

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA
SECRETARIA DE GEOLOGIA, MINERAÇÃO E TRANSFORMAÇÃO MINERAL
SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL – CPRM
Diretoria de Geologia e Recursos Minerais

**Levantamento Geofísico de
Eletrorresistividade para Investigação do
Substrato Calcário de Áreas Colapsadas e
de Novas Áreas para Expansão Urbana da
Cidade de Lapão-BA**

Autores:

Carlos Eduardo Santos de Oliveira
Angeval Alves de Brito
Roberto Gusmão de Oliveira
Ricardo Cavalcanti Santiago

SALVADOR
2013



SUMÁRIO

1.	APRESENTAÇÃO.....	2
2.	INTRODUÇÃO.....	2
3.	LOCALIZAÇÃO E ACESSO.....	3
4.	CONTEXTO GEOLÓGICO DA ÁREA DE TRABALHO.....	6
5.	MÉTODOS.....	9
5.1	BASES TEÓRICAS DO MÉTODO DE ELETRORRESISTIVIDADE	9
6.	LEVANTAMENTO DOS DADOS	11
7.	PROCESSAMENTO E MODELAGEM DOS DADOS	15
8.	RESULTADOS.....	16
8.1.	INTERPRETAÇÃO GEOLÓGICA DOS DADOS.....	16
8.2.	CENTRO DA CIDADE - FONTE DE LAPÃO	18
8.3.	BAIRRO IDA CARDOSO E FAZENDA DE GILDÁSIO.....	30
8.3.1.	BAIRRO IDA CARDOSO.....	30
8.3.2.	FAZENDA DE GILDÁSIO	35
8.4.	SEÇÃO GEOELÉTRICA DA RODOVIA BA-432.....	46
9.	AVALIAÇÃO DE NOVAS ÁREAS PARA EXPANSÃO URBANA.....	49
9.1.	ÁREA 1 – CRECHE/CAMPO DE FUTEBOL E ÁREA 2 - CENTRO DE REFERÊNCIA DE ASSISTÊNCIA SOCIAL (CRAS).....	50
9.2.	ÁREA 3 – TERRENO RESERVADO PARA A CONSTRUÇÃO DO CONJUNTO HABITACIONAL MINHA CASA-MINHA VIDA	59
9.3	ÁREA 4 – RUA DO CEMITÉRIO E AV. PERIMETRAL.....	63
9.4	ÁREA 5 – NOVO LOTEAMENTO (ZRC).....	67
9.5	ÁREA 6 – NOVO LOTEAMENTO (ZOR)	72
10	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	76
11	REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS	78

1. APRESENTAÇÃO

Em atendimento a uma solicitação da Prefeitura Municipal de Lapão, BA, o Serviço Geológico do Brasil (SGB / CPRM) foi convocado para avaliar os problemas geológicos e geotécnicos associados com o substrato de rochas calcárias da região. Para o atendimento desta demanda foi enviada uma equipe multidisciplinar com o objetivo de investigar e avaliar os abatimentos e fraturas que ocorrem na área urbana e na zona rural. A equipe foi constituída por profissionais das áreas de avaliação de risco, hidrogeologia e geofísica.

2. INTRODUÇÃO

A região de Lapão – BA (Figura 1) é geologicamente formada por rochas calcárias (Figura 2) que estão evoluindo para formação de um ambiente carstíco. Esse processo geológico naturalmente correlacionado com o clima, a hidrologia e a hidrogeologia da região, atualmente está sendo fortemente influenciado pela atividade humana associada, sobretudo, com a exploração de água subterrânea para uso intenso na agricultura. Por causa disso, na cidade de Lapão nos últimos anos tem ocorrido eventos frequentes de formação de colapsos e fraturas (fotografias 1 e 2) que causaram danos visíveis para as construções (fotografias 3 e 4) e deixaram a população em estado de pânico.

Este relatório refere-se ao resultado do estudo geofísico realizado na área urbana da cidade de Lapão em duas etapas nos períodos de 18/02 a 02/03/2013 e de 03/07 a 13/07/2013. O método geofísico aplicado foi o de eletrorresistividade, sendo realizado por meio da técnica de caminhamento elétrico (CE). Este método identifica as variações de resistividade elétricas nas rochas, permitindo a interpretação de estruturas e variações litológicas ao longo de seções verticais. Uma visão tridimensional também pode ser obtida mediante a realização de várias seções verticais próximas e paralelas. Também foram considerados os aspectos geológicos e hidrogeológicos no contexto local e regional em que está inserido o município de Lapão, com o objetivo de compreender os processos envolvidos na formação das cavidades e das zonas de colapso e sua evolução ao longo do tempo.

3. LOCALIZAÇÃO E ACESSO

A cidade de Lapão está localizada no Estado da Bahia a aproximadamente 520 km de distância de Salvador, na região central do estado (Figura 1). O acesso é realizado através da BR-324 até a cidade de Feira de Santana e logo após seguindo a rodovia estadual BA-052 até o município de Irecê. A partir desta cidade, mais 12 km até a cidade de Lapão via BA-148 e BA-432.

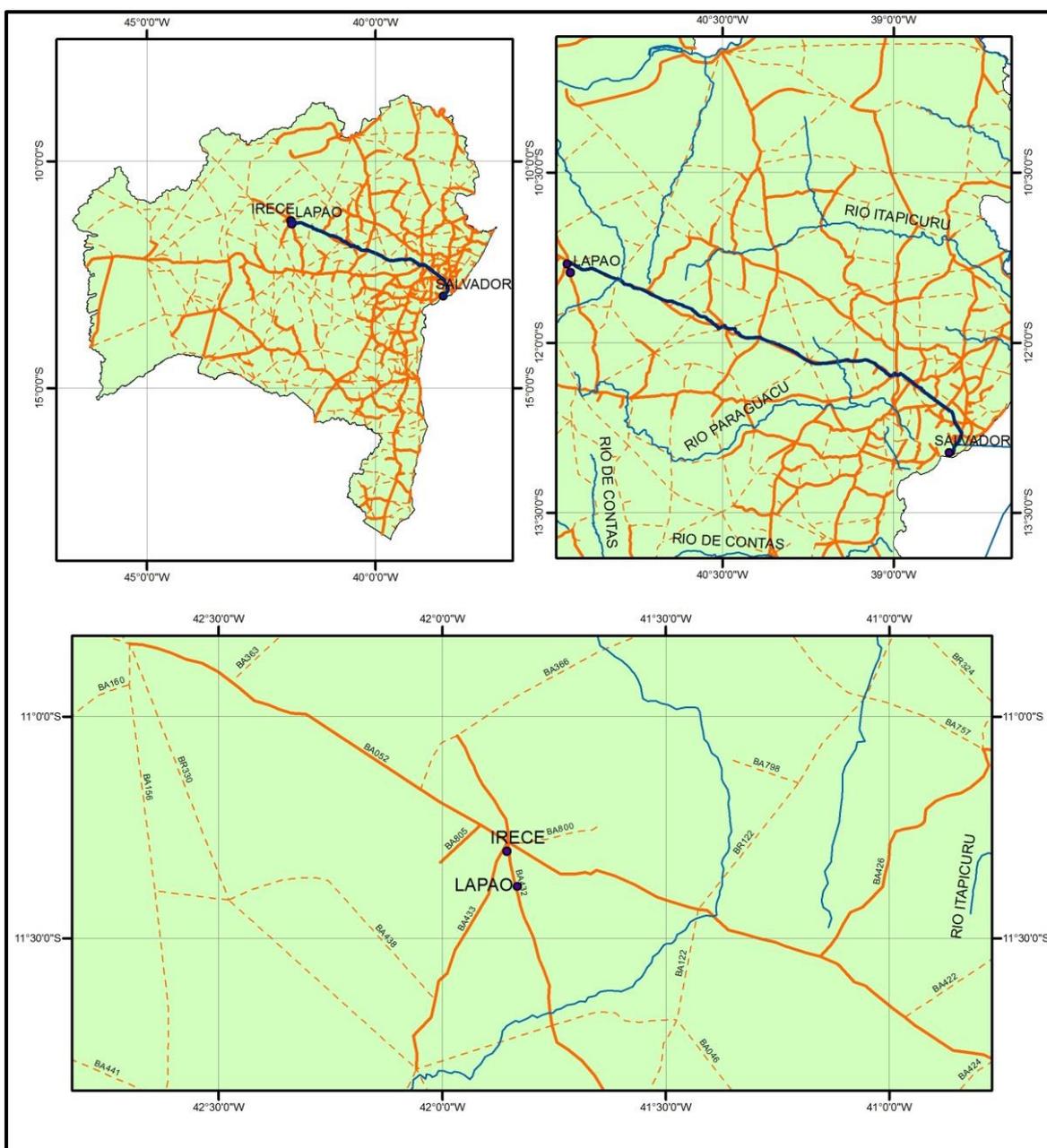


Figura 1 - Mapa de localização e acessos para a cidade de Lapão – BA.



Fotografai 1 – Dolina (Fonte de Lapão) localizada no centro da cidade.



Fotografia 2 – Fenda com direção N-S recentemente formada na periferia da área urbana da cidade de Lapão (Fazenda de Gildásio).



Fotografia 3 – Danos causados nas paredes de um mercado em construção na área de propagação da zona de deformação a partir da dolina da Fonte de Lapão.



Fotografia 4 – Casa danificada na Rua José Marcelino na região de propagação da zona de deformação a partir da dolina da Fonte de Lapão.

4. CONTEXTO GEOLÓGICO DA ÁREA DE TRABALHO

A área de trabalho está localizada na região norte do Cráton do São Francisco (Figura 2). Ela é geologicamente constituída por uma espessa cobertura metassedimentar carbonático-pelítica do Neoproterozóico, denominada Grupo Una composta pelas formações Salitre e Bebedouro (Figura 2). Estas rochas foram depositadas discordantemente sobre os metassedimentos mesoproterozóicos do Grupo Chapada Diamantina, predominantemente de natureza siliciclástica, representado da base para o topo, pelas formações Tombador, Caboclo e Morro do Chapéu (Souza *et al.*, 2002).

A Formação Bebedouro é constituída predominantemente por metassiltitos, metargilitos e metadiamicritos. Enquanto a Formação Salitre, cujas rochas afloram na área de trabalho, é constituída predominantemente por calcissiltitos, dolomitos e lamitos algais fracamente ondulados na base, gradando para calcilutitos, calcarenitos, dolarenitos e dololutitos oolíticos no topo (Souza *et al.*, 1993). A região de Lapão apresenta uma deformação tectônica regional caracterizada por cavalgamentos, dobramentos e falhas de baixo ângulo associados com a tectônica de *nappes* com vergência para sul da Orogênese Brasileira na Faixa Riacho do Pontal, localizada na margem norte do Cráton do São Francisco (Dardenfer Filho, 1990) (Figura 2).

Na região de Lapão, os trabalhos de detalhes desenvolvidos por Maia *et al.* (2010) para estudo das subsidências associadas com o ambiente carstíco que está sendo formado nas rochas calcárias da região indicaram que as direções das fraturas das rochas estudadas (NO-SE, NE-SO e NNE-SSO) são concordantes com as fissuras formadas nos eventos de abatimentos recentes. Além disto, as cavernas e os condutos são controlados por fraturas abertas tipo T, na direção N-S, e por fraturas tipo A, na direção E-O (Maia *et al.*, 2010). Segundo Maia *et al.* (2010), além da possível correlação dessas fraturas com esforços compressivos regionais na direção N-S, secundariamente ocorre também um provável controle stratigráfico na direção NO-SE associado com a laminação das rochas.

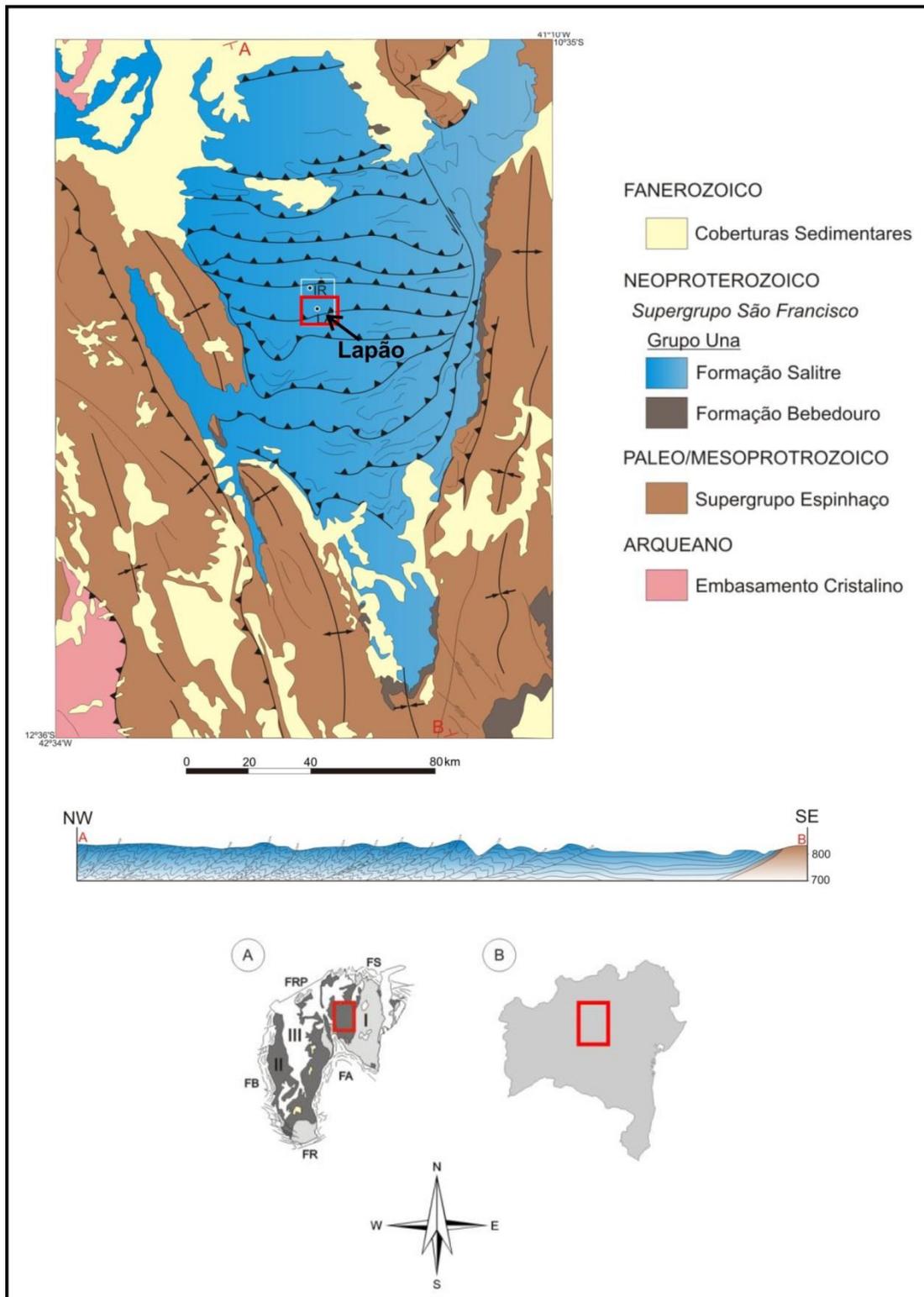


Figura 2 - Geologia regional com localização da área de trabalho. A seção geológica apresenta a configuração da tectônica de compressão NO-SE que afetou os metassedimentos do Grupo Una no final do Neoproterozóico. Fonte da Figura: Kuchenbecker *et al.* (2011).

Ainda, segundo Maia *et al.* (2010), a evolução das fissuras ocorreu de oeste para leste segundo a direção do riacho do Juá (Figura 3), controlada por fraturas de alívio do tipo A, com direções entre 70° e 100° , juntamente com as fraturas do tipo T (direções entre 0° e 10°) e os alinhamentos entre 120° e 130° da laminação das rochas. Este conjunto de feições estruturais estaria controlando a dissolução das rochas calcárias. Maia *et al.* (2010), também informaram que as cavernas e condutos subterrâneos identificadas no levantamento geofísico por gravimetria apresentam alinhamentos coincidentes com as direções das estruturas rúpteis abertas. Na interpretação desses autores, feições de baixos gravimétricos estariam associadas com colapsos e subsidências na área urbana de Lapão. Maia *et al.* (2010) concluem que possivelmente as fissuras e subsidências sejam produzidas pela evolução natural do ambiente carstíco, porém, com um incremento da atividade humana decorrente do “lançamento de esgotos e águas das atividades agrícolas sobre o aquífero”, sobretudo, no “final do verão quando os ácidos estão mais concentrados na água pela falta de renovação pelas chuvas que recarregam o aquífero”.

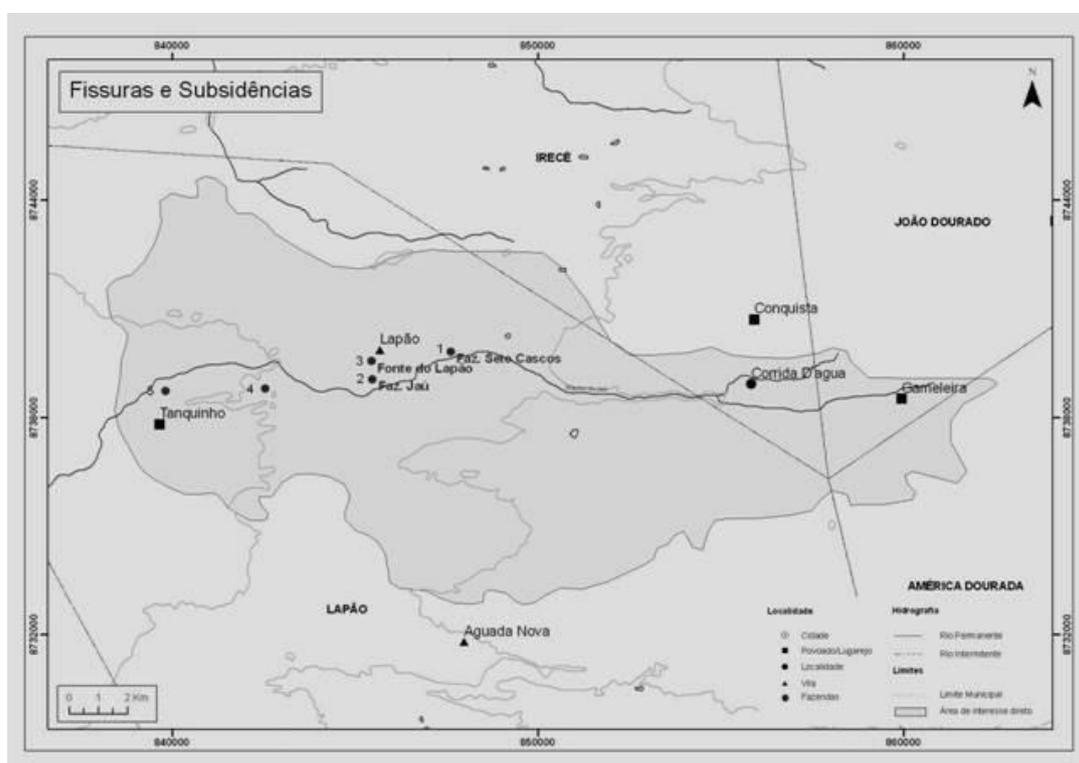


Figura 3 – Mapa da bacia do riacho do Juá com indicação de fissuras e subsidências. Fonte da Figura: Maia *et al.* (2010).

5. MÉTODOS

Os trabalhos foram realizados em três etapas principais:

I) Primeira Etapa: foi executada no escritório e envolveu uma análise da área pesquisada com formação de equipe, preparação de equipamentos e levantamento de informações geológicas, hidrogeológicas e geográficas.

II) Segunda Etapa: consistiu no levantamento de geofísico de campo com execução de 18 (dezoito) caminhamentos elétricos com arranjo dipolo-dipolo. O equipamento utilizado para medições de campo foi um eletrorresistímetro marca Sycal Pro de 10 canais, fabricado pela Iris-Instruments. Também foram utilizados cabos de fiação flexível 1,5 mm², eletrodos de aço inoxidável maciço e bateria (12V) como fonte de carga elétrica.

III) Terceira Etapa: consistiu no processamento, modelagem, interpretação geológicas dos dados e confecção do relatório final. Para a modelagem dos dados foi empregado o *res2dinv* da *Geotomo Software*.

5.1 BASES TEÓRICAS DO MÉTODO DE ELETRORRESISTIVIDADE

As propriedades elétricas das rochas podem ser utilizadas através de sua medição por métodos geofísicos para investigar sua distribuição abaixo da superfície. A resistividade elétrica das rochas é uma propriedade extremamente variável podendo ir de 10⁻⁶ ohm.m para minerais tais como o grafite até mais de 10¹² ohm.m para rochas quartzíticas secas (Ward, 1990). A maioria das rochas e minerais é isolante em seu estado sólido. Na natureza, porém, elas quase sempre contêm água intersticial com sais dissolvidos. Assim, elas podem adquirir uma condutividade iônica que depende da quantidade da umidade, da natureza dos eletrólitos e do grau de saturação dos espaços abertos (poros, microfissuras, fraturas, etc.) pela água.

No método geofísico de eletrorresistividade uma corrente elétrica contínua é introduzida no interior da terra através de dois eletrodos (varas de metal) conectados aos terminais de uma fonte portátil de força eletromotriz. A

distribuição de potencial resultante no solo é mapeada através de outros eletrodos, geralmente em número de dois, também de metal ou de um material não-ionizável, conectados aos terminais de mili-voltímetro. Através das leituras dos potenciais e da corrente elétrica injetada no solo, obtida por um mili-amperímetro ligado à fonte, podemos obter informações sobre a distribuição da resistividade elétrica abaixo da superfície. Este método tem sido amplamente utilizado no estudo de formações aquíferas, em correlações estratigráficas em campos de petróleo e na prospecção de minerais metálicos (Telford *et al.*, 1990).

Os equipamentos medem a resistividade aparente. É aparente porque não é a resistividade real, e sim a resistividade do conjunto heterogêneo formado pelos diferentes tipos de rochas, solos e estruturas. Por isso, o seu valor depende do tipo de arranjo usado na investigação; da natureza do solo e das rochas atravessadas pela corrente primária (Telford *et al.*, 1990).

O funcionamento básico do método de medição é o seguinte: i) uma corrente elétrica (I) é injetada no solo por meio de dois eletrodos, **A** e **B**, positivo e negativo, respectivamente; ii) em dois outros eletrodos, **M** e **N** é medida a diferença de potencial (ΔV). Pela *Lei de Ohm* temos:

$$\rho_a = k \frac{\Delta V}{I},$$

onde ρ_a é resistividade aparente da rocha em um meio heterogêneo e k é um fator geométrico que dependerá do arranjo dos eletrodos.

O arranjo dipolo-dipolo é um tipo de caminhamento elétrico (CE) que permite a investigação lateral da resistividade aparente em várias profundidades. Neste arranjo os eletrodos **AB** de injeção de corrente e **MN** de medição do potencial são dispostos segundo uma linha e o arranjo é definido pelos espaçamentos entre os eletrodos $X=AB=MN$ (Figura 4). A profundidade de investigação cresce com a distância (R) entre os eletrodos de potencial e os de corrente e, teoricamente, corresponde a $R/2$. As medidas são efetuadas em vários níveis de investigação $n = 1, 2, 3, 4, 5, \dots$, que correspondem aos pontos de intersecção entre uma linha que parte do centro do arranjo de eletrodos **AB** e outra que parte do centro do arranjo **MN**, com ângulos de 45° (Figura 4). O resultado final é uma pseudo-seção de resistividade aparente do subsolo.

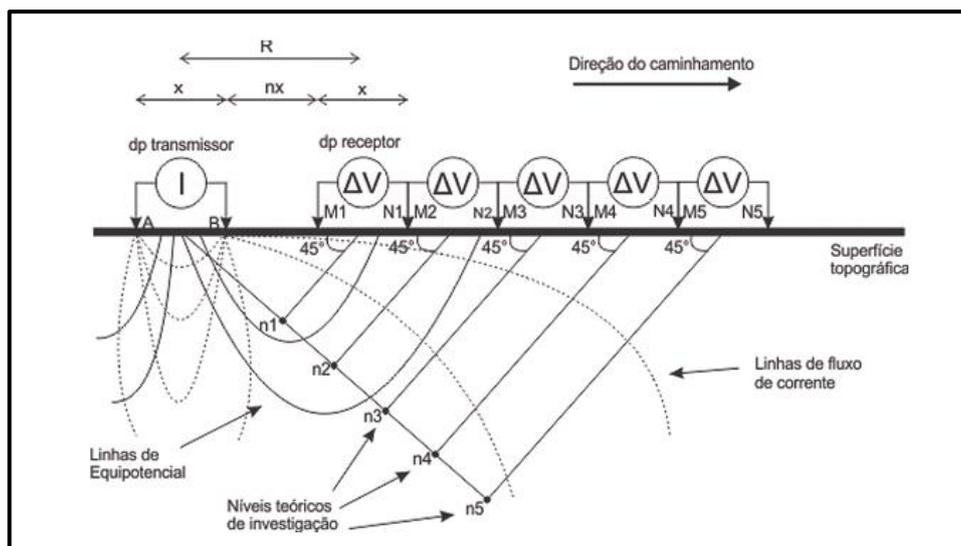


Figura 4 – Esquema do arranjo dipolo-dipolo utilizado em caminhamentos elétricos.

6. LEVANTAMENTO DOS DADOS

Nos trabalhos de aquisição de dados foi levantado um total de 18 seções dipolo-dipolo com 10 níveis de investigação, cada uma. As seções foram localizadas em diferentes pontos da cidade, totalizando 3.615 metros (Figura 5). Em algumas seções o caminhamento foi repetido com valores de espaçamentos dos eletrodos variáveis com a finalidade de comparação dos resultados (Figura 5 e Tabela 1).

Os levantamentos foram realizados na área urbana com pavimentação e construções (fotografias 5 e 6) e na periferia da cidade ainda em fase de avanço da urbanização (Fotografia 7). Em ambos os casos, as operações foram facilitadas pela existência de um solo bastante condutivo, resultando, na maioria das vezes em uma baixa resistência de contato sem que houvesse necessidade de umedecer o solo onde os eletrodos foram fixados.

Para a parametrização do levantamento e com vistas a trabalhos mais abrangentes no futuro optou-se pela utilização de diversos espaçamentos no arranjo dipolo-dipolo na expectativa de identificação de cavernas e rachaduras. Foram testados 25, 20, 10 e 5 metros de espaçamento entre os eletrodos.

O maior caminhamento elétrico realizado com espaçamento de 25 m entre os eletrodos teve caráter de investigação mais regional (Perfil 8, na Figura 5). Esta seção, localizada ao longo da rodovia BA-432 de acesso a

cidade, passa próximo da área de beneficiamento de uma pedreira e da entrada de Lapão. Ela finaliza na saída sul da cidade totalizando 700 m de extensão. Na extremidade norte do perfil ocorre uma área de colapso com abatimentos topográficos e diversas trincas no solo.

Na região do centro da cidade ocorreram os maiores problemas estruturais, com diversas áreas de subsidência e colapso do solo. Nas ruas Augusto Galvão e José Marcelino, próximas da Fonte de Lapão e na Travessa Sócrates Soares foram realizados 6 seções, sendo duas em cada rua, com espaçamento de 10 e 5 metros entre os eletrodos (perfis 4-5, 6-7 e 9-10, na Figura 5). Uma seção mais longa, com espaçamento dos eletrodos de 10 metros, foi levantada a oeste da fonte, na Rua Antônio Dourado Sobrinho (perfil 18, na Figura 5).

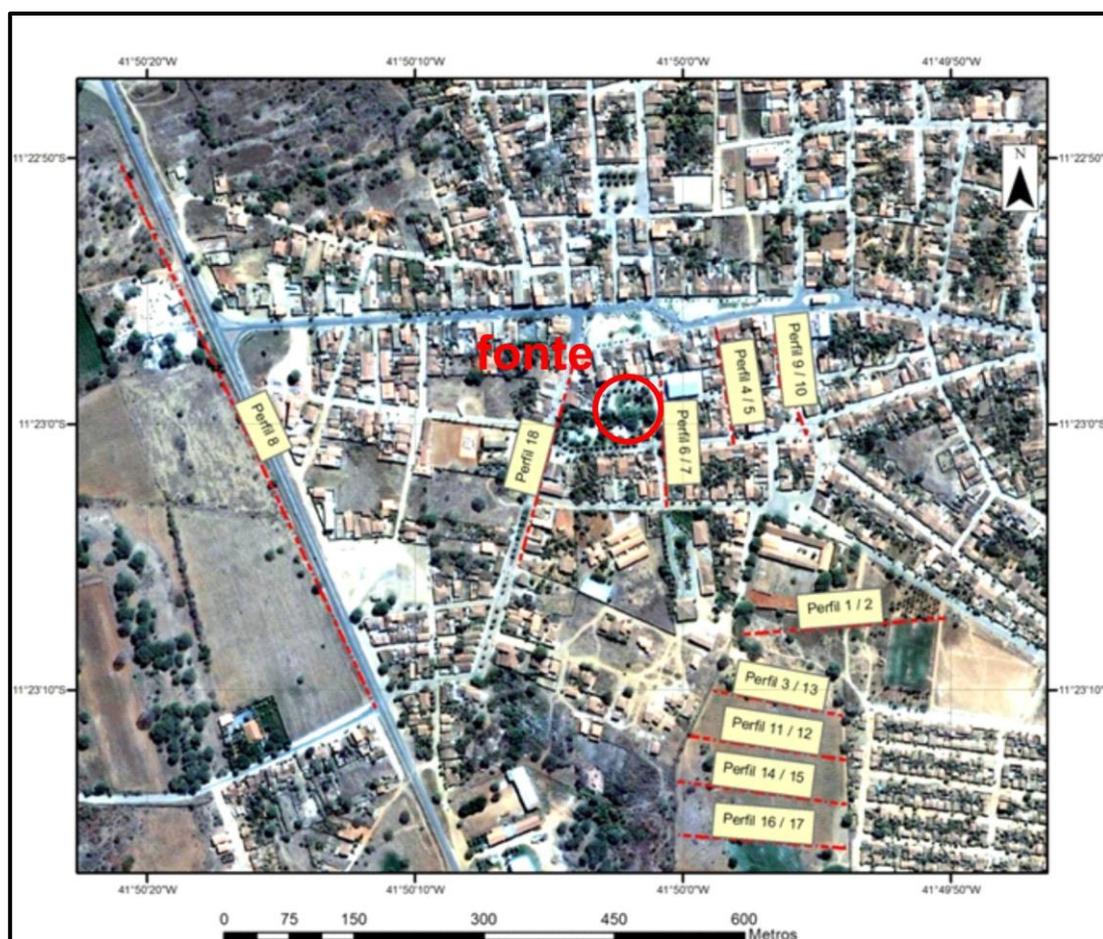


Figura 5 – Imagem aérea da cidade de Lapão com a localização dos caminhamentos elétricos levantados.



Fotografia 5 – levantamento de eletrorresistividade na Rua José Marcelino, transversal a uma zona de fratura que se propagou a partir da dolina da Fonte de Lapão.

Caminhamento	Sentido	Azimute	Espaçamento eletrodos (m)	Comprimento (m)
1	E-W	N90°	20	240
2	E-W	N90°	10	240
3	W-E	95°	10	150
4	S-N	0°	10	130
5	S-N	0°	5	130
6	S-N	0°	10	130
7	S-N	0°	5	130
8	NW-SE	N165°	25	700
9	S-N	0°	10	130
10	S-N	0°	5	130
11	E-W	95°	10	180
12	E-W	95°	5	180
13	W-E	95°	5	155
14	W-E	95°	10	190
15	W-E	95°	5	190
16	E-W	92°	10	190
17	E-W	92°	5	190
18	NE-SW	N5°	10	230

Tabela.1 - Dados referentes às secções levantadas.



Fotografia 6 – levantamento de eletroresistividade ao longo da Rua Augusto Galvão e na Praça da Fonte.



Fotografia 7 – levantamento de eletroresistividade em uma dolina em formação no Bairro Ida Cardoso.

7. PROCESSAMENTO E MODELAGEM DOS DADOS

Na modelagem dos dados das pseudo-seções dipolo-dipolo levantadas foi empregado o método de inversão geofísica, que consistiu na determinação dos parâmetros de resistividade e profundidade de um modelo bi-dimensional (2-D), a partir dos dados de resistividade. No procedimento foi utilizado o *software res2dinv* (Geotomo Software, 2003, Loke, 2000). O modelo 2-D usado no programa divide a seção em um determinado número de blocos retangulares, sendo o seu arranjo definido pela distribuição dos dados na pseudo-seção. O *software* calcula a resistividade dos blocos retangulares para ajustar as medidas realizadas. A rotina de inversão utiliza uma técnica de otimização denominada de "*smoothness-constrained least-squares*" (Sasaki, 1992). A otimização procura reduzir a diferença entre os valores de resistividades calculados e os medidos em campo. A medida dessa diferença (*error*) é dada pelo "*root mean squared - RMS*" (Loke & Barker, 1996). Por causa da necessidade de efetuar uma inversão realística, Fox *et al.* (1980) analisaram os resultados da influência da topografia nas anomalias de resistividade do arranjo dipolo-dipolo e mostraram que a modelagem por elementos finitos soluciona o problema da topografia. Esta técnica está inserida nas operações de inversão do *res2dinv*.

Previamente a modelagem, os dados de campo foram analisados para garantir a qualidade da aquisição. Por se tratar de ambiente urbano, poderia ter ocorrido perda de corrente em função da resistividade de contato eletrodo/solo. É importante frisar que durante a modelagem foi verificado que as diferenças de baixa resistividade são mal interpretadas pelo *software*.

Para auxiliar o procedimento de modelagem, os dados geofísicos foram calibrados por meio de uma seção (Perfis 1 e 2, Figura 5) localizada próxima de um poço tubular ativo (o nível estático informado é de aproximadamente 50 m) perfurado em uma área topograficamente deprimida, onde possivelmente está ocorrendo colapso do terreno. Também foi levantada uma seção próxima da Fonte de Lapão (Perfis 6 e 7, Figura 5), onde já é conhecida uma rede de cavidades interconectadas.

8. RESULTADOS

Após a modelagem, os dados de eletrorresistividades aparentes coletados nos caminhamentos foram apresentados como seções verticais de resistividade e profundidade, com a resistividade apresentada em intervalos de contornos logarítmico e linear (figuras nos itens 8.2, 8.3 e 8.4). A principal diferença na visualização entre os dois métodos de apresentação da distribuição de resistividades é causada pela repartição de corres com gradientes mais suaves entre altas e baixas resistividades para a logarítmica, em contraste com a linear, que enfatiza de forma mais evidente as resistividades mais altas.

8.1. INTERPRETAÇÃO GEOLÓGICA DOS DADOS

A interpretação dos dados foi efetuada considerando conjuntos separados de seções por área de levantamento. Neste contexto foram consideradas separadamente duas áreas: i) Centro da Cidade - Fonte de Lapão; e ii) Bairro Ida Cardoso - Fazenda de Gildásio. O perfil mais longo e de investigação mais profunda (Seção Geométrica 8) realizado ao longo do rodovia BA-432 na entrada de Lapão (Figura 5) foi analisado individualmente. Os resultados das interpretações foram integrados para formulação de uma interpretação conjunta das condições geométricas do ambiente carstíco em desenvolvimento na área urbana de Lapão.

Na região afloram diferentes tipos de calcário com variados níveis de alteração e deformação (Prancha Fotográfica 1). Em alguns afloramentos constatou-se uma densidade alta de fraturas nas direções N-S, 60°Az, 30°Az, e 330°Az, a maioria com mergulhos subverticais (Prancha Fotográfica 2). As fendas recentemente abertas (Fotografia 2) ocorrem principalmente nas direções N-S e 130°Az. Elas são observadas tanto nas rochas como no solo. Além disto, ocorre uma correlação clara entre áreas colapsadas e rachaduras.

Na bibliografia é atribuída para os calcário uma variação de resistividade entre 100 e 10.000 ohm.m (Gráfico 1). Neste trabalho, apesar não de ter sido feita uma medida direta da resistividade elétrica dos diferentes tipos de

calcários, os resultados das modelagens dos dados e a sua interpretação indica que calcários muito alterados estão associados com baixas resistividades (<500 ohm.m) enquanto os calcários mais preservados correspondem às resistividades médias (500 a 2.000 ohm.m). Dessa forma, foi adotado na interpretação o critério de considerar as regiões das seções com resistividades menores do que 500 ohm.m como áreas de ocorrência de calcários alterados e/ou muito fraturados, enquanto as áreas com valores médios de resistividades foram consideradas como calcários pouco alterados. As feições circulares com resistividades médias e altas foram interpretadas como prováveis cavidades. Isto ocorre por causa da resistência a corrente elétrica provocada pelo ar contido nos espaços vazios.

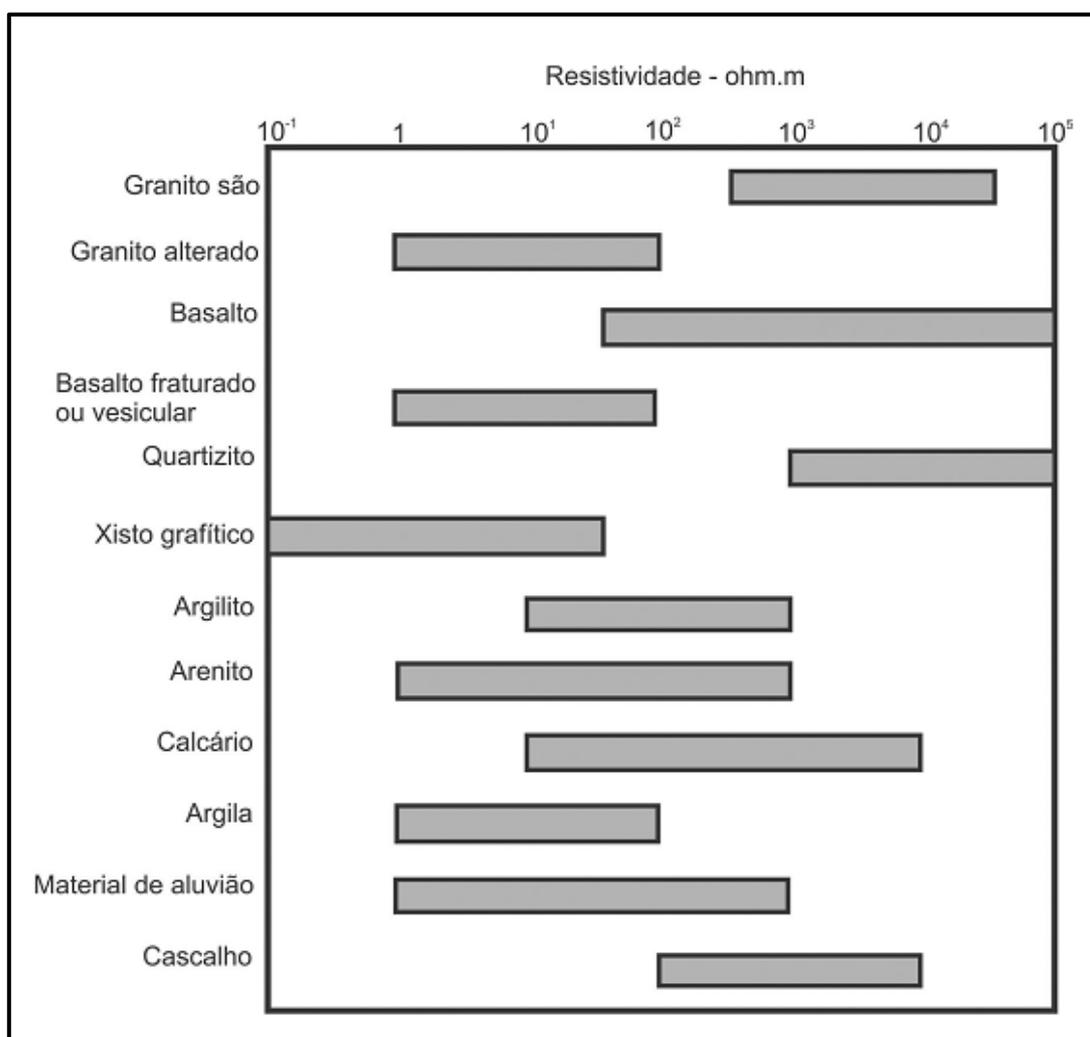


Gráfico 1 – Valores de resistividade média em rochas e solos. Adaptado de Ward (1990).



Prancha Fotográfica 1 – Tipos diferentes de calcários que afloram na área urbana de Lapão. **A** – Calcário maciço, coloração cinza e fraturado; **B** – Calcário amarelado com feições de dissolução.



Prancha Fotográfica 2 – Calcários fraturados que afloram nas proximidades do Bairro Ida Cardoso. **A** – Calcário maciço, cinza, fraturado em várias direções; **B** – Fratura vertical aberta com direção N-S em calcário de coloração amarelada.

8.2. CENTRO DA CIDADE - FONTE DE LAPÃO

Na região do centro da cidade, nas proximidades da Fonte de Lapão, ocorreram os maiores problemas relacionados com danos estruturais nas construções. Nesta região foram levantadas 4 seções geolétricas (Figura 6), todas na direção N-S e transversais a uma zona de deformação de direção E-O. A Fonte de Lapão é uma dolina muito antiga, em torno da qual a cidade cresceu. No passado esta fonte forneceu água para a população que habitou em seu entorno. Nessa época o nível freático era raso e a população tinha acesso fácil ao nível de água. Atualmente, a água está muito profunda (em torno de 20 a 30 metros da superfície, dependendo da época do ano) e a fonte

está interdita por causa dos problemas recentes de colapso das paredes da dolina.

Os eventos recentes de deformação do terreno na região da fonte apresentaram uma tendência de propagação para leste a partir da dolina, possivelmente por causa da sobrecarga produzida pela construção de uma quadra esportiva e de um supermercado de dois pavimentos (atualmente danificados, Prancha Fotográfica 3) em locais onde já era conhecida a existência de cavidades e onde havia um alinhamento de poços antigos. Os pares de seções geoeletricas 6 e 7 (figuras 7 e 8), 4 e 5 (figuras 9 e 10) e 9 e 10 (figuras 11 e 12) são os resultados dos levantamentos transversais a esta zona de deformação.

Na seção 6 (eletrodos espaçados de 10 m), mais próximas da fonte (Rua Augusto Galvão e Praça da Fonte), observam-se feições de baixa resistividade (<100 ohm.m) com arqueamento dos horizontes resistivos que podem ser interpretados com zonas de colapso (Figura 7). Isto ocorre porque as rochas com cavidades, além de deformadas e colapsadas, facilitaram a penetração de água e conseqüentemente o desenvolvimento acelerado do processo de alteração por intemperismo dos calcários, favorecendo a penetração da corrente elétrica. Distinguem-se também pelos menos duas zonas de deformação verticalizadas associadas também com feições alongadas de baixa resistividade. Além dessas feições de baixa resistividade distinguem-se nas seções alguns setores com resistividades médias interpretadas como calcários bem preservados e setores com forma circular de alta resistividade interpretada como cavidade. A seção 7 (Figura 8) na mesma posição, porém, com eletrodos separados de 5 m, é um detalhamento da metade superior da seção 6. Por esta razão é possível observar de forma mais adequada as feições de colapso interpretadas pelo encurvamento dos horizontes resistivos, bem como, as zonas de deformação e as cavidades. A feição circular que ocorre no centro da seção 7 (Figura 8) é uma cavidade que possivelmente possui conexão com a dolina da fonte.

Nas seções 4 e 5 (10 e 5 m, respectivamente) (figuras 9 e 10) levantadas na Rua José Marcelino é possível observar as mesmas feições destacadas nas seções anteriores, ou seja, colapso do terreno, zonas de deformação vertical e cavidades. A seção 5 com eletrodos espaçados de 5 m é um detalhamento da

metade superior da seção 4. Da mesma forma, as seções 9 e 10 (10 e 5 m, respectivamente) (figuras 11 e 12) realizadas na Travessa Sócrates de Menezes também evidenciam de forma clara um inter-relacionamento entre as três referidas feições. Na Prancha Fotográfica 4 é possível observar as evidências em superfície do processo que está ocorrendo na Travessa Sócrates de Menezes. O aspecto interpretativo mais importante resultante das observações acima é a evidência de um processo de carstificação fortemente favorecido pelo peso das construções, pela percolação de água pluvial e de esgotos proveniente das habitações próximas. A propagação da deformação possivelmente está herdando uma direção de desenvolvimento do carste que já existia antes da construção da cidade.

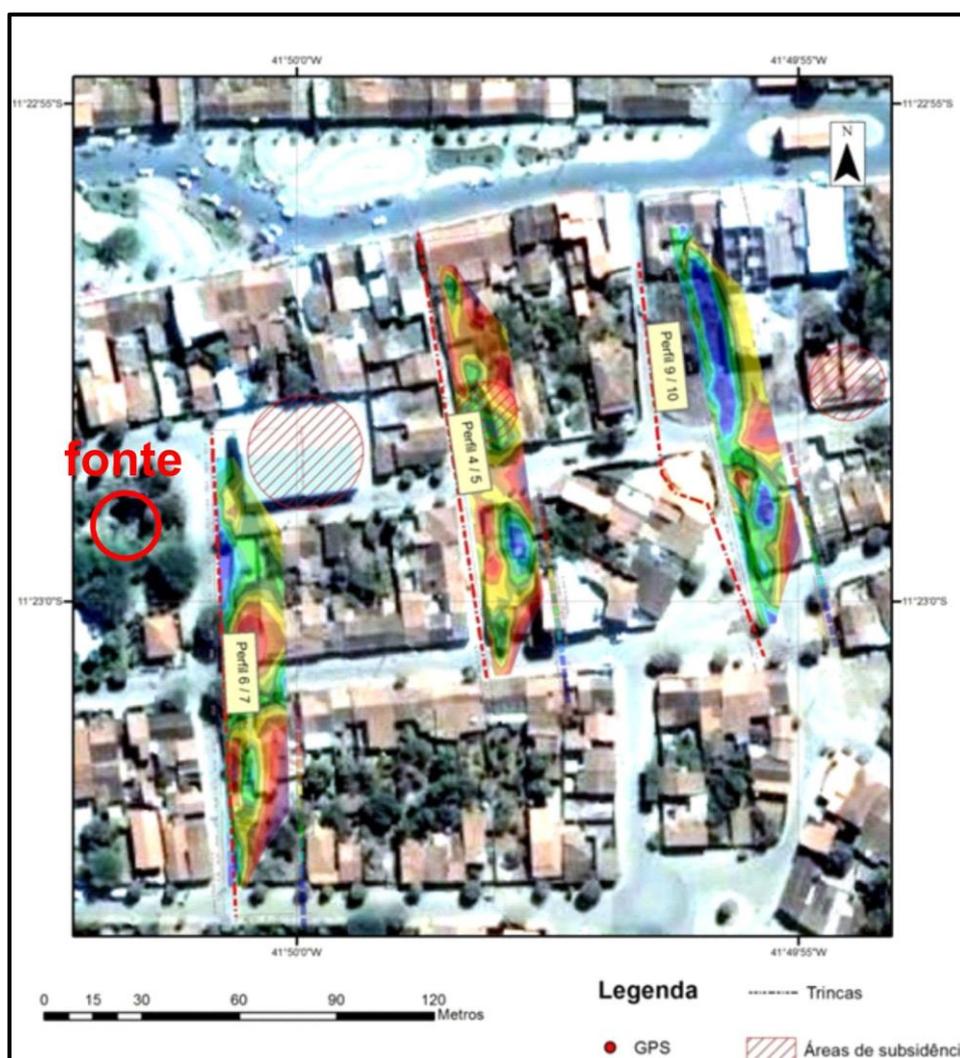


Figura 6 – Localização dos caminhamentos elétricos no centro da cidade de Lapão nas proximidades da fonte. As seções geoeletricas verticais estão rebatidas na horizontal.



Prancha Fotográfica 3 – Danos causados pela propagação da zona de deformação a partir da dolina da Fonte de Lapão. **A** – Colapso na quadra esportiva construída adjacente a Praça da Fonte. No local em que a quadra foi construída já era conhecida uma cavidade que se conectava com a dolina; **B** – Vista interna dos danos causados nas paredes de um mercado em construção.



Prancha Fotográfica 4 – Situação das construções da Travessa Sócrates de Menezes, transversal a zona de deformação que se propagou a partir da Fonte de Lapão. **A** – Colapso e trincas no piso da travessa; **B** – Rupturas da parede de um mercado em construção; **C** – Fratura aberta; **D** – Levantamento geofísico ao longo da travessa.

Na Rua Antônio Dourado Sobrinho de direção N-S localizada a oeste da Fonte de Lapão (Perfil 18 na Figura 5) foi levantada uma seção com eletrodos espaçados de 10 metros (Seção Geométrica 18, Figura 13). O objetivo foi pesquisar a existências de zonas de deformação e cavidades com características semelhantes aquelas que foram detectadas no lado oeste da fonte (Seções 6 e 7, 4 e 5 e 9 e 10, Figura 6). Apesar de não ter sido observado em superfície indícios de zonas de deformação ou danos nas construções desse lado da fonte, os resultados do levantamento da Seção 18 revelaram a existência de três zonas de deformação, que possivelmente são a continuidade para oeste das mesmas zonas de deformação interpretadas acima. Esta interpretação foi efetuada a partir das inflexões e truncamentos dos horizontes resistivos. Nesta seção, os valores de resistividade menores que 500 ohm.m indicam a existência de um nível mais superficial com calcários parcialmente alterados (ou originalmente com baixa resistividade) que se estendem até a profundidade de 17 metros. A partir dessa profundidade os dados de resistividades revelam a existência de um nível eletricamente bastante resistivo (>3.000 ohm.m) sugerindo a correlação com calcários consolidados ou originalmente com alta resistividade. Contudo, é possível observar um setor com distribuição de resistividades de forma circular que pode ser interpretado como uma cavidade. Estas interpretações dos dados geofísicos da Seção 18 indicam que apesar das deformações estarem atualmente concentradas no lado leste da fonte, a região a oeste possui os mesmos ingredientes que poderiam com passar do tempo induzir deformações que se propagariam a partir da região de maior fraqueza, atualmente centralizada na fonte.

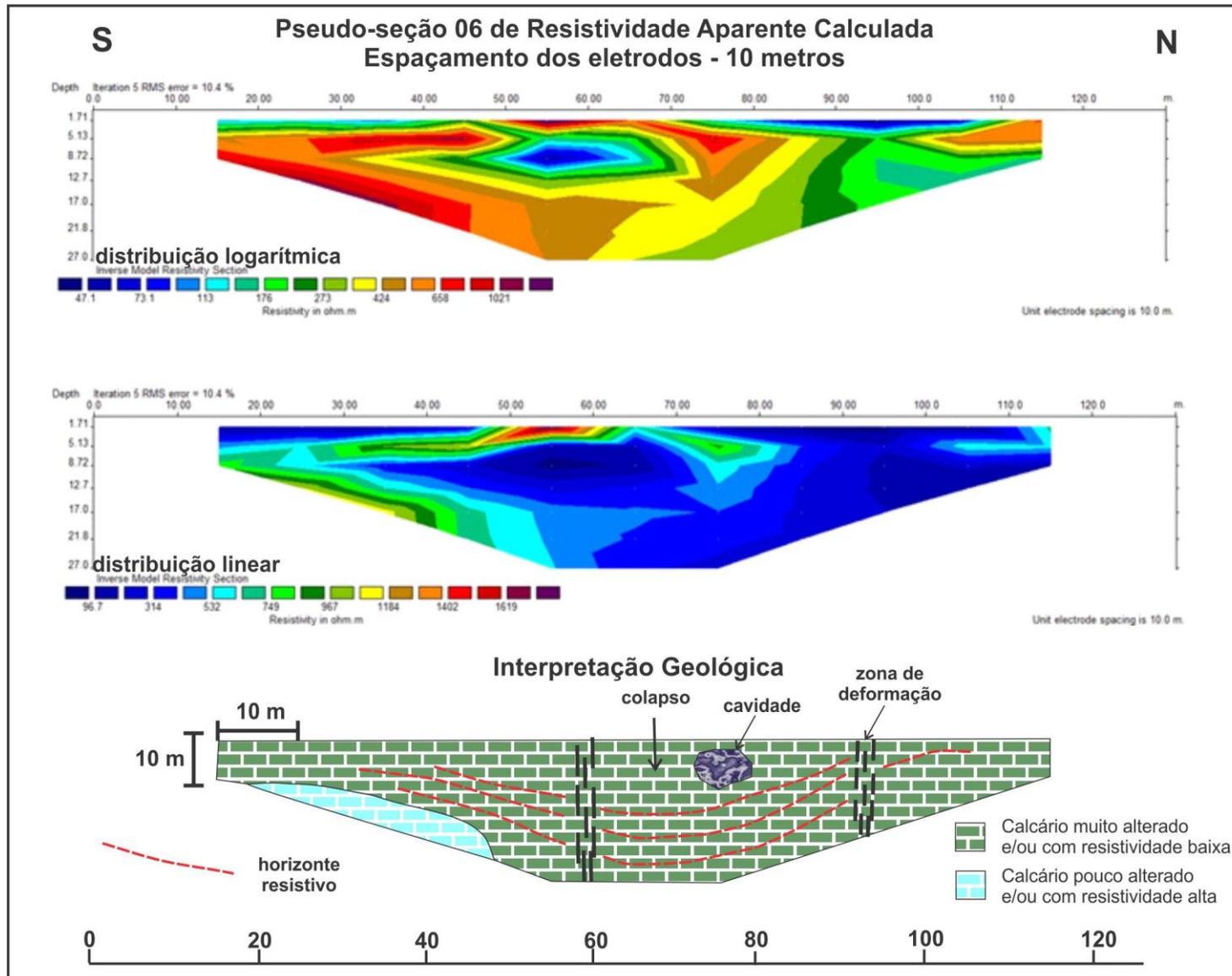


Figura 7 – Seção Geolétrica 6 localizada na Rua Augusto Galvão e Praça da Fonte.

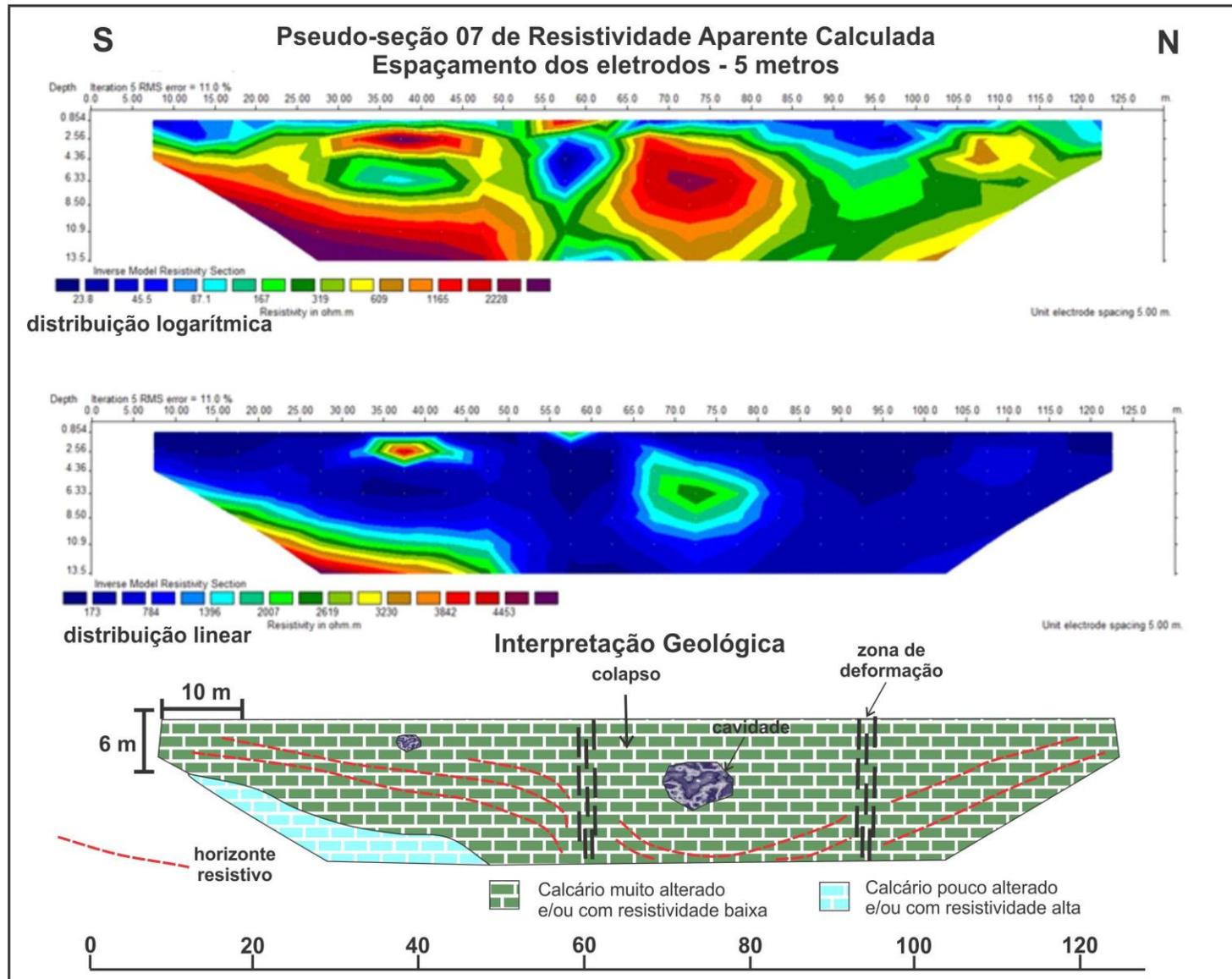


Figura 8 – Seção Geoelétrica 7 localizada na Rua Augusto Galvão e na Praça da Fonte. Esta seção com eletrodos espaçados de 5 m representa um detalhamento da metade superior da Seção 6.

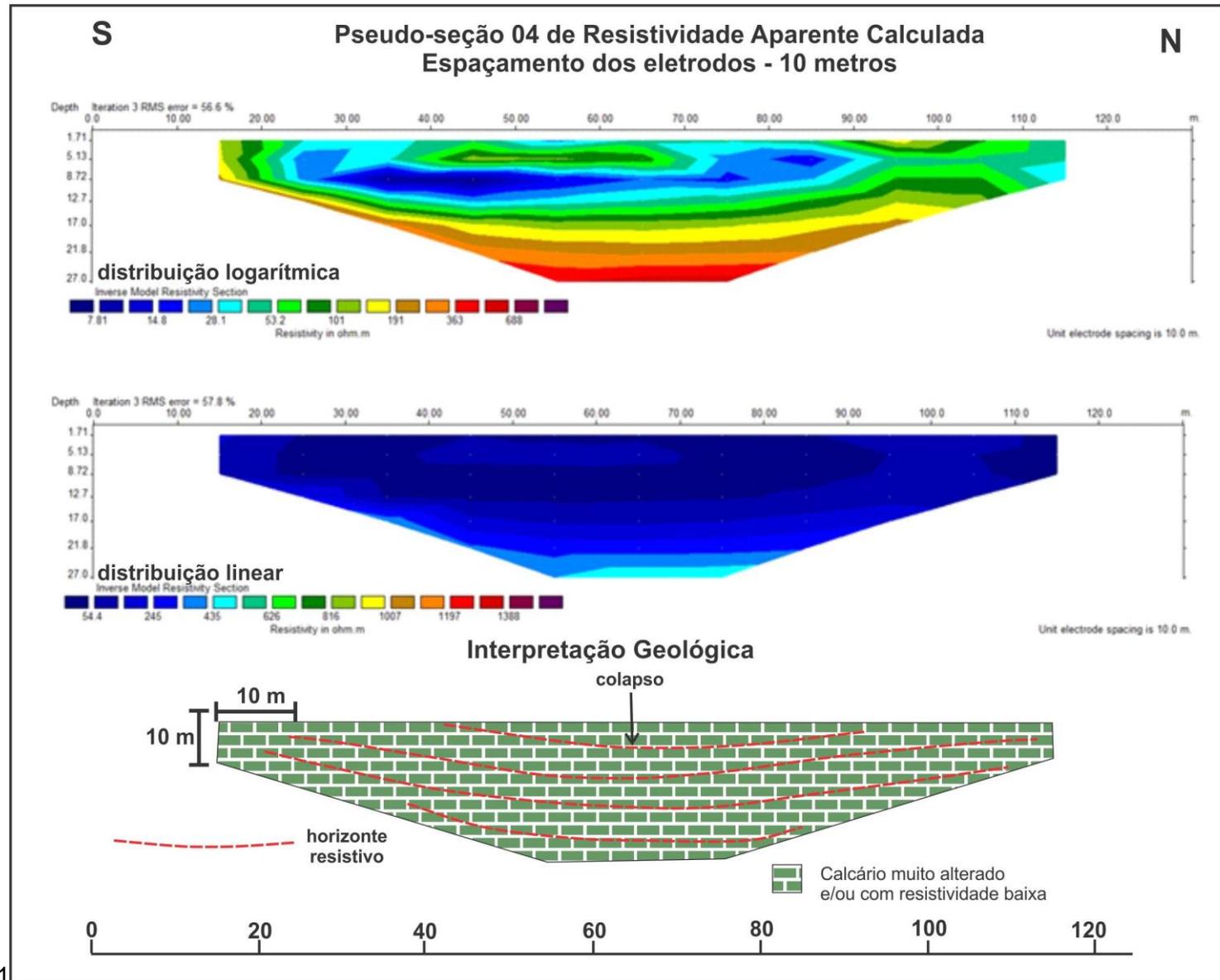


Figura 9 – Seção Geolétrica 4 localizada na Rua José Marcelino.

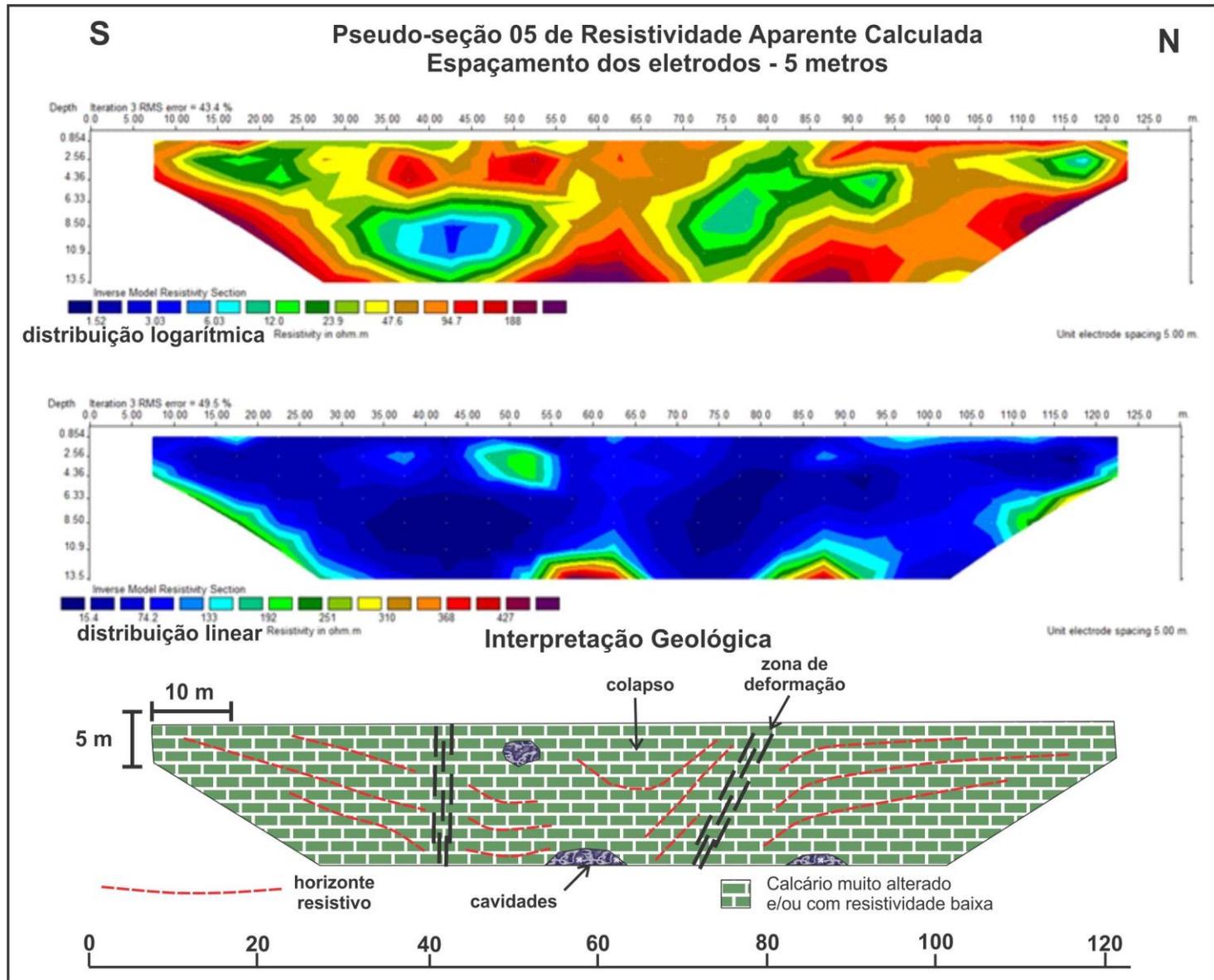


Figura 10 – Seção Geolétrica 5 localizada na Rua José Marcelino. Esta seção com eletrodos espaçados de 5 m representa um detalhamento da metade superior da Seção 5.

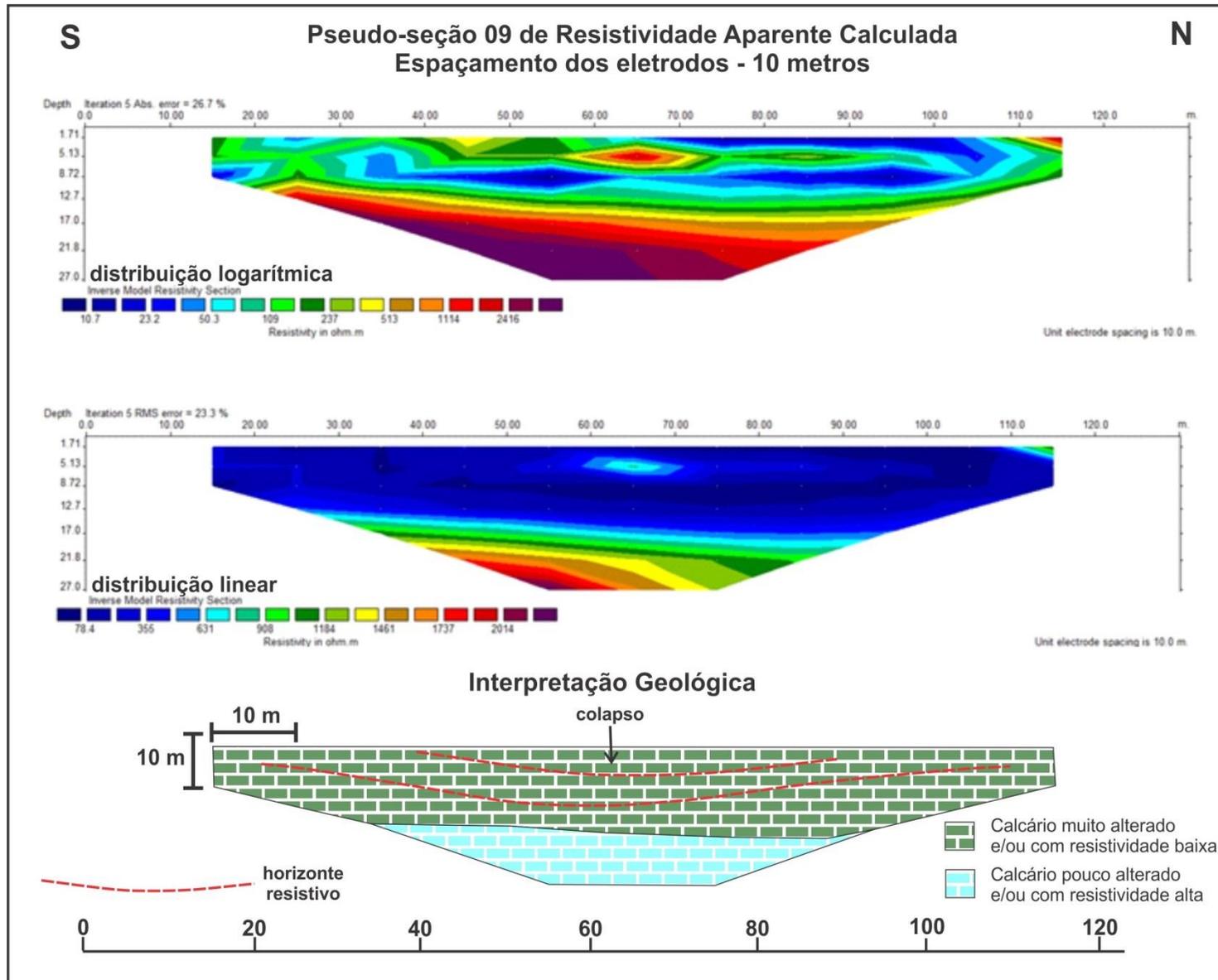


Figura 11 – Seção Geométrica 9 localizada na Travessa Sócrates de Menezes.

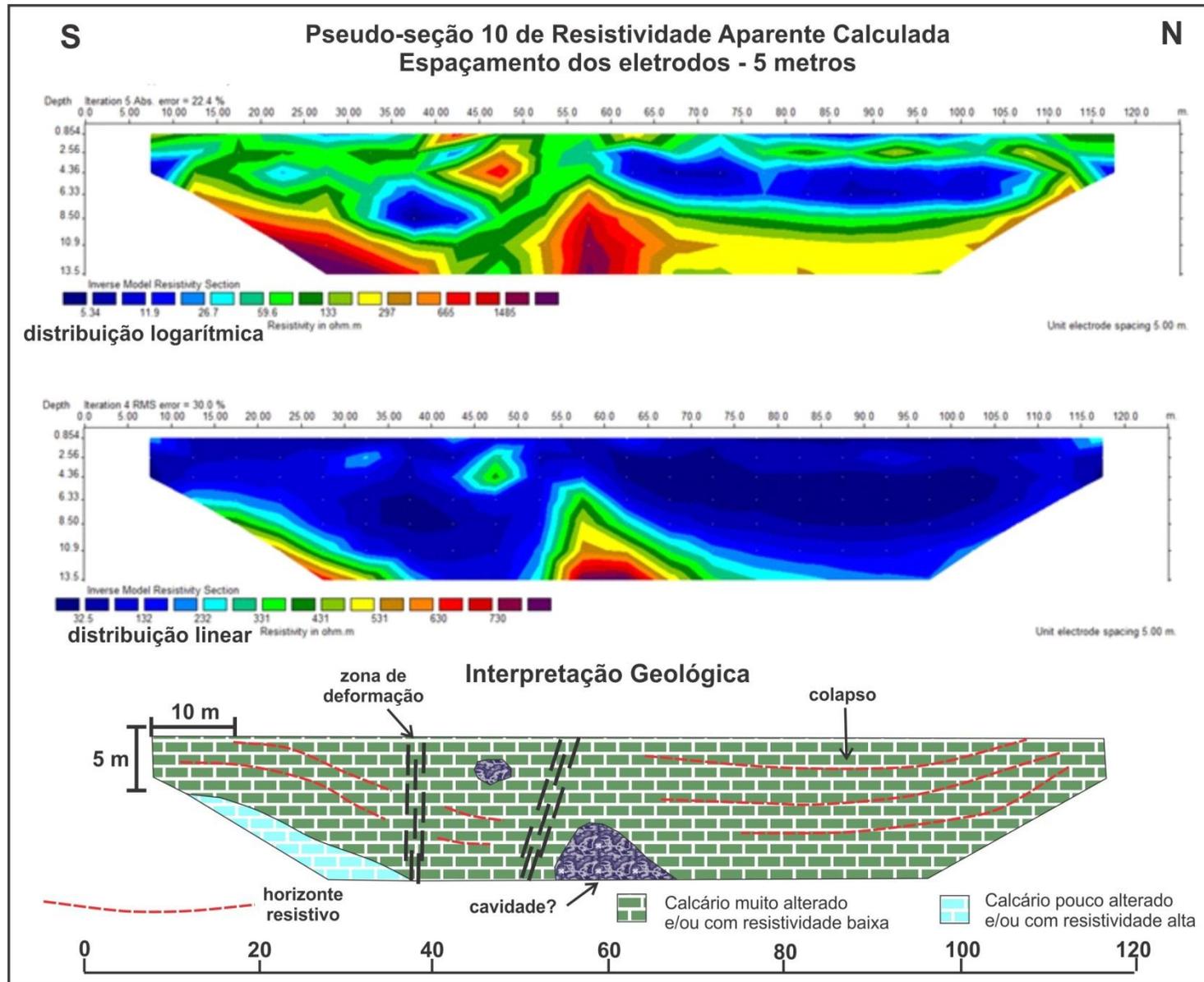


Figura 12 – Seção Geolétrica 10 localizada na Travessa Sócrates de Menezes. Esta seção com eletrodos espaçados de 5 m representa um detalhamento da metade superior da Seção 9.

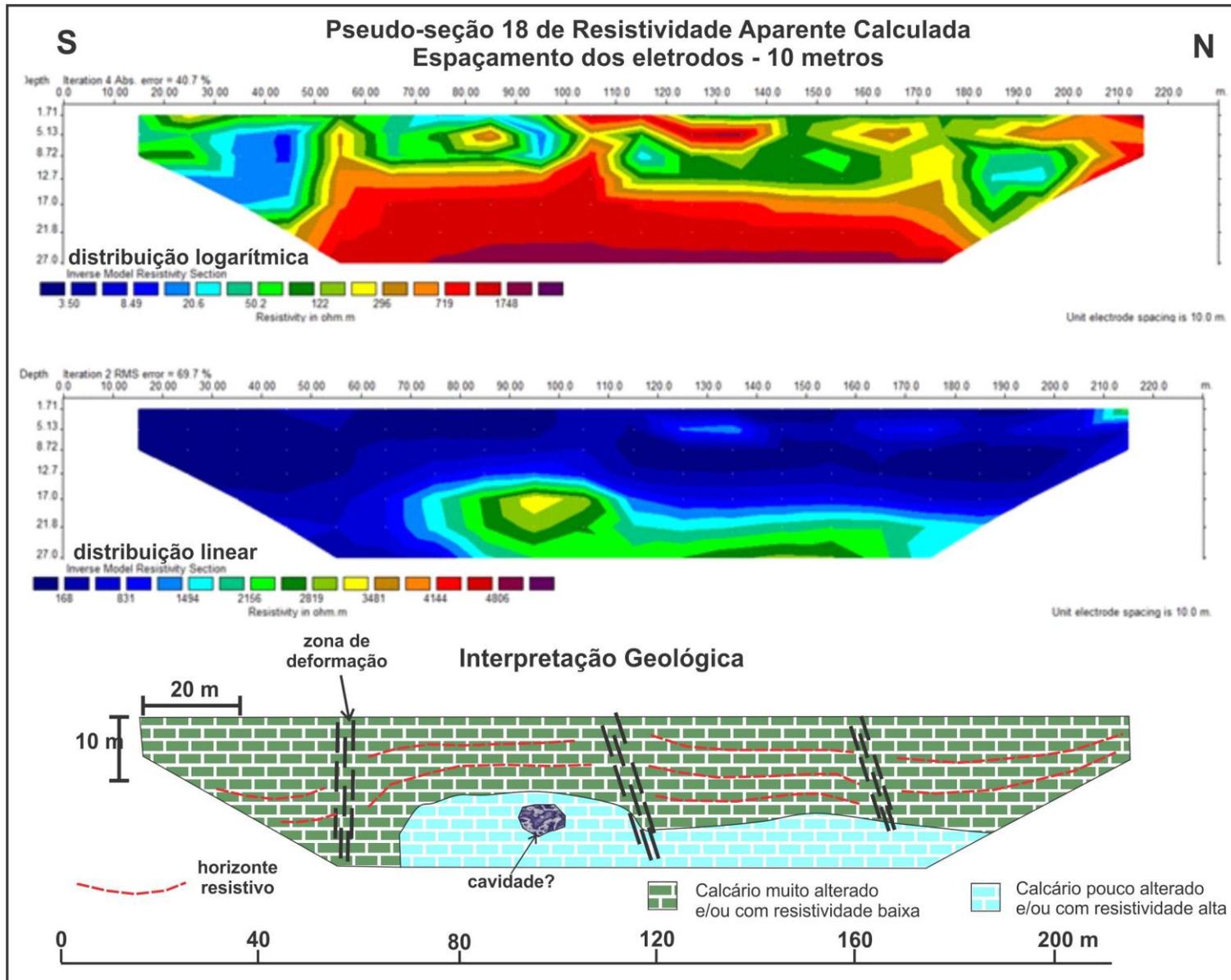


Figura 13 – Seção Geométrica 18 localizada na Rua Antônio Dourado Sobrinho a oeste da fonte.

8.3. BAIRRO IDA CARDOSO E FAZENDA DE GILDÁSIO

8.3.1. BAIRRO IDA CARDOSO

O Bairro Ida Cardoso está localizado em uma área menos urbanizada da cidade (Figura 14 e Prancha Fotográfica 5). Porém, os espaços abertos desta região estão sendo ocupados por construções importantes como uma quadra esportiva, uma creche e um centro de saúde (Fotográfica 8). Todavia, as habitações são formadas por casas de pequeno porte que não produzem uma carga importante no terreno.

Apesar de não serem observados danos muito importantes nas construções dessa região, os dados geológicos e topográficos indicam a existência de um processo de colapso do terreno, que já está se propagando para as adjacências produzindo trincas nas paredes de algumas habitações das vizinhanças.

Na região localizada a oeste do Centro Administrativo, nas adjacências de um Grupo Escolar e da Rua Justiniano Castro Dourado, observa-se uma área topograficamente deprimida com indícios de formação recente de fendas no solo (Prancha Fotográfica 5 e Fotografia 8). Neste local foram levantadas as seções geoeletricas 1 e 2 (figuras 14), projetadas para passar ao lado de um poço tubular localizado no ponto topograficamente mais rebaixado (Prancha Fotográfica 5). A água proveniente do poço causa alagamento do terreno. O levantamento destas seções também levou em consideração a existência de algumas fendas de direção N-S ao longo de seu percurso (Prancha Fotográfica 5).

As seções geoeletricas 1 e 2 foram levantadas com espaçamento de 20 e 10 metros entre os eletrodos, respectivamente. Elas se estenderam na direção E-O do lado norte de uma quadra esportiva em construção até a rua localizada na parte de trás do Centro Administrativo. O poço tubular está localizado aproximadamente no centro dos caminhamentos (figuras 15 e 16). Ao longo da trajetória das seções também ocorrem vários afloramentos de calcários, a maioria intensamente fraturados nas direções N-S, 60°Az, 30°Az, e 330°Az (ver a Prancha Fotográfica 2 na sessão anterior).

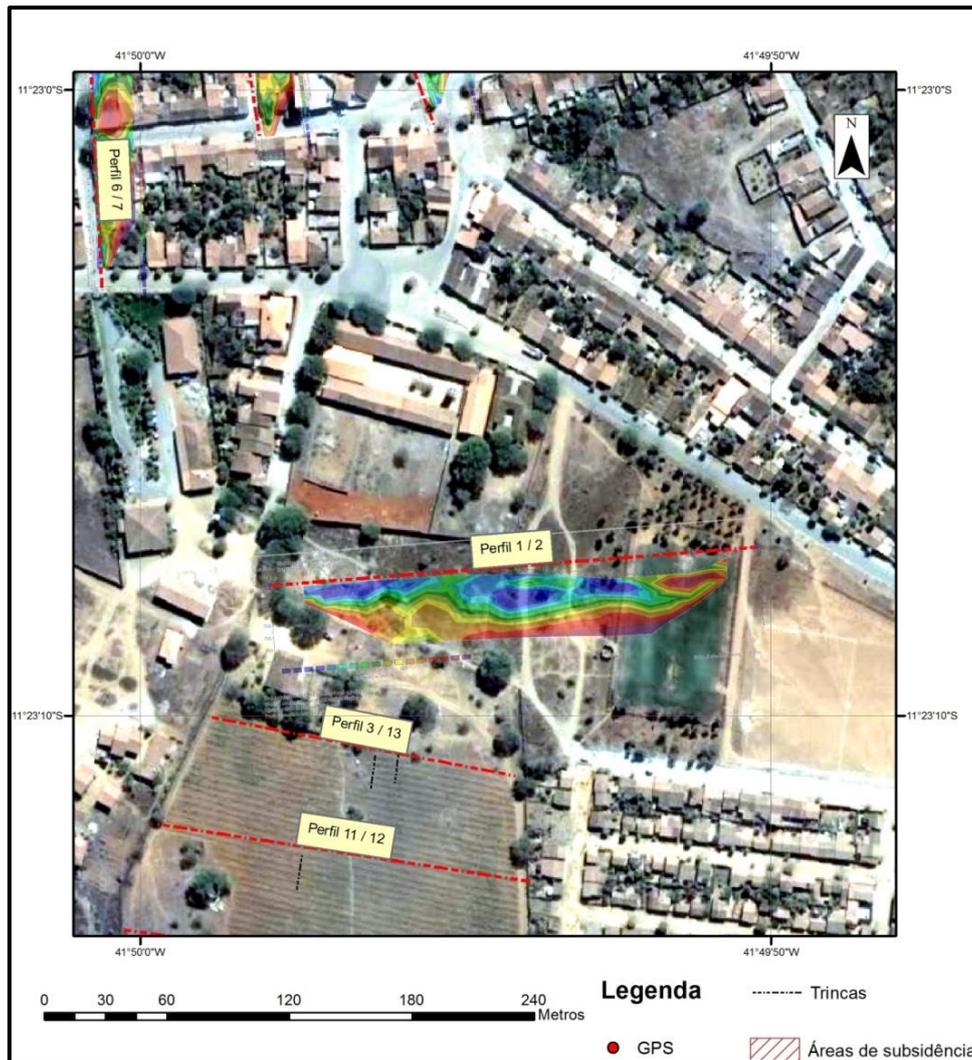
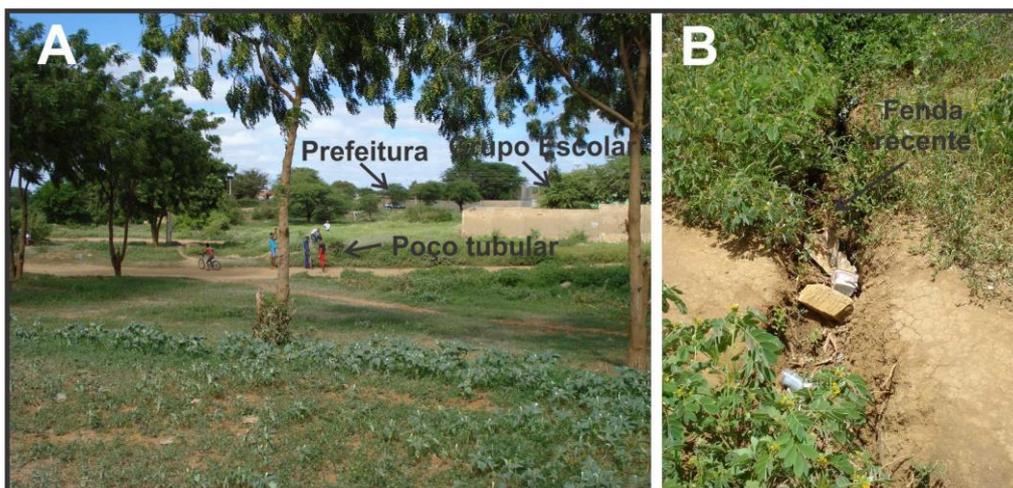


Figura 14 – Localização dos caminhamentos elétricos no Bairro ida Cardoso. A seção geoeétrica vertical está rebatida na horizontal.



Prancha Fotográfica 5 – Aspectos do local onde foram levantadas as seções 1 e 2. **A** – Área topograficamente deprimida com localização do poço tubular. **B** – Fenda N-S formada recentemente e atravessada pelo caminhamento.



Fotografia 8 – Quadra esportiva em construção no Bairro Ida Cardoso. Na parte inferior da fotografia observam-se entulhos preenchendo uma fenda com direção N-S, formada recentemente.

A observação das seções de resistividade e profundidade das seções 1 e 2 (figuras 15 e 16) indica a existência de um nível de calcário com resistividades muito baixas (<100 ohm.m). As condições geológicas e topográficas do local sugerem com uma grande possibilidade a associação desse tipo de assinatura geoeletrica com um substrato rochoso fraco e colapsado. Em profundidade as resistividades aumentam para valores superiores a 2.000 ohm.m, onde o substrato deve apresentar condições mais estáveis ou ocorrer um nível de calcário mais resistivo. Um dos aspectos mais importantes das seções é a forte inflexão para baixo apresentada pelos horizontes resistivos. Esse tipo de feição pode está associada a um colapso do terreno ou representar o registro de um cone de depressão em torno do poço tubular, quando o nível freático era mais raso do que o atual e por causa do atual período prologado de seca encontra-se bastante aprofundado. Entretanto, pode ser que os dois fatores representem em conjunto as causas do processo de subsidência observado no local. Ou seja, a associação entre retirada de água do subsolo, rebaixamento do nível freático e a existência de um substrato calcário enfraquecido por processos de dissolução, pode ser a causa da deformação tectônica evidenciada pelas fendas formadas recentemente.

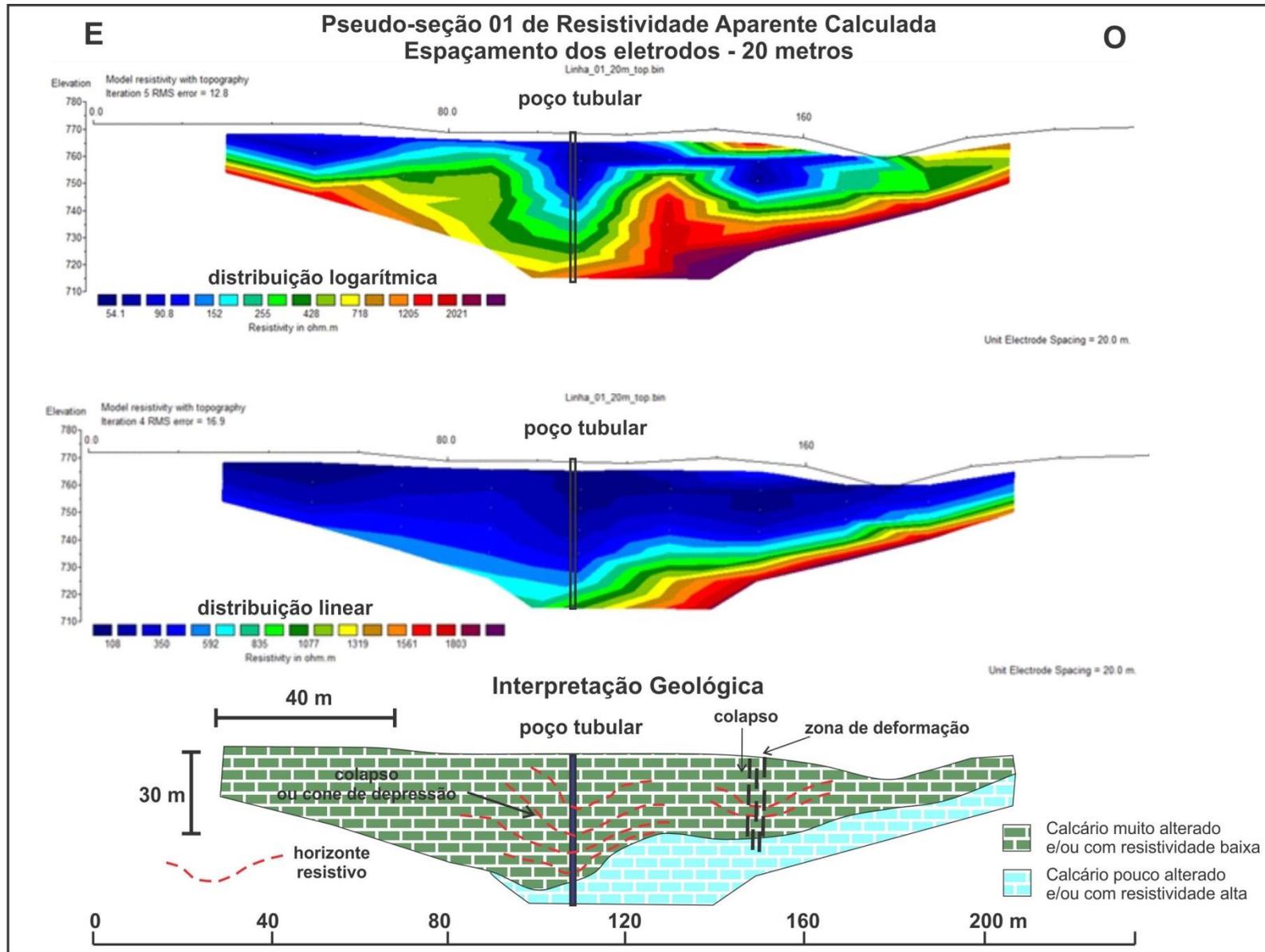


Figura 15 – Seção Geolétrica 01 localizada no Bairro Ida Cardoso.

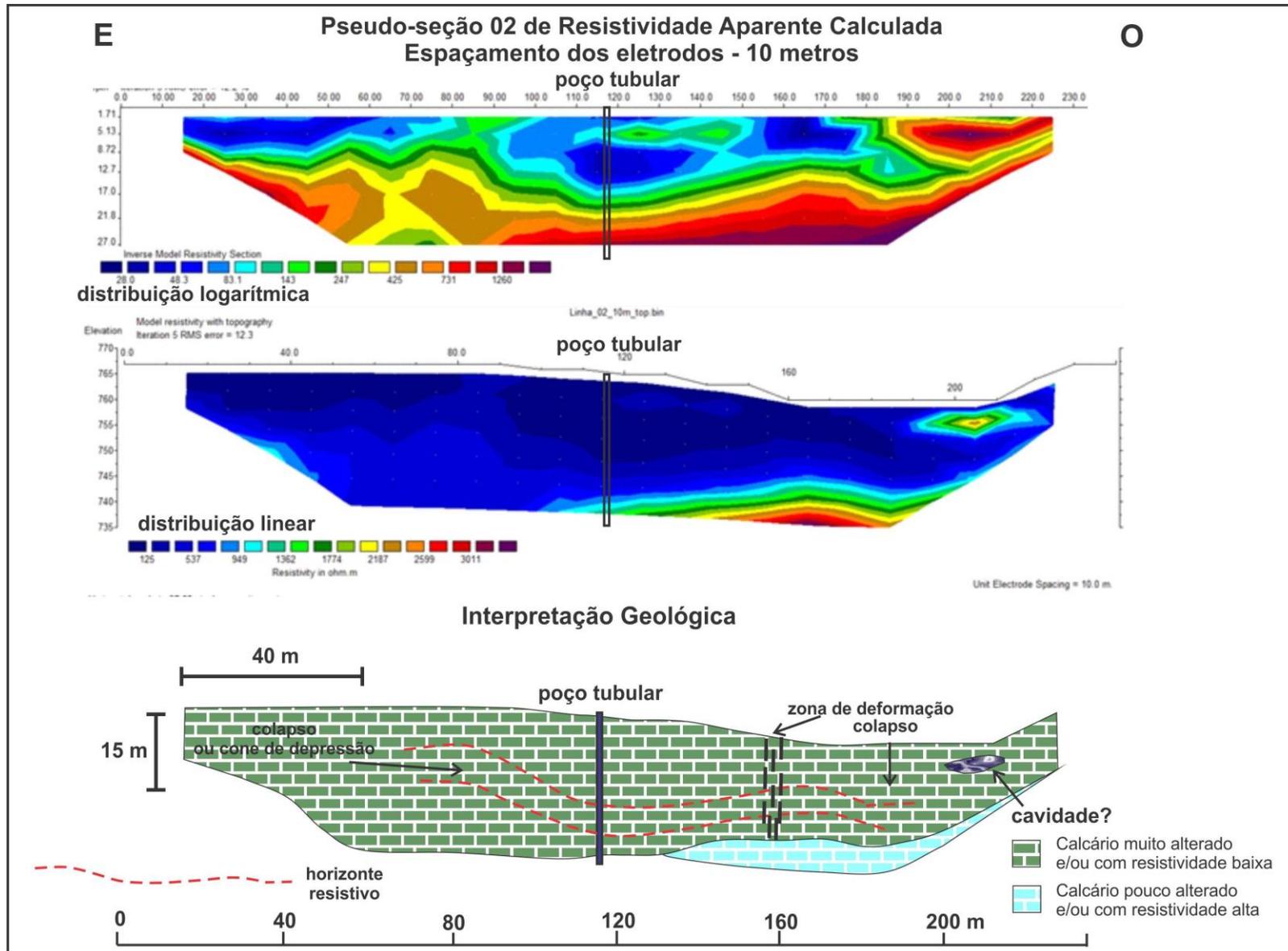


Figura 16 – Seção Geoelétrica 2 localizada no Bairro Ida Cardoso. A seção com eletrodos espaçados de 10 m representa um detalhamento da metade superior da Seção 1, com eletrodos espaçados de 20 m.

8.3.2. FAZENDA DE GILDÁSIO

A Fazenda de Gildásio, conhecida também como “Terreno de Dazão” está em um grande espaço vazio ao lado do núcleo habitacional popular do Bairro Ida Cardoso (figuras 14 e 17). Este local foi alvo em 2008 de um dos maiores eventos de colapso ocorrido na área urbana de Lapão (Maia *et al.*, 2010). O fato chegou a ser noticiado em rede nacional pela TV Globo.

Na Fazenda de Gildásio foram levantadas oito seções em quatro linhas de caminhamentos (Figura 17), cada uma com duas seções, com 10 m e com 5 m de espaçamento dos eletrodos.

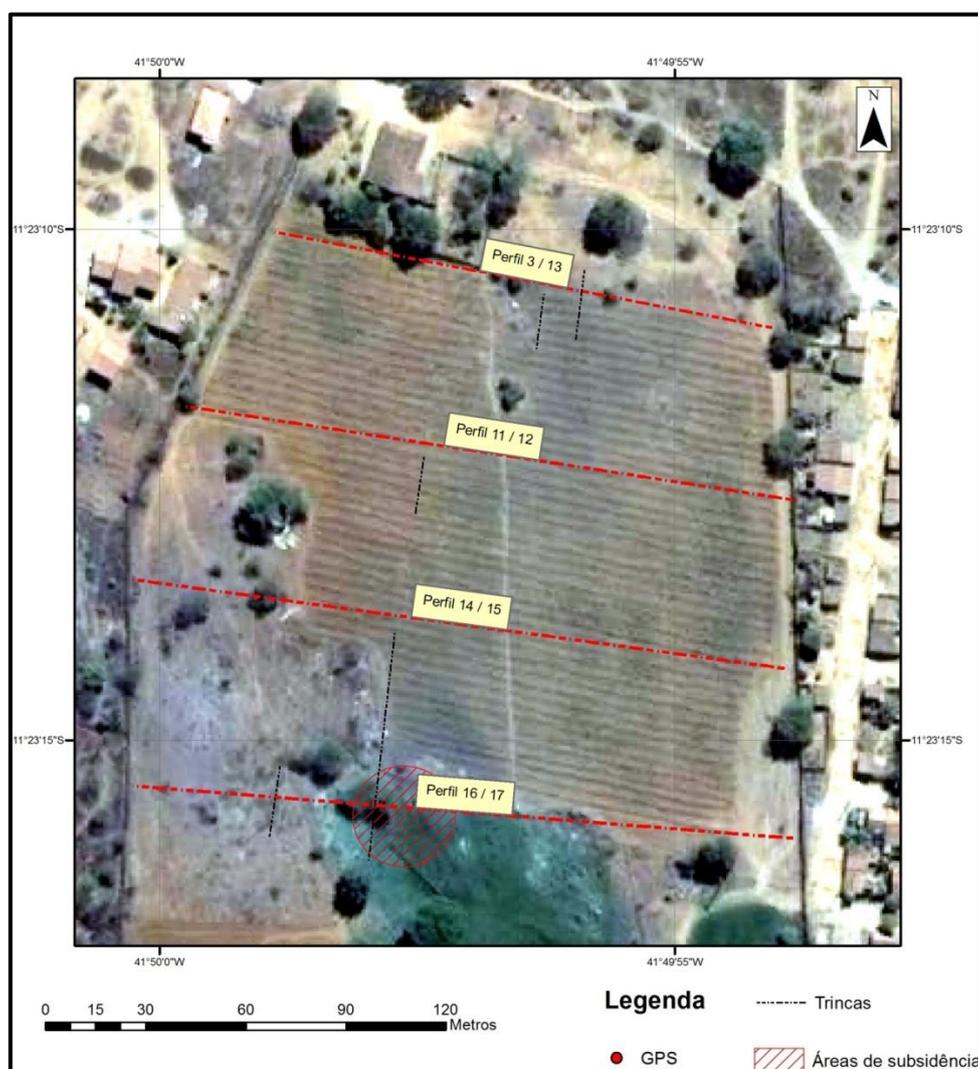


Figura 17 – Localização dos caminhamentos elétricos na Fazenda de Gildásio. Em cada posição de caminhamento foram levantadas duas seções, uma com 10 m e a outra com 5 m de espaçamento dos eletrodos.



Prancha Fotográfica 6 – Aspectos topográficos e tectônicos observados na Fazenda de Gildásio. **A** – Visão panorâmica apresentando a depressão topográfica associada com o colapso do terreno. **B** – Uma das fendas que se irradiam da área colapsada.

As condições geológicas do local apresentam fortes evidências de colapso do terreno como efeito da existência de um substrato calcário alterado e sem resistência tectônica (Prancha Fotográfica 6). Os resultados dos levantamentos geolétricos confirmaram esta previsão. Em todas as seções observa-se uma forte inflexão dos horizontes resistivos indicando rupturas nas zonas de deformação e encurvamento para baixo acompanhando o afundamento da superfície topográfica (figuras 18 a 26). Como nos casos anteriores, observa-se a existência de um nível raso de rochas calcárias com resistividades baixas ($< 500 \text{ ohm.m}$) e em profundidade um nível de calcário mais resistivo, com valores superiores a 2.000 ohm.m . A interpretação mais coerente com as observações geológicas é que o nível menos resistivo represente calcários alterados por processos de dissolução e deformação e os níveis mais resistivos representem rochas mais resistentes e menos deformadas. A interação dos vários agentes, quais sejam, dissolução, fraqueza e deformação levaram ao processo atual de colapso e ao avanço na formação futuramente de uma dolina no local. Esta expectativa é reforçada pela existência em todas as seções de feições circulares de resistividade alta que foram interpretadas como cavidades (figuras 18 a 26). O conjunto das seções pode ser visualizado em forma tridimensional (Figura 26) apresentando uma zona de deformação que permeia o substrato até profundidades maiores do que 20 m. Neste caso, em contraste com os estudos na região da fonte, o efeito da deformação tem forma alongada na direção N-S.

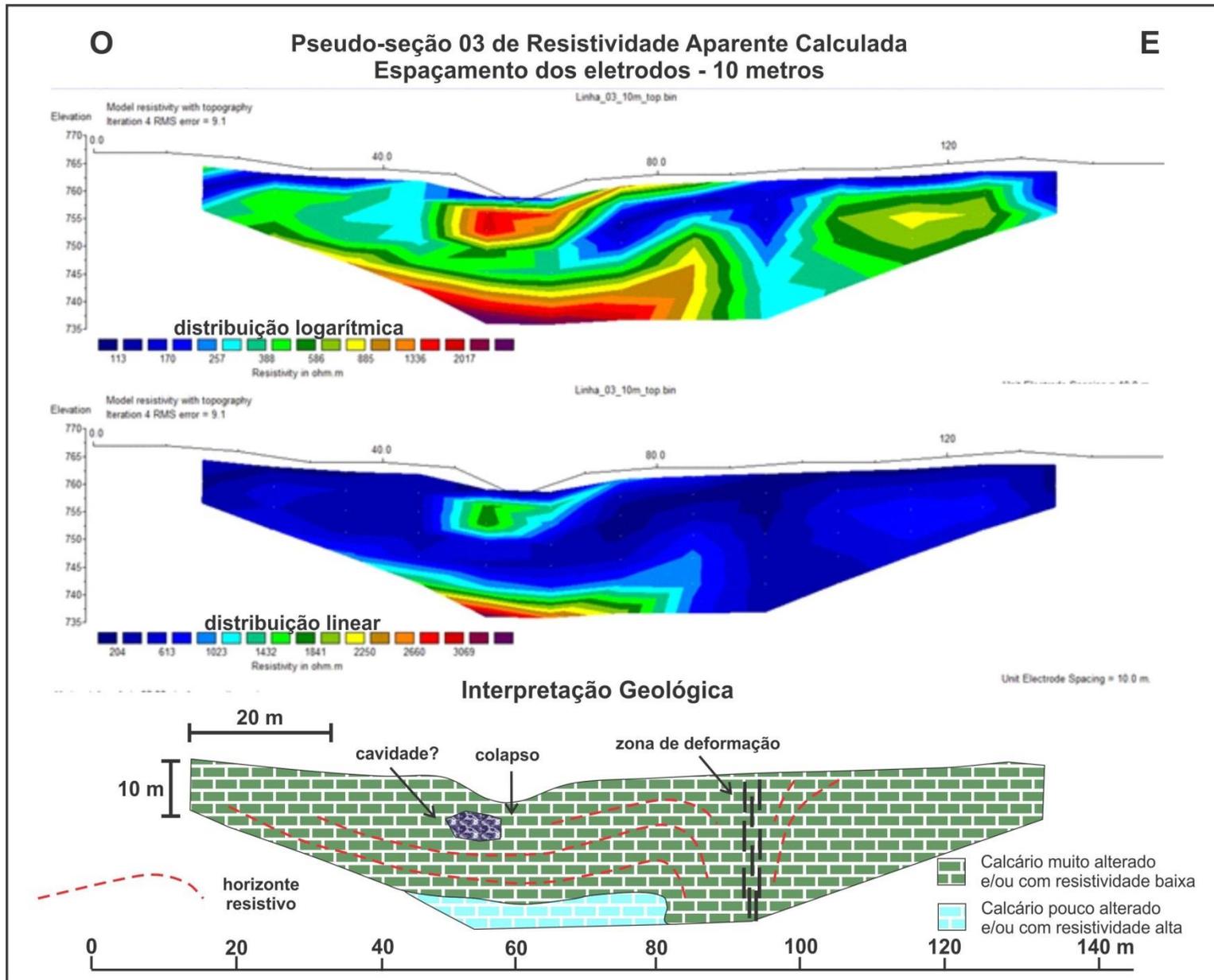


Figura 18 – Seção Geolétrica 3 localizada na Fazenda de Gildásio.

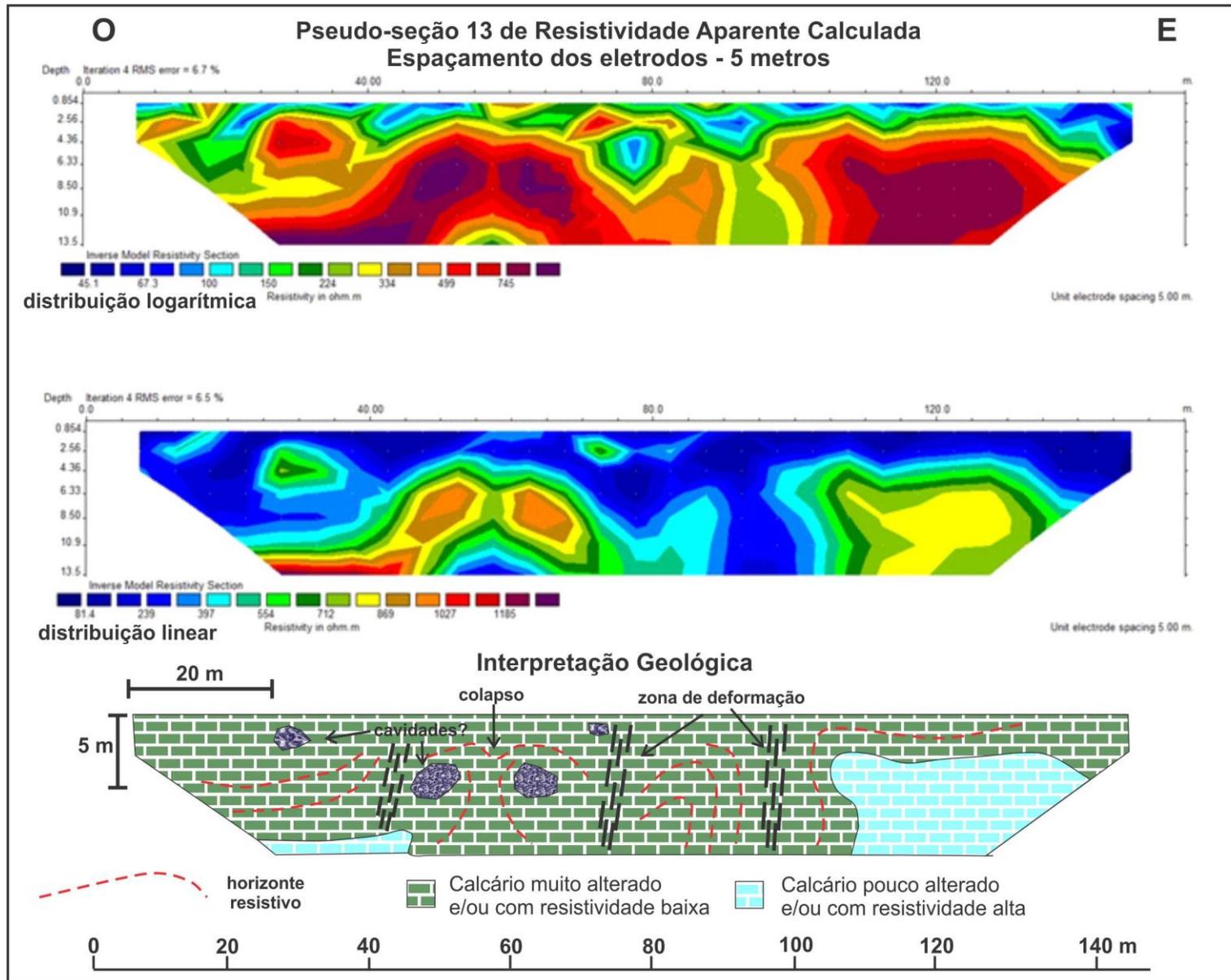


Figura 19 – Seção Geoelétrica 13 localizada na Fazenda de Gildásio. A seção com eletrodos espaçados de 5 m representa um detalhamento da metade superior da Seção 3.

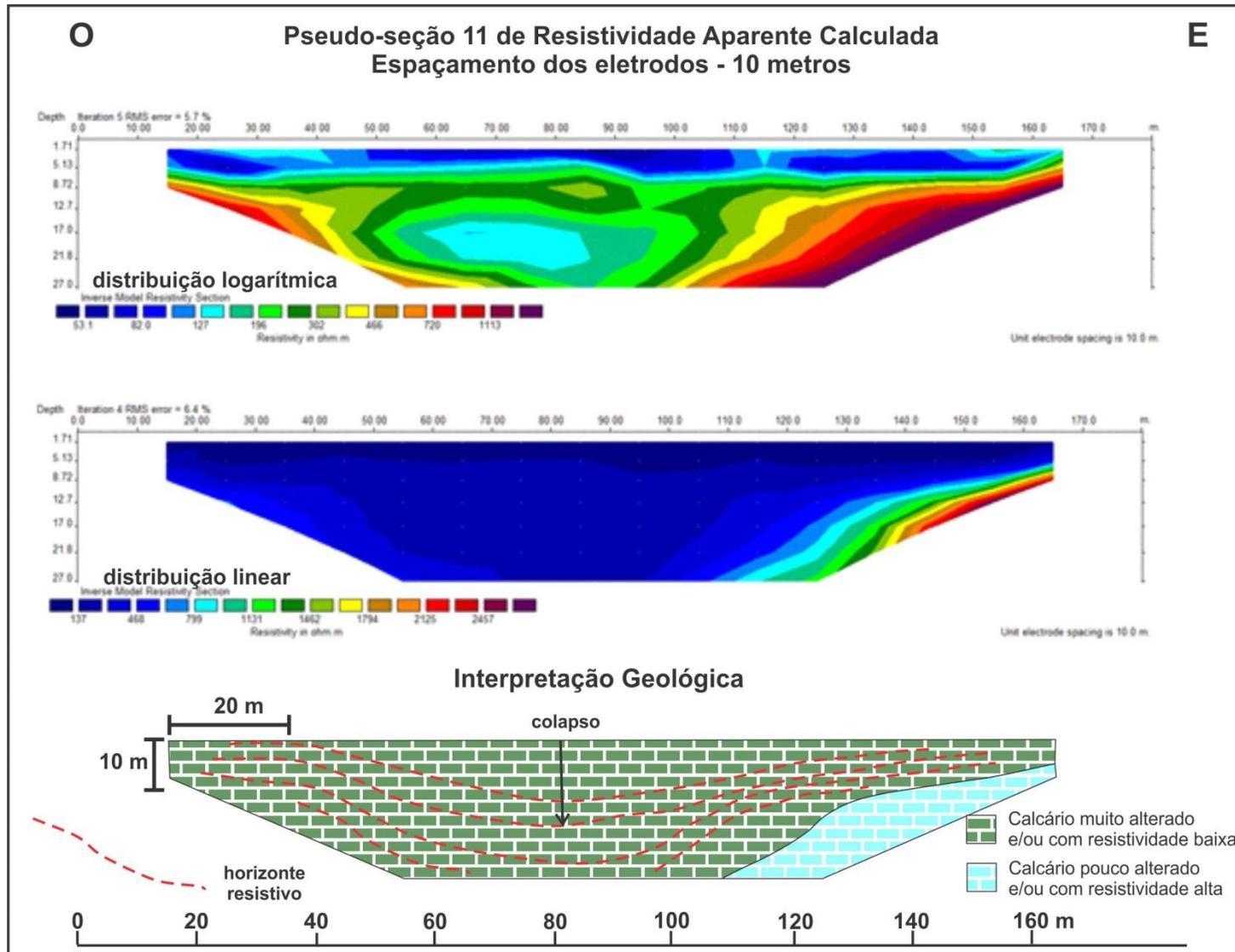


Figura 20 – Seção Geométrica 11 localizada na Fazenda de Gildásio.

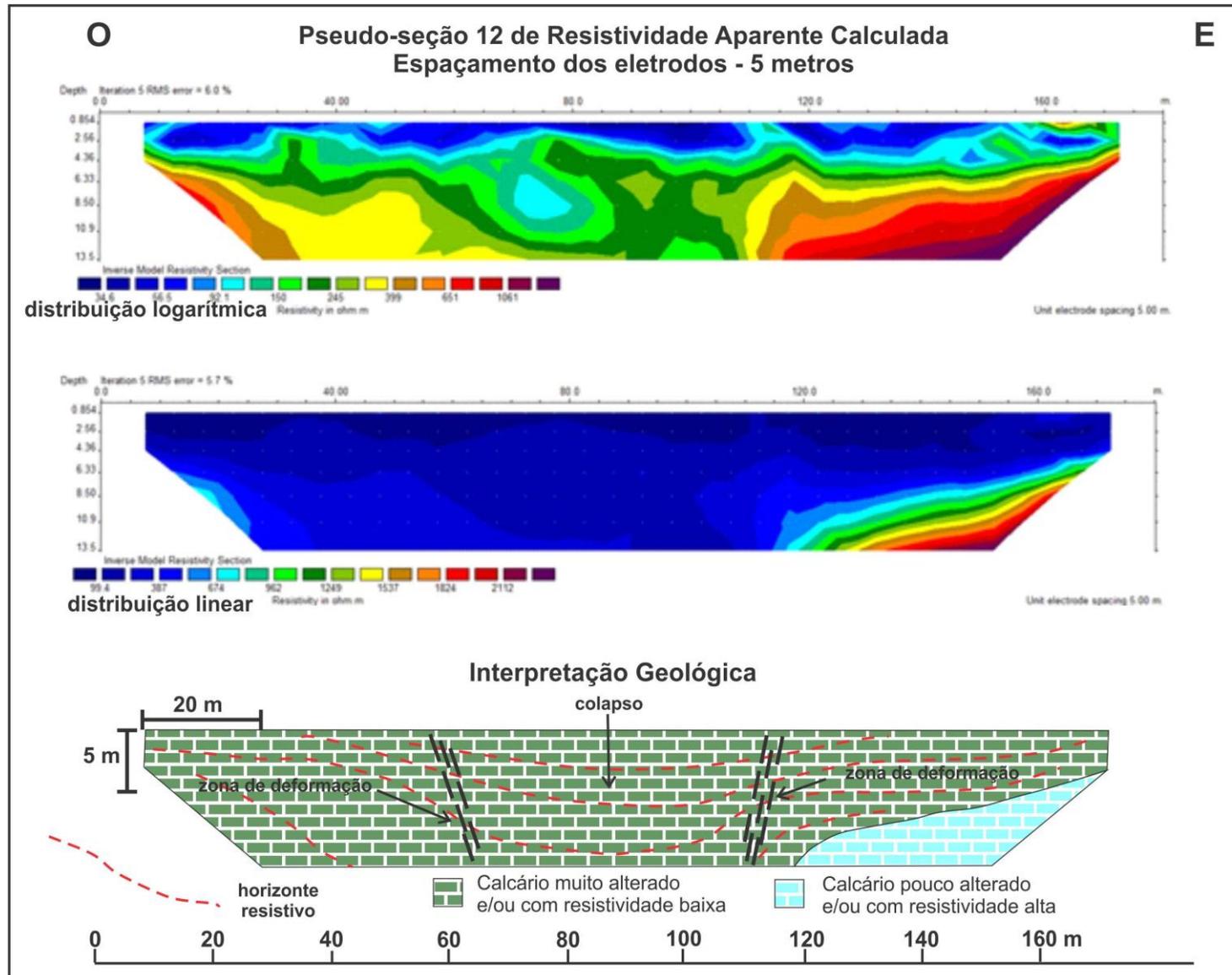


Figura 21 – Seção Geométrica 12 localizada na Fazenda de Gildásio. A seção com eletrodos espaçados de 5 m representa um detalhamento da metade superior da Seção 11.

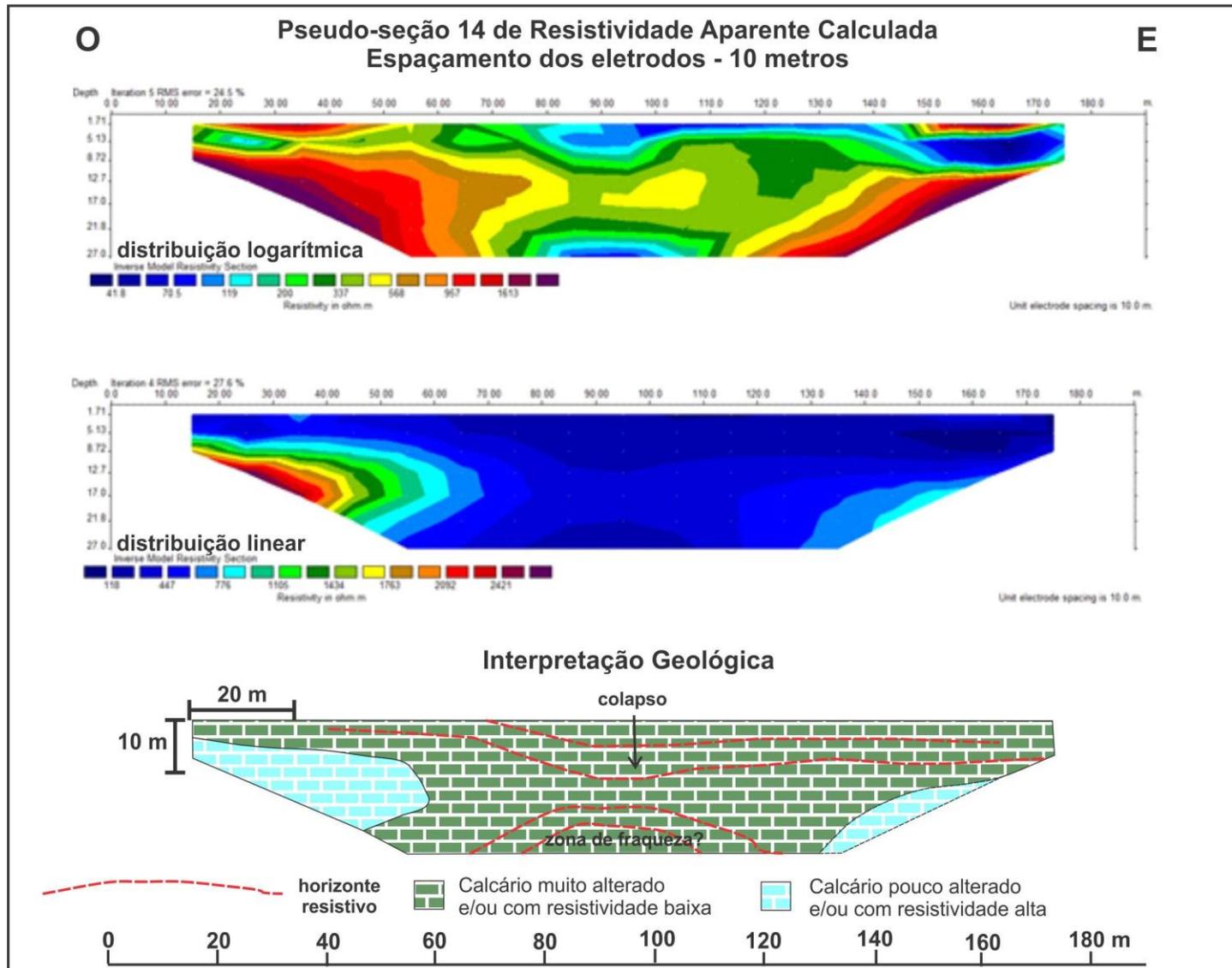


Figura 22 – Seção Geoeletrica 14 localizada na Fazenda de Gildásio.

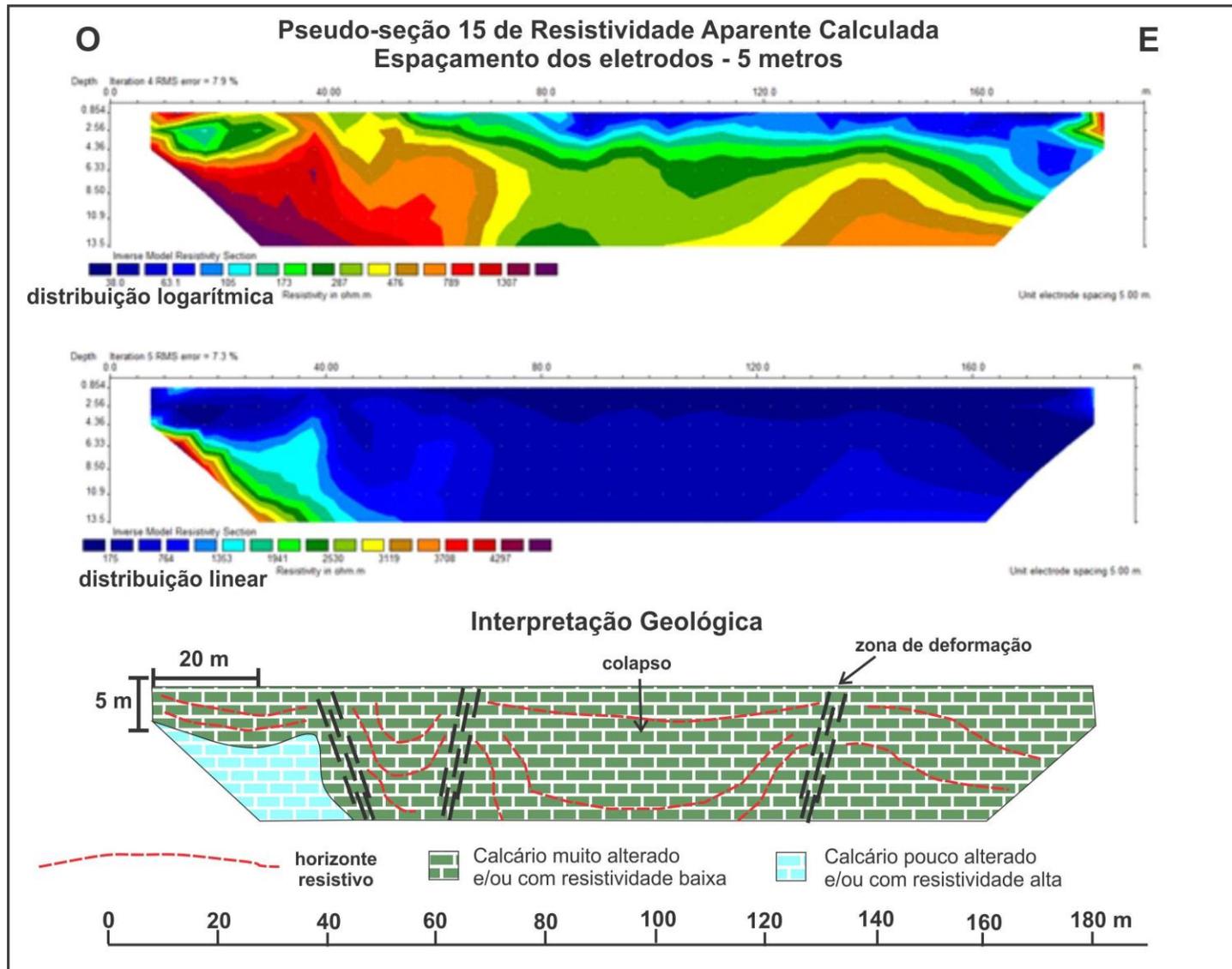


Figura 23 – Seção Geométrica 15 localizada na Fazenda de Gildásio. A seção com eletrodos espaçados de 5 m representa um detalhamento da metade superior da Seção 14.

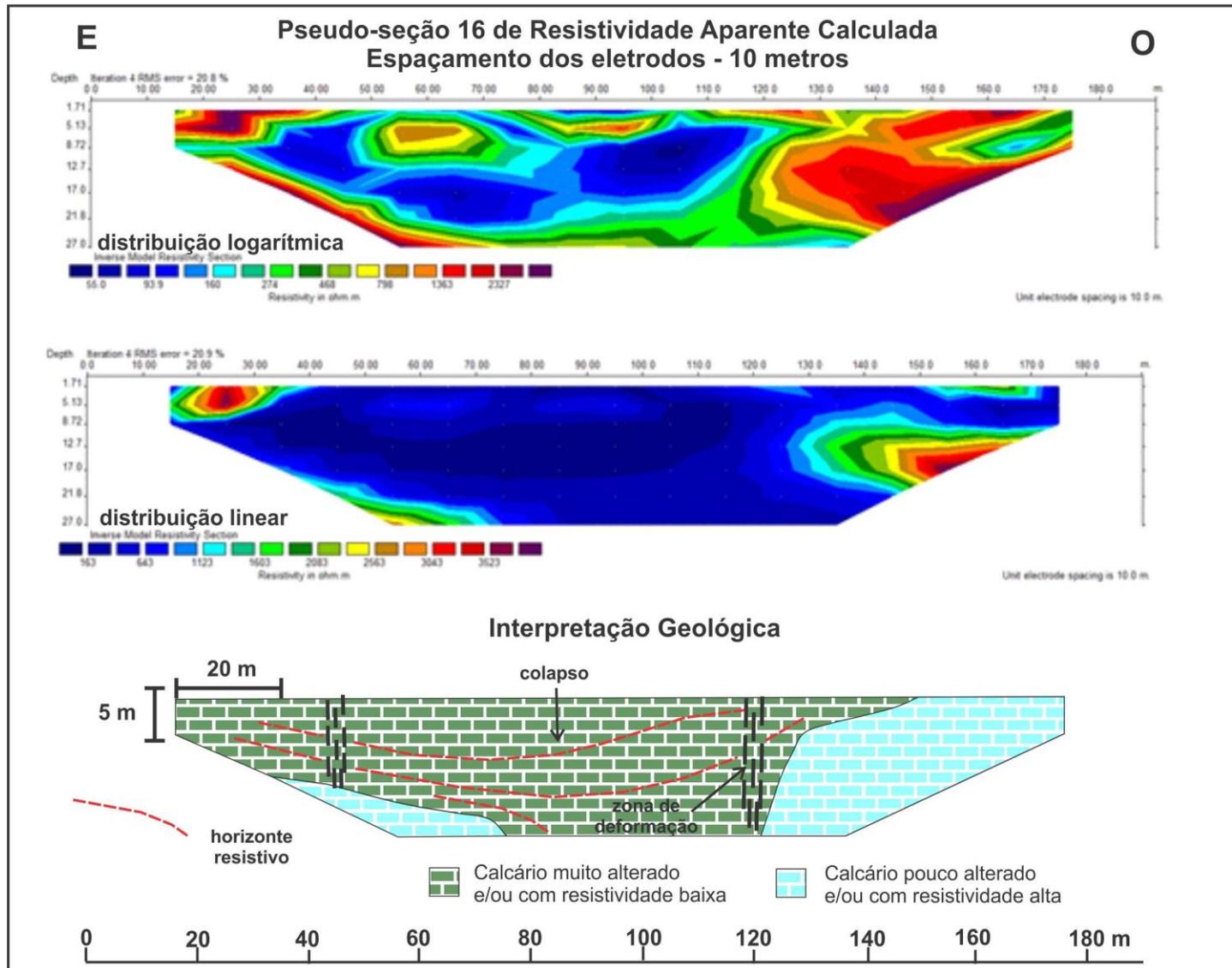


Figura 24 – Seção Geolétrica 16 localizada na Fazenda de Gildásio.

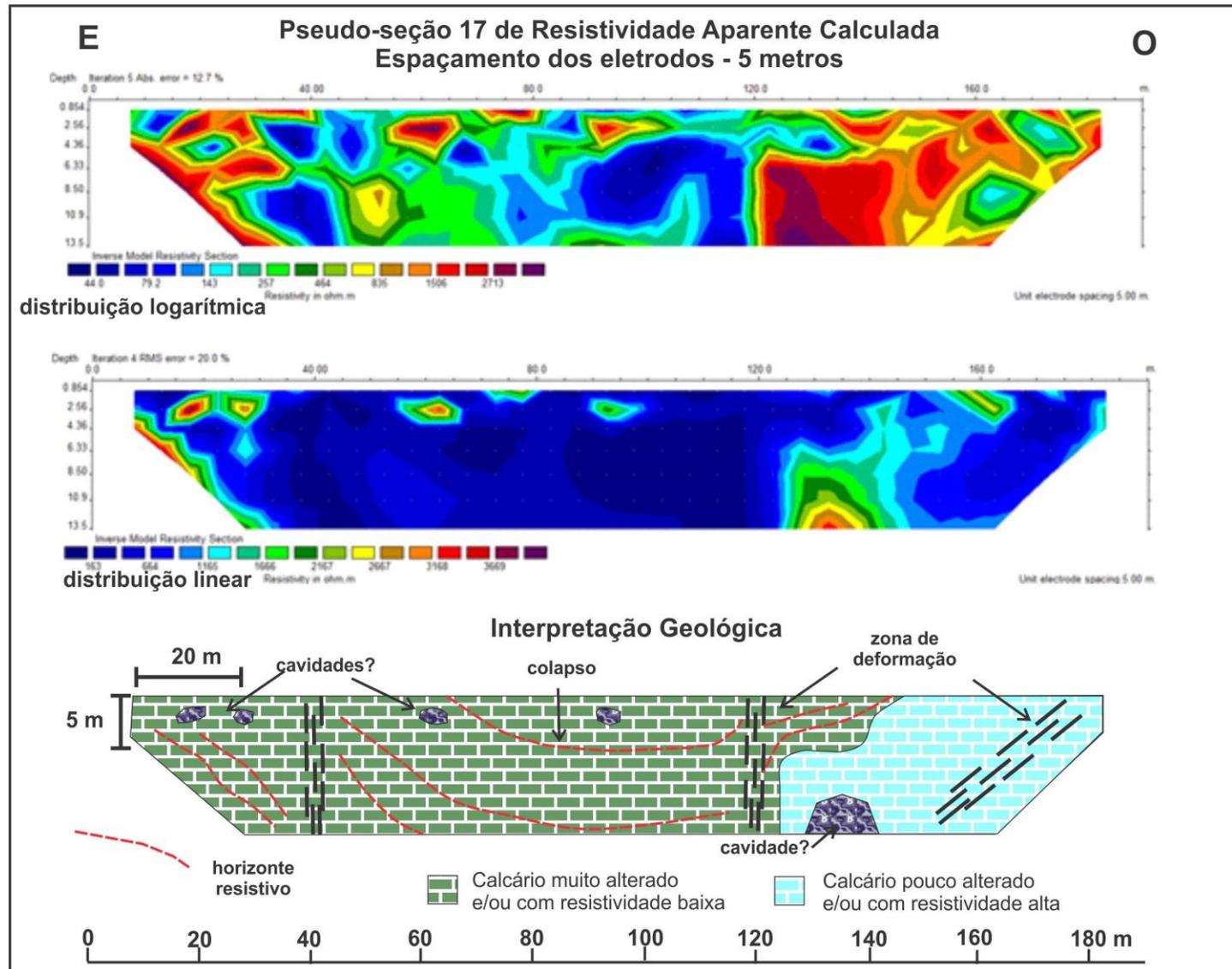


Figura 25 – Seção Geométrica 17 localizada na Fazenda de Gildásio. A seção com eletrodos espaçados de 5 m representa um detalhamento da metade superior da Seção 16.

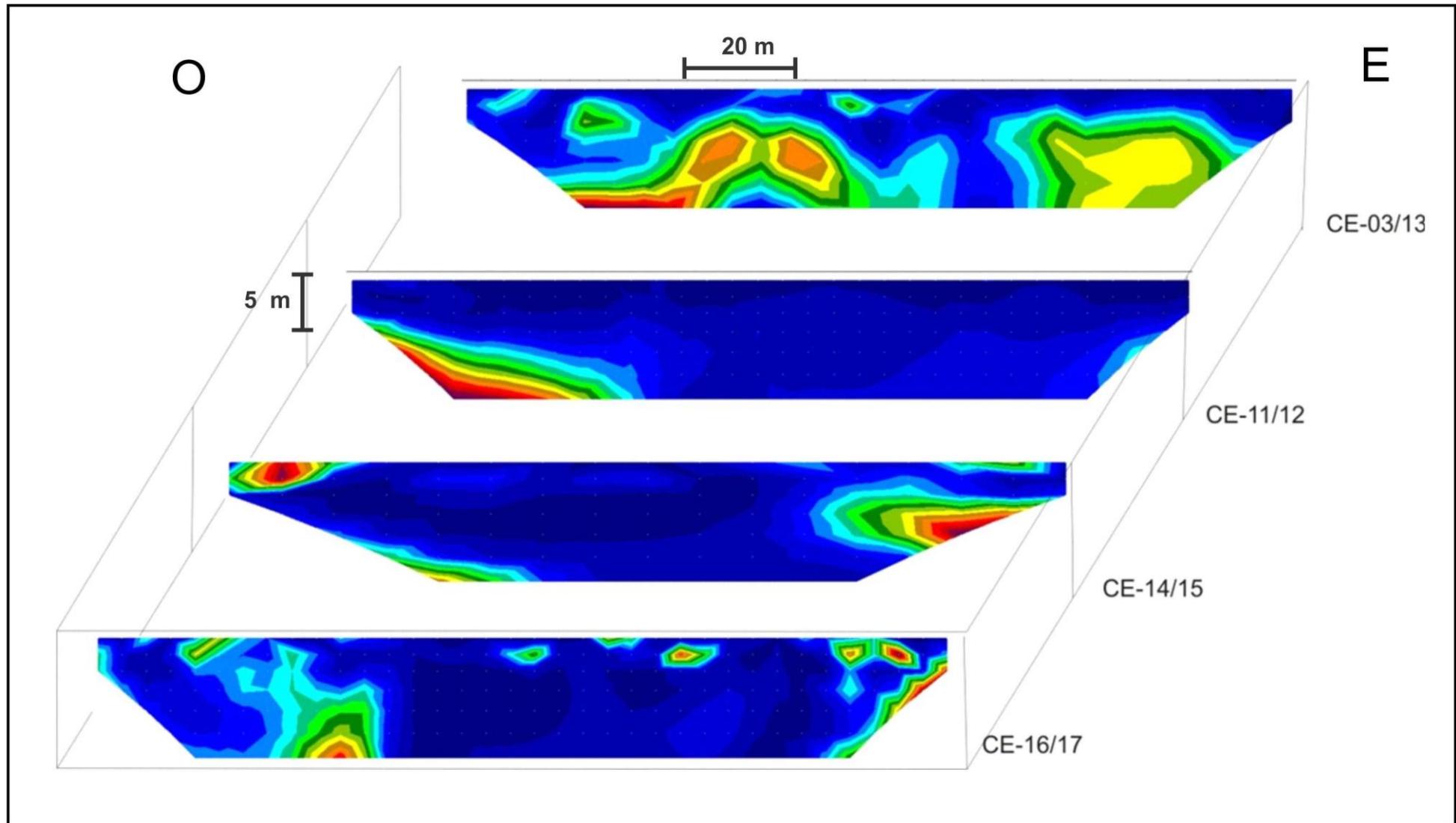


Figura 26 – Composição tridimensional das seções levantadas na Fazenda de Gildásio. Observa-se que na porção central ocorre uma larga faixa de baixa resistividade elétrica na direção N-S correlacionada com a região topograficamente deprimida (ver Prancha Fotográfica 6). As feições circulares são interpretadas como cavidades.

8.4. SEÇÃO GEOELÉTRICA DA RODOVIA BA-432

A rodovia asfaltada BA-432 dá acesso para cidade de Lapão e tem direção NNO-SSE (Figura 27). Esta direção é transversal à direção de deformação E-O que ocorre nas proximidades da fonte. Foi observada também na margem desta rodovia a existência de fendas e áreas colapsadas (Figura 27 e Fotografia 9). Por causa dessa posição estratégica ela foi escolhida como local para uma investigação mais profunda do substrato. Para isso foi levantada a Seção Geométrica 8 (Figura 28), com eletrodos espaçados de 25 m e extensão total de 700 m. Este espaçamento de eletrodos permitiu a investigação do substrato geométrico até a profundidade de 65 m (Figura 28).

Os resultados da modelagem e interpretação desta seção revelou a existência de um substrato calcário enfraquecido pela presença de zonas de deformação e de fraquezas marcadas por resistividade elétrica baixas (<500 ohm.m). Apresenta também evidências (feições circulares com resistividades acima de 7.000 ohm.m) da existência de uma cavidade relativamente grande (~ 20 m de diâmetro) com topo na profundidade de 20 m (Figura 28), localizada na extremidade norte da seção. Há uma clara conexão entre esta feição e o terreno colapsado na margem da estrada (Fotografia 9). Ou seja, este local poderá ser uma dolina no futuro.



Fotografia 9 – Área colapsada na margem da BA-432 próximo da entrada de Lapão.

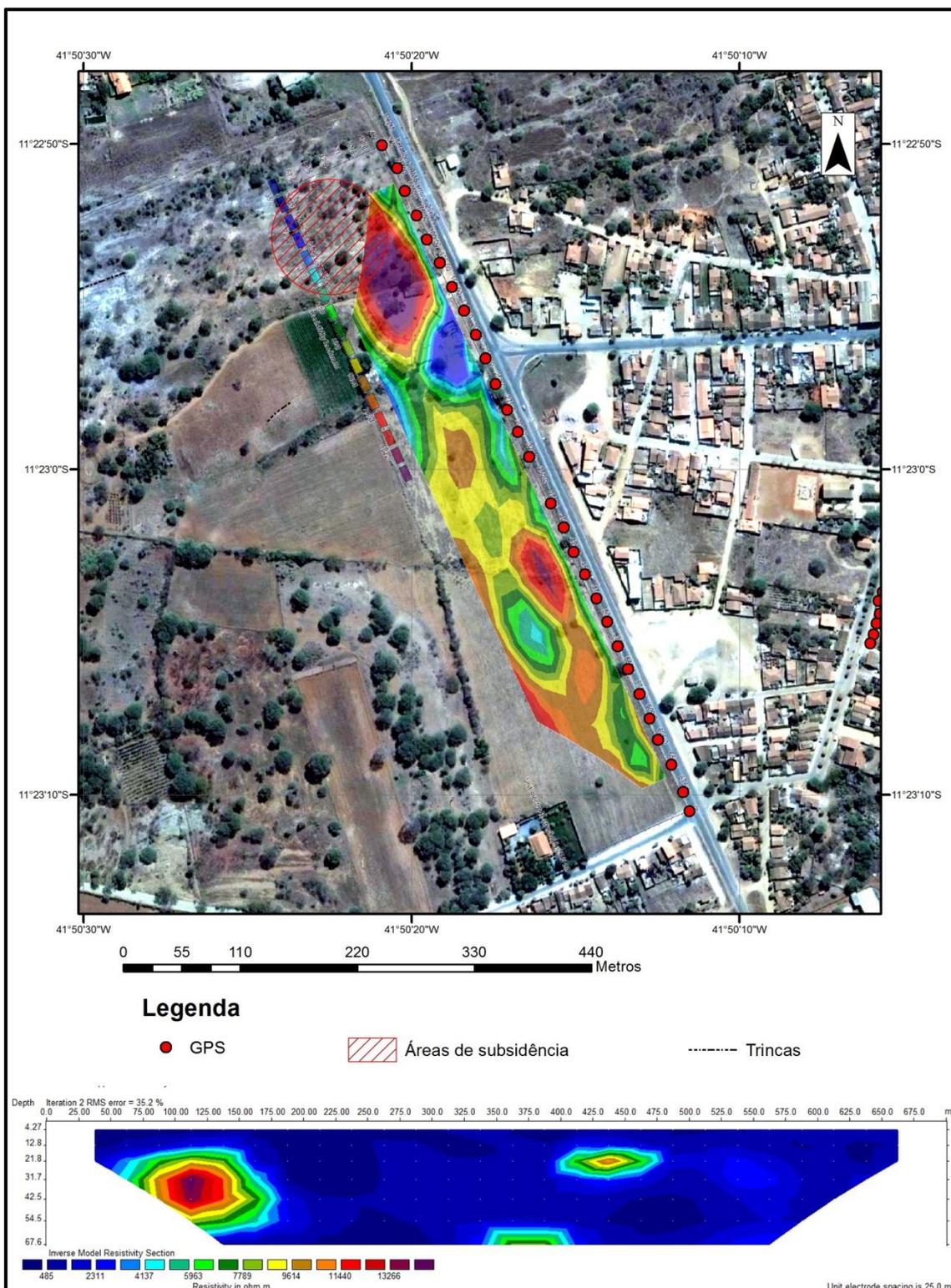


Figura 27 – Localização do caminhamento elétrico 8 na rodovia BA-432. As seções modeladas estão também apresentadas. Sobreposta na imagem aérea está a seção com distribuição logarítmica da resistividade elétrica rebatida na horizontal. Na parte inferior da figura está a seção com distribuição linear da resistividade elétrica. Também estão indicadas a área de subsidência e as trincas no solo. Note na seção a feição geoeletrica circular possivelmente associada com uma cavidade relativamente grande.

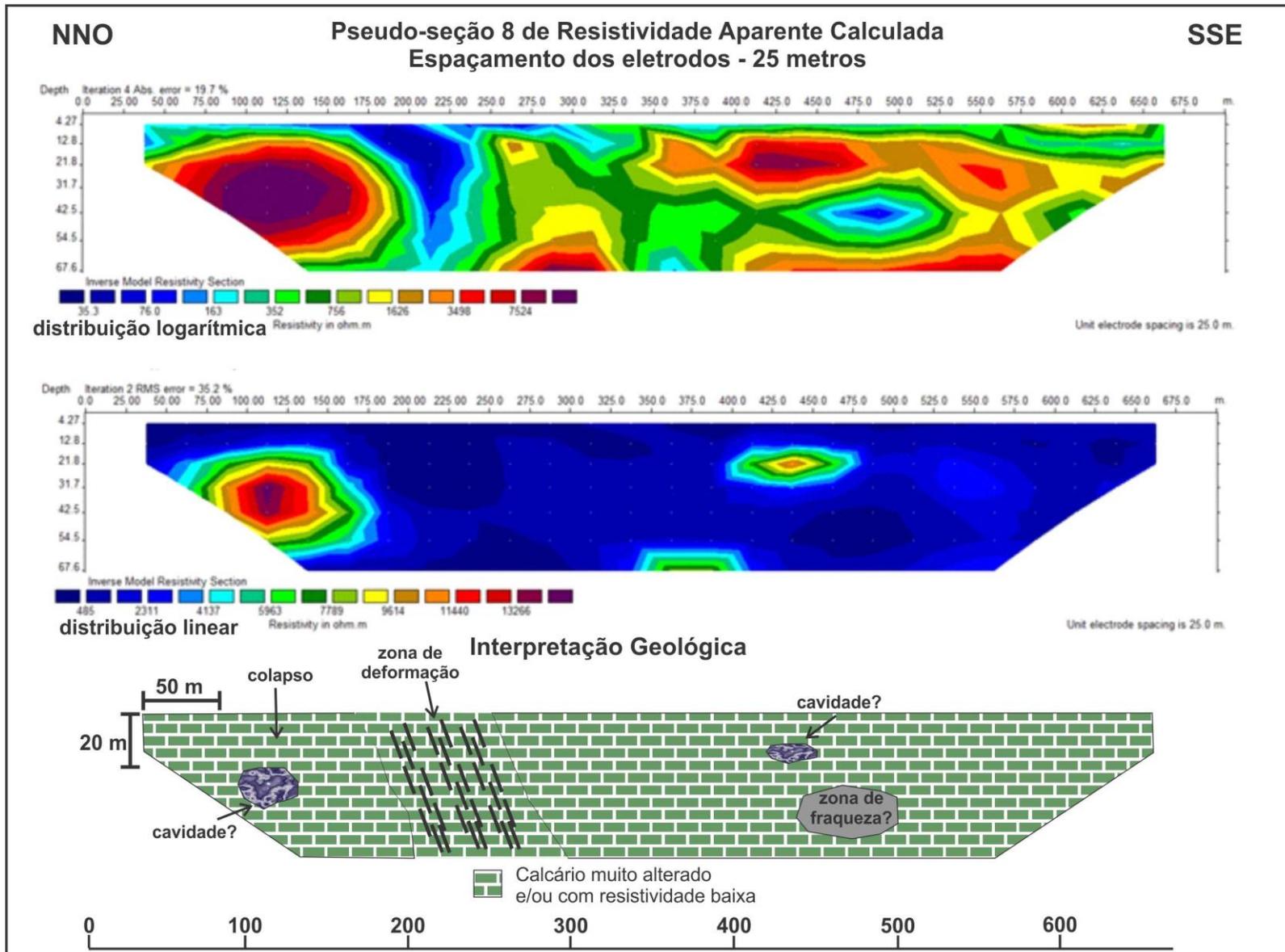


Figura 28 – Seção Geolétrica 8 localizada na rodovia BA-432.

9. AVALIAÇÃO DE NOVAS ÁREAS PARA EXPANSÃO URBANA

Após a realização da primeira etapa de trabalho concentrada nas áreas urbanas onde ocorreram eventos importantes de colapso do terreno, cujos resultados estão descritos acima, a equipe técnica da CPRM foi convocada para a execução de novos trabalhos. Desta vez os levantamentos foram realizados em áreas propostas pela Prefeitura Municipal para expansão urbana (Figura 29). Nesta segunda etapa foram realizados 18 caminhamentos elétricos pelo método dipolo-dipolo, totalizando 3.830 metros de perfis, no período de 03 a 13 de julho de 2013. A Tabela 2 apresenta os principais parâmetros dos caminhamentos elétricos realizados. A maioria das áreas escolhidas ocupam regiões periféricas da cidade, em locais em que não foram registrados colapsos do terreno. As exceções são as áreas 1 e 2 localizadas no Bairro Ida Cardoso. Estas duas áreas estão nas proximidades de regiões onde ocorreram eventos recentes de colapso de terreno (Fazenda de Gildásio) e onde foi verificada a existência de fendas bem desenvolvidas nas proximidades de um poço em atividade (Item 8.3.1). Sabe-se também que algumas residências apresentaram rachaduras em suas paredes.

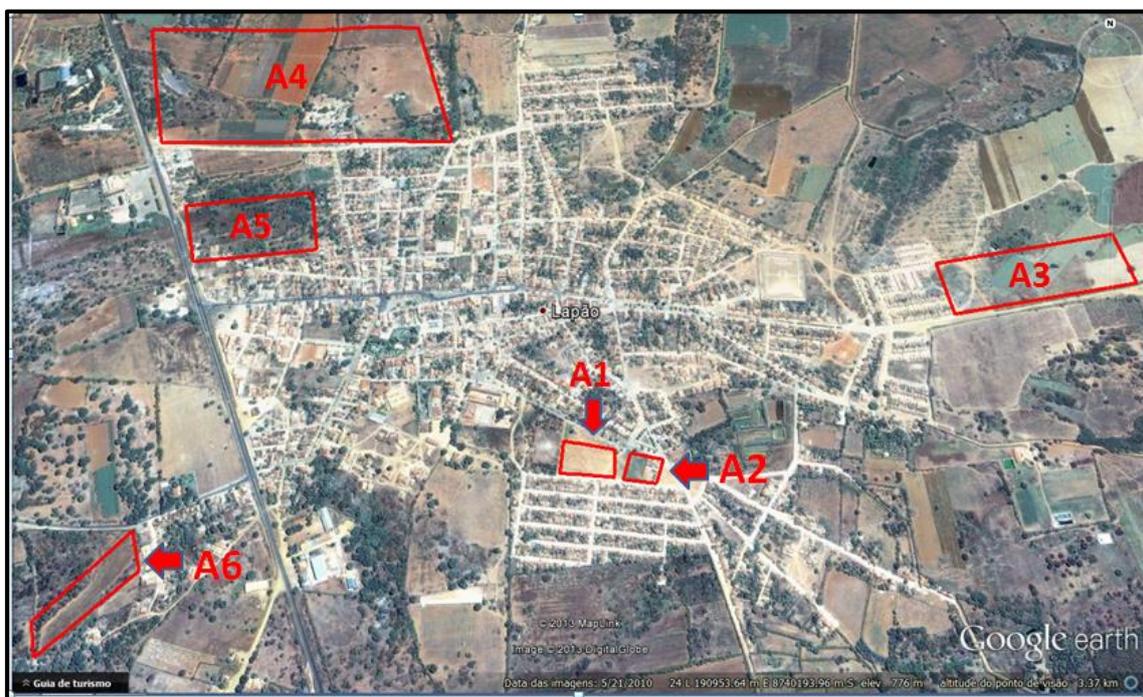


Figura 29 – Localização das áreas para futura expansão urbana em que foram efetuados levantamos geoeletricos.

Caminhamento	Área	Comprimento (m)	Localização
1	A1	220	Campo futebol/creche
2		230	Campo futebol/creche
3	A2	90	Área de novo CRAS
4		80	Área de novo CRAS
5		80	Área de novo CRAS
6	A3	130	Minha casa minha vida (ZEIS-3)
7		140	Minha casa minha vida (ZEIS-3)
8		140	Minha casa minha vida (ZEIS-3)
9		140	Minha casa minha vida (ZEIS-3)
10		140	Minha casa minha vida (ZEIS-3)
11		140	Minha casa minha vida (ZEIS-3)
12	A4	710	Via da rua do cemitério (ZUP-I)
13		710	Via nova avenida perimetral (ZUP-I)
14	A5	150	Novo loteamento (ZRC)
15		160	Novo loteamento (ZRC)
16		140	Novo loteamento (ZRC)
17	A6	210	Novo loteamento (ZOR)
18		220	Novo loteamento (ZOR)
TOTAL		3.830	

Tabela 2 - Dados referentes às seções levantadas.

9.1. ÁREA 1 - CRECHE/CAMPO DE FUTEBOL E ÁREA 2 - CENTRO DE REFERÊNCIA DE ASSISTÊNCIA SOCIAL (CRAS)

Na Área 1 estão em fase final de construção um ginásio de esportes, uma creche e um colégio (Figura 30). Na Área 2 ainda será construído um Centro de Referência de Assistência Social (CRAS) (Figura 30). As fotografias 10 e 11 apresentam uma visão panorâmica da situação destas construções em julho de 2013. A Fotografia 12 apresenta uma visão geral da área do campo de futebol com a região ao fundo onde será construído o CRAS.

Na Área 1, onde já existem as referidas construções, foram efetuados dois caminhamentos dipolo-dipolo com eletrodos espaçados de 10 metros na direção E-O (Perfis 1 e 2 na Figura 30). Os resultados e as interpretações geológicas das pseudo-seções estão apresentados nas figuras 31 e 32. Os resultados e as interpretações corroboram o que já havia sido observado no levantamento anterior. A região localizada a oeste das pseudoseções apresenta

fortes indícios de colapso e de enfraquecimento das rochas calcárias. Em ambas as seções foram interpretadas zonas de deformação e inflexões para baixo dos horizontes resistivos sugerindo colapso do terreno. Estas feições geofísicas estão associadas com uma depressão topográfica onde está localizado um poço tubular. Os aspectos relacionados aos efeitos causados no subsolo pela retirada de água desse poço já foram discutidos no Item 8.3.1. A proximidade de uma construção com arcabouço pesado (como é o caso do ginásio de esportes) nas bordas de uma possível dolina em evolução deve ser levada em consideração pelas autoridades municipais. Contudo, observa-se que a interpretação da parte leste das seções que corresponde ao campo de futebol e da área construída indica a existência de rochas pouco alteradas e sem indícios evidentes de cavidades e zonas de deformação, pelo menos para profundidades inferiores a 20 metros.

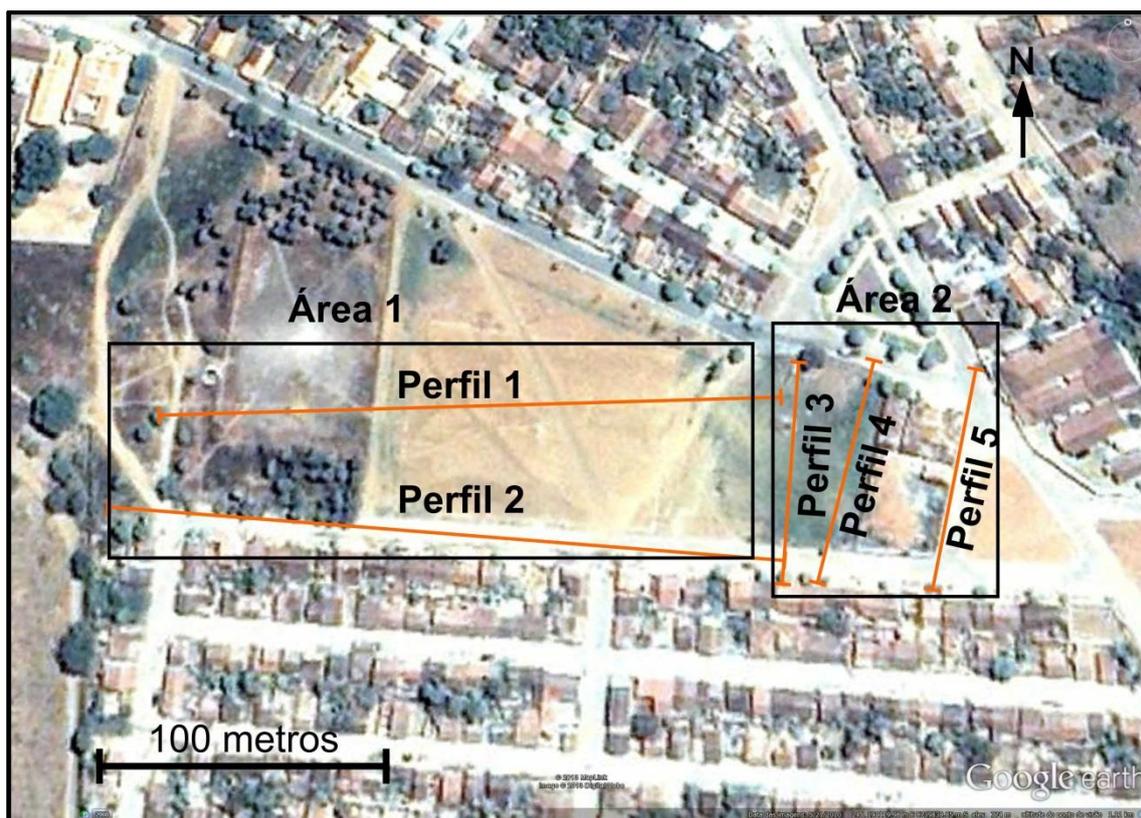


Figura 30 – Imagem das áreas 1 e 2 com localização dos perfis onde foram levantados os caminhamentos de eletrorresistividade.

Na Área 2, onde será construído o CRAS, foram levantadas três caminhamentos dipolo-dipolo com eletrodos espaçados de 10 metros (Perfis 3, 4 e 5 na Figura 30). Os resultados e as interpretações geológicas das pseudo-seções estão apresentados nas figuras 33, 34 e 35. Neste caso, observa-se a sobreposição vertical de dois tipos de assinaturas eletricamente resistivas, uma inferior que pode ser associada com calcários pouco alterados ou muito resistivos e uma superior que pode ser associada com calcários alterados ou pouco resistivos. A interface entre essas duas feições varia suavemente de profundidade, desde muito rasa até 10 metros de profundidade. A camada superior também pode ser interpretada com sendo constituída, em parte, por solos resultantes de alteração da rocha calcária. Apesar das seções serem curtas, por causa do pequeno espaço de trabalho disponível, é possível inferir que o subsolo da Área 2 é estável, sem indícios evidentes de colapso ou de zonas de deformação importantes.



Fotografia 10 – Situação das construções da creche e do colégio na Área 1 em julho de 2013.



Fotografia 11 – Visão ao fundo do ginásio de esportes que está sendo construído na Área 1. Situação em julho de 2013.



Fotografia 12 – Visão geral da área do campo de futebol com a região ao fundo onde será construído o CRAS na Área 2.

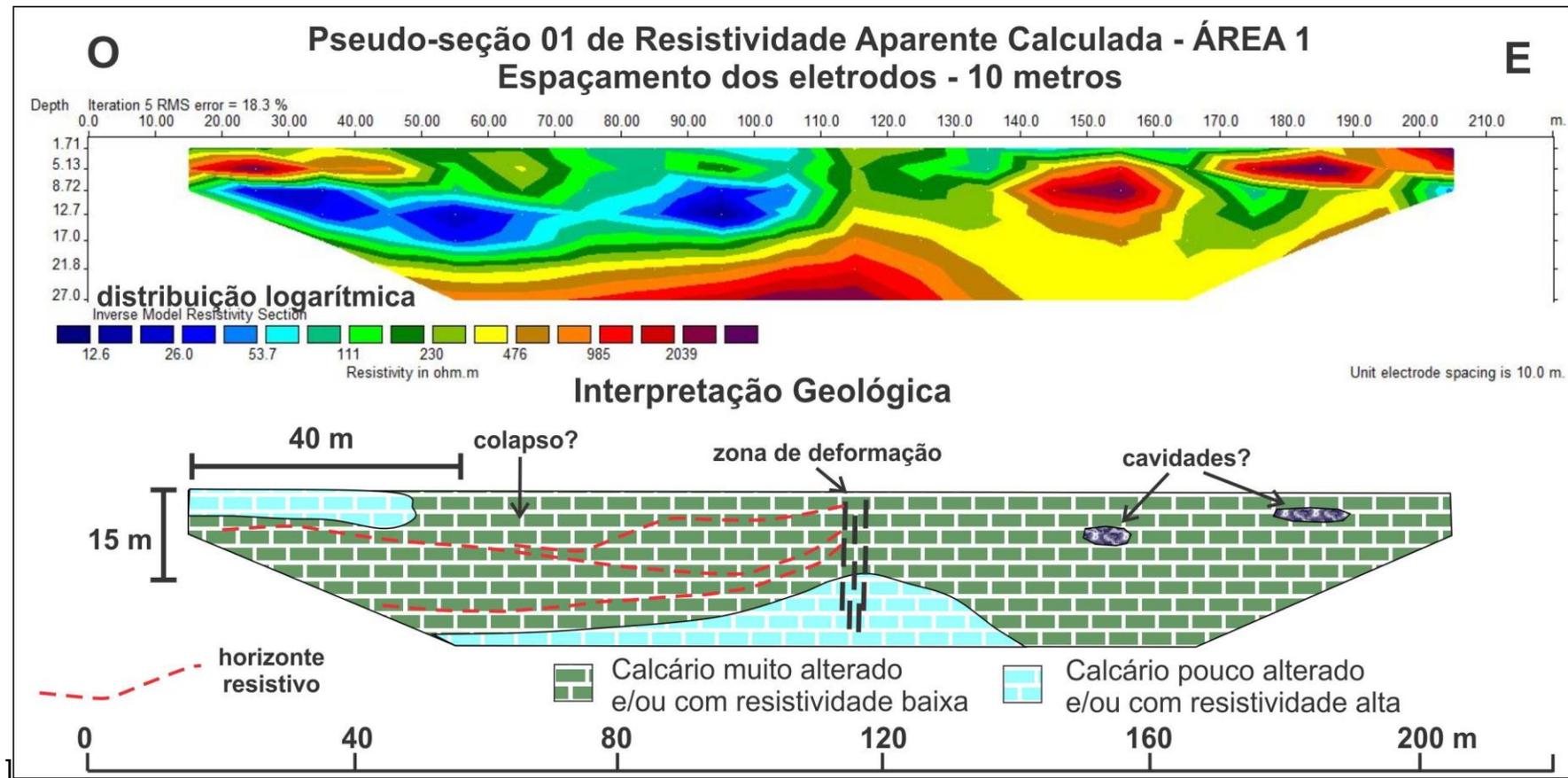


Figura 31 – Seção Geométrica 01 localizada na Área 1. A porção oeste da seção apresenta indícios de colapso do terreno.

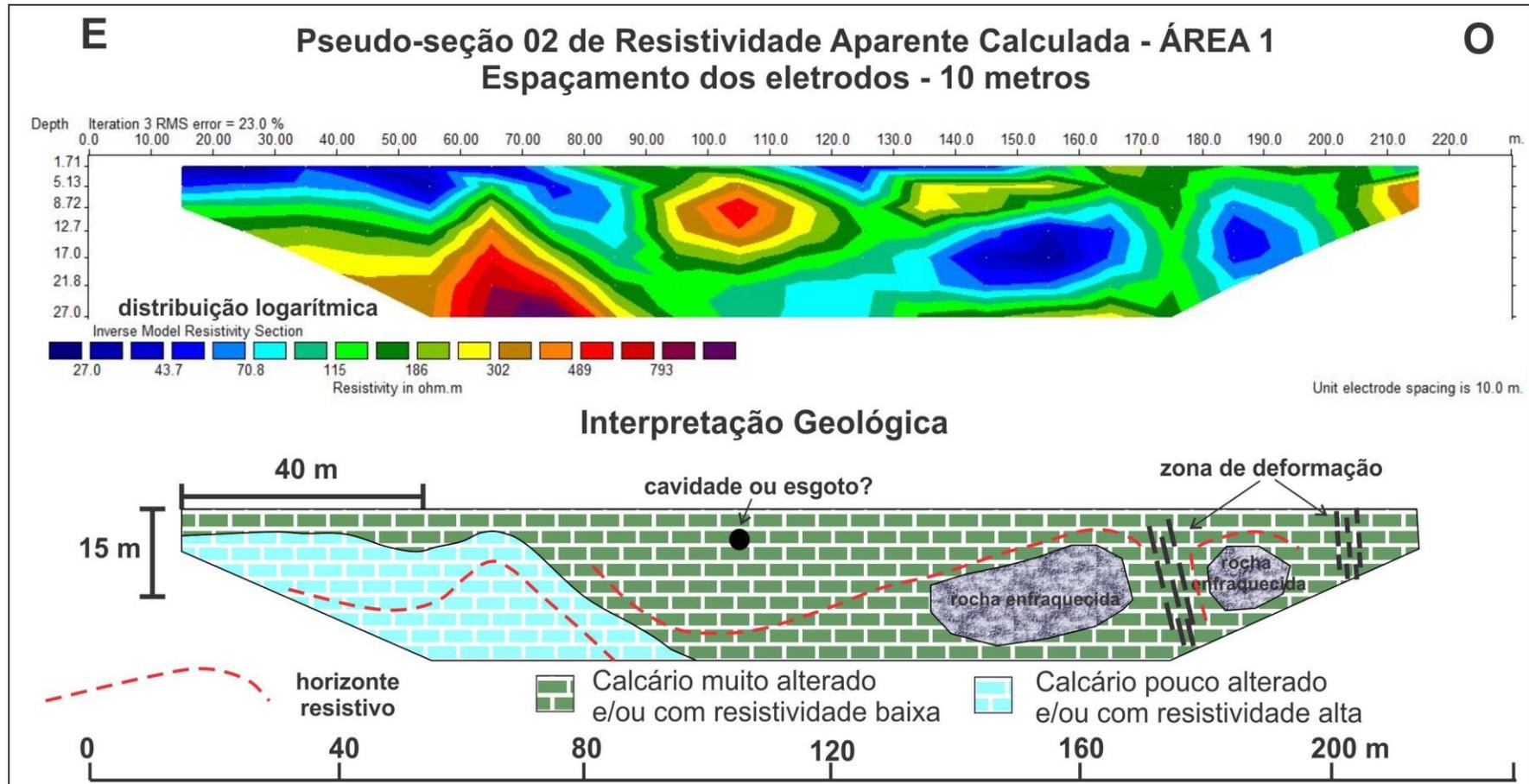


Figura 32 – Seção Geoeletrica 02 localizada na Área 1. A porção oeste da seção apresenta indícios de enfraquecimento da rocha calcária e de formação de discontinuidades possivelmente associadas com fendas no terreno.

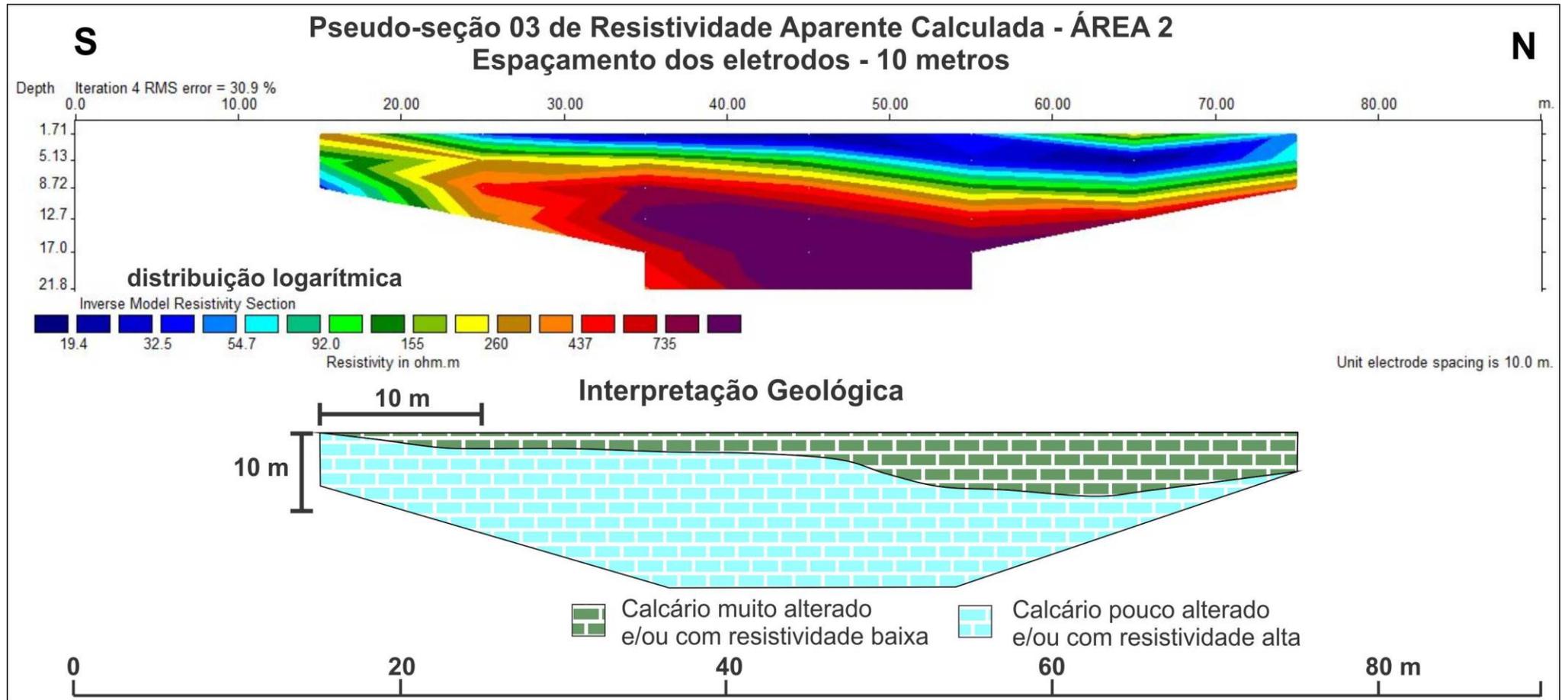


Figura 33 – Seção Geométrica 03 localizada na Área 2. Não são observados indícios evidentes de carstificação das rochas calcárias.

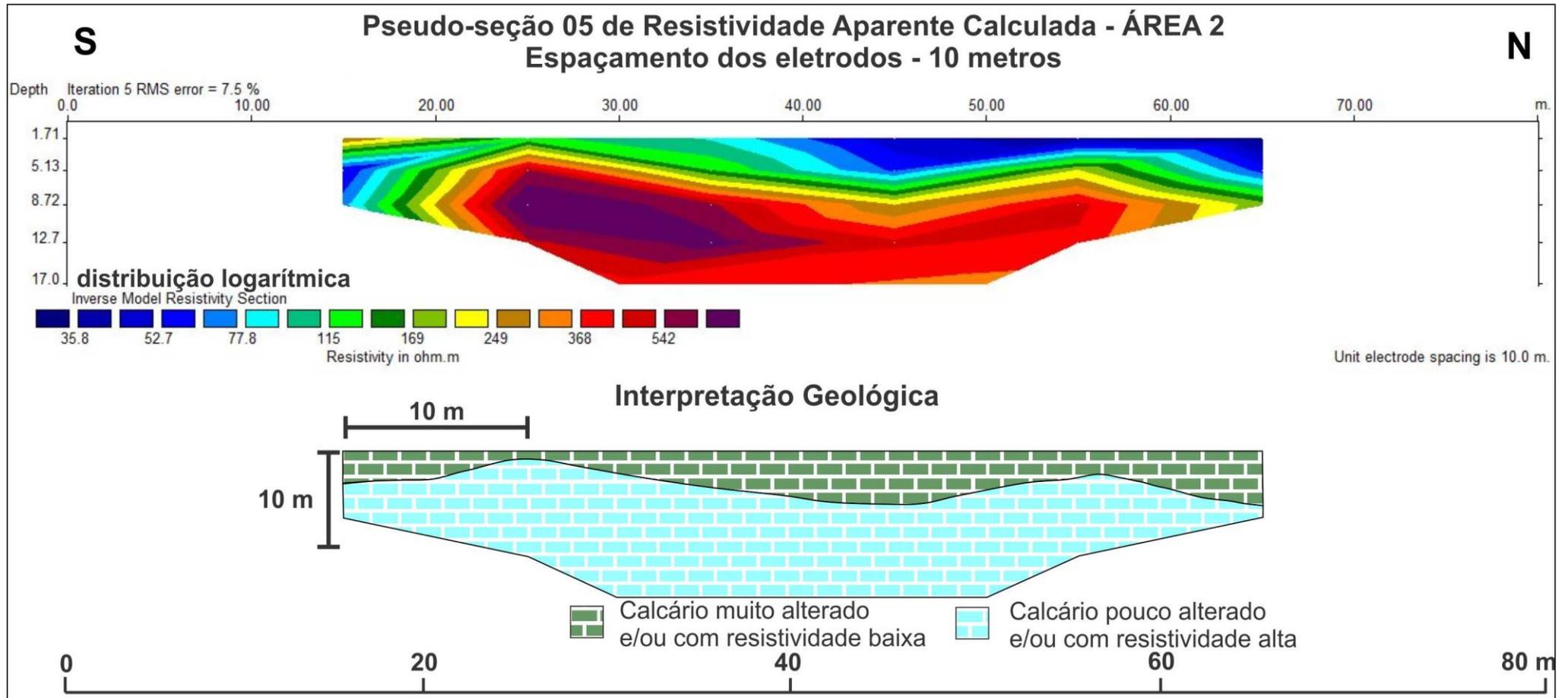


Figura 35 – Seção Geométrica 05 localizada na Área 2. Não são observados indícios evidentes de carstificação das rochas calcárias.

9.2. ÁREA 3 – TERRENO RESERVADO PARA A CONSTRUÇÃO DO CONJUNTO HABITACIONAL MINHA CASA-MINHA VIDA

O terreno na Área 3 é plano e geologicamente constituído em superfície por solos de alteração, sem afloramento de rochas, como pode ser observado na Figura 36 e na Prancha Fotográfica 7.

Nesta área foram levantados seis caminhamentos dipolo-dipolo com eletrodos espaçados de 10 metros na direção N-S (Perfis 6, 7, 8, 9, 10 e 11 na Figura 36). As pseudo-seções foram levantadas paralelas e com espaçamento regular entre elas. Também possuem aproximadamente a mesma extensão. Este tipo de configuração permitiu a interpretação em conjunto de todas as seções em uma visão tridimensional do contexto geofísico/geológico da área (figuras 37 e 38).

As análises das figuras 37 e 38 demonstraram a existência de um padrão eletricamente menos resistivo a leste do que a oeste, sugerindo a ocorrência de variações litológicas na composição dos calcários ou no grau de alteração. Na pseudo-seção 10 a rocha mais resistiva aparentemente está muito próxima da superfície. O aspecto mais marcante é a presença em cinco pseudo-seções de feições semicirculares com alta resistividade que podem representar cavidades nas rochas calcárias. É possível observar também que na correlação das seções as assinaturas possivelmente associadas com cavidades formam alinhamentos aproximadamente na direção ENE-OSO.

Do ponto de vista do contexto geral da área, o alinhamento de possíveis cavidades na direção próxima de E-O é estruturalmente muito expressivo porque segundo Maia *et al.* (2010) corresponde a direção de deformação associada com fraturas abertas tipo A, que controlam a formação de cavernas e condutos na direção do riacho Juá (Figura 3). Considerando que a área foi reservada para a construção de um conjunto habitacional, a estabilidade das rochas é um fator muito importante. Aparentemente, a área não apresenta na superfície sinais visíveis de colapso do terreno associado com possíveis formações de dolinas. Contudo, é importante uma investigação geotécnica prévia com sondagens do subsolo, no sentido de detectar a existência de cavidades, prevenindo problemas de colapsos que poderiam ocorrer com a colocação no futuro do peso adicional das construções.

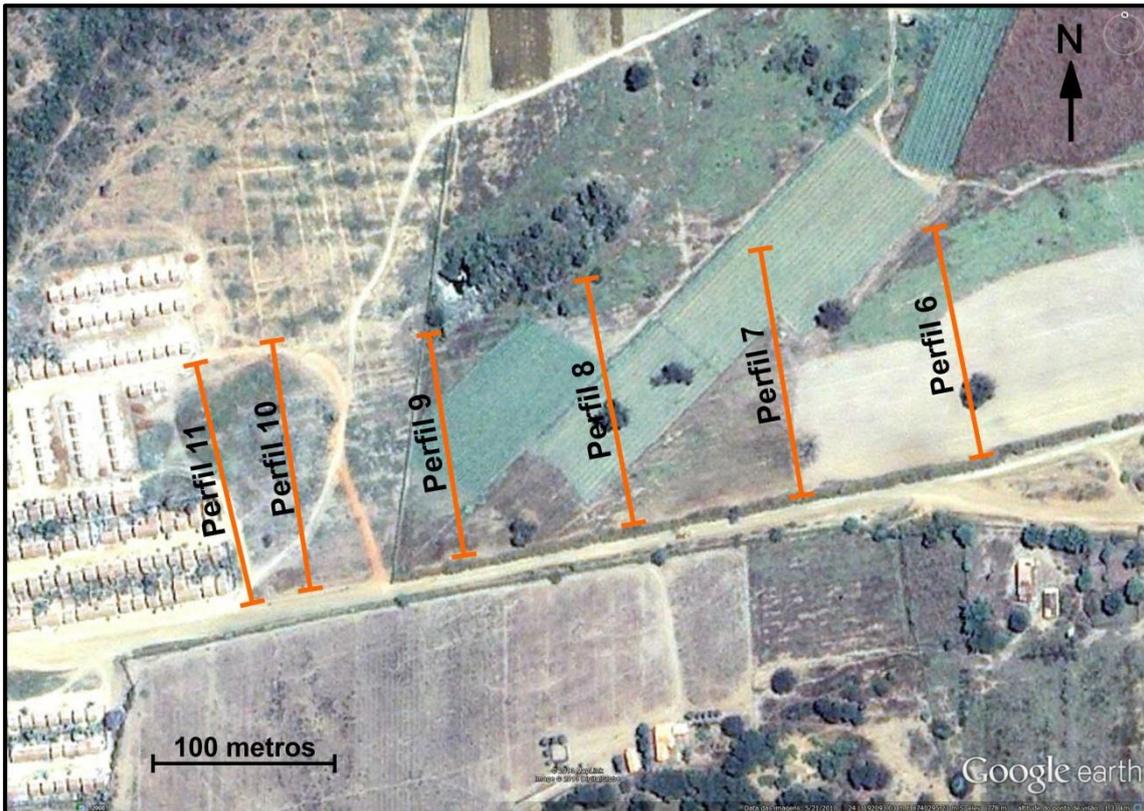
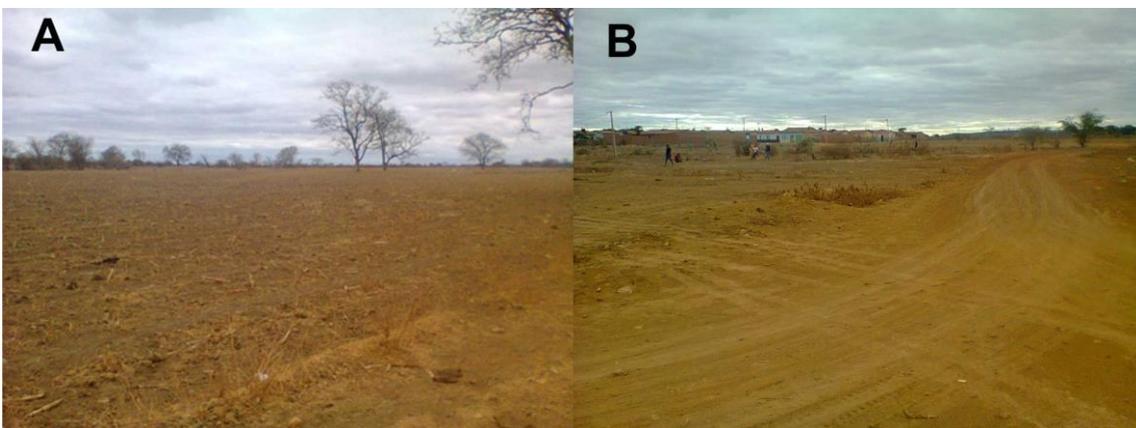


Figura 36 – Imagem da Área 3 com localização dos perfis onde foram levantados os caminhamentos de eletrorresistividade.



Prancha Fotográfica 7 – **A** e **B**: visão panorâmica em ângulos diferentes do terreno reservado para a construção do Conjunto Habitacional Minha Casa-Minha Vida na Área 3.

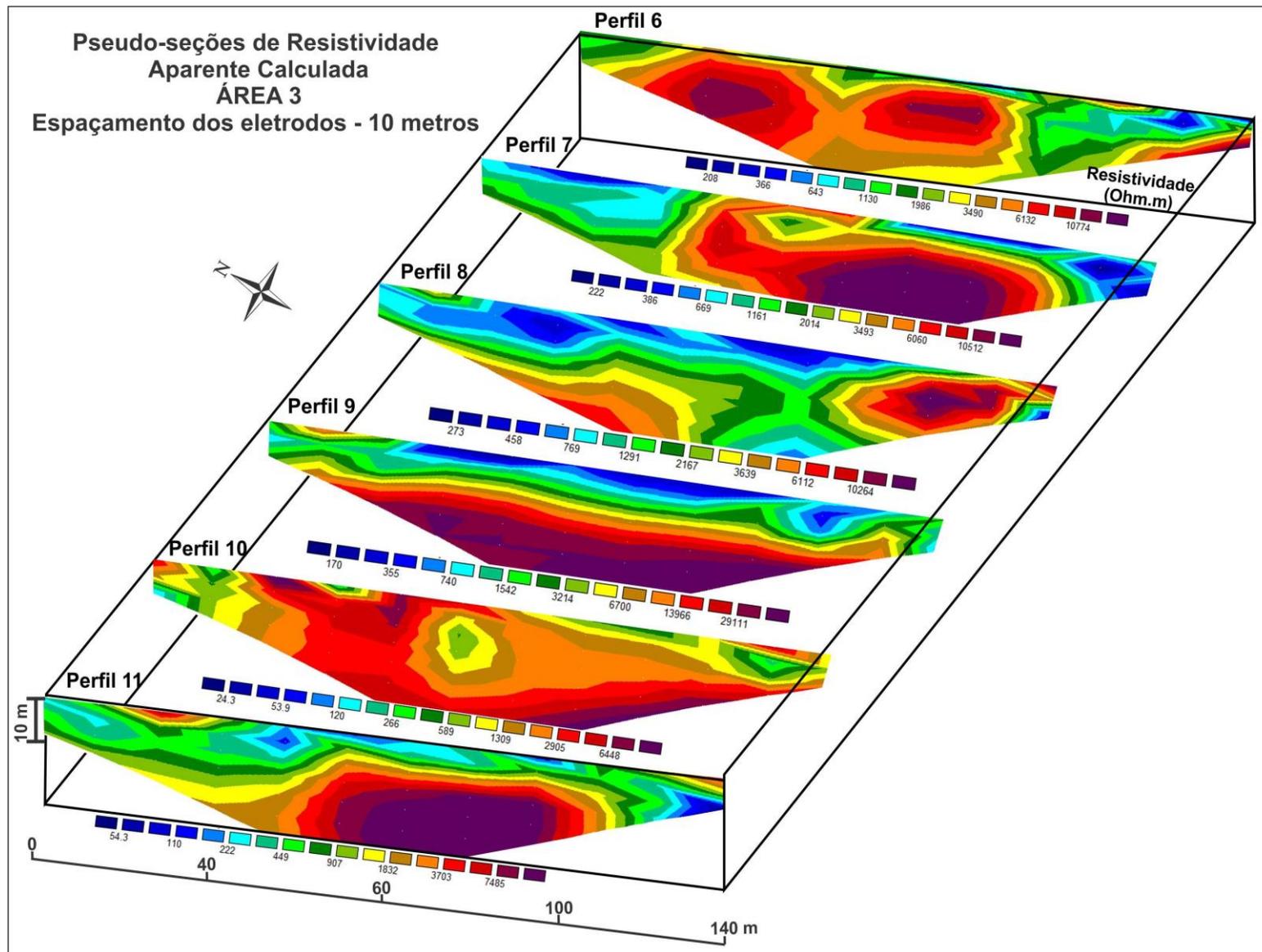


Figura 37 – Composição tridimensional das pseudo-seções calculadas levantadas na Área 3. As modelagens indicam a existência de feições circulares e de perturbações verticais dos horizontes resistivos.

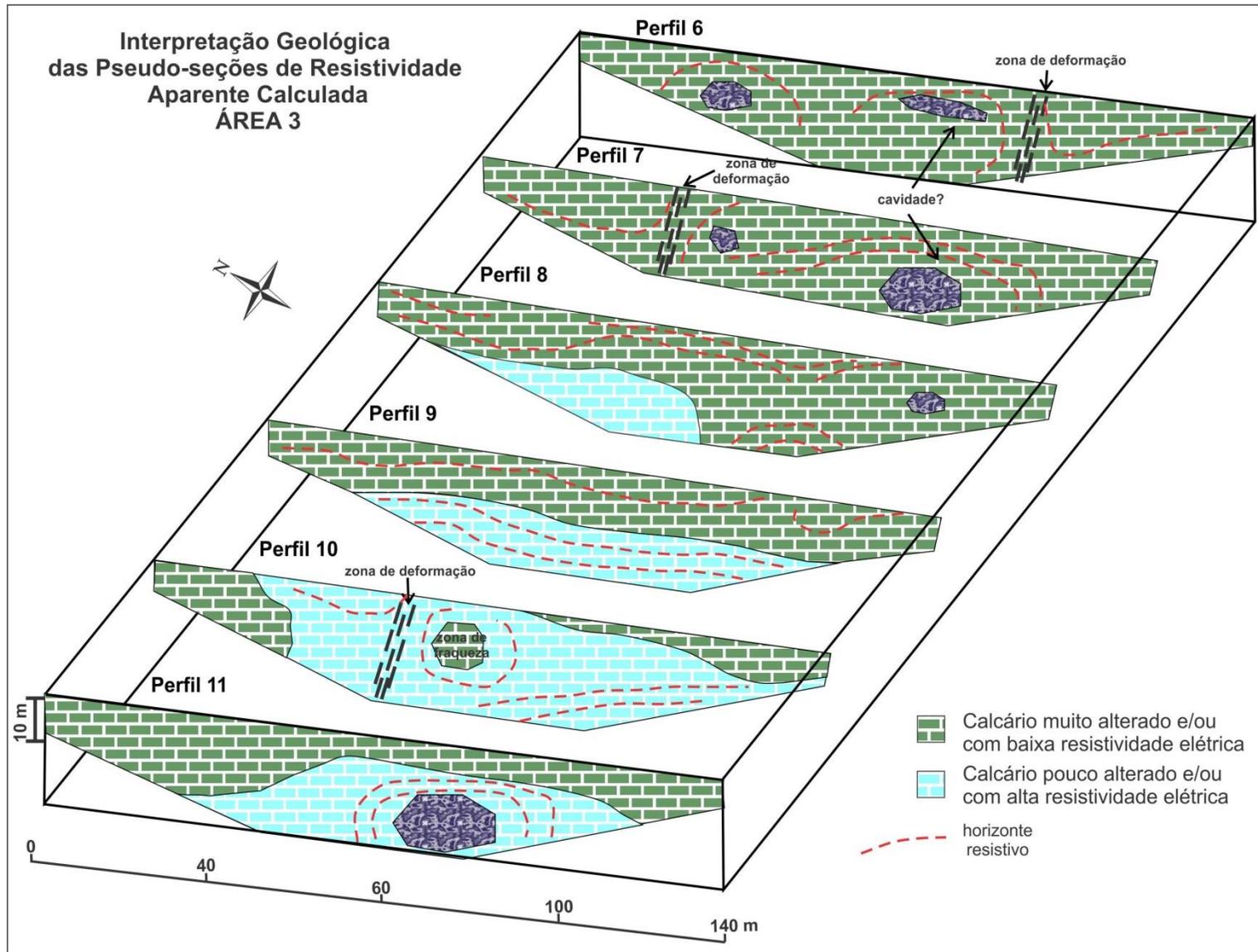


Figura 38 – Interpretação geológica tridimensional das pseudo-seções calculadas levantadas na Área 3. As feições circulares foram interpretadas como cavidades e as descontinuidades verticais como zonas de falhas. Observe que as possíveis cavidades formam um alinhamento na direção ENE-OSO.

9.3 ÁREA 4 – RUA DO CEMITÉRIO E AV. PERIMETRAL

A Área 4 (Figura 39) é topograficamente plana e geologicamente constituída em superfície por solos de alteração e afloramento de rochas calcárias. Nesta área foram levantados dois caminhamentos dipolo-dipolo com eletrodos espaçados de 10 metros na direção E-O (Perfis 12 e 13 na Figura 39 e fotografias 13 e 14).

A análise da distribuição de resistividade das pseudo-seções calculadas 12 e 13 (figuras 40 e 41, respectivamente) indica a existência de um substrato formadas por rochas muito resistivas ou pouco alteradas que afloram em vários pontos do terreno. No restante da área ocorrem solos com pequena espessura. A forte perturbação dos horizontes resistivos sugere a existência de várias zonas de descontinuidade, possivelmente associadas com falhas na direção N-S. Apesar de Maia *et al.* (2010) no contexto geral da área ter identificado fraturas abertas do tipo T na direção N-S controlando condutos e cavernas, os dados geofísicos nesta área, especificamente, indicam a existência de cavidades pouco expressivas e de processos incipientes de carstificação na direção N-S.

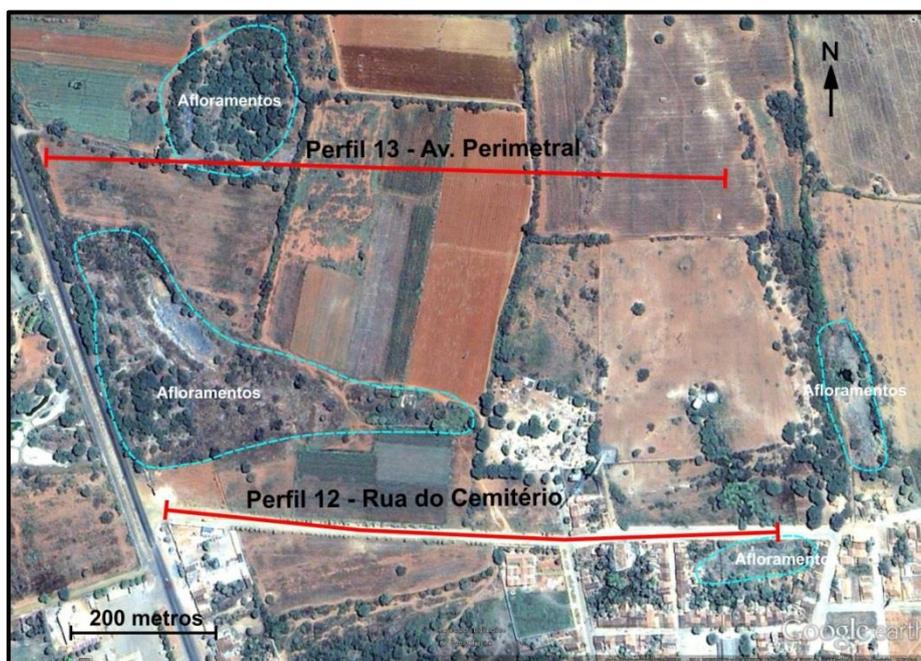


Figura 39 – Imagem da Área 4 com localização dos perfis onde foram levantados os caminhamentos de eletrorresistividade.



Fotografia 13 – Levantamento de eletrorresistividade na Rua do Cemitério.



Fotografia 14 – Levantamento de eletrorresistividade na nova Av. Perimetral.

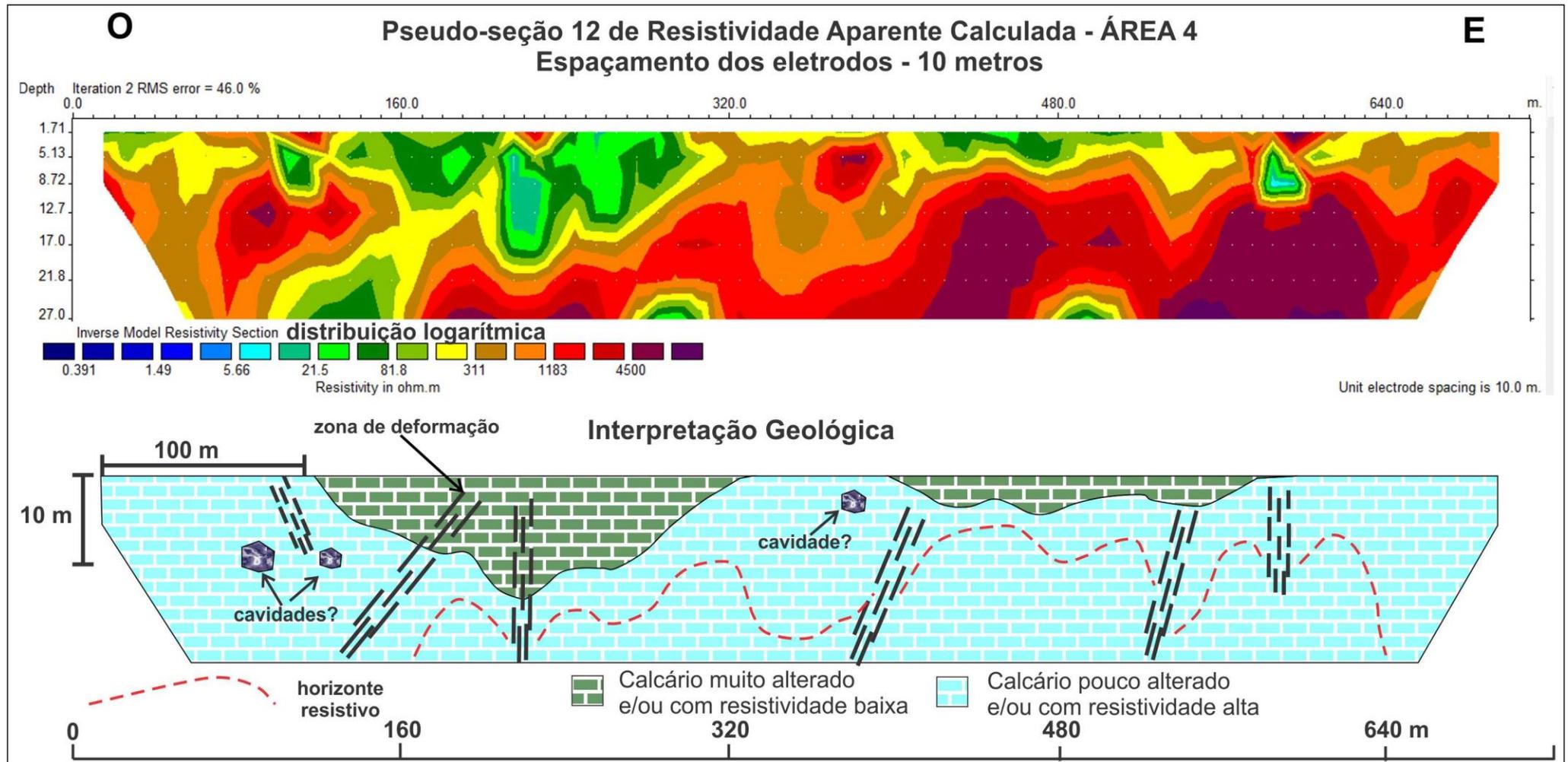


Figura 40 – Seção Geoelétrica 12 localizada na Área 4 na Rua do Cemitério. Observe a forte perturbação dos horizontes resistivos relacionados com discontinuidades litológicas possivelmente produzidas por falhas ou fraturas na direção N-S.

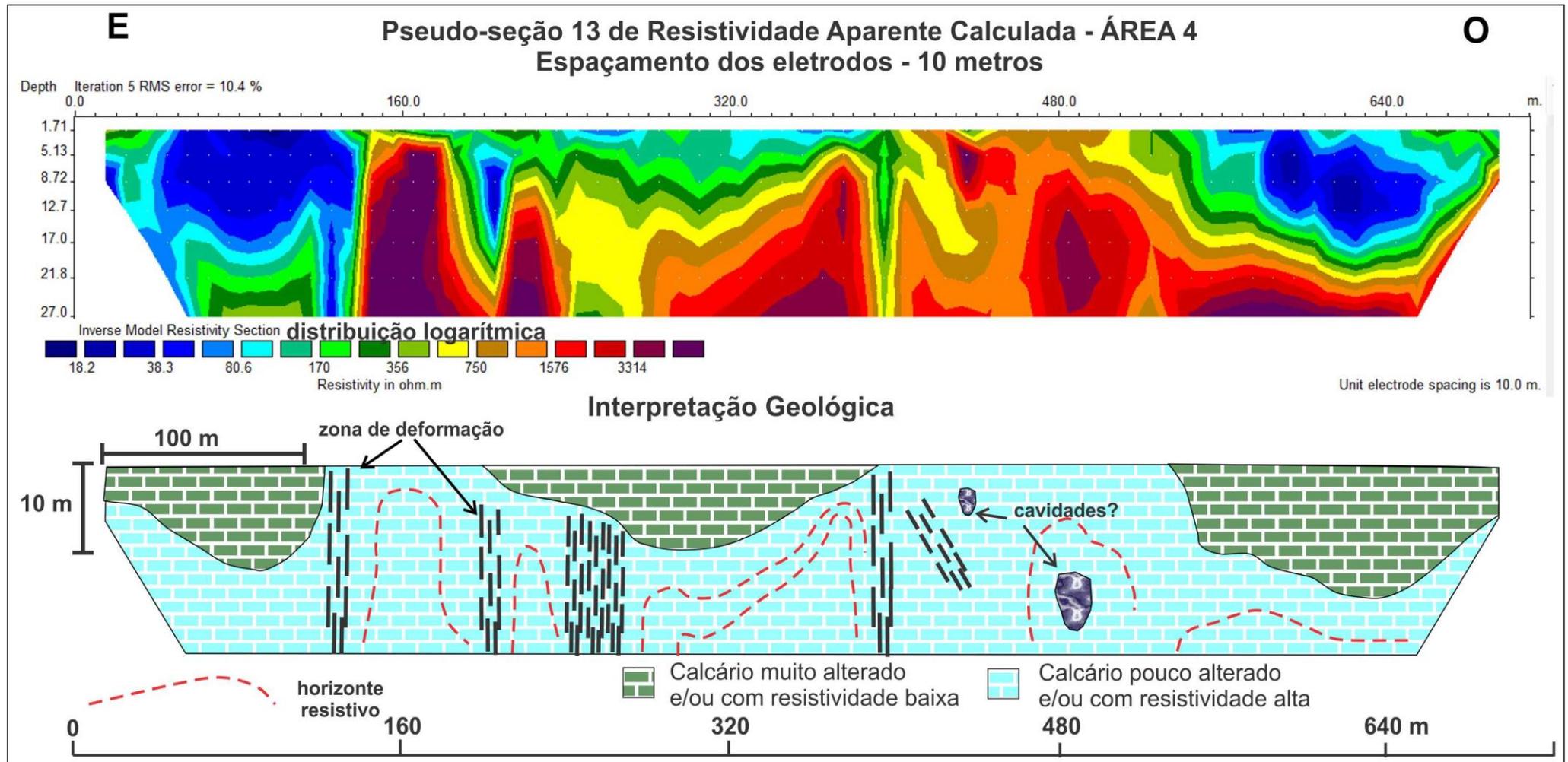


Figura 41 – Seção Geométrica 13 localizada na Área 4 na nova Av. Perimetral. Observe a forte perturbação dos horizontes resistivos relacionados com discontinuidades litológicas possivelmente produzidas por falhas ou fraturas na direção N-S.

9.4 ÁREA 5 – NOVO LOTEAMENTO (ZRC)

A Área 5 (Figura 42) é topograficamente plana e geologicamente constituída em superfície por afloramento de rochas calcárias (fotografias 15 e 16). Nesta área foram levantados três caminhamentos dipolo-dipolo com eletrodos espaçados de 10 metros na direção em torno de N-S (Perfis 14, 15 e 16 na Figura 42).

A análise da distribuição de resistividade das pseudo-seções 14, 15 e 16 (figuras 43, 44 e 45, respectivamente) indica a existência de um substrato formado pela alternância de rochas muito resistivas com rochas pouco resistivas. A configuração geométrica sugere uma intercalação estratigráfica de calcários com diferentes composições. A perturbação dos horizontes resistivos indica a existência de algumas zonas de descontinuidade, possivelmente associadas com falhas na direção N-S. Os dados geofísicos nesta área, especificamente, não indicam a existência de cavidades ou de processos de avançados de carstificação, apesar de Maia *et al.* (2010) no contexto geral da área ter identificado fraturas abertas do tipo A na direção do riacho Juá (E-O) controlando condutos e cavernas.



Figura 42 – Imagem da Área 5 com localização dos perfis onde foram levantados os caminhamentos de eletrorresistividade.



Fotografia 15 – Setores da Área 5 onde a superfície é composta por solos de alteração de rochas calcárias.



Fotografia 16 – Setores da Área 5 onde a superfície é composta por afloramentos de rochas calcárias.

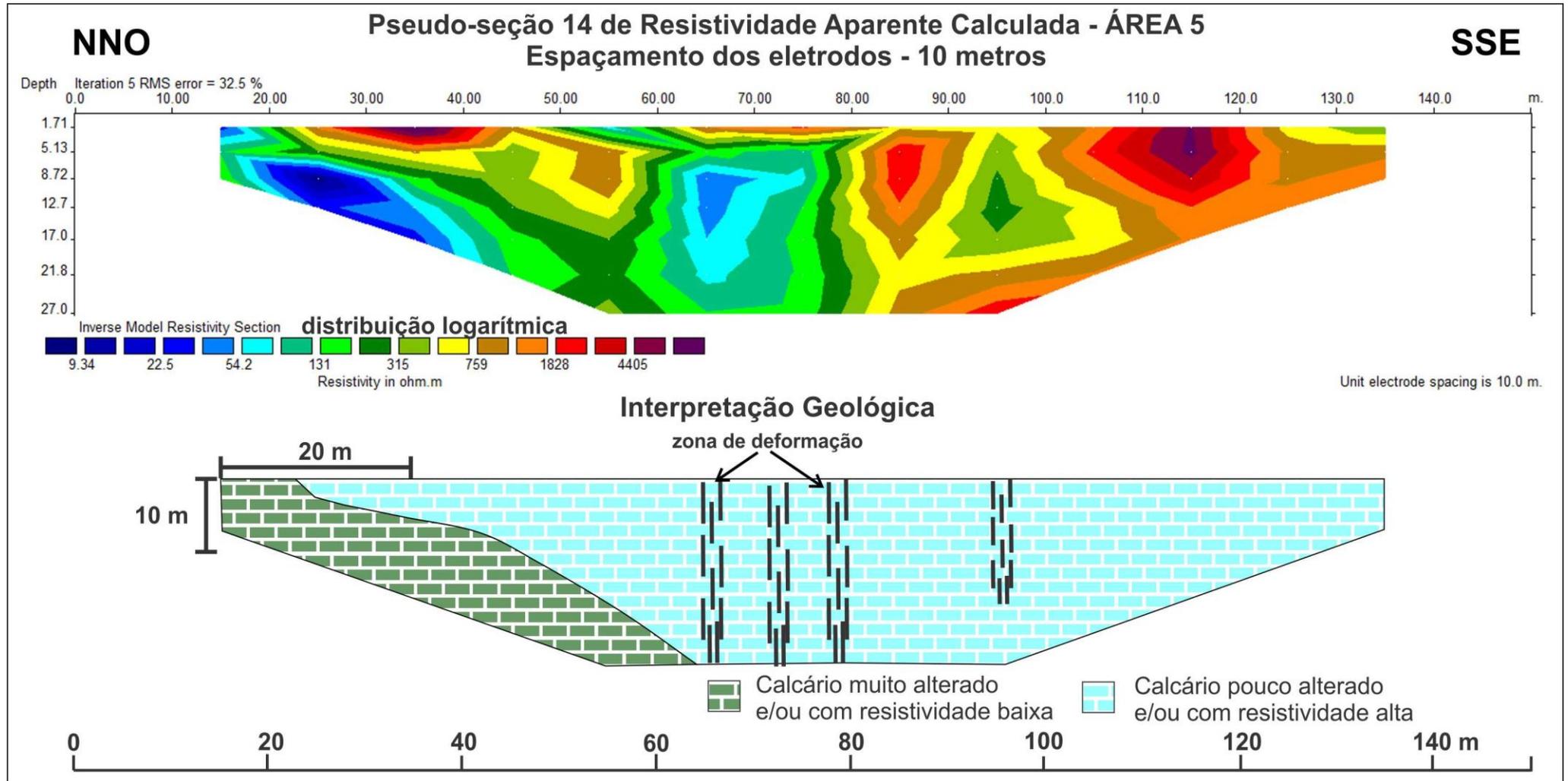


Figura 43 – Seção Geométrica 14 localizada na Área 5. A parte central da seção apresenta perturbações dos horizontes resistivos relacionadas com discontinuidades litológicas possivelmente produzidas por falhas ou fraturas na direção E-O.

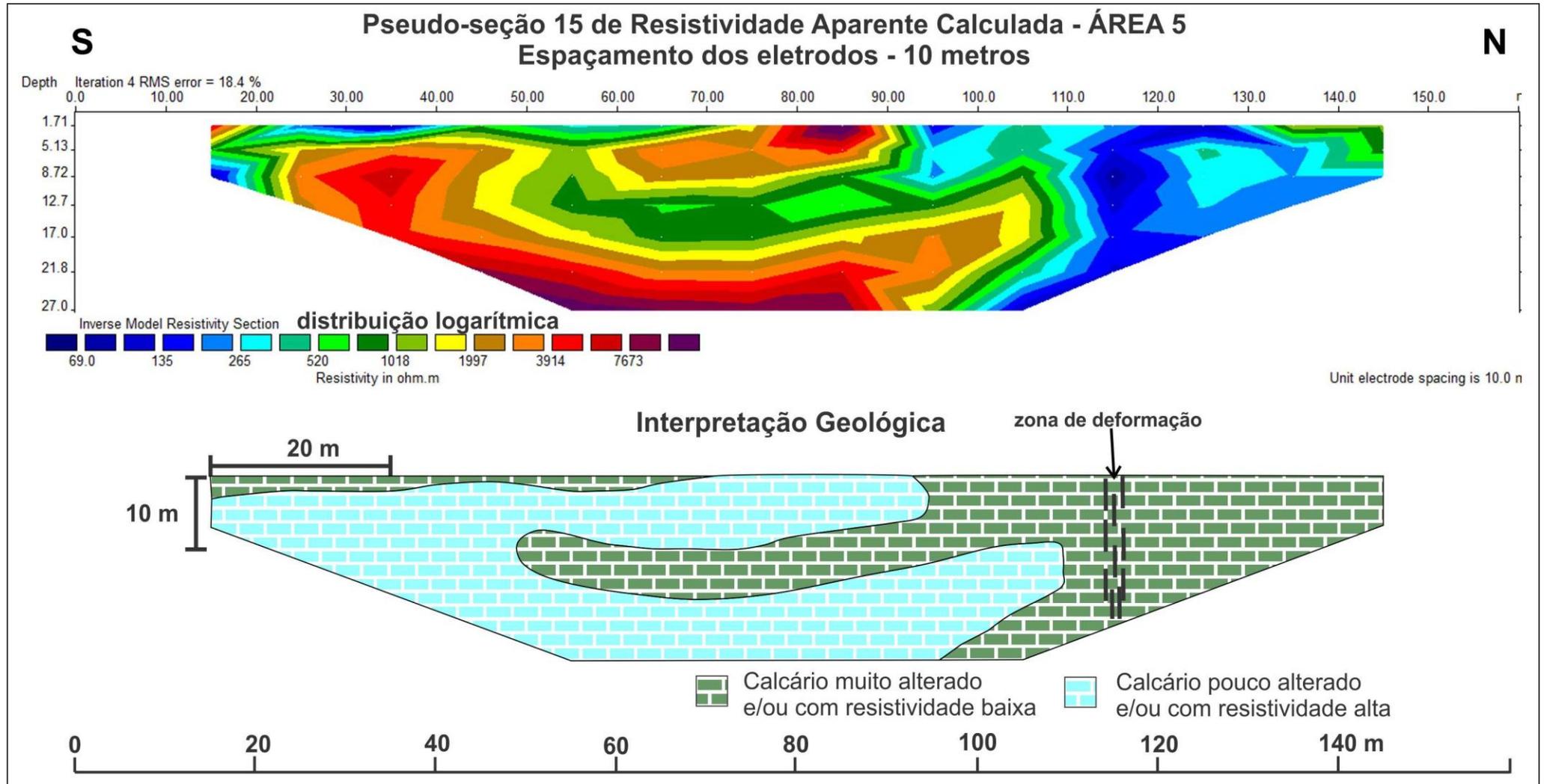


Figura 44 – Seção Geolétrica 15 localizada na Área 5. A interpretação dos dados indica uma intercalação de calcários de resistividade alta com calcários de resistividade baixa.

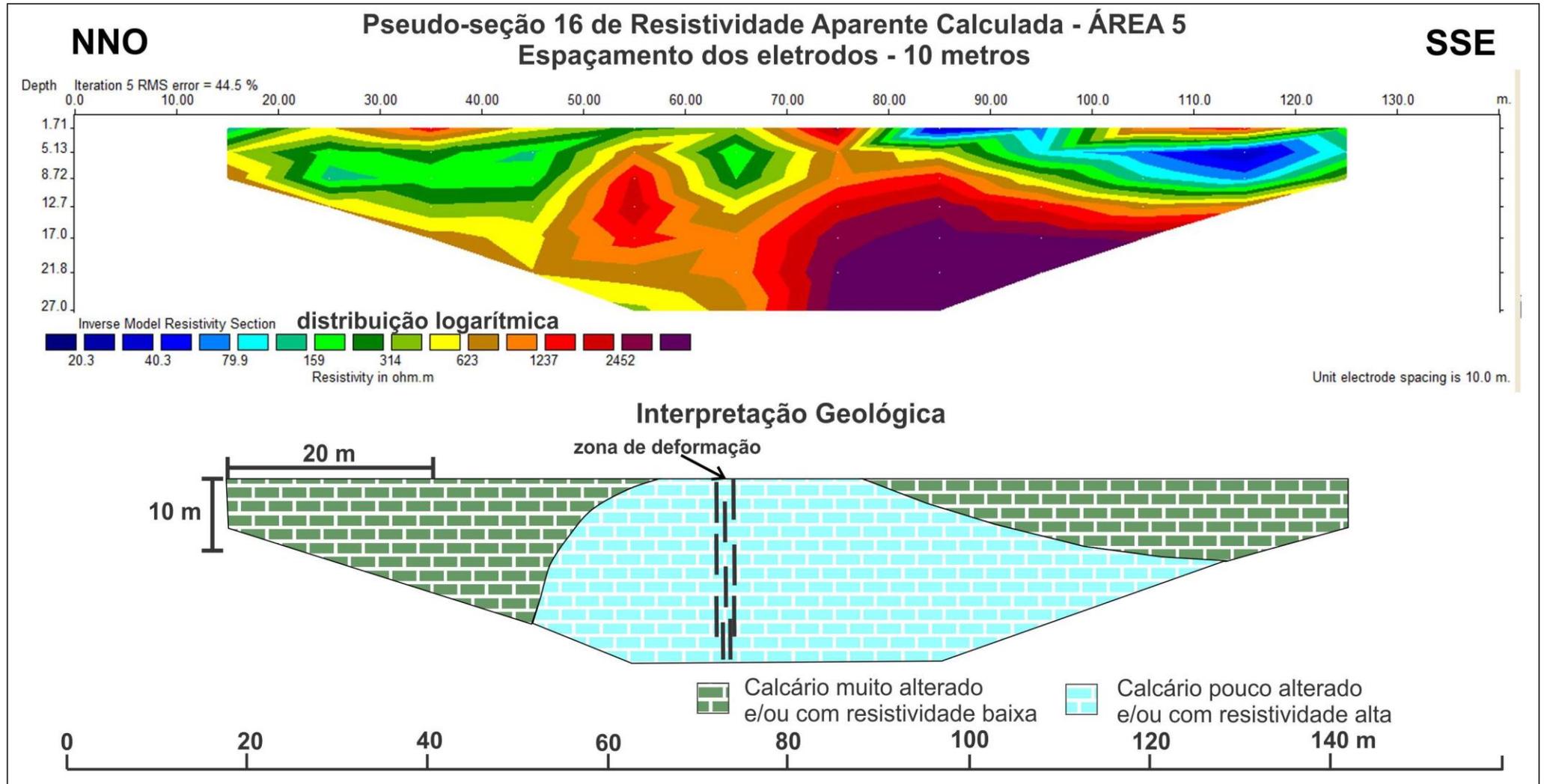


Figura 45 – Seção Geolétrica 16 localizada na Área 5. A parte central da seção apresenta perturbações dos horizontes resistivos relacionadas com discontinuidades litológicas possivelmente produzidas por falhas ou fraturas na direção E-O.

9.5 ÁREA 6 – NOVO LOTEAMENTO (ZOR)

A Área 6 (Figura 46) é topograficamente plana e geologicamente constituída em superfície por solos e afloramento de rochas calcárias (Fotografia 17). Nesta área foram levantados dois caminhamentos dipolo-dipolo com eletrodos espaçados de 10 metros na direção NE-SO (Perfis 17 e 18 na Figura 46).

A análise da distribuição de resistividade das pseudo-seções 17 e 18 (figuras 47 e 48, respectivamente) indica a existência de um substrato formado pela alternância de rochas calcárias muito resistivas com rochas calcárias pouco resistivas. A configuração geométrica sugere uma superposição estratigráfica de calcários com diferentes composições. Os horizontes resistivos são pouco perturbados indicando uma baixa densidade de zonas de descontinuidades associadas com zonas de falhas. Da mesma forma que na Área 5, os dados geofísicos nesta área, especificamente, não indicam a existência de cavidades expressivas ou de processos avançados de carstificação.



Figura 46 – Imagem da Área 6 com localização dos perfis onde foram levantados os caminhamentos de eletrorresistividade.



Fotografia 17 – Visão panorâmica da Área 6 onde a superfície é composta por solos e rochas calcárias.

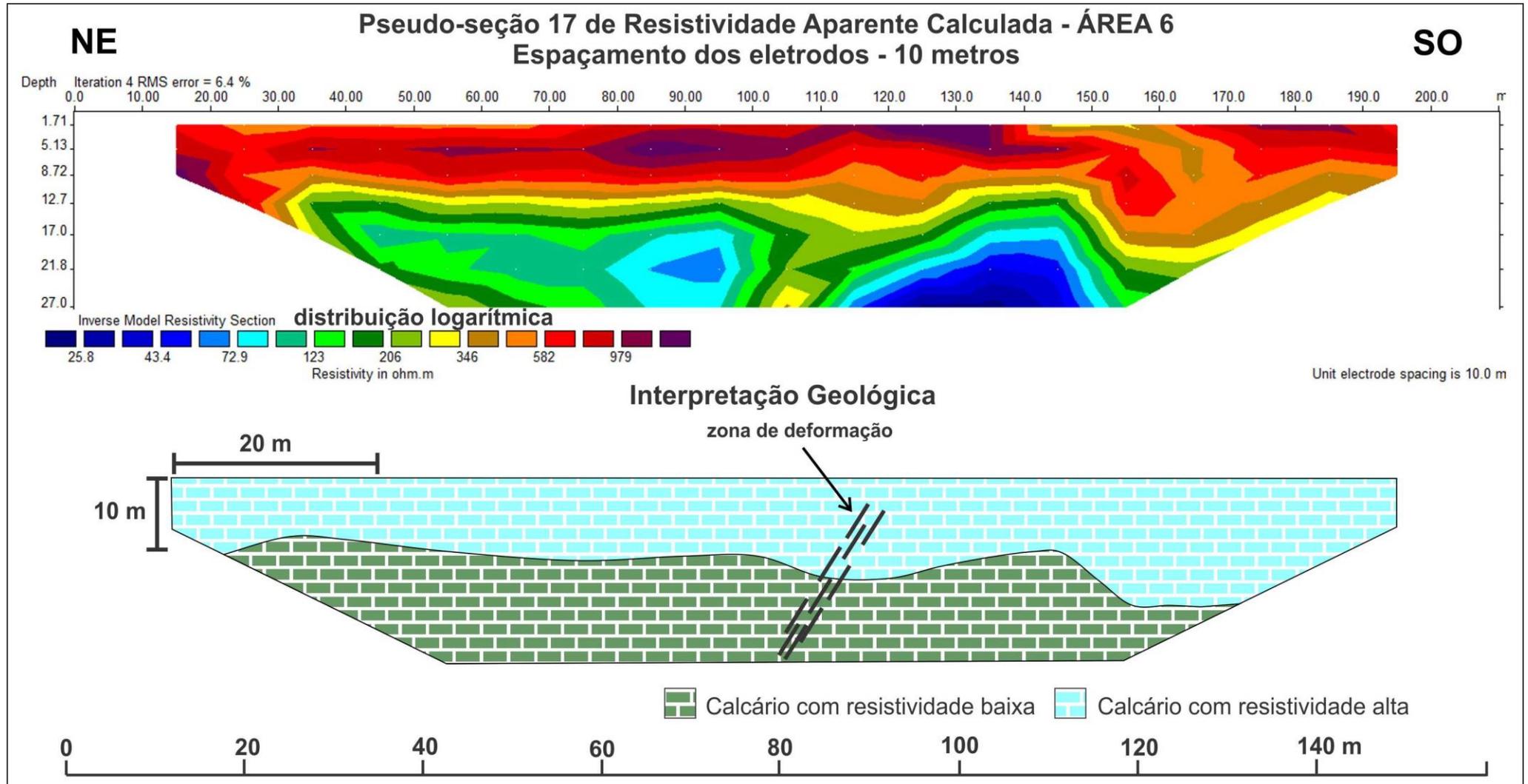


Figura 47 – Seção Geoelétrica 17 localizada na Área 6. A interpretação dos dados indica uma estratificação entre calcários de resistividade baixa com calcários de resistividade alta.

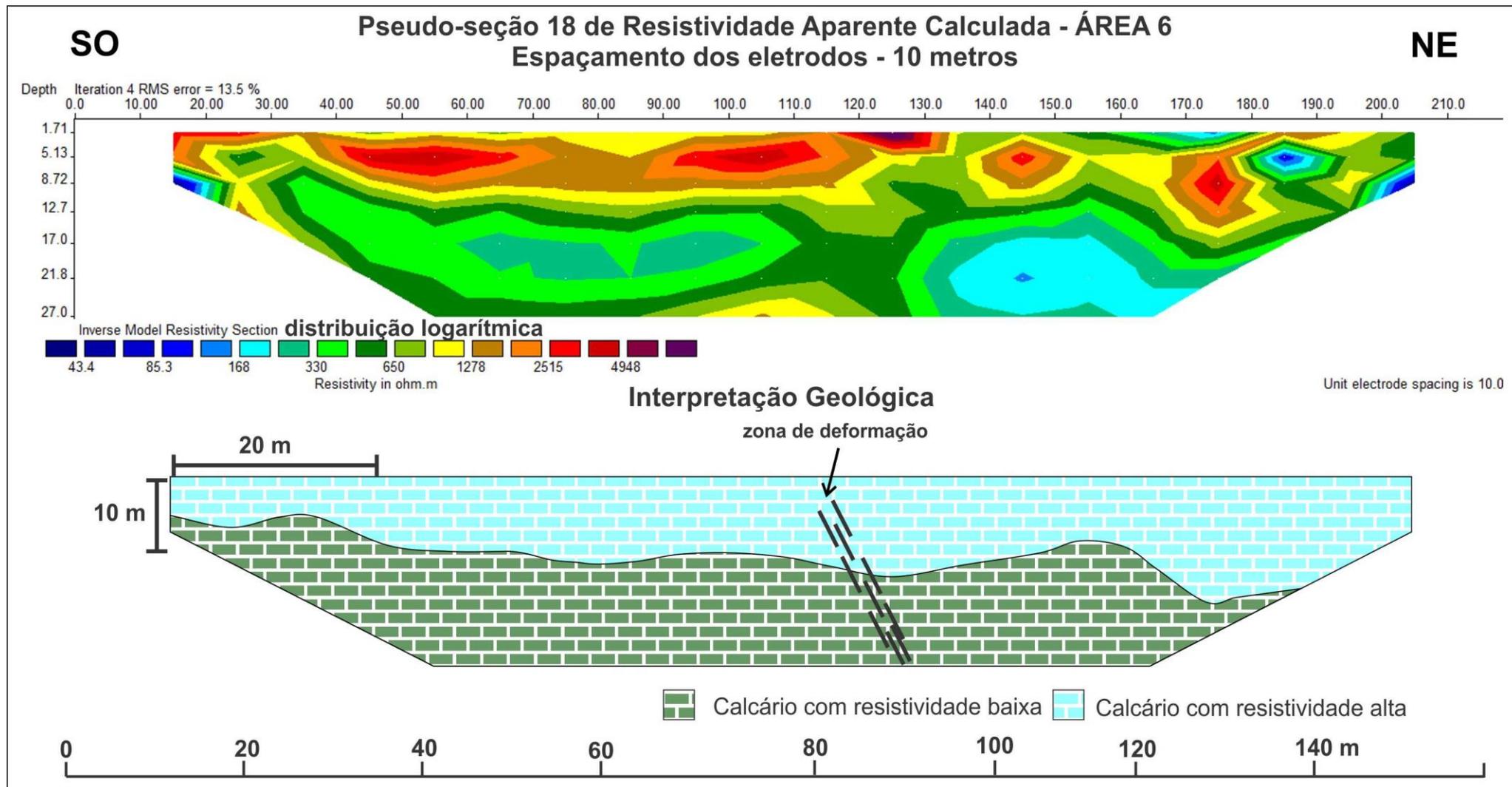


Figura 48 – Seção Geoelétrica 18 localizada na Área 6. A interpretação dos dados indica uma estratificação entre calcários de resistividade baixa com calcários de resistividade alta.

10 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Os resultados deste trabalho indicaram que o emprego da técnica geofísica de eletrorresistividade foi eficiente na identificação de descontinuidades e cavidades na região de rochas calcárias da cidade de Lapão (BA).

Na região em torno da fonte os dados geofísicos comprovaram a existência de um substrato calcário muito enfraquecido pela presença de zonas de deformação e cavidades. É evidente que neste local os processos geológicos estão fortemente influenciados pela atividade humana. Atualmente os dados de superfície indicam uma propagação da deformação para leste. Contudo, os dados geofísicos sugerem que a oeste da fonte o substrato calcário possui os mesmo ingredientes que favoreceram o desenvolvimento da deformação para leste. Como esta área é também muito habitada existe a possibilidade de desenvolvimentos no futuro de áreas colapsadas também a oeste da fonte.

No Bairro Ida Cardoso e na Fazenda de Gildásio as evidências geofísicas indicam também um substrato rochoso fraco, com cavidades e zonas de deformação. Neste caso a propagação da deformação é na direção N-S. Possivelmente, nesta região, as condições do substrato são mais críticas do que na região da fonte. Isto porque, as seções geoeletricas apresentam uma forte perturbação dos horizontes resistivos, indicando uma conexão muito expressiva entre colapso topográfico, deformação e cavidades. Neste caso é muito preocupante a continuidade da exploração do poço tubular que existe nesta localidade. A correlação entre o poço e o distúrbio dos horizontes resistivos é bastante clara, indicando que a associação entre retirada de água do subsolo, rebaixamento do nível freático e a existência de um substrato calcário enfraquecido por processos de dissolução é bastante danosa para a aceleração do processo de formação de dolinas no local.

A seção de investigação mais profunda levantada na BA-432 foi importante para indicar que a região possui cavidades grandes (de pelo menos até 20 m de diâmetro) e que as áreas colapsadas que ocorrem na área urbana podem ter conexões com grandes cavidades em profundidade. Do ponto de

vista geológico, a indicação é que esta área, ainda em fase inicial de formação de um sistema carstíco, deverá evoluir no futuro para estágios mais avançados. Considerando o tempo geológico, em contraposição ao tempo humano, este futuro poderá ainda está distante, porém, a atividade humana na região é um ingrediente cuja influência na evolução geológica é difícil de ser determinada.

A investigação nas novas áreas para expansão urbana forneceu as seguintes informações:

- i) A região oeste da Área 1 apresenta fortes indícios de colapso e de enfraquecimento das rochas calcárias. A proximidade de uma construção com arcabouço pesado (como é o caso do ginásio de esportes) nas bordas de uma possível dolina em evolução deve ser levada em consideração pelas autoridades municipais.
- ii) O subsolo da Área 2 parece ser estável e sem indícios evidentes de colapso ou de zonas de deformação importantes.
- iii) Apesar da Área 3 não apresentar na superfície sinais visíveis de colapso do terreno associado com possíveis formações de dolinas é importante uma investigação geotécnica prévia no sentido de detectar a existência de possíveis cavidades.
- iv) Na Área 4 os dados indicam a existência de cavidades pouco expressivas e de processos incipientes de carstificação.
- v) Os dados geofísicos das Áreas 5 e 6 não indicam a existência de cavidades ou de processos avançados de carstificação.

Para concluir este relatório é importante proferir que este trabalho foi apenas de reconhecimento. Portanto, o fechamento de conclusões mais detalhadas para o diagnóstico mais preciso das condições desta região requer um volume de trabalhos muito maior, que incluiria a aplicação de outros métodos geofísicos. Neste contexto, seria de bom apreço testar a utilização da técnica de G.P.R. (*Ground Penetrating Radar*), visto que muitas anomalias são observadas a poucos metros de profundidade. Também, a existência de substratos rochosos enfraquecidos e deformados, além de muitas cavidades, favoreceria o levantamento detalhado da distribuição da massa rochosa pelo método gravimétrico. Finalmente, para confirmação dos dados apresentados neste relatório é necessário efetuar sondagens diretas (perfurações) nas

anomalias para confirmação dos resultados obtidos a partir das modelagens e das interpretações.

11 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

DANDERFER FILHO A. Análise Estrutural Descritiva e Cinemática do Supergrupo Espinhaço na Região da Chapada Diamantina, Bahia, Brasil. Dissertação de Mestrado. UFOP, 1990, Ouro Preto. 99p.

FOX, R.C. et al. Topographic effects in resistivity and induced-polarization surveys. *Geophysics*, v.45, n. 1, p. 75-93, jan. 1980.

GEOTOMO SOFTWARE. 2003. Disponível em <<http://www.geotomo.com>>. Acesso em 26 de março de 2013.

KUCHENBECKER, M., REIS, H. L. S., FRAGOSO, D. G. C.. Caracterização estrutural e considerações sobre a evolução tectônica da Formação Salitre na porção central da Bacia de Irecê, norte do Cráton do São Francisco (BA). *Geonomos*, 19(2), 42-49, 2011.

LOKE, M. H. Electrical imaging surveys for environmental and engineering studies: a practical guide to 2-D and 3-D surveys. Austin, 2000. 61 p. Disponível em:< <http://www.geoelectrical.com>>. Acesso em: 25 de mar. 2013.

LOKE, M. H.; BARKER, R.D. Practical techniques for 3D resistivity surveys and data inversion. *Geophysical Prospecting*, v. 44, n. 3, p. 499-523, may. 1996.

MAIA, P. H. P., DIAS NETO, B., GOMES, L. C. C. Análise Geológica e Estrutural das Fissuras e Subsídências no Carste de Lapão. *Cadernos de Geociências*, v. 7, n. 2, 2010.

SASAKI, Y. Resolution of resistivity tomography inferred from numerical simulation. *Geophysical Prospecting*, v.40, n.4, p. 453-463, may. 1992.

SOUZA, S.L. de; BRITO, P.C.R.; SILVA, R.W.S. *Estratigrafia, sedimentologia e recursos minerais da Formação Salitre na Bacia de Irecê, Bahia*. Salvador: CBPM, 1993. 34 p. (Arquivos Abertos, 2).

SOUZA, S.L. *et al.* Análise faciológica e metalogenética da bacia de Irecê, Bahia. Salvador: CBPM, 2002. 110p. v.1.

TELFORD W.M., GELDART L.P., SHERIFF, R.E. & KEYS D.A. 1990. Applied Geophysics. 2nd edition, Cambridge, Cambridge University Press, 770 p.

WARD, S.H. Resistivity and induced polarization methods. *In*: WARD, S.H. (Ed.). *Geotechnical and environmental geophysics*. Tulsa: Society of Geophysicists, 1990. v.1, p. 147-190.