

APLICAÇÃO DO MÉTODO DE ELETRORRESISTIVIDADE (CE) EM ÁREA DE RISCO GEOTÉCNICO EM TERRENO CÁRSTICO, NOBRES- MT

DUARTE, R. S. S.¹; MARQUES, M. V. F.²; MORAES, A. L.² & RIBEIRO, J. R.²

Resumo – A área pesquisada situa-se ao SW do Cráton Amazônico, na zona externa da Faixa Paraguai, na região centro sul do Estado de Mato Grosso em uma área dominada por metassedimentos proterozóicos. A cidade de Nobres se sobrepõe as rochas do Grupo Alto Paraguai, composto pelas formações Araras, Raizama e Diamantino. A metodologia utilizada neste trabalho foi baseada nos princípios geofísicos da eletroresistividade, utilizando o método de Caminhamento Elétrico com arranjo dipolo-dipolo. O CE tem por objetivo investigar a variação horizontal de resistividade em varias profundidades. Com o método do Caminhamento Elétrico foram realizados três perfis de resistividade. A aplicação dos métodos de eletroresistividade na interpretação geofísico-geológica de terrenos cársticos, tem se revelado útil, considerando a possibilidade de identificação e dimensionamento de feições de dissolução tais como fraturas, vazios ou cavidades. As modelagens bidimensional possibilitam a avaliação indireta do contexto estrutural-geotécnico do terreno em estudo. O objetivo do trabalho consistiu na identificação e avaliação das formas e dimensões destas feições cársticas na cidade de Nobres – MT.

Abstract – The studied area is located SW Amazonian Craton, in the external zone of the Paraguay Belt in south central region of Mato Grosso state in a field of Proterozoic metasediments. Nobres town overlies the rocks of the Alto Paraguai Group, composed of the formations Araras, Raizama and Diamantino. The methodology used in this study was based on the principles of geophysical electrical resistivity, using the Traverse Electric with dipole-dipole arrangement methods. CE aims to investigate the horizontal variation of resistivity using the method of electric resistivity traverse, three profiles were performed. The application of resistivity methods on the geophysical interpretation in karst terrains is a useful tool, considering its capability in identifying and dimensioning existing dissolution features such as fractures, voids or cavities. The bi-dimensional modeling of these bodies makes possible an indirect evaluation of the geotechnical-structural context of the terrain under study. The aim of this work consisted on the identification of these features and the evaluation of their shape and dimensions in this region karst in the Nobres – MT city.

Palavras-Chave – Terreno Cárstico, Eletroresistividade (CE), Fm Araras, Risco Geotécnico, Nobres- MT.

¹ Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos - Instituto de Ciências Exatas e da Terra – (ICET), Universidade Federal de Mato Grosso – (UFMT) - Avenida Fernando Corrêa, s/n Bairro Coxipó. CEP 78060-900. Cuiabá, MT, Brasil. **Email:** rejanesuellen@hotmail.com
Afiliação: 8 pt com endereço completo, fone, fax e e-mail

1 INTRODUÇÃO

Os problemas de colapso e subsidência em áreas cársticas podem ocorrer sob condições naturais no processo de evolução morfológica, como podem ser acelerados por atividades antrópicas, ou seja, induzidos. Os colapsos de solo e rocha e as subsidências são decorrentes do estágio de evolução do modelado cárstico, e do grau de dissolução da rocha, ligados à evolução de cavidades no subsolo, que podem trazer riscos e prejuízos econômicos e até mesmo perdas de vidas humanas, quando estas áreas são ocupadas.

A aplicação dos métodos geofísicos na interpretação geológico-geotécnica de terrenos cársticos apresenta recentemente uma crescente importância, pois permite identificar e dimensionar feições de dissolução como vazios ou cavidades preenchidas ou não por água ou sedimento.

O presente trabalho foi desenvolvido pelo Grupo Geoeste, em solicitação da Arena Incorporadora e Construtora Ltda. Foi aplicada a técnica de Caminhamento Elétrico (CE) na área de interesse da Arena, para construção de um residencial em Nobres – MT, cuja área territorial situa-se sobre terrenos cársticos. O estudo geofísico foi aplicado com intuito de conhecer as condições geotécnicas do terreno, através da caracterização qualitativa das estruturas (falhas, vazios ou cavidades cársticas).

1.1 OBJETIVOS GERAIS

Aplicação da Técnica de Caminhamento Elétrico (CE) para investigar a variação horizontal da resistividade elétrica, através da injeção de corrente elétrica e da medida de potencial. Este método é recomendado para prospecção de águas subterrâneas em geologia de rochas cristalinas e no mapeamento de zonas anômalas em terrenos cársticos, pois é eficiente na identificação e dimensionamento de feições de dissolução tais como fraturas, vazios ou cavidades, preenchidas ou não por água ou sedimentos.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEORICA

2.1 FENÔMENOS CÁRSTICOS

Os fenômenos cársticos envolvem um conjunto de transformações que se produzem em regiões onde existem rochas carbonáticas, sedimentares ou metamórficas, calcários e dolomitos, como consequência da circulação de água. A geração destes fenômenos é uma das diferenças fundamentais entre a circulação cárstica e qualquer outro tipo de circulação de águas em fissuras.

Os fenômenos cársticos se produzem como resultado do equilíbrio do sistema água-calcário. A água é o elemento gerador, enquanto a rocha calcária é o meio onde se desenvolvem os fenômenos. Quando este equilíbrio se perturba, os fenômenos cársticos deixam de funcionar. Tal perturbação só pode ocorrer pela ausência ou pela perda de atividade do elemento gerador, a água, que é uma componente transitória, ao contrário do calcário, que é permanente.

A circulação de água em um ambiente calcário através de fissuras é a causa da complexa fenomenologia cárstica, que em sua essência se reduz a dois processos fundamentais: um químico, de dissolução; e outro mecânico, de erosão. Estes processos, pois, dependem da quantidade de água existente e das dimensões dos condutos por onde ela circula.

1.2.1 FEIÇÕES CÁRSTICAS

Do ponto de vista hidrológico e geomorfológico, sistemas cársticos são constituídos por três componentes principais que se desenvolvem de maneira conjunta e interdependente:

- Sistemas de cavernas – formas subterrâneas e acessíveis à exploração.
- Aquíferos de condutos – formas condutoras de água subterrânea.
- Relevo cárstico – formas superficiais.

Em terrenos cársticos, onde as rochas carbonáticas são muito compactas e/ou metamorfizadas, as formas de absorção da entrada do sistema hidrogeológico são representadas, principalmente, pelas intersecções de discontinuidades tectônicas e pelas formas topográficas cársticas. As formas cársticas de absorção podem ser classificadas em abertas e fechadas. As formas abertas, entre elas sumidouros, permitem uma penetração rápida e livre da água para o interior do sistema. Já as formas fechadas, como as dolinas, apresentam absorção lenta da água. As dolinas são depressões cônicas, circulares na superfície, lembrando a forma de um funil.

Dolinas de dissolução formam-se a partir de um ponto de infiltração na superfície da rocha (zona de cruzamento de fraturas). Crescem em profundidade e diâmetro, conforme a rocha e o material residual são carreados pela água subterrânea. Dolinas de colapso são aquelas geradas na superfície, devido ao abatimento do teto de cavernas ou outras cavidades em profundidade.

A existência de formas cársticas como dolinas e sumidouros, por si só, constituem-se em um fator de definição de uma série de adequações ou de limitações do terreno frente às várias formas de uso e ocupação.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo situa-se na porção centro-sul do estado de Mato Grosso, localizada no município de Nobres, distante 160 km de Cuiabá. O acesso é realizado a partir de Cuiabá pela BR-251 e BR – 163 (Figura 1).

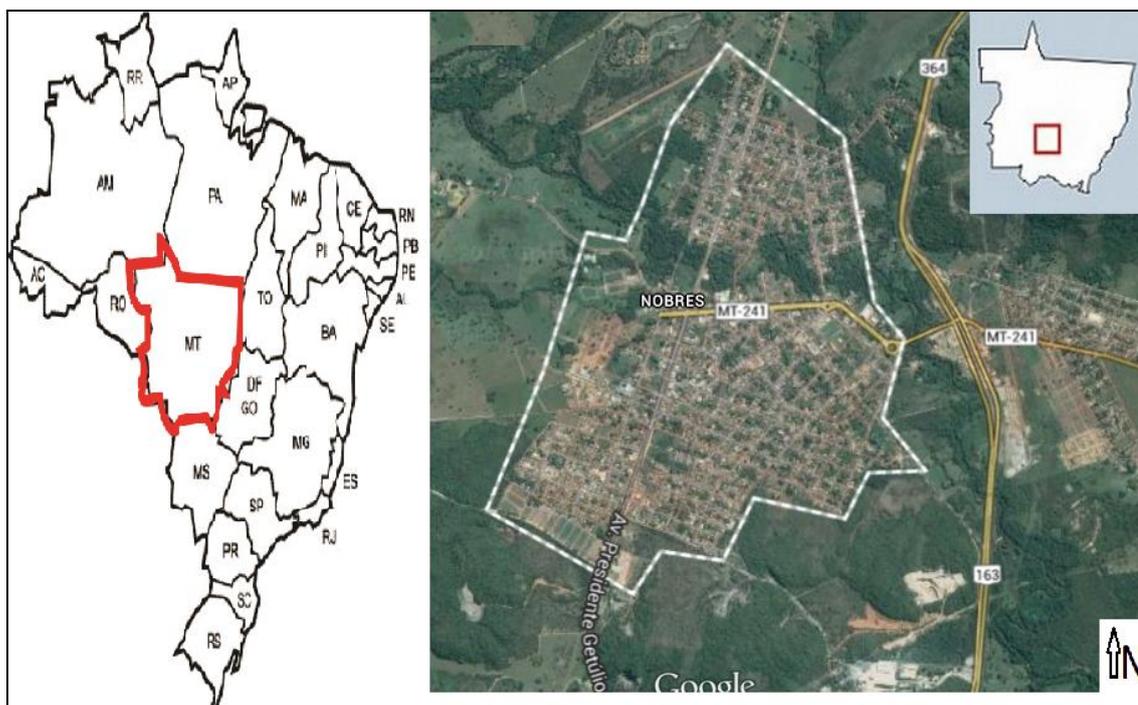


Figura 1: Mapa de localização do município de Nobres- MT. Fonte: Google Earth.

Geologicamente a área de estudo localiza-se ao SW do Cráton Amazônico, na zona externa da Faixa Paraguai, na região centro sul do Estado de Mato Grosso em uma área dominada por metassedimentos proterozóicos. A cidade de Nobres se sobrepõe as rochas do Grupo Alto Paraguai. Em seguida uma sucinta descrição desta unidade:

- Formação Diamantino (Grupo Alto Paraguai) – constituída por arcóseos calcíferos, cores vermelho e marrom chocolate na seção basal. Predominando os arcóseos de granulação fina a muito fina em direção ao topo, maciços consistente e homogêneos, apresentando marcas de onda;
- A Formação Raizama (Grupo Alto Paraguai) composta por arenitos com cores variadas, granulação fina a média, com freqüentes níveis de areia grossa, seixos e grânulos, com estratificação cruzada plano-paralela e marcas de ondas, composição quartzo – feldspática, geralmente mal classificadas. Os sedimentos da formação recobrem os dolomitos da formação araras e estão sotoposto aos folhelhos e siltitos da formação Sepotuba. Tanto na base como no topo a passagem para as formações encaixantes é transicional.

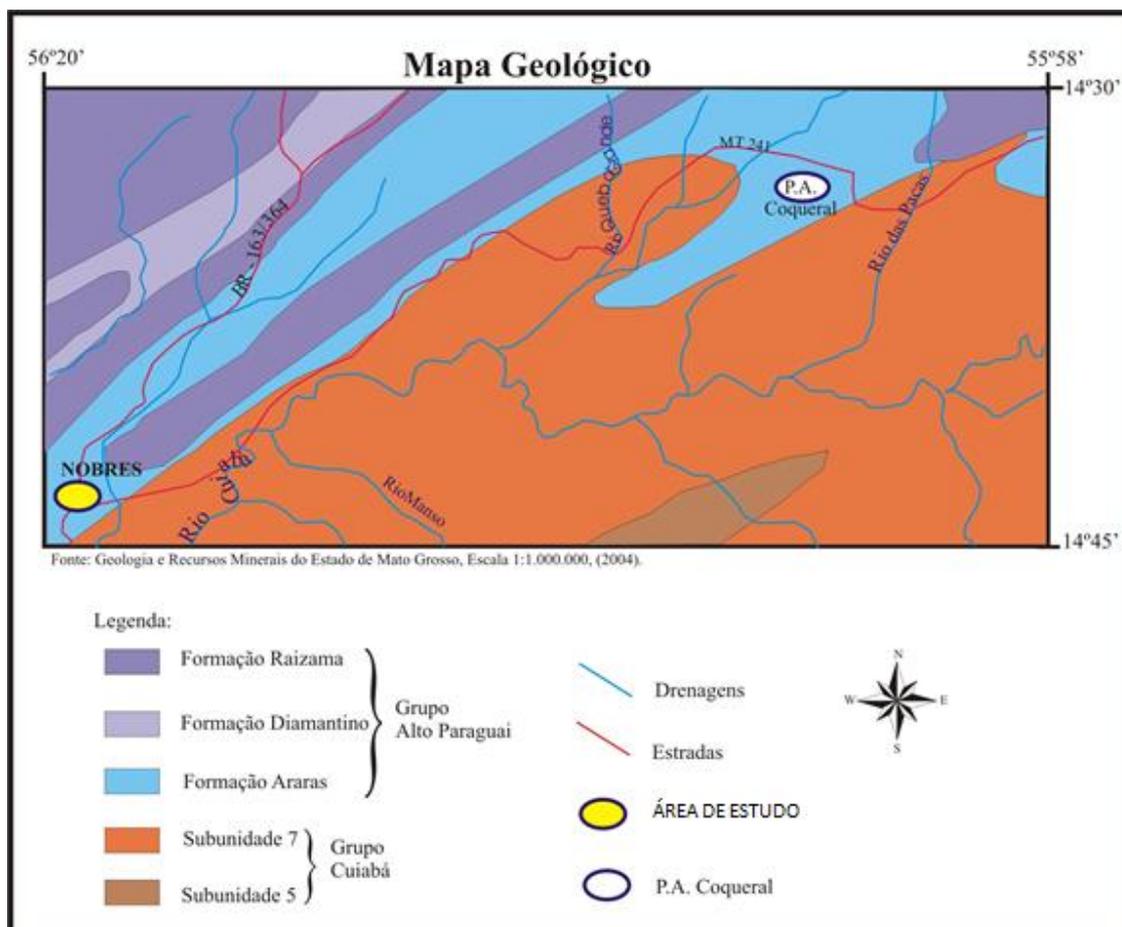


Figura 2: Mapa geológico, apresentando a localização da área de estudo, na cidade de Nobres- MT. Fonte: CPRM (2004).

- Formação Araras (Grupo Alto Paraguai), e composta por rochas calcárias, ocorrendo na Província Serrana e adjacências do Rio Jauru à margem direita, estendendo-se a sudoeste até próximo ao território boliviano, onde provavelmente adentra os sedimentos da

Formação Pantanal. As áreas são configuradas por relevos altos e dissecados e chegam até 300 m de desnível. Neste tipo de relevo podem ser encontradas formas “cársticas”. A sequência basal da formação é composta principalmente por calcários com intercalações subordinadas de siltitos e margas marrons arroxeados, coloração cinza clara a esverdeada. No sentido do topo da formação gradam a calcários dolomíticos a calcíticos, cujo dolomitos apresentam uma discreta efervescência ao ácido clorídrico, para o topo os dolomitos tornam-se esbranquiçados e silicificados, assumindo o aspecto de chert. Quando alterados tem aparência caulinita, e estrutura “cavernosa” ou “porosa”.

Na área de estudo, apresenta solo argilo-arenoso, material argiloso. É importante ressaltar que as rochas da área investigada apresentam propriedades físicas (baixa resistividade) que frequentemente dificultam a obtenção e interpretação dos dados geofísicos.

3.2 METODOLOGIA

No desenvolvimento do trabalho foram realizadas três linhas de CE, com 700 metros de distância e profundidade teórica de investigação de 45 metros, localizadas no Jardim Primavera no município de Nobres-MT. O arranjo utilizado para pesquisa foi o Dipolo-Dipolo, o arranjo mais indicado para investigação da resistividade em meio cristalino.

O equipamento utilizado foi um medidor de resistividade terrestre- Resistivímetro GEOTEST RD 1000 A (Figura 3), de fabricação brasileira, composto por uma unidade transmissora Geotest Rd 1000 TX ligada a duas baterias de 45 Amperes em série, totalizando 24 volts. E outra unidade receptora Geotest Rd 1000 RX alimentada por oito baterias de hidreto de níquel (NI-MH), tamanho AA de 1,2 volts. Em campo foram utilizados eletrodos de aço inoxidável, e quatro bobinas cada uma com 400 metros de fio elétrico 16 AWG.

Os dados de campo foram tratados e interpretados com o uso de planilhas de cálculos, editor de texto e o *software Surfer*, indicados para amostragem 2D das linhas de Caminhamento Elétrico (CE).



Figura 3: Resistivímetro GEOTEST RD 1000 TX.

3.2.1 MÉTODO DE ELETRORRESISTIVIDADE

O método geofísico da eletrorresistividade abrange vastas áreas como mineração, construção civil, hidrogeologia, meio ambiente dentre outras. Neste trabalho será estudado o fenômeno elétrico que tem como parâmetro principal a resistividade, fundamentada pela Lei de Ohm.

A lei de Ohm define-se por uma relação empírica entre a corrente fluindo através de um condutor e o potencial de voltagem requerido para conduzir esta corrente (Figura 4).

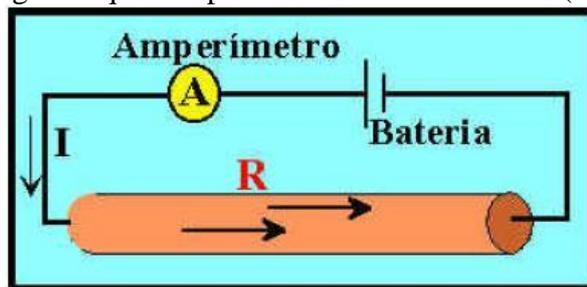


Figura 4: Esquema de um circuito e a Lei de Ohm (BRAGA, 1999).

Baseia-se no estudo do potencial elétrico tanto nos campos naturais existentes na crosta terrestre, quanto nos campos artificialmente provocados. Qualitativamente, resistividade é uma medida da dificuldade que um determinado material impõe a passagem de uma corrente elétrica. A resistividade dos materiais geológicos varia de acordo com os diferentes meios existentes, ou seja, os tipos litológicos que são encontrados de forma heterogênea em todo planeta terra tem como parâmetro fundamental a resistividade elétrica, onde é possível caracterizar seus estados em termo de alteração, faturamento, saturação etc.

O quadro 01 apresenta os diferentes valores de resistividades em diversos meios litológicos onde sedimentos, rochas, minerais, entre outros, são fatores essenciais quanto valores de resistividade.

Tabela 01 – Valores de resistividade de alguns tipos litológicos, de rochas e agregados (extraído de BRAGA, 1999).

MATERIAL		Resistividade (Ohm.m)
Sedimentos Saturados	Argiloso	10 -20
	Argilo-Arenoso	20 – 40
	Areno-Argiloso	40 – 60
	Arenoso	60 – 300
Rochas	Argilito	10 – 20
	Arenito	60 – 300
	Basalto e/ou Diabásio	70 – 300
	Marga	100 – 400
	Ígnea	100 – 500
	Calcário	100 – 5000
	Metamórfica	200 – 600
Anidritas	10000 – 100000	

3.2.2 TÉCNICA DE CAMINHAMENTO ELÉTRICO (CE)

O método caminhamento elétrico estuda a variação horizontal da resistividade no meio geológico, investigando, normalmente até quatro níveis de profundidades. Ele é um método muito empregado no estudo de caracterização de meio fraturado, permitindo o mapeamento de fraturas e falhas e o conhecimento aproximado de suas profundidades. Ele também fornece indicativo da possibilidade de ocorrência de água subterrânea.

Este método consiste em injetar corrente elétrica no meio através de dois pontos (A e B) e medir o potencial em dois outros pontos (M e N). Través dessa corrente, desse potencial e da distância entre os pontos de injeção de corrente e de medidas de potencial, determina-se a resistividade aparente do meio, usando a equação 1 (BHATTACHARYA; PATRA, 1968):

$$\rho_a = K \frac{\Delta v}{I}$$

Onde:

Δv = Diferença do Potencial I = Corrente Elétrica K = Fator Geométrico

O fator geométrico do arranjo de quatro eletrodos, alinhados com uma disposição simétrica é dada por:

$$K = 2\pi \cdot Gx$$

Onde:

K = fator geométrico que depende da disposição dos eletrodos ABMN na superfície do terreno; x = espaçamento dos dipolos AB e MN adotado; e n = nível de investigação correspondente.

A técnica do caminhamento elétrico se baseia na análise e interpretação de um parâmetro físico, obtido a partir de medidas de resistividade e tensão elétrica efetuadas diretamente sobre a superfície do terreno, investigando, ao longo de uma seção, as variações horizontais desses parâmetros em uma ou mais profundidades determinadas.

Os resultados obtidos correlacionam entre si através de mapas (profundidade), ou de seções horizontais (combinando várias profundidades de investigação).

Em campo foi utilizado o arranjo dipolo-dipolo (figura 05), o mais indicado para investigação em meio cristalino. Neste arranjo os eletrodos AB são de emissão de corrente e MN de potencial, são dispostos segundo uma linha e o arranjo é definido pelo espaçamento entre os eletrodos $X=AB=MN$.

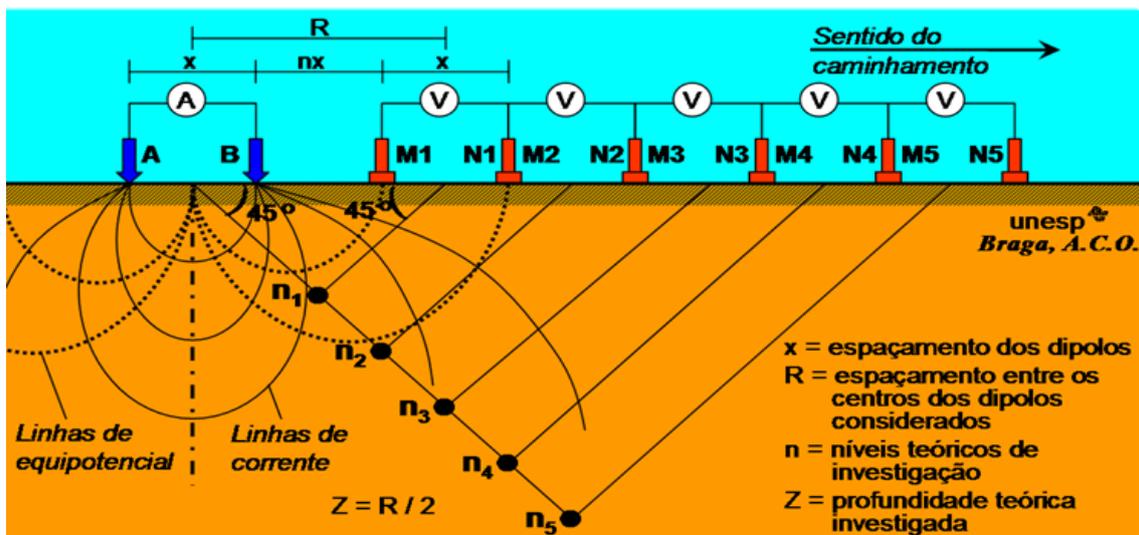


Figura 5 - Esquema do arranjo dipolo-dipolo utilizado no caminhamento elétrico para aquisição dos valores de resistividade aparente. Fonte: Braga, A. C. O.

O arranjo dipolo-dipolo o centro dos pontos de investigação (dipolos) AB e MN não permanecem fixos, mas se deslocam ao longo da linha a ser levantada, conforme a figura acima. O espaçamento entre os pontos de investigação (dipolos) A-B é igual a M-N. Cada dipolo M-N refere-

se a um nível de investigação. O espaçamento entre os dipolos A-B e M-N pode variar, usando simultaneamente vários dipolos M-N dispostos ao longo da seção (Figura 6).

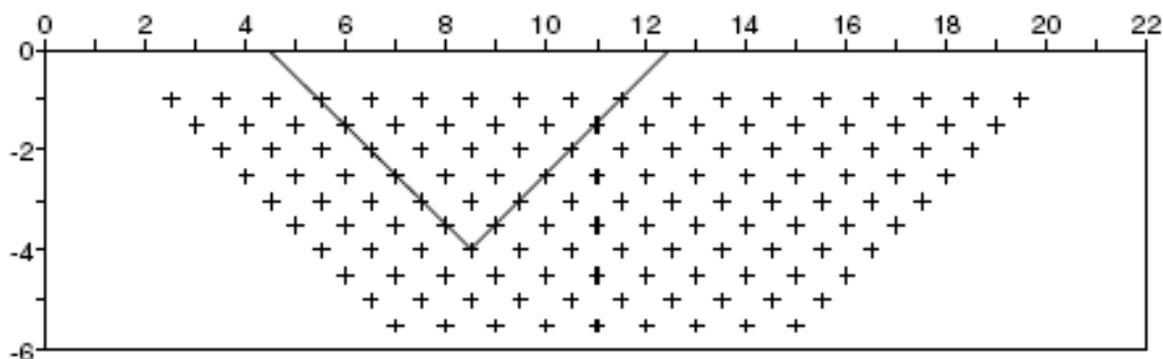


Figura 6 - Aquisição e representação de dados dipolo-dipolo. A o vértice inferior do triângulo mostra o ponto de leitura com os eletrodos de corrente na posição 4-5 e os eletrodos de potencial na posição 12-13, resultando no nível sete de investigação.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os dados coletados em campo foram processados no *software* Res2dinv e resultam em pseudo-seções de resistividade aparente. Cada ponto na pseudo- seção indica o ponto investigado ao longo do perfil, e a coloração indica áreas com determinados valores de resistividade aparente, as resistividades máxima e mínima estão representadas, respectivamente, pelas cores azul e vermelha. O espectro de cores com seus respectivos valores podem ser observados na escala ao lado de cada pseudo- seção.

Os resultados obtidos são produtos da interpretação do comportamento geológico das rochas, analisada através das pseudo-seções de resistividade (e/ou cargabilidade aparente). Na realidade, não se apresentam seções reais, pois as profundidades (ou níveis) demonstradas correspondem a profundidades teóricas, e a resistividade calculada (e/ou cargabilidade obtida) é aparente.

A análise das variações dos parâmetros físicos obtidos seções geológicas é feita considerando o sistema de plotagem de 45° e a posição dos dipolos. Esta interpretação inicial é qualitativa, identificando apenas a posição das anomalias identificadas, gerando uma seção geológica qualitativa. A Figura 7 apresenta a distribuição espacial das linhas 1, 2 e 3 de Caminhamento Elétrico (CE) na área, e a Tabela 2 apresenta as coordenadas geográficas de cada perfil de CE.



Figura7: Mapa de distribuição espacial das linhas de CE na área de estudo, as linhas apresentam direção preferencial NW/SE.

Tabela 1: Coordenadas Geográficas das linhas de Caminhamento Elétrico (CE).

CE	Coordenadas Geográficas	
Linha 1	14°43'51.40"S	56°20'23.67"O
	14°43'40.85"S	56°20'42.68"O
Linha 2	14°43'53.53"S	56°20'24.36"O
	14°43'42.43"S	56°20'43.60"O
Linha 3	14°43'55.64"S	56°20'25.06"O
	14°43'44.62"S	56°20'45.49"O

Os perfis de caminhamento elétrico apresentam 700 metros de comprimento com separação de 15 metros entre os eletrodos de corrente e de potencial, em campo cada linha foi marcada com estacas de madeira no seu início e fim. A distância entre as linhas de caminhamento elétrico é de aproximadamente 60 m.

Os resultados são apresentados em pseudo-seções de resistividade aparente em função da profundidade teórica, e correspondem a cinco níveis de investigação, com profundidade teórica máxima de 45 metros, conforme Figura 8.

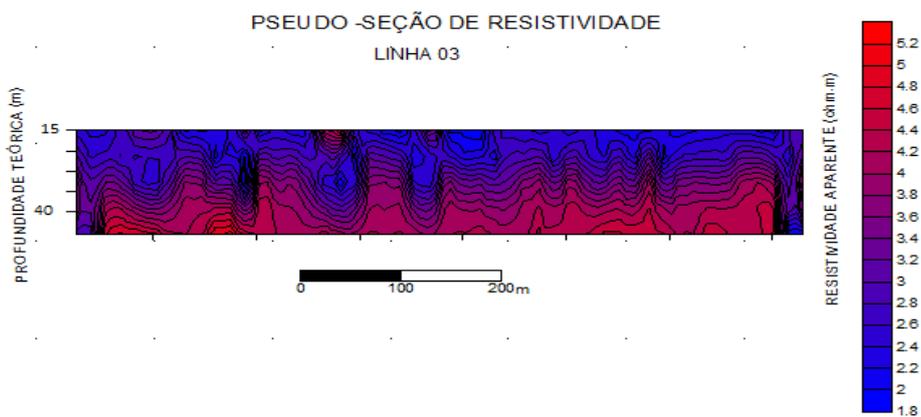
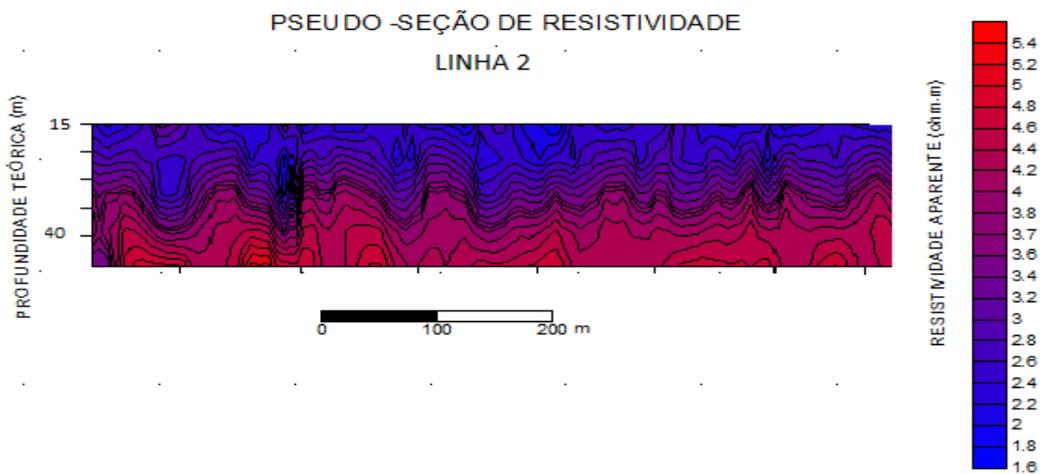
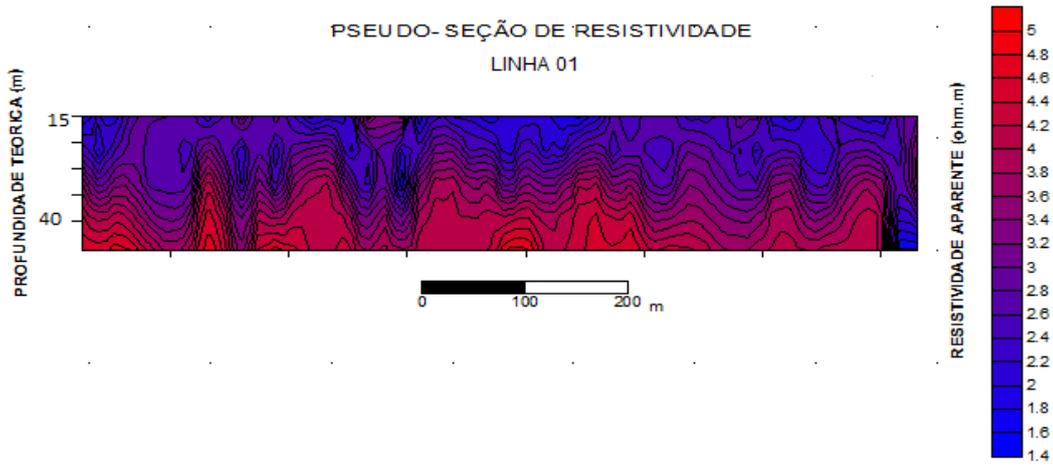


Figura8:Pseudo-seções de resistividade aparente, linhas 1, 2 e 3.

5 CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES

Com base nos resultados apresentados acima, conclui-se que até a profundidade teórica de 45 metros observou-se zonas de anomalias em pontos superficiais do perfil, o que pode ser correlacionado a zona de alteração pedológica onde se há acúmulo de fluidos superficiais, que tendem a baixar a resistividade aparente do meio. Entretanto observa-se também que nas zonas inferiores do perfil há ocorrência de baixa ou média resistividade, apontando para a possibilidade de existência de substrato rochoso são.

Porém o método geofísico depende de vários fatores, como o conhecimento prévio da litologia da região, que é um importante elemento para análise dos resultados, uma vez que nem sempre as feições cársticas se apresentam preenchidas por água ou tem uma estrutura geométrica bem definida. Tais características dificultam a obtenção precisa dos resultados no processo de inversão, devido à ambiguidade nos modelos gerados. Assim para objetivar uma melhor interpretação do meio sugere-se a realização de sondagens de simples reconhecimento para complementar o estudo geofísico auxiliando na correlação dos parâmetros observados em relação ao meio.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BRAGA, A.C.O.- **Métodos Geométricos Aplicados: Módulo Hidrogeologia.** Universidade Estadual Paulista UNESP/IGCE/DGA. Rio Claro SP. 91p.,2001.

LACERDA FILHO, J. V.; ABREU FILHO, W.; OLIVEIRA, C. C.; ALBUQUERQUE, M. C. **Geologia e Recursos Minerais do Estado de Mato Grosso.** Escala 1:1.000.000 Goiânia: CPRM, 2004. (Convênio CPRM/SICME). 200p.