (Ωm)	Obs.:			
2.2	0.5	14.42	20V	4.47	0.48x300	144	447.6		
3.23	0.5	31.99	20V	2.25	0.48x300	144	499.8		
4.74	0.5	69.80	2V	0.94	0.44x300	132	497.1		
6.96	0.5	151.40	2V	0.446	0.44x300	132	511.0		
10.22	0.5	327.25	2V	0.247	0.44x300	132	612.5		
15.0	0.5	706.07	2V	0.137	0.44x300	132	732.8		
15.0	3.23	104.35	2V	0.957	0.44x300	132	756.5		
22.02	0.5	1522.51	0.2V	85.6	0.48x300	144	905.0		
22.02	3.23	230.73	2V	0.563	0.48x300	144	902.1		
32.32	3.23	509.92	2V	0.381	0.48x300	144	1330.6		
47.43	3.23	1088.94	0.2V	167	0.44x300	132	1377.7		
69.62	3.23	2352.07	0.2V	82.7	0.45x300	135	1440.9		
69.62	15.0	484.01	---	---	---	---	---		
102.19	3.23	5073.42	---	---	---	---	---		
102.19	15.0	1070.01	---	---	---	---	---		
150	15.0	2332.64	---	---	---	---	---		
220.17	15.0	5052.72	---	---	---	---	---		
323.16	15.0	10912.6	---	---	---	---	---		
323.16	69.62	2246.89	---	---	---	---	---		
474.34	15.0	23538.3	---	---	---	---	---		
474.34	69.62	4967.16	---	---	---	---	---		

FICHA DE CAMPO

Sondagem Elétrica Vertical (SEV)		$\rho_a = K \cdot \Delta V / I$	$K = \pi \cdot AM \cdot AN / MN$	$AM = AB/2 - MN/2$	$AN = AB/2 + MN/2$				
Projeto: Sorocaba de Dentro – Biguaçu/SC			SEV N°= 02 (topo N-S)		Data: 26.02.97				
Operadores: Esteves; Rigoti; Pellerin; Luiz				Equipamento: Eletroresistivímetro PER-80					
AB/2 (m)	MN/2 (m)	K	Escala ΔV_{mV} leitura	Escala I_{mA} leitura	ρ_a (Ωm)	Obs.:			
2.2	0.5	14.42	20V	7.36	0.44x300	144	804.0		
3.23	0.5	31.99	20V	3.85	0.44x300	144	942.7		
4.74	0.5	69.80	20V	2.17	0.44x300	132	1147.5		
6.96	0.5	151.40	20V	1.10	0.44x300	132	1261.7		
10.22	0.5	327.25	2V	0.611	0.44x300	132	151.2		
15.0	0.5	706.07	2V	0.309	0.48x300	144	151.1		
15.0	3.23	104.35	20V	2.01	0.48x300	144	1456.6		
22.02	0.5	1522.51	2V	0.141	0.44x300	132	1626.3		
22.02	3.23	230.73	2V	0.912	0.44x300	132	1594.1		
32.32	3.23	509.92	2V	0.490	0.48x300	144	1711.3		
47.43	3.23	1088.94	2V	0.300	0.48x300	144	2268.6		
69.62	3.23	2352.07	2V	0.188	0.48x300	144	3070.7		
69.62	15.0	484.01	0.2V	186.0	0.46x300	138	3170.2		
102.19	3.23	5073.42	---	---	---	---	---		
102.19	15.0	1070.01	---	---	---	---	---		
150	15.0	2332.64	---	---	---	---	---		
220.17	15.0	5052.72	---	---	---	---	---		
323.16	15.0	10912.6	---	---	---	---	---		
323.16	69.62	2246.89	---	---	---	---	---		
474.34	15.0	23538.3	---	---	---	---	---		
474.34	69.62	4967.16	---	---	---	---	---		

FICHA DE CAMPO

Sondagem Elétrica Vertical (SEV)		$\rho_s = K \cdot \Delta V / I$	$K = \pi \cdot AM \cdot AN / MN$	$AM = AB/2 - MN/2$	$AN = AB/2 + MN/2$		
Projeto: Sorocaba de Dentro – Biguaçu/SC			SEV N°= 03 (N-S)		Data: 26.02.97		
Operadores: Esteves, Rigoti, Pellerin, Luiz			Equipamento: Eletroresistivímetro PER-80				
AB/2 (m)	MN/2 (m)	K	Escala ΔV_{mv} leitura	Escala I_{mA} leitura	ρ_s (Ωm)	Obs.:	
2.2	0.5	14.42	20V	6.57	0.44x300	132	717.7
3.23	0.5	31.99	20V	3.75	0.44x300	132	908.8
4.74	0.5	69.80	20V	2.12	0.44x300	132	1121.0
6.96	0.5	151.40	2V	1.23	0.48x300	144	1293.2
10.22	0.5	327.25	2V	0.568	0.46x300	138	1347.3
15.0	0.5	706.07	20V	0.249	0.44x300	132	1331.9
15.0	3.23	104.35	2V	1.96	0.45x300	135	1515.0
22.02	0.5	1522.51	2V	0.120	0.46x300	138	1323.0
22.02	3.23	230.73	2V	0.957	0.43x300	128	1711.7
32.32	3.23	509.92	2V	0.534	0.45x300	135	1978.2
47.43	3.23	1088.94	2V	0.358	0.47x300	141	2765.0
69.62	3.23	2352.07	2V	0.201	0.44x300	132	3581.0
69.62	15.0	484.01	---	---	---	---	---
102.19	3.23	5073.42	---	---	---	---	---
102.19	15.0	1070.01	---	---	---	---	---
150	15.0	2332.64	---	---	---	---	---
220.17	15.0	5052.72	---	---	---	---	---
323.16	15.0	10912.6	---	---	---	---	---
323.16	69.62	2246.89	---	---	---	---	---
474.34	15.0	23538.3	---	---	---	---	---
474.34	69.62	4967.16	---	---	---	---	---

FICHA DE CAMPO

Sondagem Elétrica Vertical (SEV)		$\rho_s = K \cdot \Delta V / I$	$K = \pi \cdot AM \cdot AN / MN$	$AM = AB/2 - MN/2$	$AN = AB/2 + MN/2$		
Projeto: Sorocaba de Dentro – Biguaçu/SC			SEV N°= 04 / 03 (E-W)		Data: 26.02.97		
Operadores: Esteves, Rigoti, Pellerin, Luiz			Equipamento: Eletroresistivímetro PER-80				
AB/2 (m)	MN/2 (m)	K	Escala ΔV_{mv} leitura	Escala I_{mA} leitura	ρ_s (Ωm)	Obs.:	
2.2	0.5	14.42	20V	7.77	0.46x300	138	804.6
3.23	0.5	31.99	20V	4.28	0.47x300	141	971.0
4.74	0.5	69.80	20V	2.23	0.44x300	132	1179.2
6.96	0.5	151.40	2V	1.126	0.44x300	132	1291.5
10.22	0.5	327.25	2V	0.582	0.48x300	144	1323.0
15.0	0.5	706.07	2V	0.252	0.44x300	132	1348.0
15.0	3.23	104.35	2V	1773.0	0.44x300	132	1401.6
22.02	0.5	1522.51	0.2V	133.0	0.45x300	135	1500.0
22.02	3.23	230.73	2V	0.902	0.45x300	135	1541.6
32.32	3.23	509.92	2V	0.517	0.48x300	144	1805.6
47.43	3.23	1088.94	2V	0.248	0.43x300	129	2093.5
69.62	3.23	2352.07	2V	0.198	0.52x300	156	2985.3
69.62	15.0	484.01	---	---	---	---	---
102.19	3.23	5073.42	---	---	---	---	---
102.19	15.0	1070.01	---	---	---	---	---
150	15.0	2332.64	---	---	---	---	---
220.17	15.0	5052.72	---	---	---	---	---
323.16	15.0	10912.6	---	---	---	---	---
323.16	69.62	2246.89	---	---	---	---	---
474.34	15.0	23538.3	---	---	---	---	---
474.34	69.62	4967.16	---	---	---	---	---

FICHA DE CAMPO

Sondagem Elétrica Vertical (SEV)		$\rho_a = K \cdot \Delta V / I$	$K = \pi \cdot AM \cdot AN / MN$	$AM = AB/2 - MN/2$	$AN = AB/2 + MN/2$		
Projeto: Sorocaba de Dentro – Biguaçu/SC			SEV N°= 05 (N-S)		Data: 26.02.97		
Operadores: Esteves; Rigoti; Pellerin; Luiz			Equipamento: Eletroresistivímetro PER-80				
AB/2 (m)	MN/2 (m)	K	Escala ΔV_{mV} leitura	Escala I_{mA} leitura	ρ_a (Ωm)	Obs.:	
2.2	0.5	14.42	20V	6.78	0.48x300	144	678.9
3.23	0.5	31.99	20V	4.07	0.52x300	156	834.6
4.74	0.5	69.80	20V	2.02	0.48x300	144	979.1
6.96	0.5	151.40	20V	1.21	0.49x300	147	1246.2
10.22	0.5	327.25	2V	0.554	0.44x300	132	1373.9
15.0	0.5	706.07	2V	0.216	0.40x300	120	1270.9
15.0	3.23	104.35	2V	1404.0	0.40x300	120	1220.9
22.02	0.5	1522.51	0.2V	120.0	0.44x300	132	1384.1
22.02	3.23	230.73	2V	0.804	0.44x300	132	1405.3
32.32	3.23	509.92	2V	0.449	0.44x300	132	1710.71
47.43	3.23	1088.94	2V	0.318	0.44x300	132	2623.3
69.62	3.23	2352.07	2V	0.193	0.405x300	121.5	3736.2
69.62	15.0	484.01	---	---	---	---	---
102.19	3.23	5073.42	---	---	---	---	---
102.19	15.0	1070.01	---	---	---	---	---
150	15.0	2332.64	---	---	---	---	---
220.17	15.0	5052.72	---	---	---	---	---
323.16	15.0	10912.6	---	---	---	---	---
323.16	69.62	2246.89	---	---	---	---	---
474.34	15.0	23538.3	---	---	---	---	---
474.34	69.62	4967.16	---	---	---	---	---

FICHA DE CAMPO

Sondagem Elétrica Vertical (SEV)		$\rho_a = K \cdot \Delta V / I$	$K = \pi \cdot AM \cdot AN / MN$	$AM = AB/2 - MN/2$	$AN = AB/2 + MN/2$		
Projeto: Sorocaba de Dentro – Biguaçu/SC			SEV N°= 06 (NW)		Data: 26.02.97		
Operadores: Esteves; Rigoti; Pellerin; Luiz			Equipamento: Eletroresistivímetro PER-80				
AB/2 (m)	MN/2 (m)	K	Escala ΔV_{mV} leitura	Escala I_{mA} leitura	ρ_a (Ωm)	Obs.:	
2.2	0.5	14.42	20V	3.77	0.46x300	138	393.9
3.23	0.5	31.99	20V	2.16	0.49x300	147	470.0
4.74	0.5	69.80	20V	1.06	0.46x300	138	536.0
6.96	0.5	151.40	20V	0.59	0.48x300	144	620.3
10.22	0.5	327.25	20V	0.29	0.46x300	138	687.9
15.0	0.5	706.07	2V	0.136	0.44x300	132	727.0
15.0	3.23	104.35	2V	0.975	0.44x300	132	770.8
22.02	0.5	1522.51	0.2V	90.1	0.46x300	138	974.0
22.02	3.23	230.73	2V	0.461	0.44x300	132	805.8
32.32	3.23	509.92	2V	0.234	0.44x300	132	891.5
47.43	3.23	1088.94	2V	0.192	0.46x300	138	1515.0
69.62	3.23	2352.07	2V	0.171	0.52x300	156	2578.2
69.62	15.0	484.01	---	---	---	---	---
102.19	3.23	5073.42	---	---	---	---	---
102.19	15.0	1070.01	---	---	---	---	---
150	15.0	2332.64	---	---	---	---	---
220.17	15.0	5052.72	---	---	---	---	---
323.16	15.0	10912.6	---	---	---	---	---
323.16	69.62	2246.89	---	---	---	---	---
474.34	15.0	23538.3	---	---	---	---	---
474.34	69.62	4967.16	---	---	---	---	---

FICHA DE CAMPO

Sondagem Elétrica Vertical (SEV)		$\rho_a = K \cdot \Delta V / I$ $K = \pi \cdot AM \cdot AN / MN$ $AM = AB/2 - MN/2$ $AN = AB/2 + MN/2$					
Projeto: Sorocaba de Dentro – Biguaçu/SC			SEV N°= 07 (N-S)			Data: 26.02.97	
Operadores: Esteves; Rigoti; Pellerin; Luiz				Equipamento: Eletroresistivímetro PER-80			
AB/2 (m)	MN/2 (m)	K	Escala ΔV_{mV} leitura		Escala I_{mA} leitura	ρ_a (Ωm)	Obs.:
2.2	0.5	14.42	20V	4.20	0.44x300	132	459.0
3.23	0.5	31.99	20V	2.26	0.47x300	141	512.7
4.74	0.5	69.80	20V	1.53	0.52x300	162	659.2
6.96	0.5	151.40	20V	0.78	0.50x300	150	789.3
10.22	0.5	327.25	2V	0.302	0.43x300	129	766.3
15.0	0.5	706.07	2V	0.173	0.44x300	132	925.4
15.0	3.23	104.35	2V	1.406	0.44x300	132	111.5
22.02	0.5	1522.51	0.2V	108.9	0.60x300	180	921.1
22.02	3.23	230.73	2V	0.945	0.60x300	180	1211.3
32.32	3.23	509.92	2V	0.500	0.44x300	132	1905.0
47.43	3.23	1088.94	2V	0.276	0.40x300	120	2504.6
69.62	3.23	2352.07	2V	0.163	0.48x300	144	2662.4
69.62	15.0	484.01	---	---	---	---	---
102.19	3.23	5073.42	---	---	---	---	---
102.19	15.0	1070.01	---	---	---	---	---
150	15.0	2332.64	---	---	---	---	---
220.17	15.0	5052.72	---	---	---	---	---
323.16	15.0	10912.6	---	---	---	---	---
323.16	69.62	2246.89	---	---	---	---	---
474.34	15.0	23538.3	---	---	---	---	---
474.34	69.62	4967.16	---	---	---	---	---

FICHA DE CAMPO

Sondagem Elétrica Vertical (SEV)		$\rho_a = K \cdot \Delta V / I$ $K = \pi \cdot AM \cdot AN / MN$ $AM = AB/2 - MN/2$ $AN = AB/2 + MN/2$					
Projeto: Sorocaba de Dentro – Biguaçu/SC			SEV N°= 08 (NE)			Data: 07.07.00	
Operadores: Esteves; Rigoti; Pellerin; Luiz				Equipamento: Eletroresistivímetro PER-80			
AB/2 (m)	MN/2 (m)	K	Escala ΔV_{mV} leitura		Escala I_{mA} leitura	ρ_a (Ωm)	Obs.:
2.2	0.5	14.42		18		2090.0	1674.3
3.23	0.5	31.99		15		1150.0	2452.6
4.74	0.5	69.80		17.4		765.0	3068.8
6.96	0.5	151.40		14		320.0	3460.5
10.22	0.5	327.25		13.2		150.0	3719.8
15.0	0.5	706.07		13		73.0	3964.8
15.0	3.23	104.35		13		104.35	2900.0
22.02	0.5	1522.51		32.4		31	1456.7
22.02	3.23	230.73		62.3		260	962.9
32.32	3.23	509.92		81.9		160	982.5
47.43	3.23	1088.94		47.7		32	730.5
69.62	3.23	2352.07		137.1		60	1029.0
69.62	15.0	484.01	---	141.0	---	260	892.5
102.19	3.23	5073.42	---	220	---	59	1360.5
102.19	15.0	1070.01	---	210	---	260	1324.7
150	15.0	2332.64	---	190	---	150	1841.5
220.17	15.0	5052.72	---	---	---	---	---
323.16	15.0	10912.6	---	---	---	---	---
323.16	69.62	2246.89	---	---	---	---	---
474.34	15.0	23538.3	---	---	---	---	---
474.34	69.62	4967.16	---	---	---	---	---

A
N
E
X
O
B

FICHA DE CAMPO

Caminhamento Elétrico (Dp-Dp)		$\rho_a = K \cdot \Delta V / I$ $K = \pi \cdot AM \cdot AN / MN$ $AM = AB/2 - MN/2$ $AN = AB/2 + MN/2$			
Projeto: Sorocaba de Dentro – Biguaçu/SC		SEV N°= 02 (topo N-S)		Data: 26.02.97	
Operadores: Esteves; Rigoti; Pellerin e integrantes do 1º Curso de Geofísica GCN - UFSC			Equipamento: resistivímetro Tectrol (1000W) e receptor SINTREX		
pontos	Abscissas (m)	Cotas (m)	ΔV_{mv}	I_{mA}	
00	147	29	2310; 531; 382; 171; 156; 141	360; 360; 365; 365; 365; 365	
20	129,5	36,5	1790; 510; 219; 152; 131; 91.5	390; 390; 395; 395; 395; 395	
40	112,5	46,5	2270; 421; 161; 138; 89.1; 180	430; 435; 435; 440; 440; 445	
60	95	56,5	2620; 428; 182; 103,1; 192; 147	520; 520; 530; 530; 525; 525	
80	77,5	60,3	2290; 392; 184; 297; 190; 41.2	465; 470; 470; 465; 470; 470	
100	60,5	61	2040; 350; 436; 262; 44.1	455; 455; 455; 455; 455	
120	43	58	1940; 1610; 894; 109.4	510; 520; 520; 525	
140	25,5	51,6	4230; 1740; 177	420; 425; 435	
160	8,5	48,5	2770; 180	225; 225	
180	-9,0	46,5			
200	-25,5	40			
210	-34	35	controle topográfico		
220	-42	38			
240	-59	45			
260	-75,5	50			

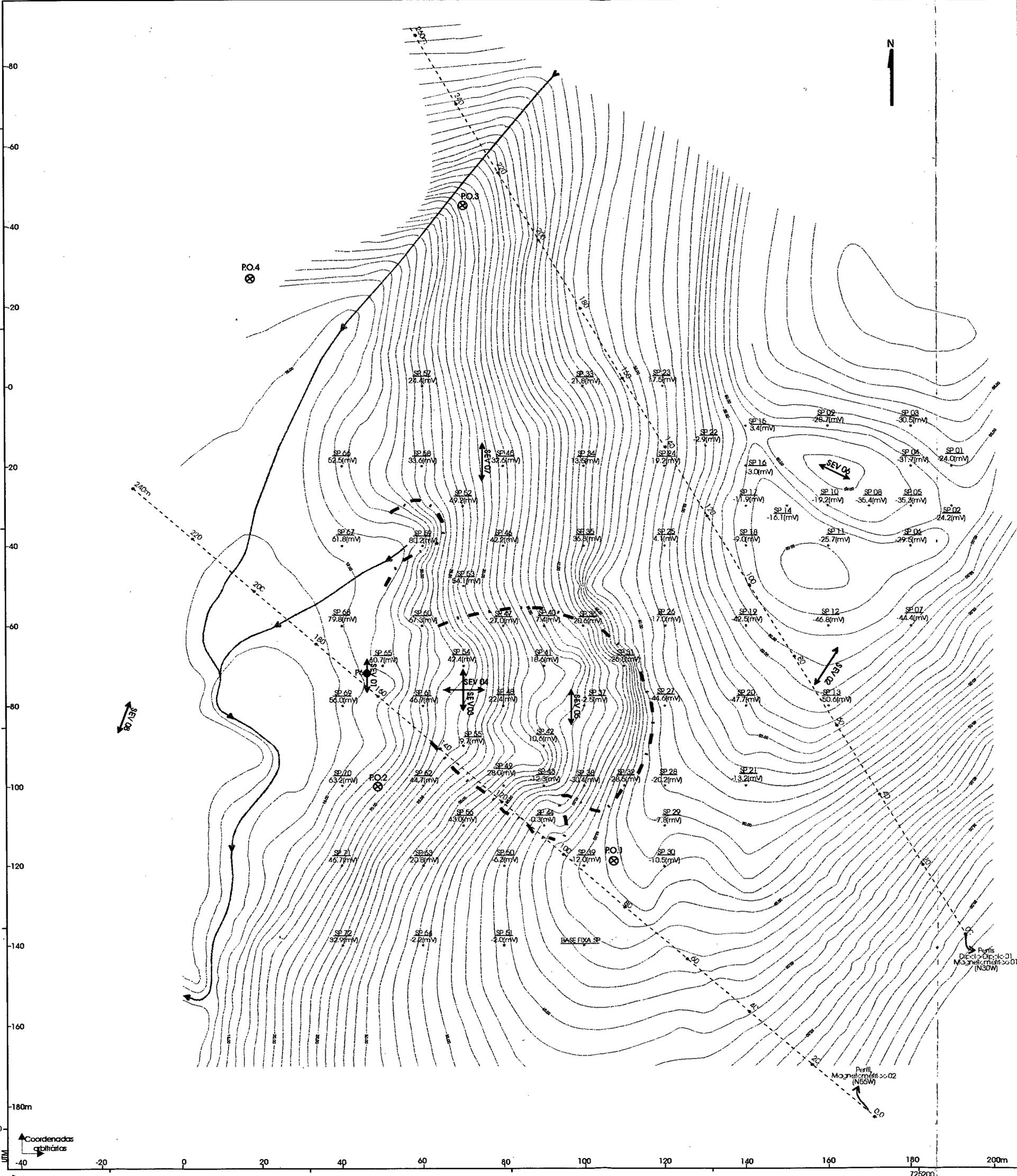
4 ANEXO 4

FICHA DE CAMPO

MAGNETOMETRIA			
Projeto: Sorocaba de Dentro – Biguaçu/SC		Perfil = L1	Espaçam.: 20m
Operadores: 1ºCurso Geofísica GCN- UFSC		Equipamento:	
Ponto	Horário	Leituras (NT)	
Base 80	16:00	22.925 / 22.922 / 22.919 / 22.917 / 22.922 / 22.921 / 22.920 / 22.922 / 22.919 / 22.917	
00	16:03	22.841 / 22.836 / 22.835 / 23.071 / 22.839	
20	16:07	22.895 / 22.895 / 22.895 / 22.894	
40	16:10	22.907 / 22.907 / 22.907	
60	16:12	22.908 / 22.897 / 22.897 / 22.897	
80 (Base)	16:14	22.924 / 22.922 / 22.923 / 22.921 / 22.922 / 22.921 / 22.922 / 22.922 / 22.922 / 22.922	
100	16:16	22.929 / 22.929 / 22.930 / 22.931 / 22.930 / 22.929	
120	16:17	22.900 / 22.901 / 22.901 / 22.901	
140	16:18	22.861 / 22.877 / 22.860 / 22.859 / 22.861 / 22.860 / 22.861	
160	16:20	22.883 / 22.883 / 22.883 / 22.883	
180	16:22	22.894 / 22.894 / 22.895 / 22.894	
200	16:23	22.866 / 22.865 / 22.865 / 22.865	
220	16:25	22.832 / 22.831 / 22.831 / 22.832	
240	16:27	22.782 / 22.783 / 22.781 / 22.781 / 22.781	
250	16:31	22.822 / 22.819 / 22.821 / 22.821 / 22.820	
260	16:29	22.848 / 22.815 / 22.815 / 22.814 / 22.814 / 22.814	
Base 80	16:42	22.909 / 22.906 / 22.880 / 22.894 / 22.904 / 22.902 / 22.901 / 22.904 / 22.904 / 22.903	

FICHA DE CAMPO

MAGNETOMETRIA			
Projeto: Sorocaba de Dentro – Biguaçu/SC		Perfil = L2	Espaçam.: 20m
Operadores: Curso Geofísica UFSC		Equipamento:	
Ponto	Horário	Leituras (NT)	
00	16:52	22.844 / 22.817 / 22.819 / 22.819 / 22.817	
20	16:53	22.827 / 22.879 / 22.880 / 22.880 / 22.880	
40	16:55	22.909 / 22.908 / 22.906 / 22.907 / 22.908	
60	16:57	22.921 / 22.922 / 22.922 / 22.921	
80	17:00	22.953 / 22.954 / 22.953 / 22.954	
100	17:01	22.961 / 22.960 / 22.961 / 22.960	
120	17:03	22.908 / 22.909 / 22.909 / 22.909	
140	17:05	22.921 / 22.921 / 22.921 / 22.921	
160	17:08	22.883 / 22.883 / 22.883	
180	17:09	22.859 / 22.858 / 22.859 / 22.859	
200	17:11	22.839 / 22.838 / 22.842 / 22.832 / 22.838 / 22.838	
220	17:13	22.849 / 22.849 / 22.849	
240	17:15	22.844 / 22.844 / 22.844	
Base 120	17:24	22.907 / 22.907 / 22.905 / 22.906 / 22.906 / 22.907 / 22.907 / 22.905 / 22.906 / 22.906	



- LEGENDA** ESCALA - 1:1.000
- 17 Curvas de nível com equidistância de 1m em 1m
 - Drenagem
 - Contorno das cicatrizes de movimento de massa
 - SP 03 -24,0(mV) Potencial Espontâneo com valores de leitura em milivolts
 - SEV 06 Sondagem Eletrônica Vertical com sentido de abertura dos eletrodos
 - Perfis Magnetométricos e Caminhamento Elétrico Dipolo-Dipolo
 - PO.4 Pontos de observação litológica
 - PO.6 Piezômetro 6 de LUIZ (1996)

6971050

6970900

MAPA-BASE DA ÁREA DE ESTUDO
SOROCABA DO SUL - BIGUAÇU / SC
ESCALA - 1:1.000
BASE PLANIALTIMÉTRICA: LUIZ (1996); PELLERIN (1997)

Coordenadas UTM
 Coordenadas arbitrarias