### UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS E DA TERRA DEPARTAMENTO DE FÍSICA PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FÍSICA E MEIO AMBIENTE

# SONDAGENS ELÉTRICAS VERTICAIS APLICADAS À INTERPRETAÇÃO DE HORIZONTES PEDOLÓGICOS DE UMA VERTENTE EM CAMPO VERDE, MT.

# CARLOS ANTONIO MORAES MACHADO

Prof. Dr. SHOZO SHIRAIWA Orientador

Cuiabá, MT, setembro de 2007.

### UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS E DA TERRA DEPARTAMENTO DE FÍSICA PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FÍSICA E MEIO AMBIENTE

# SONDAGENS ELÉTRICAS VERTICAIS APLICADAS À INTERPRETAÇÃO DE HORIZONTES PEDOLÓGICOS DE UMA VERTENTE EM CAMPO VERDE, MT.

### **CARLOS ANTONIO MORAES MACHADO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós Graduação em Física e Meio Ambiente da Universidade Federal de Mato Grosso, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Física e Meio Ambiente.

### Prof. Dr. SHOZO SHIRAIWA Orientador

Cuiabá, MT, setembro de 2007.

## Seção 1.01 FICHA CATALOGRÁFICA

M149s Machado, Carlos Antonio Moraes Sondagens elétricas verticais aplicadas à interpretação de horizontes pedológicos de uma vertente em Campo Verde, MT / Carlos Antonio Moraes Machado. – 2007. v, 124p. : il. ; color.
Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Mato Grosso, Instituto de Ciências Exatas e da Terra, Programa de Pós-Graduação em Física e Meio Ambiente, 2007.
"Orientação: Prof. Dr. Shozo Shiraiwa".

CDU - 504.53.054:550.8.082.7

Índice para Catálogo Sistemático

- 1. Solo Poluição Materiais nocivos
- 2. Meio ambiente Poluição Campo Verde (MT)
- 3. Solo Poluição Sondagens elétricas verticais
- 4. Formação Cachoeirinha Campo Verde (MT)
- 5. Meio ambiente Métodos geofísicos
- 6. Latossolo
- 7. Arranjo Schulumberger
- 8. Campo Verde (MT) Solo Eletroresistividade

# DEDICATÓRIA

Ao grande incentivo recebido pelo meu pai, para não desistir mesmo diante de todas as adversidades.

### AGRADECIMENTOS

A paciência, orientação e compreensão do professor Dr. Shozo Shiraiwa ao longo do desenvolvimento do trabalho.

Ao professor Dr. José de Souza Nogueira pelo companheirismo e incentivo na busca de novos conhecimentos, sempre valorizando as atividades empreendidas pelos mestrandos.

Ao professor Dr. Alteredo Cutrim, pelas palavras de incentivo, mostrando que não devemos nunca desistir, e que a perseverança é sempre premiada com o sucesso.

Ao professor Dr. Fernando Ximenes pelas orientações no desenvolvimento de parte do trabalho.

Aos colegas de curso, pelos laços de amizade e companheirismo nesta empreitada.

Ao colega Alexandrino (técnico UFMT) pelo apoio técnico quando do levantamento dos dados de campo.

Aos alunos do 4º ano do curso de Geologia da UFMT, Daniel, Ana Eveline e Marcelo, no apoio a coleta de dados.

A todos os colegas do INCRA, que me apoiaram e incentivaram durante toda esta jornada de trabalho.

A FACUAL, pelos recursos financeiros aplicados para o desenvolvimento da coleta de dados em campo, no projeto Estudo da ação mitigadora da faixa de contenção e de sistemas de cultivos em lavouras de algodão sobre as perdas de solo, de água, de nutrientes e a contaminação de recursos hídricos por biocidas.

# SUMÁRIO

LISTA DE FIGURASi						
LISTA DE TABELASiii						
L	LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURASiv RESUMOv ABSTRACTvi					
R						
A						
1	INTRO	DUCÃO	1			
	1.1	Objetivos	3			
	1.2	Localização da área de estudo	4			
2	REVIS	ÃO DA LITERATURA	8			
	2.1	Geologia Regional	8			
	2.2	Clima	11			
	2.3	Caracterização da Geomorfologia e Vegetação da Região que				
		Compreende a Área de Estudo	12			
	2.4	Solos, definição e composição	18			
		2.4.1 Gênese do Solo	20			
		2.4.2 Processos Pedogenéticos	23			
		2.4.2.1 Substrato Pedogenético	23			
		2.4.3 Mineralogia do Solo	24			
		2.4.4 Perfil do Solo	25			
		2.4.5 Horizontes do Solo	25			
		2.4.6 Classificação dos Solos	27			
	2.5	Método da Elétroresistividade	29			
		2.5.1 Relação entre a Textura de Solos e Rochas e a Resis	stividade			
		Elétrica	30			
		2.5.2 Resistividade à Passagem da Corrente Elétrica	34			
		2.5.3 A Resistividade Elétrica	37			
		2.5.4 Medida da Resistividade				
		2.5.5 Resistividade Aparente - Caso de Duas Camadas	42			
		2.5.6 Profundidade de Investigação	43			
		2.5.7 Limitações dos Métodos Resistivos	50			

2.6 Métodos Geofísicos Aplicados à Caracterização do Solo50
3 MATERIAIS E MÉTODOS
3.1 Fundamentação Metodológica53
3.1.1 Sondagem Elétrica Vertical53
3.1.2 Curvas de Resistividade Aparente - Profundidade de Investigação57
3.2 Procedimentos Metodológicos
3.2.1 Posicionamento das Sondagens Elétricas Verticais, das
Trincheiras, Sondagens a Trado58
3.2.2 Obtenção dos Dados Diretos e Indiretos
3.2.2.1 Trincheiras e Sondagens a Trado59
3.2.2.2 Sondagem Elétrica Vertical - SEV61
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES
4.1 Curvas de SondagemElétrica65
4.2 Análise Quantitativa das Sondagens Elétricas Verticail69
4.3 Perfil Geoelétrico
5 CONCLUSÕES102
6 REFERÊNCIAS105

# LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> - Mapa de localização do município de Campo Verde em relação às bacias hidrográficas do Rio Araguaia, Rio Paraguai e Rio Tapajós
<b>Figura 2</b> - Vista parcial da vertente do Córrego da Ilha, local de realização dos trabalhos geofísicos
Figura 3 - Mapa geológico do município de Campo Verde9
Figura 4 - Mapa de compartimentos de relevo em relação ao município de Campo Verde
Figura 5 - Mapa Geomorfológico de Campo Verde
<b>Figura 6</b> - Exemplo de rochas com diferentes texturas
<b>Figura 7</b> - A figura mostra um cilindro condutor de resistência R, comprimento l, área seção transversal s
<b>Figura 8</b> - Fluxo de corrente elétrica a partir de um eletrodo à superfície. <i>J</i> é o vetor densidade de corrente
<b>Figura 9</b> – Distribuição de corrente e linhas de potencial, em função dos eletrodos de corrente A e B
<b>Figura 10</b> - Distribuição da resistividade para o caso de duas camadas
Figura 11 - Curva de resistividade aparente de duas camadas
<b>Figura 12</b> - Densidade de corrente criada por um eletrodo pontual em um semi- espaço homogêneo
<b>Figura 13</b> - Densidade de corrente em função da profundidade <i>z</i>
Figura 14 - Deslocamento do ponto P para P' de um valor y para o cálculo da fração de corrente F
Figura 15 - Arranjo Schlumberger dos eletrodos. Distribuição linear simétrico 54
<b>Figura 16</b> - Croqui de Localização das cinco SEV's realizadas ao longo da vertente do Córrego da Ilha

Figura 17 - Resultado do nivelamento geométrico dos pontos de Localização das SEV's ao longo da vertente estudada
<b>Figura 18</b> - A figura mostra os eletrodos de potencial MN e o centro O, no desenvolvimento do arranjo Schlumberger
Figura 19 - Localização da área de estudo em relação ao Córrego da Ilha e Rio das Mortes
<b>Figura 20</b> - Curvas de Resistividade aparente em função da semi-distância AB/2 com os dados das Sondagens Elétricas Verticais
<b>Figura 21</b> - Modelo de camadas ajustada para a SEV01 e correlação com os horizontes do solo
<b>Figura 22</b> - Modelo de camadas ajustadas para a SEV02 e correlação com os horizontes do solo
<b>Figura 23</b> - Modelo de camadas ajustadas para a SEV03 e correlação com os horizontes do solo
<b>Figura 24</b> - Modelo de camadas ajustadas para a SEV04 e correlação com os horizontes do solo
<b>Figura 25</b> - Comparação entre o modelo geoelétrico da SEV03 com o modelo de camadas referente à SEV05
<b>Figura 26</b> - Modelo de camadas ajustadas para a SEV05 e correlação com os horizontes do solo
Figura 27 - Modelo integrado de camadas e correlação com os horizontes de solo99
<b>Figura 28</b> - Modelo geoelétrico da vertente, resultado da interpretação das curvas de resistividade aparente

# LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Nova nomenclatura dos solos.    28
Tabela 2 - Resistividade de solos.    33
Tabela 3 - Resistividade de solos e rochas
Tabela 4 - Relação entre separação de eletrodos e profundidade de investigação 57
Tabela 5 – Comparação entre a segunda camada modelada, de todas as SEV's89
<b>Tabela 6</b> – Comparação entre os valores de resistividade e espessuras das segundascamadas modeladas, em todas as SEV's93
Tabela 7 – Comparação entre a terceira camada modelada, de todas as SEV's 96
<b>Tabela 8</b> - Resistividade elétrica da primeira, segunda, terceira e quarta camadasobtidas nos modelos gerados nas cinco sondagens elétricas verticais.as

# LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

- $\rho$  resistividade elétrica
- $\rho_a$  resistividade elétrica aparente
- $\sigma$  condutividade elétrica
- $\mu$  permeabilidade magnética
- $\varepsilon$  constante dielétrica
- R resistência elétrica
- $\vec{J}$  fluxo de corrente elétrica
- $\vec{E}$  campo elétrico
- I-intensidade de corrente elétrica
- *l* comprimento
- $\eta$  erro relativo
- $\Omega...m$  Ohm x metro
- SEV Sondagem Elétrica Vertical
- SEPLAN Secretaria de Planejamento

#### RESUMO

MACHADO, C. A. M. Sondagens Elétricas Verticais Aplicadas à Interpretação de Horizontes Pedológicos de uma Vertente em Campo Verde, MT. Cuiabá setembro, 2007. 124 p. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Ciências Exatas e da Terra, Programa de Pós-Graduação em Física e Meio Ambiente, Universidade Federal de Mato Grosso.

Foi utilizado o método da Eletroresistividade e aplicado a técnica da Sondagem Elétrica Vertical - SEV para determinar a espessura das camadas e as respectivas resistividades elétricas do solo e do substrato rochoso ao longo de uma vertente na micro bacia do Córrego da Ilha, no município de Campo Verde, MT. As rochas mapeadas são da Formação Cachoeirinha e cobertas por latossolos. Através de cinco SEV's, espaçadas a cada 100 m, e com AB/2 igual a 130m (exceção da primeira com 240m) foram obtidas as curvas de resistividade aparente, que foram modeladas pelo método do ajuste semi-automático tendo sido aplicado o processo de regressão por mínimos quadrados, assumindo um modelo de camadas horizontalizadas. Os modelos gerados indicam camadas com espessuras e respectivas resistividades elétricas que foram interpretados comparando-se com as observações de trincheiras e sondagens a trado efetuadas ao longo da vertente. Foi possível construir uma coluna geoelétrica para cada SEV mostrando as espessuras das camadas e as variações de resistividade elétrica associados aos dados de pedologia e litologia obtidos. Em função da abertura dos eletrodos  $AB/2 \ge 1,0$  m, não foi possível identificar as variações das resistividades elétricas relacionadas aos horizontes de espessuras menores que 0,30 m. Observaram-se variações nos valores de resistividade elétrica entre Latossolo Vermelho-Amarelo e Latossolo Vermelho. Por meio das variações de resistividade elétrica obtidas para a terceira camada das SEV's foi possível distinguir o substrato rochoso, associado à Formação Cachoeirinha, iniciando a uma profundidade média de 4,7 m e atingindo a profundidade média aproximada de 26,8 m. A associação dos dados geofísicos com os dados de pedologia e litologia permitiram a construção de uma seção geoelétrica representativa do intervalo onde foram localizadas as SEV's ao longo da vertente estudada.

**Palavras-chave**: eletroresistividade, geofísica aplicada, Latossolo, Arranjo Schlumberger, Formação Cachoeirinha.

#### ABSTRACT

MACHADO, C. A. M. Vertical Electric Sounding Applied to Interpretation of *Pedological Horizons on a Slope in Campo Verde – MT*. Cuiabá, September, 2007. 124 p. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Ciências Exatas e da Terra, Programa de Pós-Graduação em Física e Meio Ambiente, Universidade Federal de Mato Grosso.

The method of electroresistivity was used and applied to the technique of Vertical Electric Sounding - VES to determine the thickness of the layers and the respective electroresistivities of the soil and of the rocky substratum along a slope at the microbasin of the Córrego da Ilha, in the municipal district of Campo Verde-MT. The mapped rocks are from the Cachoeirinha Formation and they are covered by Latosol. The method consists of injecting artificial electric current in the land and through this obtains the electric resistance  $(\rho)$  of the materials in the subsurface. Through five VES, spaced each 100m, and with AB/2 equal to 130m (except to the first one with 240m) the curves of apparent resistivity were modeled by the method of semiautomatic adjustment through the regression method for minimum square assuming a model of horizontal layers. The generated models show layers with the thickness and respective electric resistivities that were interpreted, being compared with the observations of trenches and auger surveys performed along the slope. It was possible to build a geoelectric model for each VES showing the thickness of the layers and the variations of electric resistivity associated to the pedology and lithology data obtained. Despite to the opening of the electrodes AB/2 equal to 1.0m was not possible to identify the variations of the electric resistivities related to the horizons thicker than 0.30m. It was observed variations in the values of electric resistivity between the Red-Yellow Latosol and the Red Latosol (Oxisol). Through the variations of electric resistivity that were obtained from the third layer of VES, it was possible to distinguish the rocky substratum, associated to the Formation Cachoeirinha, beginning at an average depth of 4.7m and reaching the approximate average depth of 26.8m. The association of the geophysical data with the pedological and lithological data allowed the construction of a representative geoelectric section from the interval where the VES were located along the studied slope.

**Key-words**: electroresistivity, applied geophysics, Latosol, Schulumberger, Cachoeirinha Formation

# **CAPÍTULO I**

### 1 INTRODUÇÃO

Com os grandes investimentos direcionados para a agricultura como equipamentos e maquinários de alta tecnologia, e ainda com o desenvolvimento de produtos químicos (biocidas), voltados exclusivamente para garantir boa produtividade, inevitavelmente, por conta disso, grandes volumes de agrotóxicos vêm sendo lançados a cada dia sobre áreas de cultivo e estes, acabam atingindo todo o ambiente.

O Brasil é ainda um país predominantemente dependente de insumos químicos e na busca de proteger grandes áreas agrícolas da infestação de pragas e doenças lança mão destes agentes químicos que deixam resíduos que gradativamente vão agredindo compartimentos importantes da biota, ou seja, a água, o ar e o solo. Vários setores da sociedade têm se mobilizado entre eles ambientalistas, governo, produtores rurais e a sociedade em geral, que preocupados com a evolução do volume de defensivos aplicados na agricultura, em escala regional e local, buscam avaliar seu efeito e principalmente controlar sua aplicação evitando agressões sobre o meio ambiente.

Diante dos riscos que os pesticidas representam, estudos de caráter científico têm sido realizados de modo a possibilitar a identificação de áreas caracterizadas como de risco a contaminação e principalmente realizar monitoramentos contínuos que permitam avaliar a ação do homem sobre o meio. Construir um conjunto de informações sobre aspectos físicos e químicos é de fundamental importância, e no que se refere às variações físicas, tem sido utilizada com muita freqüência a geofísica aplicada, que por meio dos métodos geofísicos, classificados em eletromagnéticos ou indutivos, elétricos, magnéticos, sísmicos, gravimétricos, radioativos e térmicos, constituem ferramentas importantes que integrados às informações geológicas garantem maior confiabilidade nos resultados a serem alcançados.

Para avaliação da hidrogeologia os métodos mais aplicados são principalmente, o elétrico seguido do sísmico e eletromagnético (NUNES, 2006).

A aplicação de métodos dessa natureza mostra a grande preocupação do homem em garantir uma melhor proteção aos recursos naturais. De acordo com Sansonowski (2003), avaliar e diagnosticar os acidentes ambientais e seus impactos por meio de estudos de natureza geofísica, avaliando o transporte de contaminantes em solos e águas subterrâneas, permite subsidiar ações de órgãos responsáveis pelo meio ambiente.

Além disso, podem-se obter por meio dos métodos geofísicos informações importantes sobre estimativa e profundidade de aqüíferos e nível hidrostático, extensão lateral e espessura de uma formação, avaliação da porosidade total e das reservas de água de um aqüífero, mapeamento de subsuperfície em termos de resistividade elétrica de solos e rochas, etc.

Os levantamentos geofísicos para estudos de solo e rocha não dispensam a utilização de sondagens, mas, quando aplicados racionalmente podem otimizar a necessidade de fazer furos. A profundidade e espessura de unidades geológicas podem ser obtidas por meio de perfis geológicos de poços e de modo indireto por meio de métodos geofísicos. Apesar da grande vantagem da aplicação de medidas indiretas obtidas pelos métodos geofísicos, estes não podem substituir os métodos convencionais de estudo (CUTRIM & REBOUÇAS, 2005; NASCIMENTO *et al.*2004).

O conhecimento dos horizontes de solos, bem como do topo rochoso e funcionamento hídrico, por meio da associação da investigação geofísica com a pedológica, são fundamentais para avaliar os efeitos destrutivos causados pelos excessos da aplicação dos defensivos agrícolas sobre grandes áreas produtivas. Os grandes imóveis rurais produtivos inevitavelmente abrangem nascentes de rios, córregos, lagos e muitas vezes são percolados por rios importantes que além de fonte de abastecimento de água, também contribuem com a reposição dos aqüíferos freáticos.

Estes mananciais de águas recebem diretamente grandes volumes de chuvas, e indiretamente por escoamento superficial, através de suas vertentes. Além disso, as águas das chuvas penetram no solo e atingem grandes profundidades, e se, contaminadas carregam agentes químicos até as águas subsuperficiais.

Através da investigação direta, realizada por trincheiras e sondagens a trado, são obtidas informações importantes por meio das características morfológicas do solo, e estas informações permitem caracterizar a cobertura pedológica. Nesta forma de investigação, as profundidades são limitadas quando há resistência de materiais à penetração da sondagem mecânica. Esta restrição pode ser suprimida com a aplicação da investigação indireta, ou seja, utilizando-se a geofísica aplicada.

Visando entender e acima de tudo obter informações sobre o comportamento hídrico, na vertente e nos horizontes do solo e substrato, foram associadas neste trabalho, as duas formas de investigação já descritas, a direta e indireta. O método utilizado da geofísica foi o elétrico, e a técnica usada foi a da Sondagem Elétrica Vertical, que permite investigar grandes profundidades com a vantagem de redução de tempo e de recursos financeiros, estando restrita apenas às condições topográficas da área a ser investigada.

#### 1.1 Objetivos.

- Gerais Aplicar um dos métodos geofísicos (método indireto) para obter informações a respeito do comportamento elétroresistivo do solo e rocha ao longo de uma vertente.
- Específicos Com os dados das variações de resistividades obtidos através da Sondagem Elétrica Vertical, dos meios estratificados

(método indireto), e com os dados da caracterização da cobertura pedológica, resultantes das investigações das trincheiras e sondagens a trado na área de estudo (método indireto), buscou-se:

- ✓ Determinar a espessura das camadas de solo e do substrato rochoso, com base nos valores de resistividade elétrica;
- Relacionar os horizontes pedológicos e litológicos com as profundidades estimadas por meio da aplicação de um dos métodos geofísicos;
- ✓ Correlacionar as variações de resistividade com as informações morfológicas obtidas por meio das trincheiras;
- Avaliar a profundidade do nível freático e a posição da zona de saturação em relação aos valores de resistividade;
- ✓ Construir um modelo geoelétrico de camadas para a vertente estudada.

#### 1.2 Localização da área de estudo.

Na Figura 1 o contorno em linha preta representa o município de Campo Verde – MT cuja sede é localizada pelas coordenadas geográficas de Latitude 15° 32' 48'' S e Longitude 55° 10' 08'' W. A área de estudo se encontra inserida na micro região de Primavera do Leste e na sub-bacia hidrográfica do Alto Rio das Mortes, indicada com uma linha preta intermitente dentro do limite do referido município. O Rio das Mortes é um afluente da margem esquerda do Rio Araguaia. A Bacia Hidrográfica do Araguaia encontra-se representada em amarelo na figura, em verde a Bacia Hidrográfica do Rio Tapajós e em cinza claro a Bacia Hidrográfica do Rio Paraguai.

O acesso rodoviário para a região, partindo de Cuiabá, é feito pela BR 163, até o entroncamento com a BR-070, daí segue por esta BR até a cidade de Campo Verde. Chega-se à área de estudo por estrada de acesso não pavimentada, distante aproximadamente 30 km da cidade de Campo Verde. A área onde foram realizados os estudos geofísicos e obtidos os dados referentes à pedologia, está representada



com um círculo vermelho na Figura 1 e localizada em uma das vertentes da margem direita do Córrego da Ilha, afluente da margem esquerda do Rio das Mortes.

Figura 1 - Mapa de localização do município de Campo Verde em relação às bacias hidrográficas do Rio Araguaia, Rio Paraguai e Rio Tapajós. Fonte: Servidor de Mapas da Secretaria de Estado de Planejamento – SEPLAN. Mapa na escala de 1: 1.500.000. <u>www.seplan.mt.gov.br</u>. Acesso 02/07/2007.

A região é grande produtora de algodão e nela estão sendo realizados estudos da presença dos resíduos dos principais compostos químicos no solo e na água superficial e subsuperficial, e ainda as perdas causadas pelas erosões, resultantes também da ação antrópica.

As pesquisas estão sendo coordenadas pelos Departamentos de Agronomia, Geologia e Química da UFMT, tendo o projeto sido denominado de "Estudo da ação mitigadora da faixa de contenção e de sistemas de cultivo em lavouras de algodão sob as perdas de solo, de água, de nutrientes e a contaminação de recursos hídricos por biocidas".

Os dados geofísicos foram obtidos no mês de setembro de 2005 e as informações referentes à topografia e pedologia no mês de abril de 2006.



Figura 2 - Vista parcial da vertente do Córrego da Ilha, local de realização dos trabalhos geofísicos. Na figura está indicado, com uma linha branca, o alinhamento tomado para a obtenção dados geofísicos. (Modificado sobre imagem GoogleEarth 2007)

A Figura 2 mostra, linha branca, o alinhamento em relação ao centro das investigações geofísicas, numa extensão de 400 m ao longo da vertente do Córrego da Ilha, que é um dos afluentes do Rio das Mortes.

Observa-se também, estradas de acesso em meio aos talhões reservados a culturas de algodão e de entressafra. Pode-se observar ainda na Figura 2 alguma preservação ao longo do curso do córrego, porém, nas nascentes, ausência de área de proteção.

A grande preocupação no que se refere aos cuidados que devem ser destinados ao meio ambiente, tratados na introdução deste capítulo, podem ser justificados quando se observa, por exemplo, a Figura 2, que mostra grandes áreas cultivadas que necessitam ser protegidas das infestações de pragas e doenças.

As áreas reservadas para a cultura de algodão são muito extensas e, os volumes de defensivos agrícolas devem ser suficientemente grandes para proteger estas áreas. Por isso, há grande preocupação em avaliar os riscos e estudar as melhores formas de uso dos recursos naturais com o mínimo de agressão possível ao meio ambiente.

## **CAPÍTULO II**

### 2 REVISÃO DA LITERATURA

Face à necessidade de informações complementares para subsidiar a elaboração do estudo geofísico da área de interesse serão apresentadas neste tópico, informações referentes a aspectos físicos e geográficos que caracterizam a região. A geologia da área de estudo será fundamentada nos dados do mapa geológico elaborado pela SEPLAN (2002), com algumas considerações do trabalho de Weska (2006). Apresentam-se ao final, aspectos teóricos sobre conceitos básicos da prospecção geoelétrica.

#### 2.1 Geologia Regional.

O Estado do Mato Grosso, possui uma compartimentação geotectônica, que abrange o segmento sul do Cráton Amazônico a Faixa de Dobramentos Paraguai e a Bacia do Paraná. Algumas bacias preenchidas por sedimentos fanerozóicos ocorrem tanto no interior cratônico como no domínio das faixas de dobramentos, destacando-se, dentre elas, as Bacias dos Parecis, Bacia do Xingu a planície com os sedimentos cenozóicos do Pantanal Mato-Grossense a depressão do Guaporé (SEPLAN – 2002).

A Figura 3 mostra as unidades geológicas, com os nomes e siglas, presentes no território do município de Campo Verde-MT (SEPLAN – 2002).



Figura 3 - Mapa geológico do município de Campo Verde. (Modificado de Suman, 2006).

A Bacia do Paraná, no seu extremo noroeste está representada por partes das unidades litoestratigráficas das Formações Furnas e Ponta Grossa e Formação Botucatu.

A região do município de Campo Verde apresenta as seguintes unidades geológicas:

(Grupo Cuiabá (PScb), filitos diversos, metassiltitos, ardósias, metarenitos, metacórseos, metagrauvacas, xistos, metaconglomeráticos, quartzitos, metavulânicas ácidas e básicas, mármores calcíticos e dolomíticos. Presença conspícua de veios de quartzo.

Formação Rio Ivaí (OSri), pertencente ao paleozóico ordiviciosiluriano, apresenta na sua constituição litológica arenitos finos e bancos espessos maciços, ocasionalmente grosseiros e conglomeráticos em posições basais.

Formação Furnas (Sdf), pertencente ao Grupo Paraná, apresenta as seguintes litologias: arenitos ortoquartzíticos de granulometria grosseira a localmente fina. Na base apresentam horizontes conglomeráticos monomíticos de espessura métrica.

Formação Ponta Grossa (DPG), também pertencente ao Grupo Paraná, é constituído de arenitos finos a muito finos com intercalações de siltitos, argilitos e delgados níveis conglomeráticos.

A Formação Aquidauana (CPa), apresenta em sua litologia arenitos com níveis conglomeráticos e intercalações de siltitos, argilitos e subordinadamente diamícticos.

A Formação Botucatu (Jb), é composta por arenitos finos a médios, bimodais, com grãos bem arredondados e estratificações cruzadas de grande porte.

O Grupo Bauru (Kb), composto de arenitos com matriz calcífera, sílex e conglomerados na base.

Formação Cachoeirinha, segundo Weska (1996), é composta de sedimentos inconsolidados a consolidados, caracterizados por areias argilosas, argilas e areias cascalhosas, parcialmente laterizadas, cascalhos basais compostos por clastos de lateritas. A matriz é arenosa, imatura, e o cimento quando presente é de óxidos de ferro. As crostas lateríticas ocorrem de forma variada, formando blocos isolados em

camadas bem definidas e até permeando como cimento os tipos litológicos que constituem a unidade litoestratigráfica em questão, uma vez que a deposição do óxido de ferro foi condicionada pela flutuação do aquífero freático.

Aluviões Atuais (Ha), unidades litoestratigráficas pertencentes à era Cenozóica e do Período Quaternário, apresentam areias, argilas, siltes e cascalhos.

#### 2.2 Clima.

De acordo com a SEPLAN (2002), no Estado de Mato Grosso, devido à extensão territorial, compreende uma diversidade de tipos climáticos associados às latitudes equatoriais continentais e tropicais na porção central do continente Sulamericano. Apesar do forte aquecimento pela posição ocupada, a oferta pluvial para o estado de Mato Grosso é relativamente elevada. Na parte sudeste do estado, onde esta localizada a área de estudo, as precipitações pluviométricas variam entre aproximadamente 1400 mm a 1700 mm anuais.

Formas e orientação do relevo no estado são responsáveis pelas sub-unidades climáticas, que ocorrem em compartimentos rebaixados (Depressão do Alto Paraguai e Pantanais), com totais pluviométricos menores até climas tipicamente mesotérmicos úmidos das superfícies do Planalto dos Guimarães e Parecis (com altitudes acima de 600 m).

Mais de 70% das chuvas acumuladas durante o ano precipita-se de novembro a março, com registro dos meses mais chuvosos de janeiro a março, no norte do estado, de dezembro a fevereiro no centro e de novembro a janeiro no sul. Nesse período chove de 45 a 55% do total anual. Já o inverno é extremamente seco e nessa época do ano as chuvas são muito raras.

O Zoneamento Ecológico Econômico do Estado do Mato Grosso define três grandes macro unidades climáticas:

 ✓ Clima Equatorial Continental com Estação Seca Definida da Depressão Sul Amazônica;

- Clima Sub-Equatorial Continental Úmido com estação Seca Definida do Planalto do Parecis;
- ✓ Clima Tropical Continental Alternadamente Úmido e Seco das Chapadas, Planaltos e Depressões do Mato Grosso.

Nos planaltos e nas chapadas com altitudes variando de 400 a 800 m ocorrem atenuação térmica que reduz as perdas de águas superficiais, e agem dinamicamente nos fluxos dos ventos resultando no aumento da precipitação pluviométrica. Na porção setentrional da Bacia do Paraguai (Chapadas dos Parecis e Guimarães), a concentração das chuvas no verão é elevada, enquanto no outono-inverno os totais caem abaixo dos 100 mm. Nesse setor setentrional, a elevação da altitude é acompanhada por uma elevação dos totais pluviométricos. Na estreita-faixa em torno da Bacia do rio Araguaia, as precipitações crescem de sul para norte, desde cerca de 1.500 mm até 1.800 mm. O período seco atinge 5 a 6 meses, ocorrendo entre maio e setembro, assinalando-se alguns dias secos nos meses de janeiro e fevereiro.

A região de Campo Verde apresenta clima tropical continental alternadamente úmido e seco, com temperaturas variando entre 18 e 24 graus. Tem duas estações bem definidas: a seca de junho a setembro e a estação chuvosa (outubro a maio), com variação pluviométrica média de 1700 mm.

# 2.3 Caracterização da Geomorfologia e vegetação da Região que Compreende a Área de Estudo.

O relevo é o produto de duas forças antagônicas, que atuam de fora para dentro sob o efeito da atmosfera e de dentro para fora através da litosfera e da energia interior da terra. Não se pode conhecer um determinado solo sem se conhecer a forma do relevo do qual originou, a litologia a partir da qual evoluiu (ROSS, 2005).

O estado de Mato Grosso apresenta um conjunto de grandes chapadas, com altitudes mádias variando de 400 a 800 m, num relevo pouco acidentado. A região da Chapada e Planalto dos Guimarães, contexto na qual a área encontra-se inserida, apresenta-se como uma unidade contínua e alongada, atingindo cerca de 200 km no sentido leste/oeste e 120 km no sentido norte/sul. Na Figura 4, estão indicadas os compartimentos de relevo da região de localização do município de Campo Verde. No município são verificados os compartimentos do Planalto dos Guimarães, Depressão dos Altos Rios Paraguai e Planalto e Serras dos altos Rios Paraguai. A área de estudo se encontra sobre o compartimento do Planalto dos Guimarães.



Figura 4 - Mapa de compartimentos de relevo em relação ao município de Campo Verde. (IBGE, 2007).

Esta superfície é elaborada nos sedimentos da Formação Furnas, recobertos pela espessa camada de sedimentos detrítico-lateríticos. De acordo com a SEPLAN (2002) esta unidade é composta de três compartimentos, pertencentes à Bacia Sedimentar do Paraná, com cotas variando de 300 a 700 m, o superior, o intermediário e o inferior, que serão resumidos a seguir. A vegetação característica da região é o Cerrado que no estado recobre principalmente as unidades de relevo das Depressões do alto Paraguai-Guaporé, das Planícies e Pantanais Matogrossenses e do Planalto dos Parecis. Na sua fisionomia vegetal, aparecem os bosques abertos,

com árvores contorcidas e grossas, de pequeno porte. Um substrato é arbustivo, outro herbáceo, onde predominam gramíneas e leguminosas.

*O Compartimento Superior*, com cotas altimétricas variando de 500 a 700 metros, corresponde ao topo da Chapada dos Guimarães. È definido como uma superfície aplanada muito conservada. Esta superfície é delimitada, em quase toda a extensão, por escarpas erosivas e ressaltos topográficos.

Neste extenso chapadão, os solos desenvolvidos são predominantemente do tipo Latossolo Vermelho-Escuro distróficos, de textura argilosa, originalmente recoberta por vegetação de Savana Arbórea Aberta. Apresentando ainda Latossolo Vermelho-Amarelo e nas áreas dissecadas os solos são constituídos de Areias Quartzosas. Em função das declividades muito baixas e de características locais dos solos, ocorrem, em alguns trechos do chapadão, áreas de acumulação inundáveis e uma rede de drenagem de fundo plano e raso. Nestas áreas, sujeitas a inundações periódicas, têm-se uma vegetação de Savana Parque e, nos fundos dos vales, ocorrem às veredas, onde se encontra vegetação pioneira com buritis, que constituem o segmento inicial da cobertura vegetal típica da região Centro-Oeste. Um dos principais rios da chapada é o Rio das Mortes que drena a parte central da superfície aplainada.

A Savana Arbórea Aberta (Campo Cerrado), mais baixas que o Cerradão, com árvores de até 5 metros, apresenta tapete gramíneo lenhoso contínuo, com árvores gregárias de troncos e galhos retorcidos. Na área encontra-se ainda avegetação tipo Savana Estépica ou Savana Parque, em geral com plantas lenhosas, baixas e espinhosas, associadas a um campo graminoso savânico. Sua ocorrência no Sul do estado se dá geralmente em relevo plano, com altitudes que não ultrapassam 200 metros do nível do mar. Apresenta subformação com floresta de galeria, e ocorre em toda Depressão do Paranatinga e na borda sudoeste da Chapada dos Parecis.

As vegetações Pioneiras ocorrem ao longo dos cursos dos rios e ao redor de depressões fechadas que acumulam água, onde se observam vegetações campestres herbáceas lenhosas. Os terrenos onde se encontram estas formações apresentam

decomposições que são constantemente renovadas e áreas pedologicamente instáveis, com sedimentos pouco consolidados, sob o processo de acumulação fluvial lacustre.

Segundo Gonçalves (2003), há ocorrência de áreas de formações pioneiras, que fazem parte da vegetação ribeirinha, compondo as planícies aluvionais onde há renovação constante das deposições quaternárias. As formações pioneiras sofrem influência fluvial e são subdivididas em fluviais arbustivas e herbáceas.

*O Compartimento Intermediário* (Planalto dos Alcantilados), definido como um conjunto de relevo com feições morfológicas complexas, marcadas por bordas em escarpas alcantiladas, situa-se entre as cotas de 300 e 500 m. Este compartimento é formado por litologias das formações Furnas e Ponta Grossa. Apresenta feições marcadas por bordas abruptas, interrompidas por relevos residuais de topo plano.

Os solos predominantes nas formas convexas são os Podzólicos Vermelho-Amarelos, enquanto que nos relevos tabuliformes predominam as Areias Quartzozas com subdominância de solos concrecionários. Nos terrenos de relevos de formas aguçadas predominam os Podzólicos Vermelho-Amarelos e os Neossolos. A cobertura vegetal é bastante homogênea e predomina a Savana Arbórea Aberta e a Floresta Estacional decidual.

*Compartimento Inferior* (Planalto do Casca), de acordo com Ross e Santos, (1982) apud Sacasi *et al.*(2006), esta área foi individualizada como Planalto do Casca. Os solos aí desenvolvidos são de Areias Quartzosas e, secundariamente, Latossolos Vermelho Amarelo distróficos e álicos, originalmente recobertos por vegetação de contato savana/floresta. Com altitudes abaixo de 300 m, ocupa a porção noroeste da unidade e corresponde a uma área que sofreu acentuado rebaixamento por erosão.

O contato deste compartimento com o topo da Chapada é marcado por anfiteatros erosivos profundamente entalhados, além de relevos dissecados em formas aguçadas e convexas, pouco extensas. A Figura 5 mostra a área de estudo representada com um retângulo vermelho, e sua posição em relação ao município de Campo Verde – MT. Na figura também são identificadas as feições relacionadas à geomorfologia, que ocorrem no município, e que serão abordadas resumidamente a seguir. As descrições das compartimentações geomorfológicas, no município, são do relatório técnico geomorfológico do Estado de Mato Grosso CNEC/SEPLAN (2002). As descrições sobre vegetação são do mapa de vegetação da SEPLAN (2002).

*Sistema de Aplainamento (A)* – nomenclatura que identifica relevos com formas aplanadas e é subdividido em: Sistema de aplanamento Ap1; Ap2; Ap3 e Sistema de Pedimento Pd.

Na área do município de Campo Verde e na área onde foram obtidos os dados para realização deste trabalho ocorre o Sistema de Aplanamento Ap1. Representa um conjunto de formas aplanadas com baixas declividades e baixa densidade de drenagem. De acordo com dados da SEPLAN (2002), a região de abrangência Ap1, apresenta atividades antrópicas e vegetação do tipo Contato Floresta Estacional/Savana, Savana Parque (Campo Cerrado), e Savana Arborizada (Cerrado), Formação Rapina, Savana Florestada. A área apresenta atividade agrícola e pecuária, solo exposto, reflorestamentos e extrativismo vegetal, além de núcleos urbanos.

Sistema de Planície Fluvial (Pf) – associado à rios de menor porte, onde se verificam a ocorrência da ação das cheias e das vazantes, resultando em depósitos sedimentares ao longo de seus canais. A vegetação característica desta unidade de relevo é a savana Parque (Campo Limpo) Savana Gramíneo Lenhosa (campos úmidos) e Formação Riparia.

*Sistema de Planície Aluvionar Meandriforme (Pmd)* – estas planícies comportam todo o sistema hidrográfico e fisiográfico em formação. As sinuosidades dos rios possuem feições características, nas côncavas ocorre o processo de escavação, enquanto nas margens convexas ocorre sedimentação Também ocorrem nestas unidades de relevo a Floresta Estacional, Savana Gramíneo Lenhosa (campos úmidos) e Formação Riparia.



Figura 5 - Mapa Geomorfológico de Campo Verde. SEPLAN (2002). (Acesso em 25/06/2007).

Sistema de Dissecação em Colinas e Morros (CI-Mr) – aparecem ao longo da porção central da sub-bacia, nas bordas do Planalto dos Guimarães, entre sistemas de aplanamentos. Podem ocorrer com média dissecação, com relevos de colinas médias e pequenas com morrotes, vertentes com pequena extensão, declividades em torno de 10 a 20%, altitudes variando de 450 a 600 metros, e forte dissecação com relevo de morros e morrotes, topos aguçados e estreitos, vertentes médias, altas declividades superiores a 30% e altitudes que variam de 450 a 600 metros. A vegetação apresenta Contato Floresta Estacional/Savana, Savana Arborizada (cerrado), Formação Ripária.

Sistema Denudacional Estrutural – S - refere-se a sistemas em que as estruturas geológicas são as principais responsáveis pelo relevo. Ambientes de relevo fragmentado na região do Planalto dos Alcantilados. O sistema Sf representa unidades de relevo de blocos falhados, com formas dissecadas e com topos apresentando morfologias convexas. O sistema está associado às vegetações de Floresta Estacional, Savana Arborizada (Cerrado) e sob a ação da Agricultura, Pecuária, Reflorestamento, Extrativismo Vegetal e com Solo Exposto e Usos Urbanos.

#### 2.4 Solos, definição e composição.

A crosta terrestre sofre grandes modificações resultantes da ação de agentes internos (vulcões, terremotos, etc.) e mais superficialmente de agentes externos (sedimentação, erosão, etc.), resultando em sensíveis alterações na sua estrutura física e química. Rochas consolidadas são desintegradas em partículas de minerais e fragmentos de rocha que são arrastados e redistribuídos. Os sedimentos acumulados nesse processo ficam sujeitos a um novo ciclo de desagregação, transporte e depósito, Costa (2004).

A composição mineralogica e química da rocha matriz e o estado original de fraturamento exercem influêcia sobre as características do solo da qual se originou.

Sobre a rocha matriz encontra-se a rocha alterada, que em geral é muito fraturada, permitindo o grande fluxo de água através de suas descontinuidades.

O solo representa uma fase relativamente superficial instável, que pode ser considerado uma camada viva que recobre a superfície da terra e que sofre ação dos agentes químicos, físicos e biológicos.

Segundo Gomes e Varriale (2004), o que caracteriza um solo é a mistura de elementos orgânicos e inorgânicos além da água, ar e microorganismos presentes na superfície da terra. Os componentes como a água e o ar, encontram nos poros condições de permanência no meio.

Bertoni e Neto (2005) definem também o solo como: uma tênue camada de material composto por partículas de rochas em diferentes estágios de desagregação, contendo em sua constituição água e substâncias químicas em dissolução, ar, organismos vivos e matéria orgânica em distintas fases de decomposição.

Os poros contidos nos solos possuem frações granulométricas de diâmetros inferiores a 0,05 mm (micro-poros) e com diâmetros superiores a 0,05 mm (macro-poros). A água, que não é um de seus componentes pode permanecer nestes poros e ser absorvida pelas raízes das plantas, transpirada de volta à atmosfera, subir pelo processo de capilaridade, ser evaporada e ainda percolar através do solo para maiores profundidades.

As partículas minerais que compõe o solo podem ser classificadas quanto à sua origem, em dois tipos: minerais primários, que são remanescentes da rocha de origem; e os minerais secundários, formados pela decomposição dos minerais primários. Os minerais primários são mais resistentes à ação do intemperismo químico e, por isso, permanecem mais tempo no solo, mantendo sua composição original; os secundários são mais suscetíveis às alterações.

O limite superior do solo é a superfície terrestre e seu limite inferior é aquele em que os processos pedogenéticos cessam ou quando o material originário dos solos apresenta predominância das expressões dos efeitos do intemperismo geo-físicoquímico, (GUERRA E CUNHA, 2004). Segundo Costa (2004), para muitos fins é conveniente considerar o solo como uma mistura de materiais sólidos e gasosos e tratá-lo como um sistema anisotrópico em que se distinguem as fases sólida, líquida e gasosa.

#### 2.4.1 Gênese do Solo.

O solo como entidade natural independente, pode possuir características herdadas do material originário e/ou características adquiridas, cujas relações variam com o tempo. Os solos, provenientes da deterioração das rochas, não são iguais em todas as partes, são corpos naturais da superfície da terra que ocupam áreas e expressam características (cor, textura, estrutura etc.), resultado da ação combinada dos fatores associados aos mecanismos e processos de sua formação, denominado de intemperismo.

A exposição das rochas à ação direta do calor do sol, das águas das chuvas e das variações de pressão atmosféricas, altera fisicamente e quimicamente os minerais que as compõe, apesar das diferentes composições químicas e dos diferentes graus de resistência desses materiais.

Salomão e Antunes (1998) apresentam cinco fatores que determinam a origem e evolução dos solos, são eles:

- ✓ Clima;
- ✓ materiais de origem (rocha);
- ✓ organismos;
- ✓ relevo;
- ✓ tempo.

**CLIMA**: a transformação do material de origem (geralmente rocha), ao longo do tempo pela ação conjunta do clima e dos organismos vivos que agem em um determinado relevo são os responsáveis diretos pela formação do solo, alterando os minerais constituintes do substrato, ou ainda indiretamente pela vegetação. Os aspectos climáticos de maior importância no desenvolvimento do solo são:

temperatura e precipitação pluviométrica. Com o aumento da temperatura, a energia térmica, originária da radiação solar, dissipa-se no solo atingindo maiores profundidades provocando alterações nos processos de reações químicas e físicas. De acordo com Salomão e Antunes (1998), sob influência da temperatura e sob condições pluviométricas estáveis, os solos de regiões tropicais apresentam maior profundidade, pois a temperatura do meio ambiente interfere diretamente na proliferação de microorganismos responsáveis pela destruição da matéria orgânica.

O clima é determinado pela latitude, através da qual é obtido o ângulo de incidência dos raios solares, pelos ventos, pelas massas continentais, e pela topografia que contribuem para elevação de massas de ar, que é condensada e logo após precipitada auxiliando na lixiviação (separação dos sais de certas substancias) do solo e nas alterações químicas dos minerais.

MATERIAL DE ORIGEM (ROCHAS): de acordo com Bertoni e Neto (2005), o material de origem tem influência passiva na formação do solo. De forma simplificada pode-se dizer que, o desenvolvimento do solo se dá a partir do intemperismo que age sobre a rocha dando origem a resíduos não consolidados, denominados de regolito ou saprolíticos. Alterações importantes no desenvolvimento dos solos ocorrem do ponto de vista físico e químico e de transporte de soluções, quando este se encontra sob efeito da água. Grandes fluxos de água também penetram nas fraturas da rocha alterada, promovendo sua desagregação e transporte de materiais residuais.

O material originário da rocha pode permanecer no mesmo local onde se originou ou ser transportado para outros locais, e em qualquer caso, estará submetido por período de tempo bastante longo aos processos pedogenéticos. O desenvolvimento do solo a partir do substrato rochoso, depende do tipo de mineral do qual esse substrato é composto e do efeito da ação da água, que penetra através da cobertura pedológica, sobre esses minerais.

**ORGANISMOS:** a contribuição da macro fauna, na diferenciação dos horizontes, depende das espécies vegetais e do material orgânico que é adicionado ao

solo. O fornecimento dos resíduos orgânicos modifica o micro-clima e protege o solo contra a erosão. Sob influência do clima, os resíduos vegetais que cobrem a superfície do solo são transformados química e fisicamente e o resultado é a produção de húmus que se acumula e migra para o interior deste, favorecendo o desenvolvimento pedogenético.

Bactérias, liquens e fungos contribuem para a alteração de alguns minerais presentes em um solo que se encontre no estágio evolutivo. Além disso, ao longo de toda a evolução do solo, ocorre o processo de decomposição de vegetais e animais através da qual é produzido o anidrido carbônico, e ácidos orgânicos que são importantes na aceleração e decomposição dos minerais (OLIVEIRA et *al*, 1999).

A contribuição da macro fauna (formigas, cupins, minhocas) e de raízes profundas no interior do solo também são importantes para sua evolução e aprofundamento, desenvolvendo a macro-porosidade, melhorando sua estruturação, contribuindo para a alteração do substrato rochoso e permitem o transporte de elementos das camadas mais profundas para camadas mais superficiais e vice-versa.

**TEMPO:** para que o solo se desenvolva é necessária a ação do clima e organismos (vegetação, microorganismos, etc.) além dos demais fatores responsáveis pela sua formação. A ação desses fatores sobre a rocha mãe é condicionada pelo relevo do terreno e depende da extensão de tempo para atingir o estágio evolutivo. Em substratos que apresentam maior permeabilidade e são ricos em minerais, ocorrem mais facilmente o intemperismo pela ação da água, portanto a velocidade no processo de alteração da rocha será maior.

**RELEVO:** os vários tipos de relevo são resultantes da interação entre a litosfera, atmosfera e hidrosfera. O relevo tem um papel importante sobre o desenvolvimento dos solos, e sua influência esta relacionada à dinâmica da água e nos processos de erosão e sedimentação. Na escala continental o relevo pode ser representado pelas cadeias de montanhas e pelas planícies fluviais, ou ainda pelos canais fluviais delimitados pelas vertentes, (MOREIRA E NETO 1998).

Relevos de topografia suave e que apresentam materiais permeáveis facilitam a infiltração das águas pluviais, acelerando os processos pedogenéticos em profundidade, alterando as rochas e removendo os elementos químicos solúveis. Já em relevos muito movimentados os solos são menos profundos, pois um volume considerado de águas pluviais é perdido por escoamentos laterais, o que favorece os processos erosivos e influenciando na ação da pedogênese.

#### 2.4.2 Processos pedogenéticos.

O conhecimento da pedogênese é importante para a compreensão do padrão da distribuição dos diversos solos na paisagem. Os processos pedogenéticos, também denominados de processos internos na formação do solo, são resultantes da ação interdependente dos fatores de formação do solo, onde determinados fenômenos ocorrem simultaneamente e em diferentes intensidades sobre o material de origem.

Simonson *apud* Salomão e Antunes (1998), define em cinco os processos: adições, perdas, transformações, remanejamentos mecânicos e transportes seletivos, que combinados dão origem a dois estágios definidos como: formação do substrato pedogenético e diferenciação dos horizontes. Alterações que tenham origem antrópica irão refletir no desenvolvimento da pedogênese.

#### 2.4.2.1 Substrato Pedogenético.

O intemperismo que age sobre as rochas no ambiente natural vai ao longo do tempo originar fissuras nas rochas, que aceleram e facilitam a penetração de organismos vivos e soluções aquosas originando uma série de reações químicas (hidrólise, hidratação, dissolução, carbonatação, oxidação e redução). Cada reação irá depender das condições ambientais e do conteúdo mineral de cada rocha. Sob o efeito das reações químicas, os minerais se alteram na forma de detritos que irão formar novas substâncias à medida que os processos de decomposição evoluem.

As mudanças físicas, acentuadas pelas alterações bruscas de temperatura que promove a desintegração das rochas, e pela ação radicular de algumas espécies vegetais que penetram nos seus vazios contribuem para o aumento de fissuras e
desagregações. O intemperismo químico, que ocorre no interior da rocha, sob condições ideais de temperatura e na presença de água, transforma os minerais constituintes destas em minerais secundários que irão apresentar novos processos de transformações denominados de: hidratação, dissolução, carbonatação e a hidrólise este último considerado o processo químico mais importante na alteração da rocha. Estes dois processos, em conjunto, são responsáveis pela formação do substrato pedogenético.

#### 2.4.3 Mineralogia do solo.

Os materiais sólidos do solo são constituídos por minerais primários, que se originam da rocha mãe e se mantêm de certa forma inalterados em sua composição, e por minerais que são resultantes da alteração destes, ou seja, os minerais secundários, que segundo Costa (2004), podem ocorrer no solo por meio de três processos:

- ✓ Pela transformação química *in situ* de produtos resultantes da meteorização dos minerais primários menos resistentes;
- Por alteração simples da estrutura de determinados minerais primários verificados *in situ*;
- ✓ Herdados diretamente da rocha mãe.

Os minerais primários entram na composição das rochas que constituem a crosta terrestre. A presença destes minerais no solo depende da rocha mãe e do tipo de solo, sendo os mais freqüentes o quartzo e o feldspato, enquanto que os demais minerais estão em proporções menores. Os minerais secundários ocorrem nos solos, destacando-se os minerais de argila. As argilas são compostas de partículas cristalinas muito pequenas e têm origem em um grupo restrito de minerais, daí a denominação de minerais de argila.

A argila é um conjunto de partículas minerais de diâmetro inferior a 0,002 mm, e pode incluir na sua parte menos fina, certa proporção de minerais secundários: minerais de argila e hidróxidos de alumínio e de ferro, resultantes da alteração de minerais primários. Solos de mesma textura apresentam diferenças muito grande nas suas propriedades físicas e químicas em função do conteúdo de argila (COSTA, 2004).

#### 2.4.4 Perfil do solo.

O perfil do solo é resultado da ação combinada dos fatores de formação e dos processos pedogenéticos sobre o material de origem, resultando em seções verticais bem definidas e mais ou menos paralelas, que se diferenciam umas das outras pela organização, pelos constituintes ou pelo comportamento, (MOREIRA, 2005).

O estudo dos solos em pedologia tem por objetivo conhecer, nos diversos ambientes onde são encontrados, a sua origem, sua classificação e a sua distribuição geográfica, e de posse dessas informações estudá-lo por meio de seus perfis e das transformações laterais dos horizontes.

#### 2.4.5 Horizontes do solo.

Horizontes de solo são porções de limites irregulares, que compõe um perfil, mas que guardam certo paralelismo com a superfície do terreno, e que apresentam diferenças em profundidades variáveis causadas pelas influências dos agentes atmosféricos e das soluções formadas pelas águas das chuvas, pela ação biológica, que atuam no local onde o solo se encontra, (COSTA, 2004).

As camadas representativas do solo que guardam os mecanismos de sua formação, denominados de horizontes, são identificados e diferenciados entre si através do exame de campo e posteriormente através de análises laboratoriais complementares. Os horizontes do solo são representados pelas letras O, H, A, B, C, F e R.

As letras maiúsculas designam a presença dos horizontes principais, os números (1, 2, 3), escritos como subscritos às letras maiúsculas indicam a subdivisão dos horizontes. As letras minúsculas que também são escritas como subscrito indicam os sub-horizontes ou características relevantes da ação de um determinado processo.

A seguir serão apresentadas descrições breves sobre horizontes e camadas que formam o perfil do solo.

**HORIZONTE O:** horizonte ou camada de constituição orgânica, formada por detritos vegetais e substâncias húmicas acumuladas na superfície, e em ambientes de estagnação de água. Ocorre geralmente em áreas de floresta, tem conteúdo mais escuro devido à presença de matéria orgânica.

**HORIZONTE H:** horizonte ou camada de constituição orgânica, superficial ou não, composto de resíduos orgânicos, siltes, argilas e cátions básicos, sob condições de estagnação de água por período prolongado. Ocorre em áreas de várzea, depressões pantanosas, etc.

**HORIZONTE A:** horizonte superficial mineral ou subjacente aos horizontes O ou H de maior atividade biológica e incorporação de matéria orgânica bastante mineralizada. Constitui a seção onde são mais inconstantes a temperatura, a umidade e a composição gasosa. Geralmente exibe cor mais escura, se for maior a concentração de matéria orgânica e cor clara, caso contrário.

**HORIZONTE B:** horizonte mineral subsuperficial, originado por transformações acentuadas do material originário e/ou por ganho de constituintes minerais ou orgânicos, migrados de horizontes subjacentes. É um horizonte menos vulnerável às modificações e eventuais estragos provocados pela ação humana, quando subjacente a outros horizontes.

**HORIZONTE C:** horizonte ou camada mineral, relativamente pouco afetado pelos processos pedogenéticos. Tem origem nas rochas ígneas, metamórficas e sedimentares. Para a pedologia é associado ao substrato pedogenético.

**HORIZONTE F:** horizonte ou camada mineral de material consolidado, conhecido como canga. Rico em compostos de ferro ou ferro e alumínio e pobre em compostos orgânicos.

**R:** material consolidado referente ao substrato rochoso constituído por rocha alterada ou sã.

#### 2.4.6 Classificação dos solos.

"O avanço dos conhecimentos adquiridos dos solos brasileiros e a inexistência de uma taxonomia adequada e hierarquizada incrementou a demanda por um sistema de classificação que permitisse identificar os solos desde classes mais gerais, em níveis mais elevados, até repartições específicas em níveis mais baixos, com classes mais homogêneas" (OLIVEIRA, 2001).

O sistema de classificação de solos tem sofrido modificações e a mais recente é o sistema de classificação da (EMBRAPA, 1999), conforme Tabela 1.

De acordo com Moreira (2005), os solos de maneira geral são separados em dois conjuntos: os orgânicos (Organossolos), com teor de matéria orgânica, em torno de 50% e os não-orgânicos (Solos minerais) que predominam no Brasil. Nessa classe de solos inorgânicos destacam-se os Latossolos, que predominam, de acordo com as informações pedológicas, nos pontos investigados, e serão comentados brevemente a seguir.

LATOSSOLOS: são solos minerais de coloração vermelha, alaranjada ou amarela, com seqüência de horizonte A, B e C, e apresentando pouca diferença textural entre os horizontes A e B. As características morfológicas mais marcantes são: a grande profundidade (± 2 metros), homogêneo, estrutura em geral micro-agregada ou maciço-porosa, não apresenta minerais primários e fração de argila constituída predominantemente por óxidos de ferro e óxidos de alumínio e argilominerais, são solos não hidromórficos. A partir da rocha-mãe consolidada ou não consolidada desenvolve-se o horizonte C, com características texturais e minerais do material de origem, e que ainda não apresenta modificações suficientes para ser considerado parte do solum. São solos que possuem baixa densidade aparente e porosidade alta a muito alta.

A grande quantidade de poros proporciona a estes solos altas permeabilidades, mesmo quando os teores de argila são elevados. Ocorrem em ambientes com intensa umidade e calor, sendo por isso, encontrados em regiões de clima tropical úmido. São bastante envelhecidos, estáveis e intemperizados.

<b>EMBRAPA (1999)</b>	Denominação anterior
Alisolos	Rubrozem, Podzólico, Bruno-Acizentado ou Álico, Podzólico Vermelho-Amarelo Distróficoou Àlico Ta e agluns Podzólicos Vermelho-Amarelos Distróficos ou Àlicos Tb
Argissolos	Podzólico Vermelho-Amarelo Tb pequena parte de Terra Roxa Estruturada de Terra Roxa Similar, de Terra Bruna Estruturada e de Terra Bruna Similar, com gradiente textural necessário para B textural em qualquer caso Eutróficos, Sistróficos ou Álicos, Podzólico Vermelho-Escuro TB com B textural e o Podzólico Amarelo
Cambissolos	Cambissolos Eutróficos, Distróficos e Álicos Ta e Tb, exceto Os com Horizonte A chernozêmico e B incipiente Eutrófico Ta
Chernossolos	Brunizém, Rendizina, Brunizém Avermelhado e Brunizém Hidromórfico
Espodossolos	Podzol, inclusive Podzol Hidromórfico
Gleissolos	Glei Pouco Húmico, Glei Húmico, parte do Hidromórfico Cinzento (sem mudança textura abrupta), Glei Tiomórfico e Solonchark com Horizonte Glei
Latossolos	Latossolos, excetuadas algumas modalidades anteriormente identificadas,como Latossolos Plínticos
Luvissolos	Bruno Não-Cálcico, Podzolico Vermelho-Amarelo Eutrófico Ta, Podzólico Bruno-Acinzentado Eutrófico e os Podzólicos Vermelho-Escuros Eutróficos Ta
Nitrossolos	Terra Roxa Estruturada, Terra Roxa Estruturada Similar, Terra Bruna Estruturada, Terra Bruna Estruturada Similar e alguns Podzólicos Vermelh-Amarelos Tb
Organossolos	Solos Orgânicos, Solos Semi-Organicos, Solos Tiomórficos Turfosos e parte de Solos Litólicos Turfosos com Horizonte hístico
Planossolos	Planossolos, Solonetz-Solodizado e Hidromórficos Cinzentos
Plintossolos	Lateritas Hidromórficas, parte dos Glei Húmico e Glei Pouco Húmico
Vertissolos	Vertissolos, inclusive os hidromórficos

# Tabela 1 - Nova nomenclatura dos solos (Fonte: EMBRAPA 1999)

LATOSSOLOS VERMELHO-AMARELO: são profundos ou muito profundos, apresentando boa distinção entre os horizontes A e B, devido à cor, que no horizonte B é menos vermelha. Apresentam teores de óxido de ferro menor ou igual a 11%, geralmente maior que 7%, quando a textura é argilosa ou muito argilosa. São normalmente porosos, menos aqueles com teores elevados de argila.

A textura é muito variada, havendo registro dos teores de argila desde 15% a 80%. Ocorre em todo território brasileiro.

LATOSSOLOS VERMELHO-ESCURO: apresentam coloração Vermelho-Escura, Vermelha ou Bruno-Escura e com teores de óxido de ferro inferiores a 18%, quando de textura argilosa ou muito argilosa e, usualmente inferiores a 8% quando de textura média. A textura varia desde média até muito argilosa. É um tipo de solo muito profundo.

Os Latossolos Vermelho-Escuros ocupam grandes extensões do território brasileiro, em condições de relevo pouco movimentado, por isso constituem uma das classes mais importantes de solo.

#### 2.5 Método da Eletroresistividade.

Nos métodos elétricos, recorre-se a uma grande variedade de técnicas, que são aplicadas de acordo com as diferentes propriedades ou características dos materiais. O método da eletroresistividade emprega corrente elétrica artificial no terreno objetivando medir a resistividade ( $\rho$ ), que é um dos parâmetros físicos de grande importância na identificação dos diferentes tipos de materiais geológicos.

De acordo dom Reynolds (1997), o método da eletroresistividade é empregado de modo satisfatório na procura de fontes de água e também no monitoramento de aqüíferos poluídos.

O principal mecanismo de corrente de condução, em geologia, é pelo deslocamento dos íons nas soluções aquosas (PORSANI, 2003), pois a maioria dos materiais subsuperficiais são isolantes elétricos.

#### 2.5.1 Relação entre a textura de solos e rochas e a resistividade elétrica.

Um dos caminhos por onde a corrente elétrica flui na terra é através dos metais, que raramente se encontram no estado puro. Um campo elétrico externo aplicado nos metais organiza os movimentos dos elétrons, que estão desorganizados, dando origem a corrente elétrica. Na natureza os metais contidos nas rochas possuem impurezas e um número reduzido de elétrons, dificultando a passagem da corrente elétrica. Estes minerais apresentam resistividades elétricas muito variáveis na ordem de  $10^{-6}$  a  $10^3 \Omega$ .m. (ORELLANA, 1972). Da ordem de  $10^{-6} \Omega$ .m para minerais como grafite e  $10^{12} \Omega$ .m, para rochas de quartzo secas, (PARASNIS, 1970).

As rochas são materiais heterogêneos, além dos minerais presentes nestes corpos, estas são geralmente constituídas de uma fase sólida e de uma fase líquida e/ou gasosa que preenchem seus poros e fissuras. O comportamento elétrico nestes materiais depende da condutividade elétrica da matriz, da porosidade, da textura e distribuição dos poros, da quantidade e qualidade do líquido presente nos seus interstícios e ainda do contato da matriz rochosa com as fases fluídas.

Os poros das rochas são preenchidos total ou parcialmente por fluidos que contêm sais minerais com predominância do cloreto de sódio (NaCl). A resistividade elétrica nestes fluidos varia de acordo com a concentração de sal dissolvido, quanto mais superficiais maiores as resistividades elétricas, pois neste caso as concentrações minerais são menores que as encontradas nas águas mais profundas. Orellana (1972) apresenta alguns valores de referência para a resistividade de águas subsuperficiais. As águas subterrâneas de acordo com o autor, apresentam resistividade elétrica variando de 1 a 20  $\Omega$ .m e as águas que ocupam os poros das rochas variam de 0,03 a 10  $\Omega$ .m.

As rochas apresentam texturas diferentes, Figura 6, e estas são importantes na determinação da resistividade elétrica desses materiais.

O item (6a) da figura mostra um arenito grosseiro, com grandes espaços porosos intercomunicáveis que impregnados de líquido condutor, irão certamente

apresentar baixa resistividade elétrica, caso contrário, quando secos, serão altamente resistivos.



Figura 6 - Exemplo de rochas com diferentes texturas. Fonte: Ward, 1990.

Se o arenito é constituído de grãos de várias dimensões (Figura 6b), os espaços vazios entre estes grãos serão muito pequenos e deixam de ser intercomunicáveis, não permitindo a passagem de fluidos condutores de eletricidade, dessa forma o material será também resistivo. Esse é um exemplo de rocha que apresenta texturas variadas e consequentemente grandes variações nos valores de resistividade elétrica, de 1 a  $10^3 \Omega$ .m (WARD, 1990) e 1 a 7,4 x  $10^8 \Omega$ .m (REYNOLDS, 1997).

Na Figura 6c, as fraturas nas rochas calcáreas com reduzida porosidade, aumentam sua resistividade elétrica de 5x10 a  $10^7 \Omega$ .m de acordo com Reynolds (1997). As fraturas destas rochas também podem conter líquidos condutores ou

estarem preenchidos por ar. Na Figura 6d, as rochas representadas são de arenito, que quando submetidas ao intemperismo apresentam grande quantidade de fragmentos que irão reduzir os espaços intergranulares, e conseqüentemente contribuir para o aumento da resistividade elétrica.

As rochas graníticas (Figura 6e) contêm fissuras, que preenchidas por líquidos condutores permitem a passagem da corrente elétrica. O valor de resistividade elétrica destas rochas varia de  $5 \times 10^3$  a  $10^6 \Omega$ .m de acordo com Parasnis (1970) e  $5 \times 10^2$  a  $5 \times 10^4 \Omega$ .m (WARD, 1990). Já nas rochas do tipo basálticas (Figura 6f), há grande número de poros, mas não são comunicáveis, e por possuírem poros isolados apresentam alta resistividade elétrica. A resistividade deste litotipo varia de  $10 - 1.3 \times 10^7 \Omega$ .m (REYNOLDS, 1997).

As texturas das rochas, resultantes dos vários processos geológicos, são importantes do ponto de vista da resistividade. Em geral esses processos reduzem a resistividade das rochas (WARD, 1990). Rochas e solos típicos apresentam uma grande variedade de resistividades, e são reflexos dos vários tipos de textura. De certa forma quanto menor o tamanho do grão maior a retenção de líquido.

De uma maneira geral, a corrente elétrica flui em materiais rochosos e no solo, através dos fluidos que preenchem seus poros e fissuras. Nas soluções aquosas que preenchem os poros e fissuras de rochas e solos, o campo elétrico externo aplicado organiza os íons da solução, permitindo a passagem da corrente elétrica, diminuindo a sua resistividade elétrica.

Em solos, por exemplo, a água permanece no meio pela retenção específica, que é o volume de água retida nos seus poros. Esta retenção de líquidos depende da diminuição dos espaços entre os grãos preenchidos por partículas menores, da forma e disposição dos grãos e da compactação, cimentação e recristalização, que vão diminuindo a porosidade (ROMAN, 2005).

O solo pode apresentar umidade originária das chuvas e dos processos de capilaridade. No processo de capilaridade a água ascende da zona capilar em direção à superfície do solo. Através da gravidade a água da chuva penetra no solo atingindo

a zona saturada. Mas o solo pode perder água pelo processo de evapotranspiração em áreas com cobertura vegetal, em até vários metros do solo e por evaporação, em áreas descobertas de vegetação, em até vários centímetros. Os fatores responsáveis pela evaporação do solo são: a radiação solar, a temperatura, a umidade (menor umidade maior evaporação), a pressão atmosférica (menor pressão e maior altitude, maior evaporação) e o vento.

Além do conteúdo de água, o solo apresenta ainda matéria orgânica, matéria mineral primária e secundária que vão desde cascalhos de várias dimensões até areias, silte e argilas. As proporções destes elementos no solo são muito variáveis e permitem definir sua textura. A textura, assim como nas rochas, é a grande responsável pelas grandes variações de resistividade também em solos.

Na Tabela 2 estão identificados alguns tipos de solos e suas resistividades elétricas. Podem-se observar grandes variações de resistividade, em função dos tipos de solos, assim como nas rochas.

Solos	Resistividade (Ohm.m)
Solos (40% argila)	8
Solos (20% argila)	33
Topo do solo	250 - 1700
Solo laterítico	120 - 750
Solo arenoso seco	80 - 1050
Solo argiloso seco	8 x 10 ⁴a 5 x 10⁵
Areia,argila e mistura de pedregulhos Areia e pedregulho	4x10⁵ a 25x10⁵ 6x10⁵ a 10x10⁵
Solos com contoúdo	
de arenito, ardósia, xisto, etc	10x10⁴ a 50x10⁵

 Tabela 2 - Resistividade de solos.

 Fonte: REVNOL DS(1997) e TAGG (1964)

Mas as variações de resistividade não se restringem apenas a solos de tipos diferentes, nas também em solos de mesmo tipo. Isto mostra a heterogeneidade que é comum em solos e rochas.

A redução da macro-porosidade pode causar um decréscimo da permeabilidade do solo, Martins *et al.* (2002).

Nascimento *et al.*(2004), comenta que solos de textura mais fina têm poros mais reduzidos e em geral tem mais argilominerais, portanto maior retenção de água, consequentemente menor resistividade elétrica. Já solos de textura arenosa apresentam poros maiores mais quartzo na fração granulométrica, facilidade de escoamento de água, e desta forma maior resistividade elétrica em função do ar que passa a preencher seus poros. De acordo ainda com o mesmo autor, na área estudada, os Latossolos-Vermelho são mais argilosos são mais argilosos que os Latossolos-Amarelo, que são mais arenosos.

As resistividades encontradas para os solos argilosos foram menores que 1500  $\Omega$ .m, e para solos arenosos variou de 1500 a 30000  $\Omega$ .m. Os resultados mostram que é possível identificar por meio da resistividade elétrica solos argilosos de arenosos.

Pereira (2005) encontrou, em uma área da micro bacia do Córrego Chico Nunes, também no município de Campo Verde – MT, e em solos de textura argiloarenosa resistividade variando entre 111 a 3800  $\Omega$ .m. Estes resultados mostram que solos de mesma textura e pertencentes à mesma classe podem, como nas rochas, apresentar valores de resistividade elétrica bastante variada.

#### 2.5.2 Resistividade à Passagem da Corrente Elétrica.

Próximo à superfície a condução elétrica em solos e rochas se dá basicamente por meio de íons devido à dissolução dos sais na água, sendo denominada de condutividade eletrolítica. Dessa forma quanto maior a porosidade maior a condutividade elétrica do material. O fluxo de corrente tem relação direta com a forma, posição, orientação e comunicação ou isolamento entre poros. As propriedades mineralógicas, texturais, e a disposição dos materiais constituintes das rochas, são características importantes quando do entendimento da propriedade elétrica da resistividade. Se por exemplo a corrente seguir os canais tortuosos dos poros, aumentará o caminho a ser percorrido, consequentemente haverá aumento da resistividade. De uma maneira geral a condutividade é eletrolítica sendo a resistividade afetada pela porosidade, teor de água e quantidade de sais dissolvidos. Os métodos elétricos são os mais aplicados na prospecção de águas subterrâneas, estudos de geologia e estudos ambientais.

De acordo com Braga (2002), as rochas condutoras de corrente elétrica podem ser consideradas como estruturas agregadas de minerais sólidos, líquidos e gases, sendo sua resistividade influenciada por:

- Resistividade dos minerais que formam a parte sólida da rocha;
- Resistividade dos líquidos e gases que preenchem seus poros;
- Umidade da rocha;
- Porosidade da rocha;
- Textura da rocha e a forma de distribuição de seus poros;
- Processos que ocorrem no contato dos líquidos contidos nos poros e a estrutura mineral, tais como: processo de adsorção de íons na superfície do esqueleto mineral, diminuindo a resistividade total destas rochas.

Pelas características de suas partículas, a argila é muito melhor condutora de eletricidade que a areia, pois mantêm a água nos seus interstícios por adesão em função do tamanho de seus grãos serem 10<sup>-3</sup> a 10<sup>-4</sup> vezes menores que dos grãos de areia, (Fernandes, 1982). A condutividade elevada das partículas de argila tem relação com a distribuição dos cátions em torno dos minerais, formando camadas duplas, sendo uma fixa e outra difusa. O grande número de íons presentes na camada difusa permite um maior fluxo de corrente elétrica na solução que preenche os poros.

A presença deste mineral nas rochas, juntamente com a presença de água, altera de maneira significativa a condutividade da formação rochosa. É um efeito característico de materiais que contenham minerais de argila, o que lhes proporciona maior condutividade.

De acordo com Nascimento *et al.*(2004), geralmente os solos de textura fina têm mais argilominerais, e em solos de textura mais arenosa há presença de quartzo na fração granulométrica areia. A capacidade de adsorção dos argilominerais torna os solos que apresentem esta característica, bons condutores elétricos, enquanto que os solos mais arenosos apresentam maior resistividade à passagem da corrente elétrica. Solos de textura mais fina apresentam poros mais reduzidos com maior retenção de água, e solos de textura mais arenosa facilitam o escoamento da água.

A Tabela 3 apresenta resistividade de alguns materiais, onde se pode observar que nas rochas a resistividade tem uma variação muito ampla.

MATERIAIS	RESISTIVIDADE (Ohm.m)
ÁGUAS SUBTERRÂNEAS	1 a 20
ÁGUAS IMPREGNADAS EM ROCHAS	3.10 <sup>-2</sup> a 10
ARENITO	1 a 10 <sup>8</sup>
ARGILITO	10 a 20
ARGILA	5 a 1.500
ARGILA SECA	1 a 10 <sup>2</sup>
ARGILA UMIDA	10 <sup>-1</sup> a 1
GRANITO	3.10 <sup>2</sup> a 10 <sup>6</sup>
GRANITO INTEMPERIZADO	3.10 <sup>-5</sup> a 10 <sup>2</sup>
SOLO ARGILOSO	< = 20
SOLO LATERÍTICO	120 a 750
LATERITA	800 a 1.500
ZONA NÃO SATURADA	$10^2$ a $3.10^4$

**Tabela 3 - Resistividade de solos e rochas.** ORELLANA, 1972. KEAREY & BROOKS, 1991. BRAGA, 2002. FIGUEROLA, 1994. REYNOLDOS, 1997. FERNANDES, 1982.

Estas variações, tanto de solos como de rochas, permitem por meio da aplicação do método da eletroresistividade, obter curvas representativas de

resistividade. Estas curvas depois de modeladas, apresentam como resultado final a espessura e a resistividade das camadas subsuperficiais.

A respeito dos minerais de argila, de acordo com Nunes (2003), estes contribuem para a diminuição do valor da resistividade elétrica, pois conduzem a corrente elétrica tanto eletronicamente (no fluído), como através da dupla camada na interface mineral/eletrólito.

Nos métodos elétricos, recorre-se a uma grande variedade de técnicas, que são aplicadas de acordo com as diferentes propriedades ou características dos materiais. O método da eletroresistividade emprega corrente elétrica artificial no terreno objetivando medir a resistividade ( $\rho$ ), que é um dos parâmetros físicos de grande importância na identificação dos diferentes tipos de materiais geológicos.

#### 2.5.3 A Resistividade Elétrica.

Uma definição de resistividade pode ser dada como a resistência, em Ohms, entre as faces opostas de um cubo de aresta unitária de um determinado material. Num cilindro condutor, Figura 7, que tem resistência R comprimento dado por l e área de uma determinada seção transversal dada por s, a resistividade ( $\rho$ ) é dada por:

$$\rho = \frac{R.s}{l} \tag{1}$$



Figura 7 - A figura mostra um cilindro condutor de resistência R, comprimento *l*, área seção transversal s. (DACT, 2005).

A unidade da resistividade ( $\rho$ ) no sistema internacional é o Ohm.m.

Todos os materiais geológicos no seu estado natural, devido as suas propriedades inerentes, oferecem resistência à passagem da corrente elétrica. A resistividade elétrica ( $\rho$ ) está associada às impurezas constantes nos interstícios de solos e rochas, à porosidade, às fissuras das rochas, à umidade, com o tipo de mineral constituinte da rocha etc.

Mas a maioria desses minerais são isolantes elétricos, dessa forma a corrente elétrica será transportada pelos íons contidos nas águas intersticiais. As rochas têm poros em quantidades que variam de muitos a poucos, podendo estar saturadas parcialmente ou totalmente por eletrólitos. Pode-se dizer que quanto maior a porosidade de solos e rochas e quanto maior a salinidade da água que preenche seus poros, menor será a resistividade ( $\rho$ ) desses materiais. A resistividade elétrica neste caso pode ser muito variável, e é função da quantidade de líquido contida nos poros e fissuras de solos e rochas e da intercomunicabilidade entre esses poros, ou tortuosidade, de maneira que a corrente elétrica possa circular.

#### 2.5.4 Medida da Resistividade.

Diversos métodos podem ser usados para medir diretamente a resistividade das rochas, podendo ser feitas de três modos, de acordo com Orellana (1972):

- por meio de medições geoelétricas efetuadas sobre a superfície do terreno;
- em medições efetuadas no interior de sondagens mecânicas;
- em laboratório.

No primeiro caso, as medições são alteradas pelas interferências locais resultando nas ambigüidades. No segundo caso as respostas são mais detalhadas a respeito das rochas que se encontram no seu estado natural e no terceiro caso amostras são retiradas e analisadas em laboratório, com o inconveniente de serem modificadas por alterações na sua constituição física e ainda não ser uma amostra representativa.

A equação (1) descrita anteriormente, é resultado de métodos aplicados em laboratório, por meio de dois e quatro eletrodos, com amostras de materiais provenientes de rochas e minerais.

Para o caso de dois eletrodos, considera-se que o eletrodo A se encontre em um meio de resistividade uniforme e que o eletrodo B, por onde o circuito é fechado, se encontra a uma grande distância de A, de tal forma que não influencie nas medidas que serão realizadas, conforme Figura 8.

Pela Lei de Ohm calcula-se a resistência elétrica R à passagem de corrente pela casca semi-esférica de raio r e de espessura dr através da equação:

$$R = \rho \, \frac{dr}{2\pi r^2} \tag{2}$$

Onde  $\rho$  é a resistividade elétrica do meio.

O potencial elétrico *V* diminui no sentido da propagação da corrente elétrica *I*, então:



 $- dV = RI \tag{3}$ 

Figura 8 - Fluxo de corrente elétrica a partir de um eletrodo à superfície. *J* é o vetor densidade de corrente (Modificado de ROMÁN, 2005).

substituindo (3) em (4) tem-se:

$$-dV = \rho \, \frac{dr}{2\pi r^2} \, .I \tag{4}$$

Considerando-se um terreno homogêneo de resistividade elétrica  $\rho$ . Seja dr uma espessura infinitesimal e *I* a corrente que penetra no subsolo de intensidade +*I*.

A diferença de potencial entre dois pontos quaisquer (por exemplo, M e N) da casca esférica será:

$$\int_{M}^{N} - dV = \int \frac{\rho \, dr}{2 \, \pi \, r^{2}} I$$
$$V = \frac{I\rho}{2 \, \pi} \int_{r_{1}}^{r_{2}} \frac{dr}{r^{2}} = \frac{I\rho}{2 \, \pi} \left[ \frac{1}{r_{1}} - \frac{1}{r_{2}} \right]$$

Considerando o potencial nulo no infinito, em r<sub>2</sub>, tem-se:

$$V = \rho \, \frac{I}{2\pi r} \tag{5}$$

A expressão representa a equação fundamental da eletroresistividade, e expressa o potencial devido a um eletrodo pontual a uma distância *r* deste, num semi-espaço homogêneo e isotrópico.

Mas o potencial gerado em um ponto M (veja a Figura 8) distante r de A, será igual ao potencial elétrico produzido pela corrente injetada em A menos o potencial elétrico produzido pela corrente em um ponto B qualquer, assim o potencial elétrico  $V_M$  no ponto M será:

$$V_{M} = \frac{\rho I}{2\pi \overline{AM}} - \frac{\rho I}{2\pi \overline{BM}}$$
(6)



**função dos eletrodos de corrente A e B,** (Modificado de TELFORD *et al.*1990).

Ocorre que, em campo não medimos o potencial em um ponto, mas a diferença de potencial entre dois pontos dados por M e N. Para o ponto N podemos aplicar a expressão (7):

$$V_{N} = \frac{\rho I}{2\pi \overline{AN}} - \frac{\rho I}{2\pi \overline{BN}}$$
(7)

e portando a diferença de potencial entre M e N será

$$\Delta V = V_M - V_N = \frac{\rho I}{2\pi} \left( \frac{1}{\overline{AM}} - \frac{1}{\overline{BM}} - \frac{1}{\overline{AN}} + \frac{1}{\overline{BN}} \right)$$
(8)

daí obtemos a resistividade  $\rho$ 

$$\rho = \frac{\Delta V}{I} \frac{2\pi}{\left(\frac{1}{\overline{AM}} - \frac{1}{\overline{BM}} - \frac{1}{\overline{AN}} + \frac{1}{\overline{BN}}\right)} = \frac{\Delta V}{I} k$$
(9)

onde k é conhecido como fator geométrico do dispositivo e depende só da distância entre os eletrodos e é dado em metros no SI. Não sendo homogêneo o meio

o valor da resistividade é denominada de aparente e representada por  $(\rho_a)$ , pois é obtida pela contribuição de todas as formações no subsolo. A expressão (9) é empregada para dispositivos dispostos sobre a superfície plana do terreno e com uma formação geométrica qualquer.

Na medição da resistividade aparente, para que se complete o circuito elétrico através do subsolo será necessário um par de eletrodos,  $M \, e \, N$  para medir o potencial, sendo um, considerado fonte, e o outro receptor. De posse dos dados obtidos sobre um meio heterogêneo, obtêm-se a resistividade aparente que é a variável utilizada para expressar os resultados das medições da maioria dos métodos elétricos.

#### 2.5.5 Resistividade Aparente - Caso de Duas Camadas.

A partir da camada limite terra-ar os meios podem ser definidos como: da atmosfera e do terreno. No primeiro a resistividade muito alta e no segundo variável, pois o meio é heterogêneo composto por meios parciais homogêneos e isótropos.

De acordo com a Figura 10, a separação dos eletrodos de corrente representada pelo segmento AB, mostra que o circuito acontece apenas na primeira camada do subsolo de resistividade  $\rho_1$ .



Figura 10 - Distribuição da resistividade para o caso de duas camadas. Adaptado de FERNANDES, 1982.

Se a separação for a do segmento AB', então a contribuição maior para o circuito é feita pelos meios de resistividade  $\rho_1$  e  $\rho_2$ . Para o caso de duas camadas,

quanto maior a separação dos eletrodos AB, maior será a contribuição do meio de resistividade  $\rho_2$ .

No caso de duas camadas a curva de resistividade começa tangenciando a resistividade  $\rho_1$  da primeira camada e tende assintoticamente à segunda camada de resistividade  $\rho_2$ .

Para as curvas de três camadas verificam-se na maioria dos casos um máximo ou um mínimo, ou três pontos de inflexão nem sempre visíveis.

Na Figura 11, estão indicados a semi-abertura AB/2, no eixo das ordenadas e as resistividades no eixo das abscissas. A curva representa as variações de resistividade para duas camadas, para o caso de  $\rho_1 < \rho_2$ .



Figura 11 - curva de resistividade aparente de duas camadas.

#### 2.5.6 Profundidade de Investigação.

Seja um cilindro condutor e homogêneo, onde se supõe que a densidade de corrente e o campo elétrico  $\vec{E}$  são constantes. A resistividade do condutor é o fator de proporcionalidade entre  $\vec{E}$  e  $\vec{J}$ , donde se obtêm que:

$$\vec{J} = \frac{1}{\rho} = \vec{E} \tag{10}$$

A Figura 12 mostra um eletrodo pontual, que gera uma superfície semiesférica em um meio homogêneo, onde a densidade de corrente  $\vec{J}$  tem direção radial, e esta simetricamente distribuída ao longo da superfície semi-esférica. Como a intensidade de corrente gera superfícies semi-esféricas para um determinado raio r, então:



em um semi-espaço homogêneo. Adaptado de ORELLANA, 1972.

na superfície semi-esférica o valor da densidade de corrente será igual a somatória das contribuições da intensidade de corrente, ao longo da superfície semiesférica. A área para cada seção esférica vale  $2\pi r^2$  então:

$$\vec{J} = \frac{I}{2\pi r^2} \tag{11}$$

substituindo a expressão (10) em (11) teremos:

$$\vec{J} = \frac{1}{\rho} \vec{E} = \frac{I}{2\pi r^2}$$
, assim:

$$E = \frac{l\rho}{2\pi r^2} \tag{12}$$

A expressão (12) representa o módulo do campo elétrico produzido por um eletrodo pontual em semi-espaço homogêneo.

Para o cálculo da profundidade investigada será necessário a presença de um segundo eletrodo, como pode ser visto na Figura 13, denominados de eletrodos de potencial  $A \in B$  com o centro do arranjo em O.



Figura 13 - Densidade de corrente em função da profundidade z. Modificado de ORELLANA, 1972.

Ainda pode ser observado na mesma figura, a profundidade de investigação z, o ponto P e o ângulo  $\alpha$  que o segmento AP faz com a superfície do terreno, os campos elétricos gerados no ponto P em função dos eletrodos de potencial são  $\vec{E}_A$ ,  $\vec{E}_B$  e o campo resultante  $\vec{E}$ . A distância AO = OB, vale AB/2.

O cálculo do campo elétrico  $\vec{E}$  à profundidade *z*, a partir dos dois eletrodos *A* e *B*, obtêm-se pela superposição dos campos elétricos  $\vec{E}_A$  e  $\vec{E}_B$  devido aos eletrodos de corrente *A* e *B*. A distância do eletrodo de corrente *A* ao ponto *P* é  $\overline{AP} = \left(\left(\frac{AB}{2}\right)^2 + z^2\right)$ . Pode-se escrever utilizando a equação (12):

$$E_{A} = E_{B} = \frac{I\rho}{2\pi} \frac{1}{r^{2}} = \frac{I\rho}{2\pi} \frac{1}{\left(\left(\frac{AB}{2}\right)^{2} + z^{2}\right)^{\frac{1}{2}}}$$
(13)

As componentes verticais são iguais e opostas e as horizontais também iguais e de mesmo sentido. Dessa forma o campo total será:

$$E = 2E_A \cos \alpha = \frac{I\rho \cos \alpha}{2\pi \left( \left(\frac{AB}{2}\right)^2 + z^2 \right)^{\frac{1}{2}}}$$
(14)

Onde  $\alpha$  é o ângulo entre a horizontal e a direção de  $\vec{E}_A$ .

O 
$$cos\alpha = \frac{AB/2}{r}$$
 e  $r = \left(\left(\frac{AB}{2}\right)^2 + z^2\right)^{\frac{1}{2}}$ . Substituído o resultado em (14)

obtêm-se:

$$J_{z} = \frac{E}{\rho} = \frac{I}{\pi} \frac{AB/2}{\left(\left(\frac{AB}{2}\right)^{2} + z^{2}\right)^{3/2}}$$
(15)

que representa a variação da densidade de corrente em função da profundidade z, no ponto P. Numericamente a expressão indica que à medida que z aumenta o valor da densidade de corrente diminui de forma gradual. O cálculo da

densidade de corrente da equação (15) é válido para y = 0, e para um meio considerado homogêneo. A corrente, entretanto está distribuída no plano *yz*.

Ao se deslocar o ponto P para uma nova posição P', a uma distancia y, no

plano yz (Figura 14), a distância AP' passa a ser 
$$\left(\left(\frac{AB}{2}\right)^2 + y^2 + z^2\right)$$
.

Considerando que  $A \in B$  estão alinhados na direção do eixo x, a corrente circulando de A para B atravessa o plano constituído pelos eixos  $y \in z$ .

O cálculo anterior da variação da densidade de corrente para um ponto qualquer *z* de coordenadas (AB/2, 0, *z*) foi definido pela equação (15). Para o cálculo da variação de corrente em um ponto qualquer de coordenadas (AB/2, y, z), utiliza-se a equação (15) com o acréscimo da coordenada *y*, dessa forma:

$$J_{z} = \frac{E}{\rho} = \frac{I}{\pi} \frac{AB/2}{\left(\left(\frac{AB}{2}\right)^{2} + y^{2} + z^{2}\right)^{3/2}}$$

para simplificar a equação divide-se o numerador e o denominador por AB/2, assim:

$$J_{zy} = \frac{I}{\pi} \frac{1}{\left(\frac{AB}{2}\right)^{2} \left(\frac{\left(\frac{AB}{2}\right)^{2} + y^{2} + z^{2}}{\left(\frac{AB}{2}\right)^{2}}\right)^{\frac{3}{2}}}{\left(\frac{AB}{2}\right)^{2}}$$

então a densidade de corrente no ponto P' será:

$$J_{z,y} = \frac{I}{\pi} \frac{1}{\left(\frac{AB}{2}\right)^{2} \left[1 + \frac{z^{2} + y^{2}}{\left(\frac{AB}{2}\right)^{2}}\right]^{\frac{3}{2}}}$$
(16)

que representa a densidade de corrente em um ponto de coordenada z e y no plano  $\tau$ .

Para obtenção da fração de corrente total (no ponto) a profundidade  $z_0$  será dada pela aplicação da integral dupla. Considerando que a profundidade no ponto *P*' varia de  $0 \le z \le z_0$  e que o valor do deslocamento de *y* no plano  $\beta$ , varie de  $-\infty$  a +  $\infty$ , a fração *F* da corrente total da superfície até a profundidade  $z_0$  será:



Figura 14 - Deslocamento do ponto P para P' de um valor y para o cálculo da fração de corrente F.

$$F = \frac{1}{\pi} \int_{0}^{z_{0}} \int_{-\infty}^{+\infty} J_{z,y} \, dy \, dz$$

$$F = \frac{1}{\pi \left(\frac{AB}{2}\right)^{2}} \int_{0}^{z_{0}} \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{dy \, dz}{\left(1 + \frac{z^{2} + y^{2}}{\left(\frac{AB}{2}\right)^{2}}\right)^{3/2}}$$

Fazendo 
$$k = \frac{z}{AB/2} e w = \frac{y}{AB/2}$$
 teremos:  

$$F = \frac{1}{\pi} \int_{0}^{z'_{0}} \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{dk \, dw}{(1+k^{2}+w^{2})^{3/2}} = \frac{2}{\pi} \int_{0}^{z'_{0}} \frac{dk}{(1+k^{2})}$$

$$F = \frac{2}{\pi} tg^{-1} k = \frac{2}{\pi} tg^{-1} \frac{z_0}{AB/2}$$
(17)

se a profundidade z for igual a semi-distância AB/2, então a fração de corrente será dada por:

$$F = \frac{2}{\pi} tg^{-1} 1 = \frac{2}{\pi} \cdot \frac{\pi}{4} = \frac{1}{2}$$

que representa a 50% de I.

sendo z = AB = 2(AB/2), a fração de corrente será:

$$F = \frac{2}{\pi} tg^{-1} 2 = \frac{2}{\pi} .1,0714871779 = 0,705$$

Ou seja, até a profundidade z chega 70,5%, da corrente elétrica aplicada na superfície do solo.

#### 2.5.7 Limitações dos Métodos Resistivos.

São eficientes na delineação de seqüências estratificadas de baixa profundidade e na detecção de descontinuidades verticais, que envolvam variações de resistividade. Apresenta algumas limitações, de acordo com DACT, 2005:

- 1. A interpretação pode ser ambígua;
- 2. A interpretação limita-se a configurações estruturais simples;
- A topografia e os efeitos das variações resistivas muito superficiais podem mascarar os efeitos das variações mais profundas;
- A profundidade de penetração do método está limitada pela máxima potência elétrica do equipamento;
- 5. Camadas muito finas não podem ser detectadas em curvas de sondagem a grandes profundidades.

#### 2.6 Métodos Geofísicos aplicados à caracterização do solo.

Os métodos geoelétricos estudam as variações de resistividade de solos e rochas utilizando-se corrente elétrica contínua ou alternada. É possível determinar as estruturas das camadas do subsolo por meio da resistividade elétrica ( $\rho$ ). As medidas são obtidas por meio da diferença de potencial entre dois pontos da superfície utilizando-se a método da Sondagem Elétrica Vertical - SEV. Esse método, associado a outras técnicas geofísicas como o Radar de Penetração do Solo – GPR (*Ground Penetrating Radar*), tem sido usado com freqüência na caracterização da cobertura pedológica, e estruturas geológicas e na determinação do nível do lençol freático.

Destacam-se os trabalhos de Pereira (2005), que obteve a caracterização pedológica e funcionamento hídrico, de uma vertente representativa na micro bacia do Córrego Chico Nunes, município de Primavera do Leste, Mato Grosso, utilizando os métodos geofísicos de Sondagem Elétrica Vertical (SEV) e Radar de Penetração no Solo (GPR). Este trabalho permitiu além da identificação do aqüífero freático, definir as espessuras de rochas da Formação Cachoeirinha e Cambambe através do

uso do GPR. Associando o modelo geoelétrico das SEV's com imagens GPR, elaborou um modelo geofísico/geológico integrado da toposseqüência até 30 m de profundidade.

Moura (2003), utilizando as sondagens elétricas por meio do arranjo de Schlumberger, conseguiu caracterizar materiais de subsuperfície determinando espessuras e resistividades de camadas de solo e rocha, na Alta Bacia do Rio Araguaia, município de Mineiros – GO.

Cutrim & Rebouças (2005), que estimaram o topo e a espessura de unidades geológicas na Bacia do Paraná, das unidades geológicas das Formações Furnas e Ponta Grossa por meio da Sondagem Elétrica Vertical – SEV, na cidade de Rondonópolis, estado de Mato Grosso.

Nascimento *et al.* (2004), conseguiram distinguir solos arenosos e argilosos com base em medidas de resistividade elétrica.

Oliveira *et al.* (2005), aplicou métodos elétricos e eletromagnéticos (GPR), no município de Pedra Preta, Mato Grosso, com o objetivo de caracterizar o solo para uso em agricultura de precisão. O estudo mapeou condutividade elétrica aparente, a umidade e as heterogeneidades do solo até 1 m de profundidade.

Silva (2002), em trabalho realizado no município de Sorriso-MT, mostrou a eficiência dos métodos geofísicos integrados com informações geológicas convencionais para identificar a variação sazonal do lençol freático através do método da eletroresistividade. A identificação do topo do lençol freático e o topo rochoso foram possíveis com o uso do GPR. Estes dois métodos geofísicos permitiram, o delineamento das estruturas geológicas e o nível d'água ao longo da vertente estudada.

### **CAPITULO III**

## **3 MATERIAIS E MÉTODOS**

No método da eletroresistividade utiliza-se corrente elétrica contínua ou alternada, de freqüência muito baixa de tal forma que o fenômeno da polarização possa ser desprezado. A corrente elétrica artificial de baixa freqüência é aplicada no solo ou rocha, por meio de eletrodos. O objetivo é investigar a dificuldade de propagação desta corrente sobre estes materiais gerando uma distribuição de potencial, permitindo obter informações que possibilitem estudar e mapear esse meio. Na verdade busca-se pelo método a determinação da resistividade dos materiais na subsuperfície. A propagação da corrente elétrica no meio se dá por:

- Transporte dos elétrons na matriz da rocha (minerais metálicos, impurezas e agregação de minerais);
- Por deslocamento dos íons dissolvidos na água contida nos poros e fissuras de rochas e solos.

Dessa forma pode-se dizer que quanto maior a porosidade maior a condutividade elétrica do material. De uma maneira geral a condutividade é eletrolítica sendo a resistividade afetada pela porosidade, teor de água e quantidade de sais dissolvidos. Isto faz com que os métodos elétricos sejam os mais aplicados na prospecção de águas subterrâneas, estudos de geologia e estudos ambientais.

#### 3.1 Fundamentação metodológica.

As principais técnicas dos métodos geoelétricos são de sondagens, caminhamento e perfilagens. No estudo dos parâmetros físicos estudados, estas técnicas apresentam diferenças de procedimento em campo relacionadas às disposições dos eletrodos na superfície do terreno ou no interior de furos de sondagem.

Dentre as técnicas apresentadas destacaremos a da Sondagem que é um tipo de investigação que pode ser horizontal, ao longo de uma seção e/ou vertical sobre um ponto determinado. Neste tipo de investigação utiliza-se um mesmo tipo de dispositivo, formado por dois eletrodos de injeção A e B de corrente elétrica, e dois eletrodos de medição M e N, da diferença de potencial (ddp). A sondagem elétrica permite obter uma série de determinações de resistividade aparente podendo o dispositivo ser simétrico ou assimétrico.

O método da resistividade utiliza as técnicas de sondagem elétrica vertical (SEV), caminhamento elétrico e perfilagem. A SEV é realizada principalmente com os arranjos Schlumberger e Wenner.

#### 3.1.1 Sondagem Elétrica Vertical.

A sondagem elétrica vertical apresenta as seguintes características:

- Consiste em medir a resistividade elétrica com eletrodos de recepção e emissão alinhados;
- A resistividade é medida por meio da diferença de potencial nos eletrodos internos, variando com a mudança do material em subsuperfície, na qual a corrente elétrica percorre;
- A medição da resistividade vertical é feita na superfície, abaixo do ponto de interesse e em terrenos compostos por camadas lateralmente homogêneas e limitados a planos paralelos a superfície do terreno;
- Utilizado na determinação do lençol freático e das espessuras de camadas horizontais.

A Figura 15 apresenta o esquema eletródico apresentando quatro eletrodos, na seqüência AMNB sobre uma mesma reta, e distribuída simetricamente a partir do centro O. As distâncias AO e OB = AB/2, têm origem no centro do arranjo. MN = a, é a distância entre os eletrodos de medição de ddp.

Esse dispositivo apresenta grandes vantagens teóricas e grande aproximação na prática. Schlumberger esquematizou o arranjo fazendo com que a distância *a* que separa os eletrodos *M* e *N* fosse a menor possível, dessa forma o erro na medição será tão pequeno que não influenciará nos resultados, podendo ser desprezado. Para esta configuração proposta por Schlumberger, deve-se tomar sempre a relação  $MN \le$ *AB/5*, desse modo o valor de  $\Delta V$  será confiável.



Figura 15 - Arranjo Schlumberger dos eletrodos. Distribuição linear simétrica. (Modificado de ORELLANA 1972).

Para o entendimento da idéia de Schlumberger, parte-se da equação (9), onde as semidistâncias AM, BM, NA e BN passam a ser, de acordo com a Figura 15, respectivamente AB/2 – a/2, AB/2 + a/2, AB/2 + a/2 e AB/2 – a/2. A semidistância MN = a, com MO e NO = a/2. Substituindo as variáveis no fator geométrico k, da equação (9), tem-se:

$$k = \frac{2\pi}{\left[\left(\frac{AB}{2} - \frac{a}{2}\right) - \left(\frac{AB}{2} + \frac{a}{2}\right) - \left(\frac{AB}{2} + \frac{a}{2}\right) - \left(\frac{AB}{2} - \frac{a}{2}\right)\right]}$$

$$k = \frac{2\pi \left(\frac{AB}{2} + \frac{a}{2}\right) \left(\frac{AB}{2} - \frac{a}{2}\right)}{2a}$$
$$k = \frac{\pi \left(\left(\frac{AB}{2}\right)^2 - \frac{a^2}{4}\right)}{a}$$

substituindo em (9):

$$\rho_a = \pi \left[ \left( \frac{\overline{AB}}{2} \right)^2 - \frac{a^2}{4} \right] \frac{\Delta V}{Ia}$$
(18)

Schlumberger aplicou a idéia de limite, considerando que a distância  $\overline{MN} = a$  seja a menor possível, de tal forma que quando comparada aos eletrodos *A* e *B*, tenda para zero. Isso pode ser expresso em uma linguagem matemática da forma:

$$\rho_{a} = \lim_{a \to 0} \pi \left[ \left( \frac{\overline{AB}}{2} \right)^{2} - \frac{a^{2}}{4} \right] \frac{\Delta V}{Ia}$$
$$\rho_{a} = \frac{\pi \left( \frac{\overline{AB}}{2} \right)^{2}}{I} \lim_{a \to 0} \frac{\Delta V}{a}$$

mas o  $\lim_{a \to 0} \frac{\Delta V}{a}$  é o próprio campo elétrico  $\vec{E}$ ; então a equação passa a ser

escrita como:

$$\rho_a = \pi \left(\frac{\overline{AB}}{2}\right)^2 \frac{E}{I} \tag{19}$$

,

Se, no entanto, tomada a expressão (18), for desprezado o valor de  $\frac{a^2}{4}$ , o

erro cometido será muito pequeno desde que se tome  $MN \le AB/5$ . Dessa forma o erro relativo, de acordo com Orellana (1972), será:

$$\eta = \frac{\left(\frac{AB}{2}\right)^{2} - \left(\left(\frac{AB}{2}\right)^{2} - \frac{a^{2}}{4}\right)}{\left(\frac{AB}{2}\right)^{2}} = \frac{\left(\frac{AB}{2}\right)^{2} - \left(\left(\frac{AB}{2}\right)^{2} - \frac{\left(\frac{AB}{5}\right)^{2}}{4}\right)}{\left(\frac{AB}{2}\right)^{2}} = \frac{\left(\frac{AB}{2}\right)^{2}}{\left(\frac{AB}{2}\right)^{2}} = \frac{\left(\frac{AB}{2}\right)^{2}}{\left(\frac{AB}{2}\right)^{2}} = 0.04 = 4\%$$
(20)

Na obtenção dos dados de campo, o eletrodo de corrente *B* duplica o valor da ddp, e a expressão fica:

$$\rho_a = 2 \pi \left(\frac{AB}{2}\right)^2 \frac{\Delta V}{Ia} \tag{21}$$

Nesta configuração ao aumentar-se a distância dos eletrodos de corrente AB, com MN fixos, os valores da diferença de potencial começam a diminuir e atingem o limite de medição do equipamento. Para corrigir o problema, utiliza-se uma técnica denominada de operação embreagem.

A operação embreagem consiste em aumentar o valor de  $\Delta V$ , com o aumento da separação dos eletrodos de potencial e mantendo-se fixos os eletrodos de corrente. Estando AB fixos, para um primeiro espaçamento de MN, realiza-se uma primeira leitura, posteriormente para um segundo espaçamento de MN uma segunda leitura. Efetuada as duas leituras com AB fixo, passa-se para o espaçamento de AB seguinte onde se realiza as duas leituras de potencial mantendo-se os mesmos espaçamentos de MN utilizados anteriormente. Este procedimento deve ser realizado três vezes sempre que possível.

O gráfico apresentará segmentos de curvas paralelos nos pontos relativos aos valores de resistividade aparente obtidos pela aplicação da operação embreagem.

Neste dispositivo o controle da profundidade investigada é determinado pelo espaçamento dos eletrodos A e B. Neste arranjo a idéia é manter os eletrodos M e N de tal forma que a distância entre eles seja pequena quando comparada à separação dos eletrodos de corrente A e B. Em geral utiliza-se a relação  $MN \le AB/5$ .

Os dados dos parâmetros físicos obtidos no desenvolvimento das SEV's são representadas através de curvas bi logarítmicas, onde no eixo das abscissas representam-se as distâncias AB/2 em metros, e no eixo das ordenadas o valor da resistividade aparente (Ohm.m).

#### 3.1.2 Curvas de Resistividade Aparente – Profundidade de Investigação.

A profundidade teórica investigada (h), no centro do arranjo, que neste caso foi o de Schlumberger, obedeceu à relação  $\frac{AB}{6} \le h \le \frac{AB}{5}$ , mas pode variar em alguns casos, como mostrado na tabela de relações de profundidade apresentada na dissertação de Pereira (2005).

Autores	Profundidade de Investigação
ROY & APPARAO (1971)	AB/4
BARKER (1989)	AB/5,26
BHATTACHARYA & PATRA (19	68) AB/6 < h < AB/5

**Tabela 4 - Relação entre separação de eletrodos e profundidade de investigação** (PEREIRA, 2005).

De acordo com Parasnis *apud* Orellana (1970), numa SEV não existe limite de profundidade a ser alcançado, a dependência está relacionada com a distância entre os eletrodos, quanto maior a distância maior a profundidade investigada no subsolo.

Mas na prática o processo de investigação sofre algumas interferências que podem ser de origem natural ou artificial, sendo, portanto, a profundidade de investigação considerada teórica.

#### 3.2 Procedimentos Metodológicos.

Os trabalhos foram realizados no município de Campo Verde-MT, numa região de grande potencial agrícola, destacando-se como principal cultura da região o algodão. Os dados foram obtidos no período de 05 a 08 de setembro de 2005.

Por meio de medições geoelétricas realizadas na superfície do solo foram obtidos dados de resistividade aparente, que são representativos das variações dos horizontes pedológicos e do substrato geológico.

# 3.2.1 Posicionamento das Sondagens Elétricas Verticais, das Trincheiras e das Sondagens a Trado.

A partir da definição do primeiro ponto, referente à primeira Sondagem Elétrica Vertical – SEV01, de coordenadas geográficas Lat. 15°18'14'' S. e Long. 54°51'60'' W, foram demarcados em intervalos de 100 metros, os demais pontos referentes às SEV's 02, 03, 04 e 05 (Figura 16). Estão representados na Figura 17, os pontos das SEV's com suas Trincheiras correspondentes, indicados por  $T_4$ ,  $T_5$ ,  $T_6$  e  $T_7$ .

Os traços perpendiculares a partir da linha central, ao longo da vertente, representam os alinhamentos das aberturas dos eletrodos de corrente AB que também são identificados em vermelho na Figura 16. Na SEV01, a semi-abertura AB/2 atingiu 240 m, e nas demais atingiram 130 m. O alinhamento dos centros das SEV's, identificados com um círculo (origem das SEV's), na Figura 16, foram demarcados no sentido SW e a cada 100 m, atingindo 400 m ao longo da vertente. Todos os pontos de localização das origens das SEV's (círculo preto, Figura 16) e os dados para plotagem das estradas foram coletados por meio de receptor GPS Geoexplorer 3c – Trimble.



Figura 16 - Croqui de Localização das cinco SEV's realizadas ao longo da vertente do Córrego da Ilha. A direção da abertura dos eletrodos de corrente (AB) está indicada em vermelho. O espaçamento entre as SEV's é de 100 m.

#### 3.2.2 Obtenção dos dados Diretos e Indiretos.

#### 3.2.2.1 Trincheiras e Sondagens a Trado.

Para a obtenção das descrições das características morfológicas do solo foram abertas trincheiras por meio de uma retroescavadeira, e aprofundamento destas por trado mecânico. Um GPS foi utilizado para localização dos pontos, e para a obtenção de dados de topografia foi utilizado nível óptico. As informações relativas a pedológia foram construídas quando da abertura das trincheiras e do aprofundamento destas por tradagem; tais informações encontram-se nos Anexos A e B. Estes dados foram coletados no mês de abril de 2006. A precipitação pluviométrica média diária da região no mês de março de 2006, foi de 364 mm, conforme mostrado no anexo D.

Nas trincheiras e sondagens a trado, realizadas nos pontos de investigação, a textura, tanto em Latossolo Vermelho-Amarelo (SEV 01 e 02) como em Latossolo
Vermelho (SEV 03, 04 e da SEV05 por comparação), foi argilosa. As trincheiras aprofundadas foram a  $T_4$ ,  $T_5$ , e  $T_6$ , atingindo respectivamente as profundidades de 4,05 m, 5,55 m e 4,70 m. Nas demais trincheiras não houve aprofundamento por tradagem. Na trincheira  $T_5$  foi possível descrever o horizonte de transição C/R, conforme pode ser observado no Anexo B, na planilha de aprofundamento da trincheira 5.

Foi realizado também o nivelamento geométrico, Anexo C, com o objetivo de corrigir as posições das camadas das sondagens do efeito da topografia, cujos resultados encontram-se na Figura 17. Nesta figura estão localizadas as investigações diretas representadas por setas vermelhas (posicionamento das trincheiras). Não houve abertura de trincheira no ponto referente à SEV05.



Figura 17 - Resultado do nivelamento geométrico dos pontos de Localização das SEV's ao longo da vertente estudada.

Para se determinar o declive do ponto inicial até o final foi tomada a distância, locada sobre a vertente e a partir do Córrego da Ilha, de 1256,5 m, cuja cota de referência foi de 640,8 m, obtida por meio de um aparelho de GPS. A diferença de altitude  $\Delta H$  entre os dois pontos A e B foi determinada através de nível óptico, e foram efetuadas duas visadas no mesmo nível, uma à ré (R) no ponto A e

outra à vante (V) no ponto B. Tomando-se a última cota de 671,032 m, o desnível nos pontos demarcados ao longo da vertente foi de aproximadamente 2,4%.

### 3.2.2.2 Sondagem Elétrica Vertical – SEV.

A etapa de coleta de dados de campo foi realizada com Resistivímetro Íris Syscal –R12. Na Figura 18 no lado esquerdo e sobre a caixa branca o console principal e no lado direito, sobre a mesma caixa, o módulo de potência de 250 W e tensão máxima de 800 V. Os trabalhos de geofísica foram realizados na estação seca (setembro de 2005) com precipitação média mensal de 89 mm registrada para a região, com base em dados pluviométricos de uma estação meteorológica instalada próximo à área de estudo (anexo D).



Figura 18 - A figura mostra os eletrodos de potencial MN e o centro O. No desenvolvimento do arranjo Schlumberger. Os dados de resistividade foram obtidos através do Resistivímetro modelo Syscal – R12.

Na Figura 18, pode-se observar que os eletrodos de potenciam  $M \in N \in O$  centro do arranjo O que foram implantados sobre restos de matéria orgânica resultante da colheita de entressafra de milho. Esta matéria orgânica se encontra

presente no solo, tanto no talhão 280 como no talhão 100, e ocorreram ao longo de toda vertente e em todas as linhas demarcadas relativas às Sondagens Elétricas Verticais.

Por meio ds resultados das Sondagens Elétricas Verticais – SEV's pode-se construir as curvas das variações das resistividades aparentes, que foram plotadas em campo e em gráfico na escala *log-log*. As informações para construção das curvas de resistividade elétrica aparente da subsuperfície determinadas sobre a linha vermelha, Figura 16, no sentido NE em intervalos que variaram de 1 m a 130 m para as SEV's 02, 03, 04 e 05, e de 1 m a 240 m para a SEV01. As distâncias dos eletrodos de corrente e de potencial, para os intervalos de 1 a 130 m e de 1 a 240 m, usados no desenvolvimento deste trabalho estão registradas no anexo E.

Após a obtenção das curvas de resistividade elétrica aparente, procedeu-se o ajustamento destas pelo sistema semi-automático utilizando-se o software IPI2Win (BOBACHEV *et al.*1999). São usados para a solução do modelo, algorítmos, funções e equações matemáticas e estatísticas devidas à Komarov's, Newton e Tikhonov's. Estes fundamentos estatístico-matemáticos permitem a obtenção do ajustamento entre as curvas, de tal forma que se obtenha um menor desvio quadrático médio possível.

Por meio do ajuste semi-automático destas curvas buscou-se:

- Determinar a distribuição espacial da resistividade elétrica no subsolo, utilizando-se as variações de ddp;
- Determinação um modelo geoelétrico para cada ponto investigado;
- Interpretar o significado geológico destas distribuições.

Resumidamente, parte-se de um modelo inicial que vai sendo modificado, até que seja encontrada a melhor solução de ajuste entre as curvas. O objetivo foi determinar, considerando o meio isotrópico e com camadas separadas por planos horizontais, a espessura destas e o valor das suas resistividades aparentes.

Os resultados permitiram elaborar uma coluna geoelétrica para cada ponto

investigado, permitindo estimar as distribuições das resistividades e as respectivas espessuras das camadas de solo e do substrato rochoso.

A etapa seguinte foi associar os dados da coluna geoelétrica a informações pedológicas e litológicas obtidas na área de estudo, o que possibilitou a construção de uma coluna geológica representativa nos pontos referentes às SEV's ao longo da vertente estudada.

As informações locais de pedologia e geologia são fundamentais para a análise morfológica, visto que para um dado valor de resistividade elétrica podem ser associados vários tipos de solos ou de rochas. Esta associação permitiu que os modelos gerados não apresentassem ambigüidades.

Após associar os horizontes do solo, com suas descrições morfológicas, às camadas resistivas e suas espessuras, foi apresentado o modelo gerado para cada SEV, mostrando a coluna geoelétrica, a curva de campo e a curva ajustada pelo modelamento. Este será o procedimento usado, objetivando gerar modelos de camadas ajustadas correlacionadas aos horizontes do solo e substrato rochoso, para cada ponto de Sondagem Elétrica Vertical.

Uma análise comparativa entre as camadas geradas no modelamento e as descrições de solos e rochas será feita em um item posterior ao método da inversão automática. Este método toma como base um modelo de curva de campo, denominado de modelo de curva inicial, onde são feito ajustes objetivando estimativas iniciais dos parâmetros de resistividade e espessuras das camadas geoelétricas (BRAGA, 2002). Após este procedimento denominado de análise quantitativa, foram construídas tabelas, mostrando os valores de resistividade elétrica e espessura das camadas ajustadas no modelamento para todas as Sondagens Elétricas Verticais – SEV's.

Todas as tabelas e figuras construídas neste trabalho foram geradas com auxílio dos programas Corel Draw12, Corel Photo-paint12.

# **CAPÍTULO IV**

# 4 **RESULTADOS E DISCUSSÕES**

O presente capítulo apresenta os resultados das cinco SEV's, as curvas de resistividade aparente obtidas em campo e informações referentes à análise quantitativa de todas as Sondagens Elétricas Verticais.



Figura 19 – Localização da área de estudo em relação ao Córrego da Ilha e Rio das Mortes. (Modificado sobre imagem GoogleEarth 2007)

Na Figura 19 observa-se o posicionamento das sondagens elétricas, em linhas amarelas, em relação a uma das vertentes do Córrego da Ilha, afluente da margem

esquerda do Rio das Mortes. Observa-se também na figura grandes áreas abertas que são ocupadas principalmente pela cultura de algodão.

Os traços em amarelo, ao longo da vertente e os perpendiculares a estes, foram demarcados em solos classificados como Latossolo Vermelho-Amarelo e Latossolo-Vermelho com o objetivo de avaliar também as variações de resistividade elétrica nestas duas classes de solos.

#### 4.1 Curvas de Sondagem Elétrica.

A Figura 20 mostra o comportamento gráfico das cinco curvas de resistividade elétrica aparente referente às Sondagens Elétricas Verticais SEV's resultantes dos dados obtidos em campo por meio do resistivímetro Íris Syscal –R12.



Figura 20 - Curvas de Resistividade aparente em função da semi-distância AB/2 com os dados das Sondagens Elétricas Verticais.

No eixo das abscissas estão representados os valores das resistividades elétricas aparentes e no eixo das ordenadas a distância AB/2. As curvas estão

plotadas no gráfico cuja escala em ambos os eixos é a logarítmica. Na legenda, estão identificadas as SEV's e suas respectivas curvas de resistividade elétrica. No eixo das ordenadas, estão representados os valores iniciais de resistividade elétrica das curvas de campo, e ao lado de cada valor a identificação entre parênteses do número referente a cada sondagem elétrica.

As variações no comportamento das curvas de resistividade elétrica definem as camadas eletroresistivas. Assim, as cinco SEV's apresentam quatro camadas, com a seqüência de resistividades elétricas  $\rho_1 > \rho_2 < \rho_3 > \rho_4$ . As camadas são definidas a partir do ponto de inflexão verificado em cada curva de resistividade elétrica, ou seja, marca-se um ponto de inflexão quando há mudança de comportamento de crescente para decrescente ou de decrescente para crescente. A camada será limitada no próximo ponto de inflexão, de acordo com o mesmo critério estabelecido para o ponto inicial.

Neste trabalho a profundidade investigada obedeceu a relação de z = AB/6, o que significa dizer que tomada a distância de AB/2 = 10 m na superfície do terreno, a profundidade investigada na sub-superfície será de z = 3,3 m.

Observando os gráficos das curvas de resistividade elétrica relativos às SEV's, Figura 20, até a profundidade aproximada de três metros, nota-se que as referidas curvas de resistividade elétrica aparente apesar de apresentarem grandes variações mantêm a mesma morfologia, ou seja,  $\rho_1 > \rho_2 < \rho_3$ . A partir desta profundidade, as curvas apresentam comportamento resistivo similar, podendo se tratar de matérias com características litológicas semelhantes.

Devido às grandes variações observadas nas curvas até a profundidade  $\leq 3$  m, foram feitas comparações com breves análises em relação aos valores de resistividade aparente, plotadas na escala logarítmica e referente às cinco Sondagens Elétricas Verticais.

A SEV01 foi realizada no dia 05/09/05, e registrou em todos os pontos investigados os menores valores de resistividade elétrica aparente, com valor inicial de 480  $\Omega$ .m, ou seja, para a primeira semi-abertura de AB/2 = 1,00 m. Após a realização desta SEV os trabalhos foram interrompidos pela ocorrência de precipitação pluviométrica.

A SEV02 foi realizada no dia 06/09/05. De acordo com informações dos equipamentos de meteorologia instalados em uma fazenda próxima a área (anexo D), a precipitação pluviométrica ocorrida no dia anterior foi de 12 mm. Em geral, após a ocorrência de chuva, as camadas superficiais apresentam uma resistividade aparente menor devido ao aumento da umidade. Mas a ocorrência da chuva não interferiu nos valores obtidos de resistividade elétrica para a SEV02, cujo valor inicial foi de 3400  $\Omega$ .m e se manteve maior que todos os demais valores de resistividade elétrica obtidos para o restante das SEV's no intervalo  $\geq$  3 m, resultado que pode ser observado na Figura 20. As SEV's 01 e 02 foram realizadas em Latossolo Vermelho-Amarelo.

Uma observação importante pode ser feita sobre os dois pontos investigados, no que diz respeito às diferenças nos valores de resistividade elétrica, ou seja, que são resultantes das heterogeneidades encontradas em solos, não importando se são de mesma classe ou não. Os resultados destas heterogeneidades estão relacionados às diferenças físicas que se referem ao menor teor de umidade, menor porosidade, e pelo excesso de compactação no solo, além das diferenças químicas que não foram avaliadas, mas que certamente contribuíram para as alterações no comportamento dos resultados das curvas até a profundidade de 3 m. Observa-se na SEV02, que para a distância inicial de AB/2 = 1,00 m, não ouve registro do primeiro valor de resistividade elétrica, em função de sobrecarga (*overload*) no sistema, isto é, a corrente ultrapassou o valor máximo de leitura do equipamento.

Os valores de resistividade elétrica referentes à curva da SEV03, inicialmente com 1400  $\Omega$ .m foram intermediários aos valores de resistividade elétrica referente às SEV's 01 e 02, até a profundidade aproximada de 3 m. Observa-se na comparação entre as três curvas de resistividade elétrica, no intervalo citado, que estas se alternaram, com diferenças muito significativas, mostrando que os valores de resistividade elétrica sofreram grandes variações devido às heterogeneidades já comentadas e verificadas nos horizontes do solo. Os valores de resistividade elétrica para a terceira SEV foram obtidos em Latossolo Vermelho.

Em relação à SEV01 e SEV03, nota-se que a curva de resistividade aparente da SEV03 se aproxima da curva de resistividade aparente da SEV01, o que pode ser

efeito da presença de umidade no intervalo analisado. A partir da terceira SEV o solo foi classificado como Latossolo-Vermelho.

Pode-se atribuir a diferença ao tipo de solo e relacionar este fato à sua textura. De acordo com NASCIMENTO *et al.* (2004), "**a explicação para como a textura pode causar a variação na resistividade parece residir na forma como ela influencia os comportamentos físico e químico do solo**".

Solos de textura mais fina, argilosos, apresentam espaços intergranulares muito pequenos dificultando o escoamento da água, e consequentemente apresentam menor resistividade elétrica. Em solos mais arenosos, menor porosidade e com poros maiores, a água escoa com maior facilidade, aumentando resistividade elétrica. Do ponto de vista químico, os solos de textura fina apresentam quantidades grandes de argilominerais, e, portanto menor resistividade elétrica, e nos solos arenosos a fração de quartzo é alta assim como o valor da resistividade elétrica.

As SEV's 04 e 05, realizadas no dia 07/09/05, apresentam as curvas com comportamento muito próximo, ao longo de toda investigação, o que mostra que nos dois pontos investigados o meio não apresenta grandes variações do ponto de vista da resistividade. O solo é o mesmo nos dois pontos, parece razoável que a textura, porosidade, umidade, conteúdo de matéria orgânica e compactação, apresentem características similares, resultando em valores de resistividade elétrica também muito próximas no intervalo avaliado.

A partir da profundidade de três metros, com exceção da primeira SEV, todas as outras sondagens elétricas apresentaram tendência de sobreposição das curvas, o que permite concluir que as resistividades obtidas são representativas de materiais que apresentam a mesma litologia. Para a curva de resistividade aparente relativa a primeira SEV, foram obtidos os menores valores de resistividade elétrica até a profundidade aproximada de 80 metros. Certamente os valores obtidos para esta SEV foram fortemente influenciados pela presença de umidade. As profundidades alcançadas pelas demais SEV's foram de aproximadamente de 40 metros.

De uma maneira geral, as grandes variações de resistividade aparente foram verificadas nos horizontes do solo, enquanto em substratos mais profundos as curvas

mantêm um comportamento muito próximo, com a resistividade final indicando a presença de substrato com umidade, provavelmente tratando-se de aqüífero freático.

### 4.2 Análise Quantitativa das Sondagens Elétricas Verticais.

A partir da SEV01 através dos modelos que foram gerados pelo processo semi-automático, foram feitas avaliações sobre o comportamento da curva modelada e relacionamento com os horizontes de solo e rocha identificados nos levantamentos diretos.

Assim como as curvas de campo, todas as SEV's submetidas ao processo de modelamento apresentaram quatro camadas, tendo sido necessário a subdivisão da primeira camada em todas as sondagens elétricas e da última camada da SEV01, para melhorar o ajuste da curva que esta sendo modelada em relação à curva de campo.

Com o intuito de evitar ambigüidades (quando a curva de campo pode admitir muitas soluções), foi efetuada uma associação com a geologia e com a pedologia da área no momento das análises quantitativas individuais, reduzindo significativamente a probabilidade de erros de interpretação na construção das colunas geoelétricas.

## **SEV01.**

A SEV*01* localiza-se nas coordenadas UTM, E = 729.403 m N = 8.310.616 mMeridiano central 57 ° W. Os dados de solos, para esta SEV, são: da trincheira de número quatro (T<sub>4</sub>), que atingiu 1,35 m; da Sondagem a Trado (ST<sub>7</sub>), investigada até 2,80 m e aprofundamento por tradagem no interior da trincheira (T<sub>4</sub>), iniciando em 2,30 m, finalizando em 4,05 m. A textura do solo ao longo do perfil é argilosa, e foi classificado como Latossolo Vermelho-Amarelo.

Na Figura 21 são apresentadas as curvas de resistividade aparente modelada e de campo para a SEV01. O eixo vertical, que se encontra na escala logarítmica, registra em metros a abertura dos eletrodos AB/2, as espessuras das camadas, a profundidade dos horizontes, a posição da base do lençol freático.



# **MODELO GEOELÉTRICO**



O desvio quadrático médio entre os valores da curva de campo e a curva modelada foi de 12,8%.

No eixo horizontal estão os valores de resistividade elétrica em Ohm.m. A curva baseada nos dados de campo (em preto) e a curva ajustada pelo modelo (em vermelho), iniciaram a partir da profundidade de 0,33 m, em função da disposição geométrica utilizada para os eletrodos de corrente.

Para análise quantitativa, referente aos resultados obtidos da associação do modelo gerado pelo ajuste semi-automático com as descrições pedológicas, serão apresentadas figuras individuais representativas dos horizontes e camadas ajustadas. Foi dada prioridade a comentários relacionados às variações de resistividade elétrica e espessura das camadas com as variações dos horizontes de solo que ocorrem na SEV que esta sendo analisada, e neste ponto não foi feita comparações entre SEV's.

A primeira camada inicia na superfície e atinge 1,10 m de profundidade, tendo sido associadas aos horizontes de solos, descritos por Mendonça & Sécolo (2007).

No modelo de ajuste esta camada foi subdividida em duas. A primeira subcamada, com espessura de 0,30 m apresentou resistividade elétrica de 480  $\Omega$ .m muito próxima do valor obtido para o primeiro ponto de investigação referente à curva de campo da primeira SEV, ou seja, 490  $\Omega$ .m. Observa-se que as espessuras da camada modelada e a profundidade do primeiro ponto investigado também foram bem próximos 0,30 m e 0,33 m respectivamente.

Os horizontes associados a esta camada são:

#### Primeira subcamada

- Ap (0 0,22 m) É um horizonte que se encontra compactado e apresenta poucas raízes, de consistência dura, sem porosidade e com microagregações. A participação deste horizonte na camada é de 73%.
- Ap/Bw (0,22 0,30 m) diferencia-se do primeiro horizonte, por apresentar poucos poros e não ter raízes e apresenta micro-agregações. A participação deste horizonte na camada é de 27%.

A **segunda subcamada** com espessura da camada de 0,80 m e resistividade elétrica de 580  $\Omega$ .m, foi associada aos horizontes de solos descritos a seguir:

- Ap/Bw (0,30 0,40 m) não apresenta estrutura e se encontra compactado, com poucos poros, sem raízes e com micro-agregações. A participação deste horizonte na camada é de 12%.
- Bw (0,40 0,95 m) apresenta estrutura granular grande e fraca, ausência de raízes, muitos poros e de consistência macia, com micro-agregação. Em profundidade o horizonte fica mais úmido e aparecem volumes milimétricos de plintita e em profundidade a micro-agregação desaparece. A participação deste horizonte na camada é de 69%.
- Bcf1 e Bcf2 (0,95 1,10 m) são de estrutura granular grande e fraca a muito fraca, sem raízes, com muitos poros e de consistência macia, com plintita. Com o aumento da umidade desaparece a microagregação. A participação deste horizonte na camada é de 19%.

### Segunda camada

A segunda camada modelada com espessura de 1,9 m, e com resistividade de 200  $\Omega$ .m., está relacionada aos horizontes:

- Bcf1 e Bcf2 (1,10 1,43 m) apresenta muitos poros, consistência macia, aumento da umidade e da quantidade de plintita e desaparecimento da micro-agregação. A participação deste horizonte na camada é de 17%.
- Cf , (1,43 a 3 m) no início, apresenta bastante umidade, pouca plintita. O final da camada ajustada, associado ainda ao horizonte Cf, apresenta muita umidade e sem plintita. Aparecem também neste horizonte à profundidade de 2,40 m concreções milimétricas e centimétricas e logo após a base do lençol freático, em seta e letra vermelha na Figura 21, a profundidade de 2,65 m. A partir daí até 2,80 m, ocorre novamente à presença de plintita, e o

horizonte começa a ficar mais seco. A participação deste horizonte na camada é de 83%.

De uma maneira geral, está camada apresenta altos teores de umidade, além da presença de plintita e por vezes concreções.

# Terceira camada

A terceira camada, iniciando a profundidade de 3 m, de espessura 26 m com resistividade aparente de 4.000  $\Omega$ .m. esta associada aos horizontes:

- Cf, Cfc (1,9 a 3,58 m) apresenta concreções lateríticas no horizonte Cfc e apresenta couraça ferruginosa, com solo seco. De acordo com Mendonça & Sécolo (2007), no horizonte Cfc, foi possível encontrar outro aqüífero, abaixo da couraça, a 4 m de profundidade. A participação deste horizonte na camada é de 7%. As concreções são materiais que apresentam altos valores de resistividade, e de acordo com Sacasi *et al.*(2006), em trabalho utilizando o arranjo de Schlumberger, numa região periférica de Macapá, objetivando estudar os recursos hídricos subterrâneos, encontrou em solos argilosos a argilo-arenosos com concreções ferruginosas, valores de resistividade variando entre 1123 a 7728 Ω.m. As concreções e couraça ferruginosa são indicativos da presença da Formação Cachoeirinha.
- SR (3,58 26 m) a resistividade nesta camada sobe para 4.000 Ω.m em função da presença de concreções e o material ficando mais seco. A participação deste horizonte na camada é de 93%.

## Quarta camada

ZS (a partir de 26,0 m) – esta associada ao substrato rochoso saturado com resistividade elétrica caindo para 110  $\Omega$ .m e camada com espessura de 72 m.

Como este ponto investigado se encontra mais próximo do Córrego da Ilha, aproximadamente 100 m, e em uma cota mais baixa em relação às demais SEV's, os efeitos da umidade nas duas subcamadas são evidentes, e também ao longo de toda investigação desta SEV.

# **SEV02.**

De coordenadas planas E = 729.243,52 m e N = 8.306.902,06 m, meridiano central 57 ° W.

Os dados de solos para esta SEV foram obtidos através da trincheira de número cinco (T<sub>5</sub>) que atingiu a profundidade de 2,25 metros, Mendonça & Sécolo (2007). Assim como na primeira SEV, neste ponto de investigação foi feito aprofundamento por tradagem no interior da trincheira, começando a 2,25 m e atingindo a profundidade de 5,55 m. A textura do solo ao longo do perfil é argilosa, e foi classificado como Latossolo Vermelho-Amarelo. A resistividade inicial do primeiro ponto investigado pela sondagem elétrica vertical foi de 3500  $\Omega$ .m, para a profundidade de 0,33 m. Este valor também foi bem próximo da resistividade elétrica da primeira subcamada desta SEV, ou seja, de 3400  $\Omega$ .m para uma subcamada com espessura de 0,37 m.

### Primeira camada

Inicia na superfície e se estende até a 1,37 m de profundidade e foi subdividida em duas subcamadas. A primeira subcamada com 0,37 m de espessura e 3400 Ohm.m de resistividade elétrica. A segunda subcamada com 1,0 m de espessura foi modelada com resistividade elétrica de 4300 Ohm.m. Foram associadas aos horizontes de solos, conforme descrição abaixo:



# **MODELO GEOELÉTRICO**

Figura 22- Modelo de camadas ajustadas para a SEV02 e correlação com os horizontes do solo. No eixo vertical registrou-se a abertura dos eletrodos AB/2 e a profundidade em metros para o modelo de camadas.

O desvio quadrático médio entre a curva de campo e a curva modelada foi de 6,11%.

- Ap (0 0,24 m) horizonte sem estrutura compactada, com muitas raízes, sem porosidade, de consistência dura e de textura argilosa. A participação deste horizonte na camada é de 65%.
- *Pp/Bw e Bw* (0,24 1,37 m) horizonte de estrutura granular, inicialmente com poucas raízes e em profundidade ausentes, com poucos no início e muitos poros em profundidade, de estrutura micro-agregada e com umidade em profundidade. A participação deste horizonte na camada é de 35%.

#### Segunda camada

A segunda camada foi modelada com espessura de 5 m, e com resistividade de 740  $\Omega$ .m. Está relacionada aos horizontes:

- Bw (1,37 1,86 m) apresenta muitos poros, de estrutura granular, com poucas raízes a ausentes, e com estrutura micro-agregada. A participação deste horizonte na camada é de 49%.
- Cfc (1,86 5,50 m) apresenta umidade a partir de 2,25 m, de acordo com o aprofundamento por tradagem no interior da trincheira cinco, ficando seco por volta de 3,55 m. É um horizonte que apresenta concreções quando do desaparecimento da plintita. Quando mais seco há domínio de plintita e fragmentos de arenito. O nível d'água se encontra a 4,55 m. Ocorre de 4,85 a 5,25 m o fenômeno de piping. A participação deste horizonte na camada é de 36%.
- C/R (5,50 5,55 m) na transição apresenta alteração de arenito de textura muito fina, e sem umidade. A participação deste horizonte na camada é de 5%.
- SR (5,55 6,37 m) horizonte relacionado à presença do substrato rochoso e se encontra presente na camada modelada com 10%.

Esta é uma camada que apresentou expressiva diminuição nos valores de resistividade elétrica, ocasionado principalmente pela presença de umidade em

profundidade no horizonte Bw e início do horizonte Cfc, além da presença de plintita.

### Terceira camada

A terceira camada é o substrato rochoso (SR).

SR (6,37 - 30,37 m) – neste ponto da investigação geoelétrica, a resistividade sobe para valores consideráveis, influenciados pelo material seco, provavelmente rocha de arenito. A resistividade obtida nesta camada é de 5600  $\Omega$ .m. A variação de resistividade para esta camada e está dentro do intervalo de variação da resistividade elétrica do arenito, ou seja, de 1 a 10<sup>8</sup>  $\Omega$ .m (Tabela 2).

As características pedológicas descritas para este horizonte são indicativas da presença da Formação Cachoeirinha, de acordo com Weska, 2006.

### Quarta Camada

Localizada abaixo dos 30,4 m, com resistividade de 200  $\Omega$ .m.

ZS (a partir de 30,4 m) – está associado a rocha saturada, provavelmente a queda da resistividade se dá em função da presença do Aqüífero, nesta profundidade.

## **SEV03.**

De coordenadas UTM E = 729.144,87 m, N = 8.306.884,69 m, meridiano central 57 ° W.



# **MODELO GEOELÉTRICO**

Figura 23 - Modelo de camadas ajustadas para a SEV03 e correlação com os horizontes do solo. No eixo vertical registrou-se a abertura dos eletrodos AB/2 e a profundidade em metros para o modelo de camadas.

O desvio quadrático médio entre a curva de campo e a curva modelada foi de 4,49%.

Os dados de solo são da trincheira seis ( $T_6$ ) e do aprofundamento no interior desta por tradagem. A textura do solo ao longo do perfil é argilosa, e foi classificado como Latossolo Vermelho.

A resistividade inicial obtida em campo foi de 1900  $\Omega$ .m para a profundidade de 0,33 m. no ajuste da curva a resistividade para a primeira subcamada foi de 1400  $\Omega$ .m e com 0,36 m de espessura para a camada modelada.

#### Primeira Camada

Esta camada foi dividida em duas subcamadas, visando melhor ajuste da curva. A primeira subcamada com resistividade de 1.400 Ohm.m da superfície até 0,36 m e a segunda subcamada com resistividade elétrica de 2900 ohm.m e espessura de 0,8 m. O perfil de solo é descrito a seguir.

- Ap (0 0,15 m) horizonte sem estrutura compactado, com muitas raízes, muitos poros causados por raízes, de consistência dura e de textura argilosa. A participação deste horizonte na camada é de 41%.
- Ap/Bw (0,15 0,28 m) horizonte de estrutura granular, com raras raízes, inicialmente com ausência de poros e em profundidade muitos poros e de textura argilosa. A participação deste horizonte na camada é de 36%.
- Bw (0,28 1,16 m) horizonte de estrutura granular grande, com raras raízes e em profundidade ausentes e com muitos poros facilmente visíveis. A participação deste horizonte na primeira subcamada é de 23%. Este horizonte ocupa 100% da segunda subcamada modelada. No aprofundamento da trincheira 6 por tradagem, este horizonte apresentou umidade a partir de 2,10 m. O efeito da ascenção capilar atingiu profundidades menores tornando este horizonte úmido o que contribuiu para a diminuição do valor da resistividade elétrica.

A variação da resistividade da primeira para a segunda subcamada, de 1400 para 2900  $\Omega$ .m pode ser explicado pelas descrições morfológicas, uma vez que o

horizonte Bw é bem mais permeável que os horizontes anteriores, consequentemente seus poros se enchem de ar, aumentando os valores de resistividade elétrica. Na primeira camada a retenção de água é maior em função da menor porosidade.

### Segunda camada

Apresenta resistividade de 530  $\Omega$ .m e espessura de 3,8 m e estão relacionados aos horizontes:

- Bw (1,16 2,10 m) que tem muitos poros, umidade, com raras raízes, e estrutura micro-agregada e com pouquíssimas concreções milimétricas. A participação deste horizonte na camada é de 25%.
- *Cfc* (2,10 4,96 m) horizonte úmido até 2,70 m e a partir daí apresenta concreções milimétricas e centimétricas (couraça) consequentemente o horizonte fica mais seco. A participação deste horizonte na camada é de 75%.

A resistividade da segunda subcamada para a segunda camada diminui de 2900 para 530  $\Omega$ .m, resultado da presença de umidade nos horizontes Bw e Cfc, descritas no aprofundamento da trincheira seis por tradagem.

### Terceira camada

A terceira camada com espessura de 27 m e resistividade de 5700  $\Omega$ .m está associada ao substrato rochoso:

SR (3,80 – 30,8 m) – apresenta arenito seco, responsável pelo alto valor de resistividade.

A alta resistividade desta camada, a profundidade investigada, e as características descritas para o final horizonte Cfc, podem ser indicativos de que esta camada se refere à Formação Cachoeirinha.

### Quarta camada.

Abaixo dos 30,8 m de profundidade, a resistividade elétrica foi modelada com 83 Ohm.m e associada à Zona Saturada (ZS). A diminuição brusca da resistividade nesta camada associado a tendência da curva de resistividade, indicam a presença de material saturado.

# SEV04

De coordenadas UTM E = 729.045,93 m, N = 8.306.866,56 m. Meridiano central 57 ° W. Os dados de solo até a profundidade de 2,00 m, são da trincheira  $T_7$ , e a partir desta profundidade por comparação com os horizontes das SEV's 01, 02, 03. A resistividade elétrica obtida para o primeiro ponto da curva de campo foi de 2100 Ohm.m para a profundidade de 0,33 m. No ajuste das camadas na primeira subcamada modelada a resistividade foi de 2200 Ohm.m com espessura de 0,37 m. A textura do solo ao longo do perfil é argilosa, e foi classificado como Latossolo Vermelho.

### Primeira camada

Esta camada tem 1,37 m de espessura e foi dividida em duas subcamadas para um melhor ajuste do modelo. A primeira subcamada tem resistividade de 2200 Ohm.m. e 0,37 m de espessura e a segunda subcamada 2600 ohm.m e 1,0 m de espessura. Os horizontes de solo associados são:

- Ap (0 0,10 m) horizonte de estrutura granular pequena e fraca, com raízes finas a médias, sem porosidade e de textura argilosa. A participação deste horizonte na primeira subcamada é de 27%.
- Ap/Bw (0,10 0,30 m) estrutura granular grande e moderada, poucas e finas raízes, sem poros no início e em profundidade muitos poros, de textura argilosa. A participação deste horizonte na primeira subcamada é de 54%.



# MODELO GEOELÉTRICO

Figura 24 - Modelo de camadas ajustadas para a SEV04 e correlação com os horizontes do solo. No eixo vertical registrou-se a abertura dos eletrodos AB/2 e a profundidade em metros para o modelo de camadas.

O desvio padrão no ajuste da curva foi de 9,39%.

Bw (0,30 - 1,37 m) – estrutura granular que varia de grande a fraca, poucas e finas raízes e com muitos poros. A participação deste horizonte na primeira subcamada é de 19%. A segunda subcamada é composta exclusivamente pelo horizonte Bw, que conforme foi descrito acima, apresenta poucas raízes e muitos poros

A segunda subcamada apresenta resistividade um pouco superior a resistividade da primeira subcamada, e esta associado exclusivamente ao horizonte Bw. A resistividade aumenta nesta subcamada devido a presença de ar nos poros do horizonte Bw, enquanto que nos horizontes mais superficiais, em função da inexistência de poros e da presença de raízes, o valor de resistividade foi menor. Do ponto de vista da resistividade, estes horizontes não apresentaram diferenças significativas.

### Segunda camada

A segunda camada tem 3,5 m e inicia em 1,37 m de profundidade e atinge 4,9 m de profundidade. A resistividade elétrica desta camada diminuiu para 580 Ohm.m. Os solos encontrados nesta profundidade são:

- Bw (1,37 2,00 m) são válidas as mesmas descrições feitas deste horizonte nas subcamadas anteriores. A participação deste horizonte na camada é de 18%.
- C (2,00 4,87 m) em todas as SEV's, o horizonte C, inicia muito próximo do ponto de inflexão da curva de resistividade, e sempre na segunda camada ajustada pelo modelamento. A curva associada a este horizonte mantém sempre um comportamento de crescimento dos valores de resistividade elétrica, à medida que vai ficando mais seco. Como neste caso também foi verificado este comportamento, foi assumido que as mesmas descrições pedológicas poderiam ser atribuídas a este horizonte. A camada é composta por 82% deste horizonte.

Na SEV04 e SEV05, como nas SEV's 01, 02 e 03 os horizontes associados a partir da terceira camada foram limitados pela espessura das camadas ajustadas pelo modelo, e estão identificados em linha pontilhada. Para a SEV's 04 e 05 o final do horizonte C, representado também por linha pontilhada Figuras 25 e 26, tem limite inferior no início da terceira camada modelada. Para a SEV05, a partir da primeira camada ajustada, os horizontes foram delimitados por linhas pontilhadas. As linhas pontilhadas indicam que os horizontes foram inferidos.

### Terceira e quarta camada

A terceira camada é associada ao substrato rochoso com resistividade elétrica de 4 900 Ohm.m e com espessura de 29 m.

SR (4,87– 33,87 m) – camada associada ao substrato rochoso, cujas características litológicas indicam a presença da Formação Cachoeirinha.

A quarta camada encontra-se abaixo da profundidade de 35,9 m com resistividade elétrica caindo para 890 Ohm.m, por conta da presença de umidade.Esta redução no valor da resistividade indica a transição para a zona saturada. (ZS).

ZS (33,87 – ) – observa-se nesta camada que o valor de resistividade elétrica foi alta em relação aos demais valores das SEV's anteriores, para esta profundidade, mas de acordo com a curva do modelo ajustado em vermelho, Figura 24, há tendência para um ponto um ponto de mínimo, indicando a presença de zona saturada.

## SEV05

De coordenadas UTM E = 728.953,04 m, N = 8.306.845,80 m. Meridiano central 57 ° W. A textura do solo ao longo do perfil é argilosa, e foi classificado como Latossolo Vermelho. Para a construção do modelo geoelétrico da SEV05, será feita comparações com a SEV03 tendo em vista a maior similaridade entre as duas curvas modeladas no ajuste semi-automático. Como todos os valores referentes à

MODELO GEOELÉTRICO SEV03



Figura 25 – Comparação entre o modelo geoelétrico da SEV03 com o modelo de camadas referente à SEV05

espessura das camadas e das resistividades obtidas nos dois modelos, gerados pelo processo semi-automático, são mais próximos assume-se que os dados referentes pedologia e descritos para a SEV03, servirão de base para a construção do modelo geoelétrico da SEV05. A comparação entre as duas curvas obtidas no ajuste semi-automático, pode ser observada na Figura 25.

Além disso, a comparação com a SEV03 se deu porque a trincheira referente a esta SEV foi aprofundada por tradagem até 4,70 m, permitindo com isso maiores informações sobre pedologia, e conseqüentemente mais informações são associadas às variações da curva modelada para a SEV05. Com relação à SEV04 mais próxima da SEV05, os dados de pedologia estão restritos apenas à trincheira aberta, sem aprofundamento, tendo a investigação direta atingido à profundidade de 2 m, portanto menos informações sobre os horizontes de solo.

A **primeira camada** modelada para SEV foi também dividida em duas subcamadas, para facilitar o ajuste da curva modelada. A primeira subcamada apresentou resistividade de 1600  $\Omega$ .m, maior que a segunda subcamada que foi de 1300  $\Omega$ .m. A resistividades e as espessuras da primeira subcamada e segunda subcamada, nas duas SEV's comparadas, apresentaram valores bem próximos, o que permite concluir que do ponto de vista da resistividade, estes materiais são similares. É possível que a compactação do solo tenha contribuído para a diferença de resistividade elétrica obtida. Os horizontes que estão relacionados à primeira camada da SEV05 são o Ap, Ap/Bw e Bw, que são os mesmos horizontes da primeira camada da SEV03. Consequentemente todas as descrições anteriormente feitas sobre estes horizontes, quando da análise quantitativa, serão válidas para a construção da coluna geoelétrica, referente à SEV05.

A **segunda camada** com resistividade de 390  $\Omega$ .m e espessura de 3 m foi associada ao final do horizonte B e pelo horizonte C. A diminuição nos valores de resistividade nesta camada é resultado da umidade presente em profundidade no horizonte Bw e início do horizonte C.

Na **terceira camada** a espessura é de 31 m e a resistividade elétrica é de 6.300  $\Omega$ .m, valores muito próximos dos obtidos na SEV*03* com espessura de 27 m e



# **MODELO GEOELÉTRICO**

Figura 26 - Modelo de camadas ajustadas para a SEV05 e correlação com os horizontes do solo. No eixo vertical registrou-se a abertura dos eletrodos AB/2 e a profundidade em metros para o modelo de camadas.

resistividade elétrica de 5700  $\Omega$ .m. Os valores de resistividade elétrica começam a aumentar a partir do final do horizonte C, por conta da presença de horizonte seco.

Como a profundidade, valores de resistividade elétrica bem como os horizontes associados são correlatos, a indicação da presença da Formação Cachoeirinha vale também para este ponto investigado. Na **quarta camada**, e nas duas SEV's, as curvas tendem para valores cada vez menores, indicando a presença de rocha saturada, possivelmente a presença de Aqüífero Freático.

Com base nos resultados foi possível construir um modelo geoelétrico representativo para a SEV05, Figura 26. O desvio padrão no ajuste da curva foi de 9,39%.

### 4.3 Perfil Geoelétrico

Através das informações obtidas por meio dos modelos gerados nas cinco sondagens elétricas verticais realizadas, e com base nas descrições individuais das camadas modeladas associadas aos horizontes do solo, serão analisadas individualmente na forma de tabelas, as variações das espessuras, das profundidades (em vermelho) e ainda dos valores de resistividade elétrica verificadas entre a primeira, segunda, terceira e quarta camadas modeladas referentes a todas as SEV's. Também serão observadas as características responsáveis pelas diferenças de resistividade elétrica, por exemplo, entre a primeira camada da primeira SEV com a primeira camada da segunda SEV. O procedimento será o mesmo entre todas as SEV's, sempre observando as diferenças e avaliando os resultados relacionados à mesma camada. Cada nível de camada será identificado por uma cor diferente. Os resultados permitirão construir uma tabela geral de resistividade de solos e rochas que poderá ser visualizada quando da análise da quarta camada. Em resumo, diferentemente da análise quantitativa, a partir deste ponto serão avaliadas as diferenças obtidas entre as camadas de cada sondagem elétrica.

# A Primeira Camada.

A Tabela 5 mostra a primeira camada para as cinco SEV's, com as respectivas espessuras e resistividades elétricas. Esta camada apresenta-se

subdividida em duas subcamadas referente à primeira camada obtida no ajuste da curva, e se encontra identificada na tabela pelo número 1.

Camada	SEV 01		SEV 02		SEV 03		SEV 04		SEV 05	
	Esp. Cam. (m)	Resist. (Ohm.m)	Esp. Cam. (m)	Resist. (Ohm.m)	Esp. Cam. (m)	Resist. (Ohm.m)	Esp. Cam. (m)	Resist. (Ohm.m)	Esp. Cam. (m)	Resist. (Ohm.m)
1	0,30	480	0,37	3400	0,36	1400	0,37	2200	0,37	1600
	0,80(1,10)	580	1(1,37)	4300	0,80 <mark>(1,16)</mark>	2900	1(1,37)	2600	0,86 <mark>(1,23)</mark>	1300

 Tabela 5 –
 Comparação entre os valores de resistividade e espessuras das primeiras camadas modeladas, em todas as SEV's

Observa-se na Tabela 5 que a mesma cor para as duas subcamadas, indicam que de uma maneira geral as variações nos valores de resistividade elétrica obtidos são representativas de materiais com comportamento resistivos muito parecidos. O objetivo da subdivisão da camada foi com o intuito de melhor ajuste da curva de resistividade. As duas subcamadas representam uma única camada geoelétrica com espessura de 1,10 m. A identificação em amarelo para as subcamadas referentes à primeira SEV, mostra que os valores de resistividade elétrica obtidos apresentam diferenças significativas, em relação aos demais valores de resistividade elétrica referentes às demais SEV's. Os efeitos da presença de umidade no solo podem ser notados e são visíveis ao se comparar as variações de resistividade obtidas para a SEV*01* com as variações de resistividade elétrica obtidos para as demais sondagens elétricas. As subcamadas identificadas com a cor verde mostram materiais mais resistivos, reflexo de horizontes mais secos, enquanto que o amarelo mostra horizontes mais saturados, em função da presença do aqüífero freático que se encontra em menor profundidade no ponto investigado.

A primeira subcamada desta camada deveria apresentar maior resistividade em função dos micro-agregados do solo, que estão presentes nos horizontes iniciais e ocupam cerca de 80% da primeira camada modelada. Mas a umidade permanece nos micro-poros destes horizontes o que certamente diminui os valores de resistividade elétrica do solo. Nos 20% restantes a resistividade elétrica aumenta, pois os horizontes são mais permeáveis e a presença de ar nos poros são responsáveis pelo aumento dos valores de resistividade elétrica. Entre os micro-agregados, existem poros que são permeáveis e estão preenchidos por ar, o que certamente fez aumentar a resistência do material. No entanto a variação de 480 a 580  $\Omega$ .m, não é significativa do ponto e vista da resistividade elétrica. Os valores de resistividade obtidos não foram influenciados pelas precipitações pluviométricas, uma vez que no mês anterior à realização das SEV's, agosto, foram registrados apenas 5 mm de chuvas, o que não contribuiu para o aumento da umidade nas primeiras camadas do solo. Na região dos levantamentos geofísicos o solo encontrava-se superficialmente muito seco, o que é bem característico do mês de setembro, época em que foram obtidos os valores de resistividade elétrica.

SEV02 – A camada atingiu a profundidade de 1,37 m, e apresenta uma variação de resistividade da primeira subcamada para a segunda subcamada, de 3400 para 4300  $\Omega$ .m. É visível, de acordo com a variação de resistividade, a presença de maiores teores de umidade, nos horizonte iniciais desta SEV, porém os valores ainda são altos, apesar da precipitação de 12 mm ocorrida no dia anterior. Neste caso, o ponto se encontra a 100 metros da primeira SEV, e a montante da vertente.

Entre os dois pontos investigados foram consideráveis as diferenças obtidas em relação aos valores de resistividade elétrica. As variações de resistividade estão associadas ao fator umidade além das características apresentadas no ponto de realização da SEV02. Neste ponto, os horizontes, se encontram compactados e inicialmente sem poros, e em profundidade apresentando muitos poros. Apesar de ter sido observado um crescimento nos valores de resistividade obtidos para as subcamadas da primeira camada da SEV02, reflexo de horizontes iniciais mais úmidos, estes superaram em muito os valores de resistividade elétrica obtidos para as subcamadas referentes à primeira camada da SEV01. As variações ocorridas em termos de resistividade nos dois pontos investigados e para a primeira camada, ocorreram em solos do mesmo tipo, mostrando a grande influência exercida pelas características texturais e o fator umidade presente nos interstícios do solo. Estas diferenças foram observadas considerando apenas os aspectos físicos, e não do ponto de vista físico/químico. A necessidade de Informações adicionais relativas ao solo e substrato rochoso inerente a aspectos físicos e químicos, tem sido constantemente relatada neste trabalho, devido a importância destas informações quando da avaliação das variações das curvas de resistividade elétrica e sua associação com os horizontes e substrato rochoso.

SEV03 – o final desta camada modelada atingiu a profundidade de 1,16 m e sua resistividade elétrica variou de 1400  $\Omega$ .m (primeira subcamada) para 2900  $\Omega$ .m (segunda subcamada). As características relacionadas à pedologia são as mesmas observadas para a SEV02. O que ficou bem evidente foram as variações ocorridas no que diz respeito às resistividades elétricas obtidas para as subcamadas associadas à SEV02 em relação às variações de resistividade da primeira camada da SEV03. A partir deste ponto de investigação, dados adicionais sobre todos os pontos investigados seriam interessantes e melhorariam as análises quantitativas relativas às variações verificadas nas curvas de resistividade elétrica.

Os valores de resistividade elétrica obtidos para a primeira camada desta SEV foram bem menores que os valores obtidos para a primeira camada da SEV02. Neste caso as características relacionadas ao tipo de solo podem ter sido a responsáveis pelas diferenças de resistividade. Assim como nas SEV's anteriores, as diferenças até aqui observadas estão relacionadas também a presença de água nos horizontes que compõe esta camada, refletindo em valores menores de resistividade. Neste caso assim como nos anteriores, a umidade se encontra presente e preservada sob a cobertura de matéria orgânica, contribuindo para a queda no valor inicial da resistividade elétrica. É uma característica dos horizontes iniciais a ausência de porosidade, o que faz com que a água da chuva em geral permaneça mais tempo na superfície do solo, antes de escorrer superficialmente ou ser evaporada. Estes fatores somados resultaram na diminuição da resistividade da primeira para a segunda subcamada.

De uma maneira geral as resistividades têm crescido sendo o fator umidade e porosidade os grandes responsáveis por estas variações. As resistividades até este ponto investigado crescem sempre em solo que apresentam horizonte B, pois a medida que a umidade penetra para camadas mais profundas, por influência da intercomunicação entre os poros e pela ação da gravidade, estes passam a estar preenchidos por ar, consequentemente aumentando o valor da resistividade elétrica.

SEV04 – Para esta SEV, os valores de resistividade elétrica foram também crescentes e variaram de 2200  $\Omega$ .m (primeira subcamada) para 2600  $\Omega$ .m (segunda subcamada), a profundidade atingida por esta camada foi de 1,37 m. Apresenta no geral também altos valores de resistividade, mas com uma pequena variação entre a primeira e segunda subcamada.

As diferenças observadas entre a primeira subcamada da SEV03 com a primeira subcamada da SEV04 são marcantes, e estão relacionadas às heterogeneidades do solo. Além da umidade há necessidade de investigação de outros fatores que diretamente contribuem para os resultados encontrados.

O solo nos pontos investigados a partir da SEV03 é o mesmo, ou seja, Latossolo Vermelho, que de acordo com os dados de resistividade obtidos apresentam baixos teores de umidade.

Na primeira camada da SEV04 a variação ocorrida da primeira para a segunda subcamada não é significativa do ponto de vista da resistividade elétrica. Como se trata do mesmo tipo de solo, não só as características físicas deveriam ser avaliadas, como já foi comentado, mas outras informações relacionadas a aspectos químicos e mineralógicos seriam importantes e contribuiriam para melhorar o entendimento das relações entre horizontes de solo e rocha com as curvas de resistividade até aqui estudadas. No caso da SEV04 as diferenças, e as descrições das principais características que permitiram avaliar os efeitos relacionados aos valores encontrados de resistividade elétrica para a primeira e segunda subcamada são as mesmas que foram observadas para as SEV's anteriores.

SEV05 – assim como nas SEV's anteriores, exceto a primeira camada da primeira SEV, os valores das resistividades elétricas foram altos, mas menores que as verificadas nas SEV's 02, 03 e 04. Foi o único ponto de sondagem elétrica que apresentou resistividade elétrica decrescente, da primeira para a segunda subcamada.

Parece que este resultado seria o mais razoável para os demais pontos investigados, tomada a época de intenso calor e umidade relativa do ar muito baixa, além da escassez de chuvas no período, tendo sido necessário, por conta dessas características climáticas, em alguns pontos da investigação umedecer os eletrodos de corrente para melhorar a resistividade de contato, o que parece conflitar com os resultados até aqui avaliados.

No caso da SEV05 os valores de resistividade elétrica mostram que o solo nos horizontes iniciais apresenta teores de umidade menores que os horizontes mais profundos, o que seria razoável considerando o mês e a ausência de chuvas para a região como foi descrito no parágrafo anterior.

Pode-se supor que nos horizontes iniciais associados à primeira subcamada desta SEV os efeitos da evaporação tenham sido maiores, e por estar mais seco o solo apresentou maior resistividade elétrica. Como se trata do mesmo solo das SEV's 03 e 04, as características pedológicas não variaram.

### A Segunda Camada.

Na Tabela 6, está indicada a segunda camada ajustada para todas as SEV's, em cinza, onde também podem ser observadas as profundidades (entre parêntesis e em vermelho).

Camada '	SEV 01		SEV 02		SEV 03		SEV 04		SEV 05	
	Esp. Cam. (m)	Resist. (Ohm.m)	Esp. Cam. (m)	Resist. (Ohm.m)	Esp. Cam. (m)	Resist. (Ohm.m)	Esp. Cam. (m)	Resist. (Ohm.m)	Esp. Cam. (m)	Resist. (Ohm.m)
2	1,9 <mark>(3)</mark>	200	5(6,37)	740	3,8 <mark>(4,96)</mark>	530	3,5 <mark>(4,87)</mark>	530	3(4,23)	390

 Tabela 6 – Comparação entre os valores de resistividade e espessuras das segundas camadas modeladas, em todas as SEV's.

SEV01 – a segunda camada modelada, limitada inferiormente em 3 m, com resistividade de 200  $\Omega$ .m. Foi a que apresentou entre as sondagens elétricas realizadas o menor valor de resistividade, o que concorda com as descrição anteriores

realizadas para a primeira camada desta SEV, onde ficou claro que o solo neste ponto de investigação apresentou altos teores de umidade.

Nesta profundidade os horizontes de solo associados a esta camada apresentam muitos poros e umidade, e ainda pode ser verificada a variação do lençol freático. As concreções e a plintita presentes parece não terem influenciado nos valores de resistividade obtidos neste ponto investigado.

SEV02 – a segunda camada desta SEV, apesar de apresentar associada à quatro horizontes, Figura 22, com resistividade elétrica de 740  $\Omega$ .m, e com limite inferior da camada a profundidade de 6,37 m. Comparando com as segundas camadas das demais SEV's, a segunda camada desta SEV foi a que apresentou maior valor de resistividade, e seu limite inferior se encontra na maior profundidade. Em relação às demais SEV's esta camada apresenta maior valor de resistividade elétrica em função da presença de menor volume de umidade e maior concentração de ar nos poros dos horizontes a ela associados. Essa resistência também pode estar sendo resultado da presença das concreções presentes em profundidade na camada, pois o horizonte neste ponto apresenta-se seco e com fragmentos de arenito.

SEV03 – esta camada apresentou resistividade de 530  $\Omega$ .m, estando seu final a profundidade de 4,96 m. Foi a mesma resistividade obtida para a SEV04, variando apenas em relação a profundidade. As variações verificadas relativas à espessura das camadas comparadas e a profundidade atingida por ambas, não influenciaram nos valores de resistividade elétrica obtidos, mostrando que o material presente nos dois pontos investigados não apresenta diferenças do ponto de vista da resistividade elétrica.

Nestes dois pontos investigados os valores de resistividade elétrica foram menores que o valor obtido para a SEV02, essas variações só podem, neste caso, serem atribuídas as diferenças nos teores de umidade. Uma investigação mais criteriosa do ponto de vista físico e químico seria interessante e contribuiriam para melhor avaliar as diferenças apresentadas, inclusive em relação à SEV01.

Observação sobre aspectos físicos pode ser descritos para explicar os menores valores de resistividade elétrica obtidos em todas as SEV's e em relação a esta camada analisada. Pode-se considerar que, de acordo com as informações diretas obtidas na área, o horizonte associado a esta camada, em profundidade, apresenta barreiras formadas pela laterita e pelas concreções, impedindo que a água flua para maiores profundidades. Esta por sua vez fica retida também no início da camada, nos micro-poros do horizonte a que está associado e também sobem por ascensão capilar preenchendo os muitos poros deste horizonte, contribuindo também para a diminuição dos valores de resistividade elétrica.

SEV05 - com resistividade de 390  $\Omega$ .m e com o limite inferior da camada chegando à profundidade de 4,23 m. Neste caso é interessante notar que como na primeira SEV o valor de resistividade elétrica também foi baixo, quando comparados aos valores obtidos para as demais SEV's. Apesar das diferenças não serem significativas, pode-se notar que há variações nos teores de umidade influenciados por diversos fatores, tendo sido objeto de estudo neste trabalho apenas as relacionadas a aspectos físicas. Pode-se perceber que os resultados mostram um solo bastante heterogêneo, apesar de não ter sido identificados grandes diferenças quando das descrições relacionados à pedologia. As diferenças podem ser notadas quando avaliadas as variações dos valores de resistividade elétrica, por exemplo, na Figura 20 (página 65), através das diferenças no comportamento gráfico das curvas verificadas até a profundidade de 3 m. Mas de acordo com comentários anteriores, essas heterogeneidades podem também estar relacionadas às diferenças relativas a aspectos químicos e mineralógicos, pontos que se tivessem sido explorados trariam grandes resultados quando da avaliação das diferenças encontradas nas referidas curvas obtidas e suas associações com os horizontes do solo até estas profundidades.

# A Terceira Camada.

A Tabela 7, mostra em azul a terceira camada de todas as SEV's com as respectivas resistividades e espessuras, bem como a profundidade em que se encontra o final da camada modelada, em vermelho.
	SEV 01		SEV 02		SEV 03		SE	SEV 04		SEV 05	
Camada	Esp. Cam. (m)	Resist. (Ohm.m)	Esp. Cam. (m)	Resist. (Ohm.m)	Esp. Cam. (m)	Resist. (Ohm.m)	Esp. Cam. (m)	Resist. (Ohm.m)	Esp. Cam. (m)	Resist. (Ohm.m)	
3	23 <mark>(26)</mark>	4000	24(30,37)	5600	27(31,96)	5700	29(33,87)	4900	31(35,23)	6300	

Tabela 7 – Comparação entre os valores de resistividade e espessuras das terceiras camadas modeladas, em todas as SEV's.

Na tabela acima podem ser observadas variações nas espessuras das camadas, que de uma maneira geral não foram tão significativas, o que mostra que os horizontes nos pontos investigados mentem certa horizontalidade. Esta camada se refere ao substrato rochoso.

As variações nos valores de resistividade elétrica em todos os pontos investigados, indicando que também nas rochas os fatores ligados as heterogeneidade estão presentes. As diferenças do ponto de vista da resistividade elétrica e para este trabalho não são significativas. Observa-se que, todas as curvas de resistividade elétrica observadas na Figura 20 convergem a partir da profundidade de 3 m, com exceção da curva relativa à SEV*01* que apresenta valores de resistividade menores ao longo de toda a investigação. Nesta terceira camada modelada, pela profundidade em que se encontram estes materiais e pelas descrições dos horizontes imediatamente superiores, deve estar associada à Formação Cachoeirinha.

#### A Quarta Camada.

A Tabela 8, mostra em marrom todas as quartas camadas referentes a todas as SEV's com as respectivas resistividades.

Todos os resultados relativos à resistividade e espessuras de camadas se encontram expressos na Tabela 8, com as camadas identificadas pelos números 1, 2, 3 e 4, e identificadas pelas cores amarelo/verde, cinza, azul e marrom respectivamente. O objetivo é mostrar que, apesar das variações encontradas e discutidas nos parágrafos anteriores, as cores identificam que do ponto de vista da resistividade estas camadas não apresentam diferenças consideradas significativas Além disso, na mesma tabela estão registradas as profundidades investigadas (em vermelho) das cinco Sondagens Elétricas Verticais - SEV's

	SEV 01		SEV 02		SEV 03 5			/ 04	SEV 05		
Camada	Esp. Cam. (m)	Resist. (Ohm.m)	Esp. Cam. (m)	Resist. (Ohm.m)	Esp. Cam. (m)	Resist. (Ohm.m)	Esp. Cam. (m)	Resist. (Ohm.m)	Esp. Cam. (m)	Resist. (Ohm.m)	
1	0,30	480	0,37	3400	0,36	1400	0,37	2200	0,37	1600	
1	0,80 <mark>(1,10)</mark>	480	1(1,37)	4300	0,80 <mark>(1,16)</mark>	2900	1(1,37)	2600	0,86 <mark>(1,23)</mark>	1300	
2	1,9 <mark>(3)</mark>	200	5(6,37)	740	3,8(4,96)	530	3,5(4,87)	530	3(4,23)	390	
3	23 <mark>(26)</mark>	4000	24(30,37)	5600	27(31,96)	5700	29(33,87)	4900	31(35,23)	6300	
4	72(98)	110		200		83		890		89	

 Tabela 8 - Resistividade elétrica da primeira, segunda, terceira e quarta camadas obtidas nos modelos gerados nas cinco sondagens elétricas verticais.

Nesta tabela, a quarta camada representada em marrom, está indicando os valores das resistividades referentes à zona saturada. Pode-se observar que apenas na primeira SEV foi registrada a espessura da camada e a profundidade atingida pelo seu limite inferior, em vermelho. Nesta ultima camada da SEV01 foi necessário dividi-la em duas subcamadas, para melhorar o ajuste das curvas de campo e a modelada, procedimento este que permitido obter a espessura desta camada. Observando a Figura 21, referente à primeira SEV e na quarta camada, nota-se variação de comportamento na curva obtida em campo, não ficando claro se é uma tendência para valores crescentes de resistividade elétrica. É possível que a alteração neste ponto tenha sido influenciada por um pacote mais resistivo e de pequena espessura, ou se o crescimento da curva a partir deste ponto tenha sido influenciado por substratos mais resistentes. Se a abertura da semidistância AB/2 tivesse sido maior que 240 m, poderia se ter uma idéia mais clara a respeito da variação registrada nesta profundidade.

De uma maneira geral, os valores obtidos de resistividade elétrica para esta quarta camada são altos quando comparados aos valores de resistividade elétrica de águas subterrâneas, Tabela 3 (pagina 36), mas as curvas de campo e o ajuste destas pelo processo semi-automático, mostram que todas tendem, com exceção da primeira curva relativa à primeira SEV, para um ponto de mínimo, indicando a possível presença de aqüífero freático.

A discussão a cerca das variações ocorridas numa mesma camada são importantes para o entendimento de como os valores de resistividade podem ser afetados por variações relacionadas às heterogeneidades, apesar das informações estarem restritas somente a aspectos físicos. As análises devem considerar também as informações resultantes de observações químicas e mineralógicas tanto de solos como de rochas. Por meio do conjunto desses dados pode-se melhorar o entendimento e a associação dos horizontes de solos e rochas com as variações das curvas de resistividade elétrica, evidentemente procurando o melhor posicionamento dos dispositivos relacionados ao método a ser aplicado.

Na Figura 27 são apresentados num único plano o conjunto das cinco SEV's com suas respectivas curvas de resistividade e camadas modeladas.

Observa-se o nível do solo e a disposição das cinco sondagens elétricas SEV's, representadas por setas em vermelho. As distâncias entre as SEV's são aproximadas e a escala apresentada abaixo do nível do solo é logarítmica cuja finalidade é mostrar os valores das variações de resistividade aparente (Ohm.m) das curvas de campo (em preto) e das curvas geradas pelo modelo (em vermelho).

A profundidade apresentada no eixo das ordenadas se encontra também na escala logarítmica, e por meio desta pode-se observar as espessuras das camadas modeladas e dos horizontes do solo e substrato rochoso bem como a base do lençol freático, o nível d'água e a posição do aqüífero freático.

Na parte superior da figura estão representados por retângulos coloridos os horizontes de solo A, B e C, o Substrato Rochoso e a Zona Saturada. As linhas representadas em marrom e vermelho identificam os limites de solo e rocha, ou seja, entre as linhas marrons se encontra o solo e entre a linha marrom e vermelha o substrato rochoso e abaixo da linha vermelha a zona saturada. As linhas foram limitadas para o solo, a partir do final da segunda camada modelada relativa a cada SEV. Estas foram interligadas por projeção da segunda camada da primeira SEV





para a segunda camada da segunda SEV, e assim sucessivamente. O limite relativo ao substrato rochoso, partiu do limite do solo até o final da terceira camada de todas as SEV's, e obedeceu ao mesmo critério estabelecido para a definição do solo. Dentro da mesma linha de procedimento foi limitada a zona saturada, a partir do início da quarta camada.

Por meio da Figura 27 pode-se ter uma idéia das espessuras de solos e rochas, mas a identificação mais aproximada será apresentada na próxima figura. Os resultados obtidos em cada SEV, ou seja, relativos a associação entre solo e substrato rochoso com as camadas modeladas vão constituir as colunas geoelétricas. Com base nas colunas geoelétricas obtidas para cada SEV, foi construída uma seção geoelétrica representativa da vertente, no intervalo compreendido entre a primeira e quinta SEV's, totalizando 400 m à montante da vertente. Esse modelo geoelétrico pode ser observado na Figura 28.



Figura 28 - Modelo geoelétrico da vertente, resultado da interpretação das curvas de resistividade aparente.

Cada retângulo vertical, com sua SEV correspondente, representa uma coluna geoelétrica, que contém as informações das espessuras das camadas e

consequentemente das subcamadas, obtidas no processo de modelamento. Para a construção da seção geoelétrica, buscou-se aproximar os intervalos referentes as camadas modeladas, por correlação, com intervalos das mesmas camadas modeladas da próxima coluna geoelétrica, permitindo com isso construir no intervalo das colunas, um modelo aproximado das camadas obtidas em todo o processo.

Aplicando o mesmo processo para as demais colunas geoelétricas pode-se construir um modelo representativo da seção geoelétrica para o intervalo onde foram realizados os pontos de investigação geofísica. Os resultados podem ser observados na Figura 28 onde no eixo das ordenadas se encontram representados as variações de altitude e no eixo das abscissas as distâncias entre os pontos de SEV's. Na legenda do lado direito da figura estão representadas as variações de resistividades elétricas por camada modelada.

### **CAPÍTULO V**

### 5 CONCLUSÕES

Ensaios geofísicos por meio de Sondagem Elétrica Vertical permitiram, por meio da análise quantitativa, distinguir, identificar e relacionar as camadas de diferentes resistividades elétricas aos horizontes de solos e do substrato rochoso. Foi possível também determinar as espessuras das camadas, subsidiando a interpretação de determinadas características ao longo da vertente estudada, bem como a dedução de horizontes pedológicos, nos locais sem informação direta.

Foram construídos modelos geoelétricos individuais que mostram as espessuras das camadas e as variações de resistividade elétrica resultantes do processo de modelamento. Posteriormente foram associados às camadas modeladas os dados de pedologia e litologia obtidos, ressaltando que, nos primeiros metros foram identificados até três horizontes. Não foi possível por meio da configuração dos eletrodos, identificar as variações de resistividade elétrica que correspondessem a horizontes com espessura menores que 0,30 m, em função das medidas de AB/2  $\geq$  1,0 m.

Os horizontes iniciais com espessuras menores que 0,30 m foram associados aos horizontes subseqüentes para comporem as espessuras das camadas obtidas no processo de modelamento, ou seja, uma camada geoelétrica esta associada a um ou mais horizontes de solo. Para a primeira SEV os valores de resistividade elétrica da primeira camada à terceira camada, foram menores que os demais valores das mesmas camadas nas demais SEV's. esse resultado esta diretamente relacionado a presença de umidade nos horizontes investigados.

Na SEV02, realizada em Latossolo Vermelho-Amarelo, os valores de resistividade elétrica foram superiores aos obtidos para a primeira camada das SEV's subseqüentes, realizadas em Latossolo Vermelho. As diferenças de resistividade elétrica devem estar relacionadas à textura que em Latossolos Vermelho é mais argilosa, permitindo maior concentração de água, enquanto que em Latossolos Vermelho-Amarelo é mais arenosa, facilitando o escoamento da água da chuva. Um outro fator que deve ser levado em consideração a esse respeito, é em relação às alterações físicas causadas pelos processos de manejo do solo. Algumas áreas estão mais compactadas que outras, alterando a constituição dos agregados, o que influencia também os resultados obtidos.

Foi possível associar as variações de resistividade elétrica à presença do nível d'água do aqüífero freático observados nas trincheiras e aprofundamento destas por tradagem, e relativas às SEV's 01 e 02. A quarta camada de todas as SEV's mostra através das curvas modeladas que a partir de aproximadamente 30 m, os valores de resistividade elétrica diminuem indicando a presença abaixo desta profundidade de zona saturada.

A associação dos dados geofísicos com os dados de pedologia e litologia permitiram a construção de uma seção geoelétrica representativa do intervalo onde foram localizadas as SEV's ao longo da vertente estudada.

A presença de concreções ferruginosas encontradas na segunda camada permitiu separar por meio da resistividade elétrica, os horizontes do solo e o substrato rochoso.

Foi possível distinguir o substrato rochoso, associado à Formação Cachoeirinha, por meio dos valores de resistividade elétrica obtidos na terceira camada e apoiados nas informações de pedologia levantadas na área de estudo, iniciando a uma profundidade média de 4,7 m.

Os resultados de resistividade aparente obtidos na terceira camada deste trabalho, que atingiu a profundidade média aproximada de 26,8 m, estão de acordo com os valores obtidos por Pereira (2005), em profundidade média aproximada de 21 m, na mesma região. Estas informações identificaram a esta profundidade, com base nas características litológicas, a presença da Formação Cachoeirinha. Os solos nas duas áreas trabalhadas apresentam resistividades aparentes bem distintas em função da textura.

Em relação ao funcionamento hídrico, a grande permeabilidade e a alta porosidade dos Latossolos e a sua homogeneidade, permitem a infiltração das águas das chuvas para grandes profundidades, até encontrar camadas impermeáveis. Essa característica pode ser identificada em todas as curvas referentes as sondagens elétricas, onde na segunda camada ajustada todos os valores de resistividade elétrica obtidos indicaram a presença de horizonte com bastante umidade.

Objetivando evitar maiores dificuldades quando da análise dos dados obtidos por meio das investigações diretas e indiretas, e na integração destes, sugerimos:

- ✓ Para que seja possível visualizar os primeiros horizontes de solo, que são mais rasos, é necessário reduzir o espaçamento dos eletrodos para valores menores que 1 metro;
- ✓ As obtenções de dados diretos e indiretos não devem ser feitos em épocas diferentes, para não dificultar as análises quantitativas dos dados;
- Análises mais detalhadas do ponto de vista físico e químico seriam interessantes e contribuiriam para melhorar as relações entre as variações de resistividade elétrica e as variações dos horizontes de solos e rochas;

### 6 **REFERÊNCIAS**

BERTONI, J; NETO, F. L. **Conservação do Solo**. 5ª edição, Editora Ícone. São Paulo, p 13 – 44.2005.

BOBACHEV, A. A; MODIN, I. N; PERVAGO, E. V; SHEVIN, V.A; **IPW2Win– Programs' set for 1D SEV data interpretation.** Moscou State University -Geological Faculty– Departament of Geophysics 1999. <<u>www.geol.msu.ru/</u> <u>deps/geophys/rec\_labe.htm.IPI\_min.doc</u>> acesso:13/02/2005.

BRAGA, A. C. O. **Métodos Geoelétricos Aplicados – Módulo Hidrogeologia**. Apostila obtida por meio digital. Rio Claro: Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista. p 91. 2002.

CAMPOS, S.V. **-2002.** Dissertação (Mestrado), 154p. Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária. Universidade Federal de Mato Grosso. 2005.

COSTA, J. B. **Caracterização e constituição do solo.** 7<sup>a</sup> edição. Fundação Galouste Gulbenkian. Lisboa. 2004.

CUTRIM, A. O; REBOUÇAS, A. C. Aplicação de sondagem elétrica na estimativa do topo e da espessura de unidades geológicas da bacia do Paraná na cidade de Rondonópolis – MT. **Revista Brasileira de Geofísica**. v 23(1). 2005.

DACT. Departamento de Ambiente e Ciências da Terra. **Apostila de Geofísica Ambiental** . Engenharia do Ambiente. Universidade do Algarve. 2005. <a href="http://w3.ualg.pt/~jluis/files/folhas\_cap3.pdf">http://w3.ualg.pt/~jluis/files/folhas\_cap3.pdf</a> acesso: 25/07/2006.

EMBRAPA –**Sistema Brasileiro de Classificação de Solos.** SiBCS, EMBRAPA Solos, Rio de Janeiro,1999.

FERNANDES, C. E. M. **Fundamentos de prospecção geofisica.** Editora Interciencia. Rio de Janeiro. 190 p. 1982.

FIGUERÓLA, J. C. **Tratado de Geofísica Aplicada.** 2ª edição. Instituto Geologico y Minero de Espanha, Madrid. 1974.

GOMES, A. G; VARRIALE, M. C. Modelagem de Ecossistemas: Uma introdução. Editora UFSM. 2ª edição. Santa Maria. 503p. 2004.

GONÇALVES, K. C. O. Estudo morfopedológico aplicado à interpretação do funcionamento hídrico de vertente em micro-bacia representativa da Chapada dos Guimarães, no município de Primavera do Leste (MT), Cuiabá. Monografia de Conclusão de Curso de Geologia. Universidade Federal de Mato Grosso. 104p. 2003.

**GOOGLE EARTH**. Free Software Foundation, Inc, Boston, MA 02110-1301 USA. Version 2, June 1991. acessado em 01/02/2007

GUERRA, J. A.; CUNHA, S. B. Geomorfologia e Meio ambiente. Bertrand Brasil, Rio de Janeiro. 5<sup>a</sup> edição. 372p. 2004.

IBGE. Mapa de compartimentos de relevos do estado de Mato Grosso. <<u>www.IBGE.gov.br/mapas/</u> > acesso em 01/04/2007

KEAREY, P.; BROOKS, M. An Introduction to Geophysical Exploration. 2<sup>a</sup> ed Blackwell, .Cambridge, p 173 – 195. 1991.

MOREIRA, C. V. R; NETO, A. G. P. Clima e Relevo. In: OLIVEIRA, A. M. S. **Geologia de Engenharia**, p 69 a 85. Oficina de Textos, São Paulo.. 1998

MARTINS, S. G; SILVA, M. L. N; CURI, N; FERREIRA, M. M. Avaliação fundamentos de atributos físicos de um Latossolo Vermelho Distroférrico sob diferentes povoamentos florestais. **CERNE**, V.8, N.1, P.032-041, 2002.

MENDONÇA, A. E. C; SÉCOLO, D. B. Interpretação morfopedológica e do funcionamento hídrico da microbacia do Córrego da Ilha afluente do Rio das Mortes no município de Campo Verde (MT). Trabalho de Conclusão de Curso de Geologia. Universidade Federal de Mato Grosso. 2007

MOREIRA, M. A. Fundamentos do Sensoriamento Remoto e Metodologia de Aplicação. Editora UFV, Viçosa. 3ª edição, p 45 – 60. 2005.

MOURA, I. B; Métodos geofísicos aplicados à caracterização de vertentes como subsidio a conservação ambiental. Dissertação (Mestrado). Universidade Feceral de Mato Grosso, Instituto de Biociências, UFMT. 79 p. 2003.

NASCIMENTO, C. C; PIRES, A. C. B; MORAES, R. A. V. Reconhecimento de solos por meio de resistividade elétrica e radiação gama. **Revista Brasileira de Geociências**. 34(3):383-392, setembro de 2004.

NUNES, L. M. **Notas sobre o uso de geofísica e geoestatística em hidrogeologia**. Departamento de ambiente e Ciências da Terra. Universidade do Algarve 2003..<<u>www.valg.pt/npfcma/docs</u>> acesso: 25/07/2006.

OLIVEIRA, B. J. Novo sistema brasileiro de classificação de solos. Informações técnicas. **O Agronômico**, 53 (1) 2001.

OLIVEIRA, C; PORSANI, J. L; SHIRAIWA, S. Caracterização do solo pelo uso em agricultura de precisão através de métodos elétricos e eletromagnéticos (GPR). Resultados preliminares. Anais do 9<sup>th</sup> International Congrees of the Brasilian Geophisical Society, SBGf, Salvador, 2005.

ORELLANA, E. **Prospection geoelétrica em corrente continua**. Paraninfo. Madrid. 523 p. 1972.

PARASNIS, D. S. Princípios de Geofísica Aplicada. Paraninfo, Madrid, 1970.

PEREIRA,M. J. Geofísica aplicada para caracterização de cobertura pedológica de uma vertente na região de Dom Aquino – MT. Dissertação (Mestrado), 85p. Universidade Federal de Mato Grosso. Instituto de Ciências Exatas e da Terra. 2005.

PORSANI, J. L. **Método GPR: Aplicações em Geologia, Geotecnia, Meio Ambiente e Planejamento Urbano.** 8º Simpósio de Geologia do Centro Oeste. Nini Curso. Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá – MT. 2003.

PRODEAGRO. Manual de gestão Ambiental de Obras Rodoviárias em Mato Grosso. Cuiabá-MT. 1997.

REYNOLDS, J. M. An Introduction to Applied and Environmental Geophysics. V 36(5). p 418 – 488. 1997.

ROMAN, F. J. S. S. **Prospeccion Geofísica – Sondeos Eléctricos Verticales**. Departamento de geologia – Universidade Salamanca – Espana. 2005. <<u>http://web.usal.es/~javisan/hidro/temas/SEV.pdf</u>>. acesso: 10/09/2006.

ROSS, J. L. S. Geomorfologia ambiente e planejamento (Repensando a geografia). 8 ª edição. Editora Contexto – São Paulo, 2005.

ROSS, J.L.S. E SANTOS, L.M. Geomorfologia da Folha SD.21-Cuiabá.

In: SACASI, R. J. V; MOURA, H. P; OLIVEIRA, M. J; ROSÁRIO, J. M. L; SOUTO, F. A. Aplicação de Sondagens Elétricas de Resistividade No estudo dos Recursos Hídricos Subterrâneos da Localidade De Marabaixo III - Macapá / Ap. Instituto de Pesquisas Científicas e Tecnológicas do Estado do Amapá (IEPA) / Divisão de Geologia e Recursos Hídricos(DGRH). Macapá/AP. 2006

SALOMÃO, F. X. T; ANTUNES, F. Solos. In: OLIVEIRA, A. M. S. Geologia de Engenharia, p 87 a 99. São Paulo. Oficina de Textos. 1998.

SANSONOWSKI, R. C. Modelagem numérica como instrumento de apoio à avaliação ambiental. 2003. Dissertação Mestrado. UNICAMP, São Paulo. 121p. 2003.

SEPLAN – **Projeto de Desenvolvimento Agroambiental do Estado de Mato Grosso**. Zoneamento Sócio Econômico Ecológico de Mato Grosso – ZSEE 2002. <<u>www.seplan.mt.gov.br/</u>> acesso: 05/12/2007.

SILVA, L. A. Metodologia geofísica para caracterização pedológica de uma vertente associada a processo erosivo linear no município de sorriso – MT. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Campina Grande. Curso de Pós Graduação em engenharia civil. Campina Grande – Paraíba. 258p. 2002.

SUMMAN, D. C; SHIRAIWA, S; SALOMÃO, F. X. T; MENDONÇA, A. E. C. Reprocessamento e interpretação das imagens obtidas com GPR em uma vertente na região de Campo Verde – MT. Anais do 43° Congresso Brasileiro de Geologia. Aracaju – SE. 2006.

TAGG, G. F. Earth resistances. Tower House, London, 1964

TELFORD, W. M; GELDART, L; SHERIFF, R. E. **Applied geophysics**. 2 <sup>a</sup> ed. Cambridge University Press. Cambridge. 770p. 1990.

WARD, S. H. Resistivy and Induced Polarization Methods. In: WARD, S.H. (Ed) **Geotechnical and Environmental Geophysics**, Society of Exploration Geophysicists, V. I, p. 147 - 189, 1990.

WESKA, R. K. Geologia da região diamantífera de Poxoréu e áreas adjacentes, Mato Grosso. 1996. 219p. Tese de Dotourado. Universidade de São Paulo, SãoPaulo, 1996.

WESKA, R. K. Uma síntese do cretáceo superior mato-grossense. Revista Geociências, v. 25, n. 1, p. 71-81, 2006.

# ANEXOS

# Anexo A - Descrição das trincheiras

### Trincheira 04

Horiz.	Prof. (cm)	cor	textura	Estrutura (classe,tama- nho e grau)	raízes	Transição	Porosidade	Consistência seca	Consistência Úmida	Consistênci a molhada	Consistência Muito molhada
Ap	0-22	10YR 5/6	argilosa	Sem estrutura (compacta)	poucas	Clara e plana	Ausente	dura	Muito friável	Ligeirament e plástica	Ligeiramente pegajosa
A/Bw	22-40	5YR 5/8	argilosa	Sem estrutura (compacta)	ausentes	Gradual	Poucos poros	dura	Muito friável	plástica	Ligeiramente pegajosa
Bw	40-95	5YR 5/6	argilosa	Granular, grande e fraca	ausentes	Gradual e plana	Muitos poros	macio	Muito friável	plástica	pegajosa
Bcf1)	95- 135	5YR5/8	argilosa	Granular, grande e fraca	ausentes	Gradual e plana	Muitos poros	macio	Muito friável	plástica	Ligeiramente pegajosa
Bcf2	135	10YR 7/8 E 2,5YR 5/6	argilosa	Granular, grande e muito fraca	ausentes	ausente	Muitos poros	macio	Muito friável	plástica	Ligeiramente plástica

#### Trincheira 05

Horiz.	Prof. (cm)	cor	textura	Estrutura (classe, tamanho e grau)	raízes	Transição	Porosidade	Consistência seca	Consistência Úmida	Consistên cia molhada	Consistência Muito molhada
Ap	0-24	5YR 4/4	argilosa	Sem estrutura duro	muitas	Clara e plana	Ausente	dura	Muito friável	plástica	Ligeiramente pegajosa
Bw	24-210	5YR 5/8	argilosa	granular	Poucas a ausentes	Gradual e plana	Poucos poros (muitos)	Ligeirament e dura a macio	Muito friável	plástica	Ligeiramente pegajosa

Horiz.	Prof (cm)	cor	textura	Estrutura (classe tamanho e grau)	raízes	Transição	Porosidade	Consistência seca	Consistência Úmida	Consistênc ia molhada	Consistência Muito molhada
Ар	0-15	10YR 5/8	argilosa	Granular, fraca, pequena e maciça.	muitas	Plana e Clara	Muitos poros (de raízes)	dura	Muito friável	plástica	pegajosa
A/Bw	15-28	2,5YR 5/6	argilosa	Granular	raras	Plana e clara	Ausentes	dura	firme	plástica	pegajosa
Bw/A	28-80	2,5YR 5/8	argilosa	Granular grande e fraca	raras	Gradual	Muitos poros	Ligeiramente duro	Muito friável	plástica	pegajosa
Bw	80-210	2,5YR 4/8	argilosa	granular grande e fraca	ausentes		Muitos poros facilmente visíveis	macio	Muito friável	plástica	pegajosa

· ·		•	
l'rin	ch	pira	11/
<b>I</b> I I I I I	un	una	<b>U</b> /

Horiz.	Prof. ( cm )	cor	textura	Estrutura (classe ,tamanho e grau)	raízes	Transição	Porosidade	Consistência seca	Consistência Úmida	Consistênc ia molhada	Consistência Muito molhada
Ар	0-10	10YR 5/8	argilosa	Granular, pequena e fraca.	Finas e medias	Plana e clara	Ausente	macia	Muito friável	plástica	pegajosa
A/B	10-30	10YR 5/6	argilosa	Granular, grande e moderada.	Poucas e finas	Gradual		Ligeiramente dura	Muito friável	plástica	pegajosa
B/A	30-48	2,5YR 4/4	argilosa	Granular grande e moderada	poucos	Gradual e plana	Muitos poros	Ligeiramente duro	Muito friável	plástica	pegajosa
Bw	48- 200	2,5YR4/8	argilosa	Granular grande e fraca	Poucas e finas	Gradual	Muitos poros	macio	Muito friável	plástica	pegajosa

# Anexo B - Descrição das Sondagens a Trado

5 cm	Não foram avaliados;
10 cm	Horizonte argiloso de cor 10YR4/6 com microagregações;
25 cm	Horizonte argiloso de cor 10YR4/6 com microagregações;
40 cm	Horizonte argiloso com microagregações e presença de matriz de cor 10YR
	5/6 e outro material de cor 10YR 5/8 (MO);
50 cm	Horizonte argiloso de cor 7,5 YR5/8 homogêneo e com microagregações;
60 cm	Horizonte argiloso de cor 7,5 YR5/8 homogêneo e com microagregações;
70 cm	Horizonte argiloso de cor 7,5 YR5/8 homogêneo e com microagregações;
75 cm	Horizonte argiloso de cor 7,5 YR5/8 homogêneo e com microagregações;
80 cm	Horizonte argiloso de cor 7,5 YR5/8 homogêneo e com microagregações;
90 cm	Aparecimento de raros volumes milimétricos de plintita e o horizonte fica
	mais úmido e a microagregação esta desaparecendo;
100 cm	Horizonte úmido de cor 7,5 YR 7/8, com raros volumes de plintita e
	ausência de microagregação;
110 cm	A quantidade de plintita aumenta porem ocorre o domínio da cor amarela
	(7,5 YR7/8) e a umidade aumenta ocasionando o desaparecimento da
	microagregação;
140 cm	Ocorre aumento da umidade e apresenta pouca plintita, horizonte com
	domínio da cor 7,5 YR 7/8;
150 cm	Ocorre aumento da umidade e apresenta pouca plintita, horizonte com
	domínio da cor 7,5 YR 7/8;
160 cm	Cor 7,5 YR6/6 e pouca plintita a qual influencia no avermelhamento do
	horizonte;

### ST7 - Localização: Início da área plantada

170 cm	Horizonte bastante úmido com domínio da cor 5,0YR5/6, não ocorre
	presença de plintita;
180 cm	Horizonte bastante úmido com domínio da cor 5,0YR5/6, não ocorre
	presença de plintita, ocorre sloop;
195 cm	Horizonte úmido com presença da cor 10YR5/8 com domínio de 5,0 YR5/6,
	não ocorre mais plintita;
200 cm	Horizonte úmido com presença da cor 10YR5/8 com domínio de 5,0 YR5/6,
	não ocorre mais plintita;
210 cm	Horizonte úmido com presença da cor 10YR5/8 com domínio de 5,0YR5/6,
	não ocorre mais plintita;
240 cm	Presença de concreções milimétricas e centimétricas ligeiramente
	arredondadas com matriz semelhantes a anterior de cor 5,0YR5/6;
265 cm	Horizonte com domínio de plintita e sua cor e 2,5YR4/8, base do lençol.
275 cm	Horizonte com domínio de plintita e sua cor e 2,5YR4/8, ocorre também
	presença de material de cor 5,0 YR5/6, base do lençol;
280 cm	Horizonte argiloso seco;
	*o nível d'água subiu 35cm em 2h.

# ST8 - Localização: Área cultivada

5 cm	Horizonte argiloso com vestígios de microagregação e de cor 10YR 5/8
15 cm	Horizonte argiloso com vestígios de microagregação e de cor 10YR 5/8;
20 cm	Horizonte argiloso com vestígios de microagregação e de cor 10YR 5/8;
30 cm	Horizonte argiloso com vestígios de microagregação e de cor 5 YR4/6;
35 cm	Horizonte argiloso com vestígios de microagregação e de cor 5 YR5/8;
40 cm	Horizonte argiloso com vestígios de microagregação e de cor 5 YR5/8;
50 cm	Horizonte argiloso com vestígios de microagregação e de cor 5 YR5/8;
65 cm	Horizonte argiloso com vestígios de microagregação e de cor 5 YR5/8;
80 cm	Horizonte argiloso com vestígios de microagregação e de cor 5 YR5/8, com
	presença de umidade;
100 cm	Horizonte argiloso com vestígios de microagregação e de cor 5 YR5/8, com

	presença de umidade;
135 cm	Desaparecem as microagregações, mas o solo continua úmido;
170 cm	Desaparecem as microagregações, mas o solo continua úmido;
180 cm	Horizonte argiloso e úmido de cor homogênea 2,5YR5/8;
	*a cor vermelha mudou gradualmente sem aparecimento de volumes de
	plintita, a cor passou de 10YR para 5YR sem ter intermediação do 7,5YR;
200 cm	Horizonte argiloso e úmido de cor homogênea 2,5YR5/8;
240 cm	Presença de concreções de cor 2,5YR5/8 e esta úmido;
250 cm	Horizonte argiloso, úmido com poucas concreções;
260 cm	Horizonte argiloso, úmido com poucas concreções;
270 cm	Presença de pequenas quantidades de plintita e de concreções de cor
	2,5YR5/8, úmido;
280 cm	Presença de 50% de plintita de cor 10YR4/8 e a matriz de cor 2,5YR,
	argiloso, úmido e com poucas concreções;
285 cm	Horizonte argiloso mais seco e com domínio de plintita e de sua cor
	2,5 YR4/8;
290 cm	Horizonte argiloso homogêneo, sem concreções e seco;
	*esta seria a base do lençol;
300 cm	Horizonte argiloso homogêneo, sem concreções e seco.

#### APROFUNDAMENTO DA TRINCHEIRA 6 POR TRADAGEM

#### Início em 210 cm

	*úmida dasda a inicia
20 cm	Horizonte argiloso, homogêneo, úmido e duro de cor 2,5YR4/8;
45 cm	Começa a aparecer pouquíssimas concreções milimétricas;
60 cm	Fica cada vez mais vermelho mais seco e de cor 10R4/6;
175 cm	Gradualmente fica menos vermelho 2,5YR4/8;
250 cm	Nível de laterita, ligeiramente arredondados milimétricas e centimétricas
	demonstrando ser uma couraça;
260 cm	Final da tradagem.

#### APROFUNDAMENTO DA TRINCHEIRA 5 POR TRADAGEM

30 cm	Horizonte argiloso de cor 2,5 YR5/8, com raros volumes amarelados
	(úmido)
40 cm	Horizonte argiloso de cor 2,5 YR5/8, com raro volumes amarelados
	(úmido)
50 cm	Horizonte argiloso de cor 2,5 YR5/8,com raro volumes amarelados
	(úmido)
60 cm	Horizonte argiloso de cor 2,5 YR5/8, com maior quantidade de amarelo
	de cor 10YR 6/6
110 cm	Aumento do amarelo, parte do amarelo são concreções moles (plintita?)
130 cm	Maior parte de amarelo
175 cm	Domínio do amarelo de cor 10YR6/6 e o vermelho e plintita
	*presença de fragmentos de arenito que apresenta internamente a cor
	vermelha e externamente a cor amarela (Formação Cachoeirinha ).A
	plintita forma-se a partir do arenito.
	Quando ocorre domínio do vermelho as camadas são secas (base do.
	lençol),provavelmente a película amarela é formada a partir da vermelha
190 cm	Domínio do amarelo de cor 10YR6/6 e o vermelho é plintita
200 cm	Domínio do amarelo de cor 10YR6/6 e o vermelho e plintita
230 cm	sloop
260 a 300	Ocorre um tubo de piping(?)
cm	
325 cm	Alteração do arenito muito fino (siltito ou argilito) e seco ,se apresenta
	de cor vermelho e com manchas amareladas
330 cm	Final da tradagem

### Início em 225 cm

### APROFUNDAMENTO DA TRINCHEIRA 4 POR TRADAGEM

#### Início em 230 cm

10 cm	Domínio de plintita de cor 2,5 Y4/8 com matriz argilosa amarela;
20 cm	Domínio de plintita de cor 2,5 Y4/8 com matriz argilosa amarela;
30 cm	Domínio de plintita de cor 2,5 Y4/8 com matriz argilosa amarela;
50 cm	Sloop;
70 cm	Horizonte vermelho e mais seco de cor 2,5 Y 4/8;
150 cm	Desaparece a plintita e fica mais seco;
170 cm	Aparecem concreções e ocorre domínio de vermelho com manchas
	amareladas;
175 cm	Final da tradagem

		U	NIVER	SIDAD	EF	EDER/	AL DE M	ИАТО С	ROSSO					
			I	ISTITUTO	DE C	CIÊNCIAS	EXATAS I	E DA TERR	4					
	NGEA - NÚCLEO DE GEOFÍSICA E ESTUDOS AMBIENTAIS													
	PROJETO	ação m	itigadoı	ra			DATA			PAG.				
	LOCAL	Faz. Sta	Juliana			NIVE	LAMENT	O Nº						
	OPERADOR	Ana Evel	ine/Xime	nes		A	UXILIARE	S		-0,465				
				VISADAS			СОТ	A de Refer	ência	640,845				
				(R+)-Ré Ré-(R-)			(V+)-Va Va-(V-)		DESNÍVEL					
X(m)	Nº Ponto		RÉ	(R+)-(R-)		VANTE	(V+)-(V-)	Nº Ponto	Ré-Vante	Cota	X(m)			
10,0	2	R+	170,5	0,5	V+	124,2	0,7	1,5			13,5			
	1	Ré	170,0	1,5	Va	123,5	0,7	2	46,5	641,310				
	ST1	R-	168,5	2,0	V-	122,8	1,4	ST2						
13,5	3,5	R+	173,6	1,8	V+	97,6	1,8	3,9			20,9			
	2	Ré	171,8	1,6	Va	95,8	2,1	3	76,0	642,070		641,780		
	ST2	R-	170,2	3,4	V-	93,7	3,9	ST3						
20,9	2,6	R+	181,4	1,9	V+	59,3	3,2	6,3			29,8			
	3	Ré	179,5	0,8	Va	56,1	3,0	4	123,4	643,304		642,540		
	ST3/T1	R-	178,7	2,7	V-	53,1	6,2	ST4						
29,8	4,4	R+	188,5	2,3	V+	126,3	3,2	6,2			40,4			
	4	Ré	186,2	2,0	Va	123,1	3,0	5	63,1	643,935		643,770		
	ST4/T2	R-	184,2	4,3	V-	120,1	6,2	ST5						
40,4	4,3	R+	185,4	2,3	V+	70,1	7,2	14,8			59,5			
	5	Ré	183,1	2,1	Va	62,9	7,4	6	120,2	645,137		644,460		
	ST5/T3	R-	181,0	4,4	V-	55,5	14,6	ST6						
59,5	4,5	R+	167,0	2,0	V+	110,7	2,7	5,65			69,7			
	6	Ré	165,0	2,4	Va	108	2,9	7	57,0	645,707		645,600		
	ST6	R-	162,6	4,4	V-	105,1	5,6	ST7						
69,7	10,3	R+	200,0	5,1	V+	44,1	11,6	24,25			104,2			
	7	Ré	194,9	4,9	Va	32,5	12,3	8	162,4	647,331		646,170		
	ST7/T4=E1	R-	190,0	10,0	V-	20,2	23,9	ST8						
104,2	16,3	R+	223,0	8,0	V+	48,1	12,2	25			145,5			
	8	Ré	215,0	8,1	Va	35,9	12,4		179,1	649,122		648,000		
	ST8	R-	206,9	16,1	V-	23,5	24,6	9						
145,5	33,5	R+	271,5	17,5	V+	70,8	15,8	30			209,0			
	9	Ré	254,0	18,0	Va	55	14,2		199,0	651,112		649,990		
	T5=E2	R-	236,0	35,5	V-	40,8	30,0	10						
209,0	20,5	R+	241,8	10,6	V+	99,5	15,1	30			259,5			
	10	Ré	231,2	10,1	Va	84,4	14,9	11	146,8	652,580		651,460		
		R-	221,1	20,7	V-	69,5	30,0							
259,5	20	R+	237,5	10,0	V+	74,2	14,7	30			309,5			
	11	Ré	227,5	10,0	Va	59,5	15,0	Т6	168,0	654,260		653,140		
		R-	217,5	20,0	V-	44,5	29,7							

# Anexo C - Nivelamento Topográfico

					-							
309,5	20	R+	189,0	10,0	V+	81	15,0	30			359,5	
	12	Ré	179,0	10,0	Va	66	15,0		113,0	655,390		654,270
	T6=E3	R-	169,0	20,0	V-	51	30,0	13				,
359,5	20	R+	199,3	10,3	V+	95,5	15,0	30			409,5	
	13	Ré	189,0	10,0	Va	80,5	15,0	14	108,5	656,475		655,350
		R-	179,0	20,3	V-	65,5	30,0					
409,5	20	R+	209,0	10,0	V+	94	15,0	30			459,5	
	14	Ré	199,0	10,0	Va	79	15,0	15	120,0	657,675		656,730
		R-	189,0	20,0	V-	64	30,0					
459,5	20	R+	194,5	10,0	V+	81	15,0	30			509,5	
	15	Ré	184,5	10,0	Va	66	15,0	16	118,5	658,860		657,730
		R-	174,5	20,0	V-	51	30,0					
509,5	20	R+	188,5	10,0	V+	94,5	15,0	30			559,5	
	16	Ré	178,5	10,0	Va	79,5	15,0	17	99,0	659,850		658,720
		R-	168,5	20,0	V-	64,5	30,0					
559,5	20	R+	201,5	10,0	V+	115	15,0	30			609,5	
	17	Ré	191,5	10,0	Va	100	15,0	18	91,5	660,765		659,630
		R-	181,5	20,0	V-	85	30,0					
609,5	20	R+	197,5	10,0	V+	96	15,0	30			659,5	
	18	Ré	187,5	10,0	Va	81	15,0	19	106,5	661,830		660,700
		R-	177,5	20,0	V-	66	30,0					
659,5	20	R+	205,0	10,0	V+	162	24,5	50			729,5	
	19	Ré	195,0	10,0	Va	137,5	24,7	20	57,5	662,405		661,270
		R-	185,0	20,0	V-	112,8	49,2					
729,5	50	R+	260,0	25,0	V+	70	25,0	50			829,5	
	20	Ré	235,0	25,0	Va	45	25,0	21	190,0	664,305		663,170
		R-	210,0	50,0	V-	20	50,0					
829,5	50	R+	268,0	25,0	V+	83	24,5	50			929,5	
	21	Ré	243,0	25,0	Va	58,5	24,5	22	184,5	666,150		665,000
		R-	218,0	50,0	V-	34	49,0					
929,5	50	R+	256,0	25,0	V+	94,5	25,0	50			1029,5	
	22	Ré	231,0	25,0	Va	69,5	25,0	23	161,5	667,765		666,610
		R-	206,0	50,0	V-	44,5	50,0					
1029,5	27	R+	208,4	13,9	V+	100,1	24,9	50			1106,5	
	23	Ré	194,5	13,0	Va	75,2	25,0	24	119,3	668,958		667,800
	T7	R-	181,5	26,9	V-	50,2	49,9					
1106,5	50	R+	247,5	25,0	V+	107,5	25,0	50			1206,5	
	24	Ré	222,5	25,0	Va	82,5	25,5	25	140,0	670,358		669,200
		R-	197,5	50,0	V-	57	50,5					
1206,5	32	R+	221,0	16,0	V+	146,5	8,9	18			1256,5	
	25	Ré	205,0	16,0	Va	137,6	8,9	26	67,4	671,032		669,880
		R-	189,0	32,0	V-	128,7	17,8					

Tabela	Tabela de Precipitações Pluviométricas - Região de Campo												
Local: Ver	Verde/MTLocal: Vertente Córrego da Ilha, Subbacia Rio das Mortes - Campo Verde / MT08 / 2005 a 03 / 2006												
Coordenada	as Geográf	icas: Lat. 1	5° 16' 14"	; Long. 54°	' 51' 50''								
	2005	2005	2005	2005	2005	2006	2006	2006					
Dia	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar					
1	0	0	17	18	0	12	4	0					
2	0	0	2	35	12	0	0	0					
3	0	0	15	0	5	0	17	0					
4	0	0	22	9	15	40	21	65					
5	0	12	0	6	0	0	12	0					
6	0	0	43	3	40	44	4	0					
7	0	0	0	4	0	12	17	30					
8	0	0	0	23	0	0	0	0					
9	0	0	0	0	0	0	23	0					
10	0	0	0	3	20	0	0	6					
11	0	0	0	4	44	0	32	0					
12	0	0	5	0	3	10	0	0					
13	0	0	0	0	4	35	0	0					
14	0	0	18	10	0	0	26	0					
15	0	0	10	15	28	0	18	0					
16	0	0	0	46	36	0	0	0					
17	0	0	0	0	4	0	11	16					
18	0	0	0	0	0	0	0	26					
19	0	0	18	34	0	18	6	33					
20	0	0	0	0	0	0	0	18					
21	0	0	0	0	0	0	0	12					
22	0	0	0	0	0	20	0	28					
23	0	0	7	0	30	0	0	15					
24	0	0	0	55	0	0	11	30					
25	0	30	26	0	0	0	0	31					
26	0	35	0	0	0	11	14	0					
27	0	0	0	8	5	0	11	4					
28	0	12	0	0	50	0	0	26					
29	0	0	48	82	0	0	0	5					
30	0	0	0	0	0	12	0	0					
31	5	0	3	0	25	0	0	19					
Total	5	89	234	355	321	214	227	364					

# Anexo D - Tabela de Precipitação Pluviométrica Local

Fonte: Sementes Bom Futuro – Comunicação pessoal

	UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO												
	IN	ISTIT	<b>ΌΤΟ Γ</b>	DE CIÊNC	IAS EXATA	SED	ΑI	ERRA		1			
	NGEA -	- NÚC	LEO D	E GEOFÍ	SICA E EST	UDOS	A	MBIENTA	IS	1			
PRO	JETO			Acão Mit	igadora			DATA	0	5/09/2005			
LO	CAL			,	Faz.	Sta Jı	ılia	na		noo becaring in such becaring			
Lat	15°	16' 14	4''	Long.	54° 51'	50''		Altitude		639 m			
OPI	ERAD	D Shozo/Carlos AUXILIA Alay/Marcal							Marcelo	Daniel			
		RES AREX/Marcel								Damei			
EQ	OIPAM O	ENISyscal - R2Direção da injeção de correnteNW						NW	fomsev2.xls				
No.	AB/2	MN	SP	V	I	Rho	Q	Ν	Fonte	Observação			
1	1.00	/2	121	2472 16	23.90	430	0	2.5	100 V				
2	1.30	0,3	148	1210.01	20,46	495	0	3.0	100 V				
3	1,30	0.3	160	577.80	19.38	492	0	3.4	100 V				
4	2,40	0,3	168	304,83	22,46	403	0	4,0	100 V				
5	3,20	0,3	172	139,57	19,25	384	0	3,8	100 V				
6	4,20	0,3	174	102,99	23,52	402	0	4,0	100 V				
7	5,50	0,3	177	138,40	46,80	467	0	4,2	100 V				
	5,50	1,0	76	426,19	47,26	414	0	3,7	100 V	Embreagem			
8	7,50	0,3	181	105,68	51,09	608	0	4,4	100 V				
9	10,00	0,3	181	58,80	38,64	796	0	4,3	100 V				
	10,00	1,0	-38	177,45	39,35	701	0	4,3	100 V	Embreagem			
10	13,00	1,0	-37	77,10	22,82	892	0	4,5	100 V				
11	18,00	1,0	-40	65,17	29,22	1132	0	4,9	100 V				
12	24,00	1,0	-43	29,90	19,48	1386	0	5,4	100 V				
	24,00	2,4	110	79,90	19,69	1544	0	5,4	100 V	Embreagem			
13	32,00	1,0	-75	17,73	17,77	1604	0	5,7	100 V				
14	42,00	1,0	-68	14,46	22,00	1820	0	6,4	100 V				
	42,00	2,4	142	38,58	22,28	1993	0	6,5	100 V	Embreagem			
15	55,00	2,4	158	14,67	12,65	2291	0	6,8	100 V				
16	75,00	2,4	176	9,23	17,30	1961	0	8,3	100 V				
17	100,0 0	2,4	182	4,52	23,98	1233	0	10,6	100 V				
	100,0 0	10	10	20,45	24,13	1318	0	9,5	100 V	Embreagem			
18	130,0 0	2,4	200	1,93	28,37	752	0	9,8	100 V				
19	180,0 0	2,4	205	0,38	27,75	288	1	-18,4	100 V				
	180,0 0	10	21	1,70	27,87	309	3	-24,5	400 V	Embreagem			
20	240,0 0	10	30	2,93	96,17	275	3	-146,0	400 V				

### Anexo E - Formulário de SEV's

τ	UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO													
IN	INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS E DA TERRA													
NG	EA - NÚ	CLEO	DE	GEOFÍS	SICA E	ESTU	DO	S AMBIEN	TAIS	_				
PRO	ојето			Acão Mit	igadora			DATA	06	/09/2005				
L	DCAL			,	8	Faz. Si	ta .]	luliana						
Lat	15º 1	8' 14''	1	Long	54° 4	51' 54''		Altitude	6	544.9 m				
OPE	OPERADOR Shozo/Carlos AUXILIARES Alex/Marcelo									Daniel				
EQUIPAMENTO			Sys	cal - R2	Dire	ção da corr	inj ent	jeção de e	NW	fomsev2.xls				
No.	AB/2	MN/ 2	SP	V	I	Rho	Q	Ν	Fonte	Observação				
1	1,00	0,3	*	*	*	*	*	*	*	Overload				
2	1,30	0,3	20	4958,0 0	11,79	3523	0	3,0	100 V	Overload				
3	1,80	0,3	20	3119,0 0	16,70	3081	0	4,1	100 V					
4	2,40	0,3	20	1491,0 0	15,12	2928	0	5,0	100 V					
5	3,20	0,3	20	546,19	11,82	2455	0	5,9	100 V					
6	4,20	0,3	22	166,00	9,43	1617	0	6,4	100 V					
7	5,50	0,3	22	82,30	10,64	1221	0	5,7	100 V					
	5,50	1,0	11 5	229,00	10,71	982	0	5,6	100 V	Embreagem				
8	7,50	0,3	21	28,50	6,99	1202	0	4,9	100 V					
9	10,00	0,3	21	32,80	12,35	1393	0	4,8	100 V					
	10,00	1,0	87	89,40	12,78	1088	0	4,7	100 V	Embreagem				
10	13,00	1,0	88	52,10	10,38	1326	0	5,1	100 V					
11	18,00	1,0	89	38,60	10,83	1810	0	5,9	100 V					
12	24,00	1,0	92	48,00	19,85	2186	0	6,3	100 V					
	24,00	2,4	75	118,60	20,52	2157	0	6,2	100 V	Embreagem				
13	32,00	1,0	87	31,80	20,29	2519	0	7,0	100 V					
14	42,00	1,0	89	18,00	18,41	2710	0	7,5	100 V					
	42,00	2,4	75	43,60	18,73	2679	0	7,5	100 V	Embreagem				
15	55,00	2,4	75	33,80	24,66	2710	0	8,4	100 V					
16	75,00	2,4	74	9,50	14,73	2381	0	9,3	100 V					
17	100,00	2,4	74	4,90	18,33	1765	0	11,0	100 V					
	100,00	10	36 9	23,05	22,48	1593	0	12,0	100 V	Embreagem				
18	130,00	10	35 1	8,11	21,27	1006	0	11,7	100 V					
	130,00	2,4	74	2,24	22,26	1113	0	12,5	100 V	Embreagem				

	UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO													
	INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS E DA TERRA													
	NGEA -	NÚCLI	EOD	E GEOFÍS	ICA E E	STUDO	S A	MBIENTA	IS					
PR	OJETO			Ação Mitiz	gadora			DATA	06	5/09/2005				
L	LOCAL Faz. Sta Juliana													
Lat.	15°	18' 15''		Long.	54° :	51' 57''		Altitude		648,3 m				
OPE	RADOR Shozo/Carlos AUXILIARES Alex/Marcel							Marcelo/	Daniel					
EQ	UIPAME	NTO	Sy	scal - R2	Dire	NW	fomsev2.xls							
No.	AB/2	MN/2	SP	V	Ι	Rho	Q	Ν	Fonte	Observação				
1	1,00	0,3	-9	4103,00	9,99	1957	0	2,7	100 V	Eletrodo Poroso				
2	1,30	0,3	-9	2791,00	11,09	2109	0	3,2	100 V	Eletrodo				
3	1,80	0,3	-9	1694,00	14,48	1929	0	4,3	100 V	Eletrodo				
4	2,40	0,3	-9	703,80	14,01	1491	0	5,3	100 V	Eletrodo Poroso				
5	3,20	0,3	-9	225,20	9,72	1231	0	5,8	100 V	Eletrodo				
6	4,20	0,3	-9	87,85	8,11	995	0	5,8	100 V	Eletrodo				
7	5,50	0,3	-9	114,60	20,83	869	0	4,8	100 V	Eletrodo Poroso				
	5,50	1,0	7	410,70	21,92	861	0	4,9	100 V	Embreagem				
8	7,50	0,3	-11	37,79	12,73	873	0	3,1	100 V	Eletrodo Poroso				
9	10,00	0,3	-12	26,82	12,80	1098	0	3,4	100 V	Eletrodo Poroso				
	10,00	1,0	4	88,80	13,32	1036	0	3,5	100 V	Embreagem				
10	13,00	1,0	4	78,70	16,37	1268	0	3,7	100 V	Eletrodo Poroso				
11	18,00	1,0	4	32,87	9,77	1707	0	4,9	100 V	Eletrodo Poroso				
12	24,00	1,0	4	42,85	18,96	2040	0	4,6	100 V	Eletrodo Poroso				
	24,00	2,4	43	120,39	19,86	2263	0	4,8	100 V	Embreagem				
13	32,00	1,0	3	19,32	13,01	2385	0	4,8	100 V	Eletrodo Poroso				
14	42,00	1,0	3	8,80	9,53	2557	0	5,3	100 V	Eletrodo Poroso				
	42,00	2,4	43	30,74	12,46	2838	0	5,9	100 V	Embreagem				
15	55,00	2,4	43	8,33	5,73	2875	0	6,5	100 V	Eletrodo Poroso				
16	75,00	2,4	43	7,64	11,44	2456	0	7,0	100 V	Eletrodo Poroso				
17	100,00	2,4	44	3,16	11,00	1879	0	7,5	100 V	Eletrodo Poroso				
18	130,00	2	45	1,65	14,80	1230	0	8,1	100 V	Eletrodo P.				

	UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO													
	INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS E DA TERRA 4													
	NGEA	- NÚCL	EO	DE GEOFÍ	SICA E ESTU	JDOS A	MB	IENTAIS		-				
PRO	OJETO			Ação M	litigadora			DATA	07	7/09/2005				
L	DCAL				Faz.	Sta Juli	ana							
Lat.	15°	18' 16''		Long.	54° 52'	00''		Altitude		650,8 m				
OPE	RADOR Shozo/Carlos AUXILIARES Alex/Marcelo/							celo/Da	niel					
EQ	UIPAME	NTO	Sy	scal - R2	Direção da	injeção	de o	corrente	NW	fomsev2.xls				
No.	AB/2	MN/2	SP	V	I	Rho	Q	Ν	Fonte	Observação				
1	1,00	0,3	6	3325,00	7,33	2160	0	3,4	100 V	Eletrodo P.				
2	1,30	0,3	8	1542,00	6,26	2065	0	4,4	100 V	Eletrodo P.				
3	1,80	0,3	8	1153,00	8,15	2334	0	5,2	100 V	Eletrodo P.				
4	2,40	0,3	9	519,50	8,06	1914	0	5,9	100 V	Eletrodo P.				
5	3,20	0,3	8	207,80	7,96	1387	0	6,7	100 V	Eletrodo P.				
6	4,20	0,3	8	106,10	9,72	1003	0	6,3	100 V	Eletrodo P.				
7	5,50	0,3	8	37,06	7,23	809	0	4,6	100 V	Eletrodo Poroso				
	5,50	1,0	- 15	126,90	7,18	811	0	5,2	100 V	Embreagem				
8	7,50	0,3	8	20,05	6,78	870	0	3,2	100 V	Eletrodo Poroso				
9	10,00	0,3	7	16,66	8,38	1041	0	2,4	100 V	Eletrodo Poroso				
	10,00	1,0	- 14	54,51	8,38	1011	0	3,1	100 V	Embreagem				
10	13,00	1,0	-7	116,60	23,56	1306	0	3,3	100 V	Eletrodo Poroso				
11	18,00	1,0	-7	16,19	4,70	1745	0	1,4	100 V	Eletrodo Poroso				
12	24,00	1,0	-9	27,21	11,29	2177	0	2,8	100 V	Eletrodo Poroso				
	24,00	2,4	- 16	69,44	11,37	2279	0	4,5	100 V	Embreagem				
13	32,00	1,0	- 10	18,94	11,55	2634	0	4,6	100 V	Eletrodo Poroso				
14	42,00	1,0	- 10	4,15	4,24	2708	0	7,0	100 V	Eletrodo Poroso				
	42,00	2,4	- 21	34,24	13,35	2952	0	5,2	100 V	Embreagem				
15	55,00	2,4	- 21	15,69	10,67	2904	0	5,6	100 V	Eletrodo Poroso				
16	75,00	2,4	- 21	7,08	10,11	2576	0	5,5	100 V	Eletrodo Poroso				
17	100,00	2,4	- 21	6,06	20,55	1929	0	5,2	100 V	Eletrodo Poroso				
18	130,00	2,4	21	3,93	35,03	1908	1	2,8	100 V	Eletrodo Poroso				

ן ו	UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO													
II NG	INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS E DA TERRA NGEA - NÚCLEO DE GEOFÍSICA E ESTUDOS AMBIENTAIS													
PRO	DJETO		4	Ação Mitig	gadora			DATA	07	7/09/2005				
	DCAL				F	az. Sta	a Ju	ıliana	1					
Lat	Lat         15° 18' 16''         Long.         54° 52' 03''         Altitude									655 m				
OPE	RADOR	Sh	ozo/(	Carlos	AUXII	JIAKE S		Alex/I	Marcelo	/Daniel				
EQ	UIPAME			scal - R2	Direção da i corre			jeção de e	NW	fomsev2.xls				
No.	AB/2	MN/ 2	SP	v	т	Rho	0	N	Fonte	Observaçã o				
1	1,00	0,3	33	2039,00	7,37	1353	0	3,3	100 V	Eletrodo Poroso				
2	1,30	0,3	34	1326,00	9,22	1205	0	4,0	100 V					
3	1,80	0,3	34	549,70	8,01	1131	0	4,7	100 V					
4	2,40	0,3	34	306,10	9,94	914	0	5,0	100 V					
5	3,20	0,3	33	232,10	16,72	738	0	5,0	100 V					
6	4,20	0,3	33	75,43	10,66	651	0	4,4	100 V					
7	5,50	0,3	32	31,67	8,82	567	0	3,6	100 V					
	5,50	1,0	-4	156,80	8,89	810	0	3,9	100 V	Embreagem				
8	7,50	0,3	33	28,07	13,55	609	0	3,4	100 V					
9	10,00	0,3	33	23,42	17,00	721	0	3,4	100 V					
	10,00	1,0	-3	110,20	17,04	1006	0	3,7	100 V	Embreagem				
10	13,00	1,0	-2	128,20	27,26	1241	0	4,0	100 V					
11	18,00	1,0	-2	59,15	18,59	1615	0	4,4	100 V					
12	24,00	1,0	-2	28,93	13,15	1988	0	4,9	100 V					
	24,00	2,4	8	77,16	13,25	2174	0	4,7	100 V	Embreagem				
13	32,00	1,0	-2	21,94	14,56	2422	0	5,1	100 V					
14	42,00	1,0	-1	14,10	13,97	2756	0	5,3	100 V					
	42,00	2,4	9	37,40	14,09	3055	0	5,2	100 V	Embreagem				
15	55,00	2,4	9	18,78	11,62	3193	0	5,7	100 V					
16	75,00	2,4	9	13,14	16,65	2902	0	6,1	100 V					
17	100,00	2,4	9	3,99	11,42	2283	0	6,5	100 V					
18	130,00	2,4	9	1863,00	13,21	1559	0	5,6	100 V					