



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO  
FACULDADE DE GEOCIÊNCIAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS

**Isabella Nantes Nishimura**

**Tomografia Elétrica como ferramenta de investigação indireta:  
Estudo de caso para implantação de aterro sanitário de resíduos  
domiciliares urbanos**

---

*Orientador(a)*  
**Sérgio Junior da Silva Fachin**

CUIABÁ  
2023



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO**

**REITORIA**

*Reitor*

**Prof. Dr. Evandro Aparecido Soares da Silva**

*Vice-Reitora*

**Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Rosaline Rocha Lunardi**

**PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO**

*Pró-Reitor*

**Prof. Dr. Jackson Antonio Lamounier Camargos Resende**

**FACULDADE DE GEOCIÊNCIAS**

*Diretor*

**Prof. Dr. Paulo César Corrêa da Costa**

*Diretor Adjunto*

**Prof. Dr. Carlos Humberto da Silva**

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS**

*Coordenador*

**Prof. Dr. Pedro Maciel de Paula Garcia**

*Vice-Coordenador*

**Prof. Dr. Sérgio Júnior da Silva Fachin**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO  
Nº

**Tomografia Elétrica como ferramenta de investigação indireta:  
Estudo de caso para implantação de aterro sanitário de resíduos  
domiciliares urbanos**

---

**Isabella Nantes Nishimura**

*Orientador(a)*

**Sérgio Junior da Silva Fachin**

**Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geociências da Faculdade de Geociências da Universidade Federal de Mato Grosso como requisito parcial para a obtenção do Título de Mestre em Geociências.**

CUIABÁ  
2023

### **Dados Internacionais de Catalogação na Fonte.**

N724t Nishimura, Isabella Nantes.

Tomografia Elétrica como ferramenta de investigação indireta:  
Estudo de caso para implantação de aterro sanitário de resíduos  
domiciliares urbanos [recurso eletrônico] / Isabella Nantes Nishimura. --  
Dados eletrônicos (1 arquivo : 32 f., il. color., pdf). -- 2023.

Orientador: Sérgio Junior da Silva Fachin.  
Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Mato Grosso,  
Instituto de Ciências Exatas e da Terra, Programa de Pós-Graduação em  
Geociências, Cuiabá, 2023.

Modo de acesso: World Wide Web: <https://ri.ufmt.br>.

Inclui bibliografia.

1. Aterro de resíduos. 2. Geofísica aplicada. 3. Eletrorresistividade. 4.  
Tomografia elétrica. I. Fachin, Sérgio Junior da Silva, *orientador*. II.  
Título.

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Permitida a reprodução parcial ou total, desde que citada a fonte.

**Tomografia Elétrica como ferramenta de investigação indireta: Estudo de caso para implantação de aterro sanitário de resíduos domiciliares urbanos**

**BANCA EXAMINADORA**

Prof. Dr. Sérgio Junior da Silva Fachin

*Orientador(a)*

Prof. Dr. Renato Blat Migliorini

*Examinador(a) Interno (UFMT)*

Prof. Dr. César Augusto Moreira

*Examinador(a) Externo*

A todos que amo.

## **Agradecimentos**

A minha família, em especial Cristina, Juliana e José Orlando, pelo apoio incondicional ao longo da minha trajetória de vida pessoal e acadêmica.

As minhas amigas da vida toda, Ludimila, Laís e Ana Caroline, por estarem sempre ao meu lado.

Aos meus amigos de Cuiabá, Camila, Márcio e em especial a Letícia e Ana Paula, por nunca medirem esforços para me ajudar ao longo do desenvolvimento deste trabalho.

Aos meus colegas de trabalho da SEMA, Edemar, Fernando e Yara.

Aos meus primos, Armando e Débora, por me acolherem com tanto carinho no período em que morei em Cuiabá.

Ao Prof. Dr. Pedro Maciel de Paula Garcia, que desde o meu ingresso no programa de pós não mediu esforços para me auxiliar, além dos conselhos essenciais para o meu amadurecimento.

Ao meu orientador Prof. Dr. Sérgio Junior da Silva Fachin, pela orientação que me foi dedicada ao longo do desenvolvimento deste trabalho.

A todos que estiveram presentes em minha vida durante a elaboração deste trabalho, e que contribuíram de forma direta ou indireta.

## **Resumo**

A destinação adequada de resíduos sólidos domiciliares urbanos é discutida amplamente no Brasil e no mundo, porém nota-se uma grande dificuldade para a sua aplicação, principalmente em cidades de pequeno porte do país. Neste contexto, este trabalho teve como finalidade utilizar o método geofísico da Eletrorresistividade como ferramenta para caracterização geológica de uma área destinada a implantação de Aterro de Resíduos, no município de Jaciara, estado de Mato Grosso. Os resultados obtidos utilizando a técnica da Tomografia Elétrica permitiram observar as variações dos valores de resistividade ao longo das seções 2D e identificá-las com base na geologia regional e nos ensaios SPT realizados na área. Os valores de resistividade  $< 100 \Omega.m$  indicam a presença de zonas permeáveis (úmidas), já os valores acima de  $537 \Omega.m$  apontam para regiões mais resistivas, com solos arenosos insaturados e a presença do nível d'água varia entre 5 a 30 m de profundidade. A análise da variação de resistividade ao longo das seções, os parâmetros geológicos definidos pelas normas brasileiras e os ensaios diretos realizados na área, permitiram classificá-la como favorável para instalação do Aterro de Resíduos. O método demonstrou eficácia quando aplicado a problemas de engenharia, sendo utilizado para definição lito-estratigráfica e variações no teor de umidade, principalmente em áreas extensas, com redução do custo da aplicação de métodos diretos, sobretudo em municípios com recursos escassos.

**PALAVRAS-CHAVE:** Aterro de Resíduos; Geofísica Aplicada; Eletrorresistividade; Tomografia Elétrica;

## **Abstract**

The correct disposal of solid waste is widely discussed in Brazil and in the world, but there is a great difficulty for its application, especially in small cities in the country. In this context, this work aimed to use the geological Resistivity Method as a tool in the geological characterization of an area intended for a waste landfill in Jaciara, state of Mato Grosso. The results obtained using the ERT technique allowed observing the variations of the resistivity values along the 2D profiles and identifying them based on the regional geology and in the SPT carried out in the area. Resistivity values  $< 100 \Omega.m$  indicate the presence of permeable zones, while values above  $537 \Omega.m$  indicate more resistive regions, with unsaturated sandy soils and the presence of water level varies between 5 to 30 m deep. The analysis of the resistivity variation along the sections, the geological parameters defined by the Brazilian norms and the direct tests carried out in the area, allowed classifying it as favorable for the installation of the Waste Landfill. The method proved to be effective applied to engineering problems, being used for litho-stratigraphic definition and variations in moisture content, ainly in large areas, with a reduction in the cost of applying direct methods, especially in municipalities with scarce resources.

**KEYWORDS:** Waste Landfill; Applied Geophysics; Electrical Resistivity; Electrical Resistivity Tomography (ERT)

## Lista de Figuras

Figura 1 - Mapa de Localização da Área de Estudo. ....	2
Figura 2 - Mapa Geológico da Área de Estudo. ....	4
Figura 3 - Resistividade ( $\rho$ ) em meios homogêneos e heterogêneos (modificado de Braga, 2006)....	5
Figura 4 - Desenho esquemático representando o método da ER e o desenvolvimento da técnica da Tomografia Elétrica ao longo de um perfil (modificado de Braga, 2006).....	6
Figura 5 - A) Área escavada previamente pela Prefeitura Municipal de Jaciara para receber os Resíduos Domiciliares Urbanos; B) Levantamento topográfico da linha de <i>background</i> (PF01) ao longo da estrada vicinal; C) Resistivímetro em operação na área escavada destinada a instalação do aterro; D) Coleta de coordenadas e dados topográficos da Área de Estudo. ....	7
Figura 6 - Mapa de localização dos perfis de TE, ensaios de permeabilidade e ensaios SPT. ....	8
Figura 7 - Modelos de inversão de resistividades elétricas com interpretações de lito-estratigrafia e identificação do nível d'água. ....	11

## **Lista de Tabelas**

Tabela 1 - Atributos geológicos nas NBR 13896 e 15849 e ensaios diretos realizados na Área de Estudo. ....	3
--	---

**Lista de Anexos**

ANEXO I – Diretrizes para submissão junto a Revista do Instituto de Geociências da USP.....14

## Sumário

Agradecimentos .....	iv
Resumo.....	v
Abstract .....	vi
Lista de Figuras .....	i
Lista de Tabelas .....	ii
Lista de Anexos .....	iii
Sumário .....	iv
Artigo Científico a ser submetido para publicação no periódico Série Científica Geologia USP ...	v
INTRODUÇÃO.....	1
OBJETIVO.....	1
Caracterização Da Área De Estudo .....	2
Contexto Geológico .....	3
Método da Eletrorresistividade .....	4
Aterro Sanitário de Resíduos Sólidos Urbanos .....	6
AQUISIÇÃO E PROCESSAMENTO DE DADOS .....	7
RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	7
CONCLUSÕES .....	11
REFERÊNCIAS .....	11

**Artigo Científico a ser submetido para publicação no periódico Série Científica Geologia USP**

**Tomografia Elétrica Como Ferramenta De Investigação Indireta: Estudo De Caso Para Implantação De Aterro Sanitário De Resíduos Domiciliares Urbanos**

*Electrical Tomography Resistivity As a Tool For Indirect Investigation: A Case for Implementation Of a Waste Landfill*

Tomografia Elétrica Investigação Indireta

Isabella Nantes Nishimura

Av. Fernando Corrêa da Costa, nº 2367, Bairro Boa Esperança,  
Cuiabá, Mato Grosso, Brasil.

CEP: 78060-900

Caixa Postal: (65) 3615-8000

Telefone para contato: (67) 99290-0646

E-mail: belanantess@gmail.com

<https://orcid.org/0009-0007-0387-2583>

Sérgio Junior da Silva Fachin

Av. Fernando Corrêa da Costa, nº 2367, Bairro Boa Esperança,  
Cuiabá, Mato Grosso, Brasil.

CEP: 78060-900

Caixa Postal: (65) 3615-8000

E-mail: sergio.fachin@ufmt.br

<https://orcid.org/0000-0001-8865-5367>

Número de palavras: 4518

Total de figuras: 7

Total de tabelas: 1

## RESUMO

A destinação adequada de resíduos sólidos domiciliares urbanos é discutida amplamente no Brasil e no mundo, porém nota-se uma grande dificuldade para a sua aplicação, principalmente em cidades de pequeno porte do país. Neste contexto, este trabalho teve como finalidade utilizar o método geofísico da Eletrorresistividade como ferramenta para caracterização geológica de uma área destinada a implantação de Aterro de Resíduos, no município de Jaciara, estado de Mato Grosso. Os resultados obtidos utilizando a técnica da Tomografia Elétrica permitiram observar as variações dos valores de resistividade ao longo das seções 2D e identificá-las com base na geologia regional e nos ensaios SPT realizados na área. Os valores de resistividade  $< 100 \Omega.m$  indicam a presença de zonas permeáveis (úmidas), já os valores acima de  $537 \Omega.m$  apontam para regiões mais resistivas, com solos arenosos insaturados e a presença do nível d'água varia entre 5 a 30 m de profundidade. A análise da variação de resistividade ao longo das seções, os parâmetros geológicos definidos pelas normas brasileiras e os ensaios diretos realizados na área, permitiram classificá-la como favorável para instalação do Aterro de Resíduos. O método demonstrou eficácia quando aplicado a problemas de engenharia, sendo utilizado para definição lito-estratigráfica e variações no teor de umidade, principalmente em áreas extensas, com redução do custo da aplicação de métodos diretos, sobretudo em municípios com recursos escassos.

**PALAVRAS-CHAVE:** Aterro de Resíduos; Geofísica Aplicada; Eletrorresistividade; Tomografia Elétrica.

## ABSTRACT

The correct disposal of solid waste is widely discussed in Brazil and in the world, but there is a great difficulty for its application, especially in small cities in the country. In this context, this work aimed to use the geological Resistivity Method as a tool in the geological characterization of an area intended for a waste landfill in Jaciara, state of Mato Grosso. The results obtained using the ERT technique allowed observing the variations of the resistivity values along the 2D profiles and identifying them based on the regional geology and in the SPT carried out in the area. Resistivity values  $< 100 \Omega.m$  indicate the presence of permeable zones, while values above  $537 \Omega.m$  indicate more resistive regions, with unsaturated sandy soils and the presence of water level varies between 5 to 30 m deep. The analysis of the resistivity variation along the sections, the geological parameters defined by the Brazilian norms and the direct tests carried out in the area, allowed classifying it as favorable for the installation of the Waste Landfill. The method proved to be effective applied to engineering problems, being used for litho-stratigraphic definition and variations in moisture content, ainly in large areas, with a reduction in the cost of applying direct methods, especially in municipalities with scarce resources.

**KEYWORDS:** Waste Landfill; Applied Geophysics; Electrical Resistivity; Electrical Resistivity Tomography (ERT);

## **INTRODUÇÃO**

O descarte de resíduos é um problema mundial em ascensão diária, e nem sempre a destinação desse montante gerado é realizada da forma correta, ou menos prejudicial ao meio ambiente (SNIS, 2019). Em algumas regiões do Brasil, em municípios de pequeno porte, o descarte adequado se torna dificultoso devido a falta de corpo técnico qualificado ou recursos financeiros suficientes. Diante do exposto os resíduos acabam dispostos em locais inapropriados, causando danos ambientais e de saneamento básico por meio da contaminação do manancial hídrico. O acúmulo de resíduo em locais inadequados pode causar acidentes que envolvem fogo e explosões, além de doenças infecciosas, como pelo contato direto com os resíduos ou pela proliferação de pragas, problemas indiretos como a contaminação do solo e das águas superficial e subterrânea devido a lixiviação de metais pesados e chorume dos compostos orgânicos, poluição do ar pela emissão de metano e impactos sobre a fauna e flora por consumo direto dos resíduos ou morte da vegetação (Waste Atlas, 2014).

Visto a urgência da gestão de resíduos no Brasil, foi estabelecida como base a Lei nº 12.305 em 02 de agosto de 2010, que trata da Política Nacional de Resíduos Sólidos, que determina critérios para o gerenciamento e a diminuição dos resíduos, e estipula datas para adequação e disposição correta por meio dos municípios. Nesse contexto três sistemas são utilizados para disposição de resíduos no Brasil, o lixão, aterro controlado (não permitido com base legal) e o aterro de resíduos, sendo este o único que atende os requisitos normativos e ambientais para a sua instalação.

Um parâmetro essencial a ser estudado para a implantação de um aterro de resíduos é a caracterização geológica da área. Segundo a NBR 15849, para a implantação de um aterro, obrigatoriamente a área deve ser objetivo de investigação geológica/geotécnica da área por meio do mapeamento de superfície e o ensaio SPT (Standard Penetration Test). A Tabela (1) apresenta os parâmetros geológicos mínimos exigidos pelas normas brasileiras para a instalação de aterro sanitário de pequeno porte.

Nesse contexto, os métodos indiretos de investigação do subsolo, como os métodos geofísicos, compreendem uma opção menos onerosa e mais ágil nos ensaios de campo, pois permitem levantar áreas extensas e auxiliar na indicação de locais mais favoráveis para realização de métodos diretos, como o SPT, portanto um método complementar viável para caracterização da subsuperfície. O método geofísico da Eletroresistividade (ER) é amplamente utilizado na Engenharia e Hidrogeologia para investigação rasa do subsolo (Kearey et al. 2002), devido a sensibilidade em detectar anomalias de resistividade elétrica relacionadas a falhas, fraturas, blocos de rochas, e variações de litologias.

Os métodos geoelétricos, como o ER, são amplamente utilizados para investigações em locais de disposição de resíduos após a sua construção e operação, conforme trabalhos publicados (Shiraiwa et al., 2002; Silva et al., 2002; Moura e Malagutti Filho et al., 2007; Lago, Elis, Giacheti., 2006), para investigação de níveis de contaminação, porém poucos trabalhos o utilizaram para caracterização de local antes de sua implantação (Camargo, 1995; Gandolfo, 2015), portanto, uma questão ainda passível de estudos mais aprofundados é a essência deste trabalho.

## **OBJETIVO**

O objetivo deste trabalho foi investigar o ambiente geológico para caracterização litoestratigráfica e variações de umidade (permeabilidade), por meio do método geofísico da Eletroresistividade, para análise de viabilidade técnica de instalação de aterro sanitário de resíduos no município de Jaciara, localizado na região sul do estado de Mato Grosso.

## Caracterização Da Área De Estudo

A área de estudo está localizada na cidade de Jaciara, na porção sudeste do estado de Mato Grosso, a aproximadamente 148 km da capital do Estado, Cuiabá. O local encontra-se a 35 km do município, na zona rural, Figura (1).

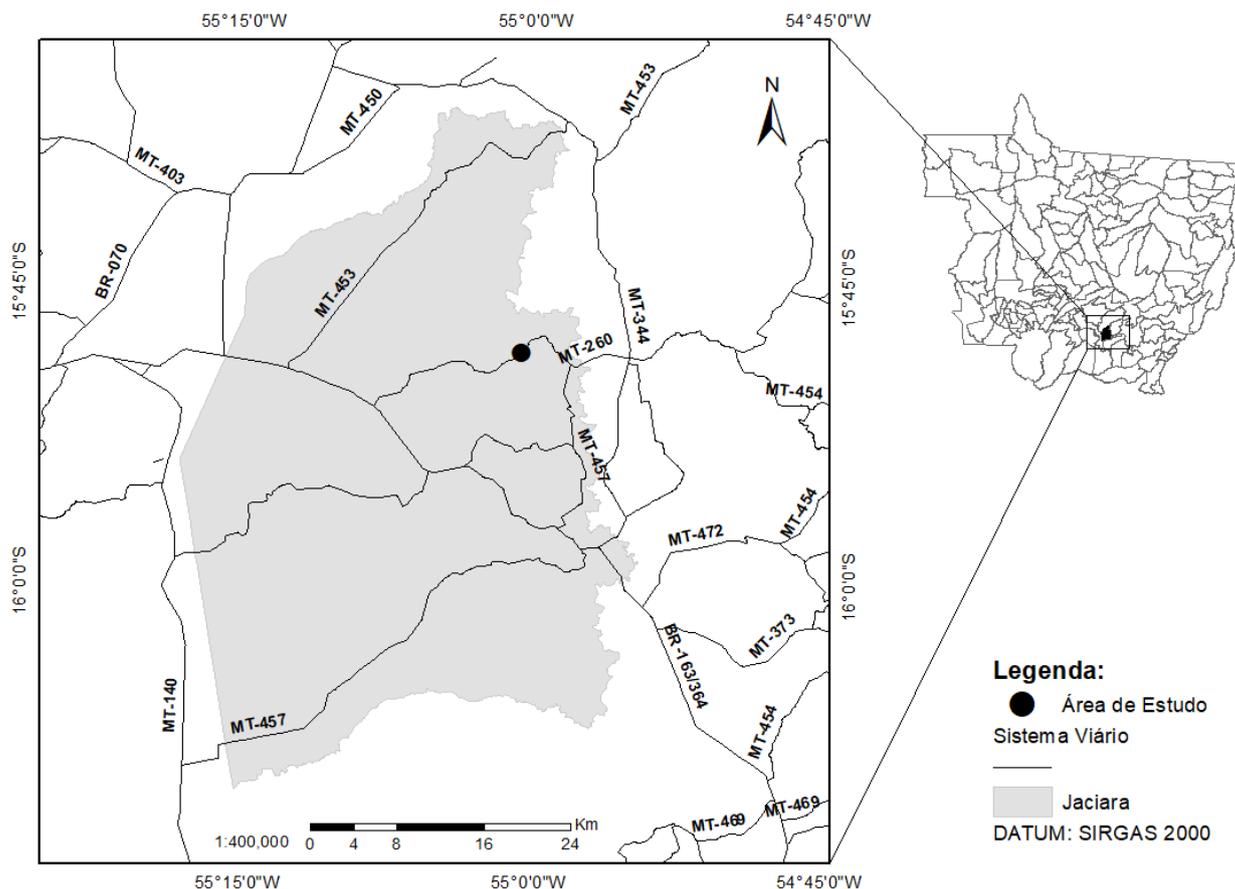


Figura 1 - Mapa de Localização da Área de Estudo.

Segundo PMSB-Jaciara (2017), o município produz cerca de 24,9 ton/dia de resíduos domiciliares, com o lixo orgânico e recicláveis destinados a coleta seletiva e o restante é depositado a céu aberto no lixão da cidade. Diante do exposto na Lei nº 12.305 de 02 de agosto de 2010, no Art. 54, item IV, estabelece que os municípios com menos de 50.000 habitantes devem garantir disposição final ambientalmente adequada dos resíduos, até 02 de agosto de 2024, o município solicitou a licença para instalação e operação de um aterro de resíduos de pequeno porte no município no ano de 2006. Foi verificado junto ao órgão ambiental responsável no estado, SEMA-MT, que a licença de instalação e operação do aterro de resíduos foi liberada ao final do ano de 2022. Em análise a documentação disponibilizada pelo órgão, foram realizados três ensaios de permeabilidade e quatro ensaios SPT na área. Os ensaios de permeabilidade foram executados por furo de trado com tipo de infiltração à carga constante, com uma profundidade de 100 cm, diâmetro do furo de 6,7 cm em um intervalo de tempo de 15 min. Os Ensaio SPT foram realizados com base na NBR 6484 (2001) e seus resultados estão apresentados na Tabela (1). Segundo a Prefeitura Municipal de Jaciara, a área destinada para a implantação do aterro sanitário de resíduos foi escolhida devido a proximidade ao atual lixão da cidade, e desde a década de noventa planeja-se a transferência dos resíduos dispostos

de forma incorreta no lixão para o futuro aterro. Atualmente existe uma escavação retangular de aproximadamente 1 ha na área de estudo, destinada a disposição dos resíduos.

Ensaio direto realizado na área de estudo **		
Atributos geológicos mínimos segundo as NBR 13896 (1997) e 15849 (2010) *	Coeficiente de permeabilidade (K)	Ensaio SPT (Standard Penetration Test)
É desejável a existência de um depósito natural extenso e homogêneo de materiais com coeficiente de permeabilidade inferior a 10 <sup>-6</sup> cm/s;		
É desejável uma zona não saturada com espessura superior a 3 metros;	1,5 x 10 <sup>-5</sup> cm/s ***	
Entre a superfície inferior do aterro e o mais alto nível do lençol freático deve haver uma camada natural de espessura mínima de 1,5 m de solo insaturado;		Areia silto-argilosa, não plástica, muito compacta, cor cinza de granulometria fina ****
Recomenda-se áreas com solos pouco permeáveis (solos argilosos, argilo-arenosos, ou argilo-siltosos);		

Tabela 1 - Atributos geológicos nas NBR 13896 e 15849 e ensaios diretos realizados na Área de Estudo.

\* Atributos geológicos mínimos associando as NBR 13896 (1997) e NBR 15849 (2010) para seleção de áreas para construção de aterros sanitários.

\*\* Os dados de ensaios diretos realizados na área de estudo foram disponibilizados pelo órgão ambiental responsável, SEMA-MT, disponíveis no processo 23697/2006.

\*\*\* Este valor representa solos com permeabilidade baixa (Fernandes, 2016). Para solos sedimentares esse valor pode representar areias finas a argilosas e siltes (Pinto, 2006).

\*\*\*\* Os quatro testes chegaram a este resultado. Os ensaios SPT chegaram ao impenetrável nos primeiros dois metros de profundidade.

## Contexto Geológico

No município de Jaciara ocorrem, predominantemente, as rochas sedimentares da Bacia do Paraná, associadas à Supersequência Paraná constituída por pacote arenoso inferior, denominado de Formação Furnas, composto por arenitos e conglomerados e, o outro, de composição pelítica, a Formação Ponta Grossa (Milani et al., 2007) conforme Figura (2). Na área de estudo ocorrem arenitos branco e avermelhado e, subordinadamente róseos, de granulometria médios a grossos, caulínicos,

por vezes micáceos com vários níveis conglomeráticos na base e intercalações de siltitos da Formação Furnas (Schneider et al, 1974), na qual encontra-se em faixa aflorante de direção norte-sul, com extensão de 45 km (Barros et al. 1982). A Formação Ponta Grossa compõe uma segunda cuesta na escarpa da bacia e é constituída por folhelhos, folhelhos-siltitos cinza-escuros a pretos, localmente carbonosos e fossilíferos, com intercalações de arenitos cinza claros, finos, argilosos e micáceos e intercalações raras de folhelho micáceo (Del'Arco et al., 1982).

Segundo Cutrim (1999), a hidrogeologia da região é composta pelo Aquiclude Ponta Grossa e pelo Sistema Aquífero Furnas e transição Furnas/Ponta Grossa. O Aquífero Furnas é o principal reservatório de água subterrânea e a profundidade da água pode variar de 5 a 165m. Em relação à pedologia, ocorrem predominantemente os solos do tipo podzólico vermelho-amarelo eutrófico e latossolo vermelho-escuro distrófico. Estes solos apresentam uma variação na textura, de moderada a muito argilosa, areno-argilosa e em alguns pontos caracterizam-se mais arenosos (Barros et al. 1982).

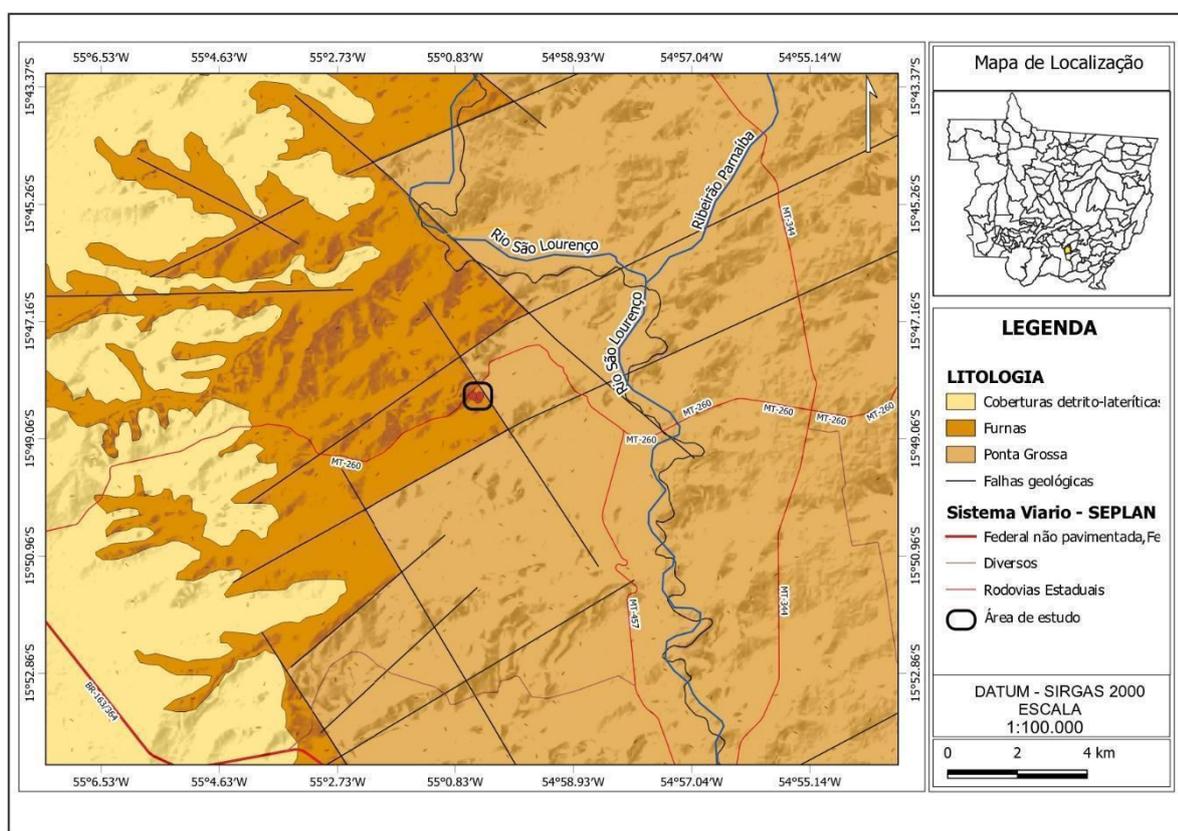


Figura 2 - Mapa Geológico da Área de Estudo.

### Método da Eletrorresistividade

O método geofísico da Eletrorresistividade (ER) pertence ao grupo dos métodos geoeletricos, e seu princípio é baseado na determinação da resistividade elétrica dos materiais (BRAGA, 2006). A resistividade ( $\rho$ ), é uma propriedade física e pode ser definida como a resistência de um material a passagem de corrente elétrica, podendo ser calculada através da Equação (1):

$$\rho = \frac{4V}{I} \times K$$

A resistividade elétrica é expressa em (Ohm.m), onde a corrente elétrica  $I$  é injetada a partir dos eletrodos de corrente A e B e sua unidade de medida é em *ampères*,  $\Delta V$  (Volts) determina o potencial obtido pelos eletrodos M e N, e  $K$  é o fator geométrico que varia conforme o arranjo de eletrodos adotado para a técnica utilizada.

O fator geométrico  $K$  pode ser determinado através da Equação (2):

$$K = 2\pi \cdot \left( \frac{1}{AM} - \frac{1}{BM} - \frac{1}{AN} + \frac{1}{BN} \right)^{-1}$$

A Equação (1), determina valores de resistividade com base em um meio geológico ideal (homogêneo e isotrópico), porém no meio geológico real a resistividade varia conforme variam as camadas da subsuperfície, Figura (3).

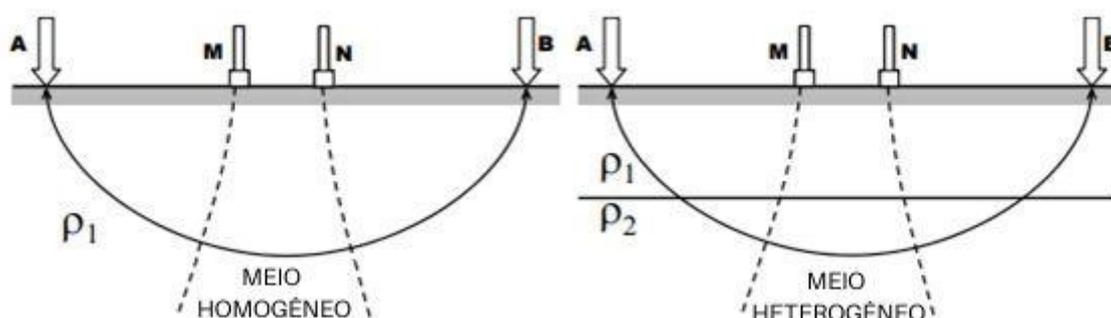


Figura 3 - Resistividade ( $\rho$ ) em meios homogêneos e heterogêneos (modificado de Braga, 2006).

A resistividade adquirida em campo é calculada utilizando a Equação (1) e obtém-se uma resistividade fictícia, chamada de resistividade aparente ( $\rho_a$ ) e sua unidade de medida também é dada em (Ohm.m). A resistividade aparente ( $\rho_a$ ) é o produto de uma quantia medida em campo que representa uma média ponderada de todas as resistividades verdadeiras de cada camada analisada.

O método ER é composto por duas técnicas, a técnica da Sondagem Elétrica Vertical (SEV) e a técnica do Caminhamento Elétrico (CE) também conhecido por Tomografia Elétrica (TE) e imageamento elétrico 2D (Fachin, 2007), visto que o procedimento de aquisição de grande volume de dados (seja de forma automatizada ou não), aliado à utilização de inversão capazes de gerar imagens fidedignas da subsuperfície, é comumente referido na bibliografia como “imageamento elétrico”, Gandolfo (2007). A escolha da técnica é definida a partir da necessidade de investigação da área (variação vertical e variação vertical-horizontal). Existem vários tipos de arranjos de eletrodos. Na técnica da TE os arranjos eletródicos mais usados são o Dipolo-dipolo, Wenner e o Wenner-Schlumberger. Os equipamentos utilizados para obtenção das medidas de resistividade elétrica são denominados resistímetro, juntamente com cabos elétricos, eletrodos de aço inoxidável, unidades de tensão e medição. No arranjo dipolo-dipolo são utilizados vários dipolos de recepção simultaneamente (M N) ao longo de uma linha, para atingir vários níveis de investigação ( $n$ ) e o espaçamento entre os eletrodos se mantém constante, conforme Figura (4).

A profundidade teórica investigada é determinada por  $Z = R/2$ , no qual ( $R$ ) é a distância entre o eixo dos dipolos AB e MN. As investigações com esta técnica ocorrem ao longo de perfis lineares, onde os cabos e eletrodos são instalados. Atualmente existem resistímetros e interfaces que possibilitam a aquisição automática de dados, por meio de sistema multi-eletrodos. Porém os dados podem ser adquiridos de forma manual, com equipamentos baratos e de boa qualidade, produzindo resultados satisfatórios (Gandolfo, 2007).

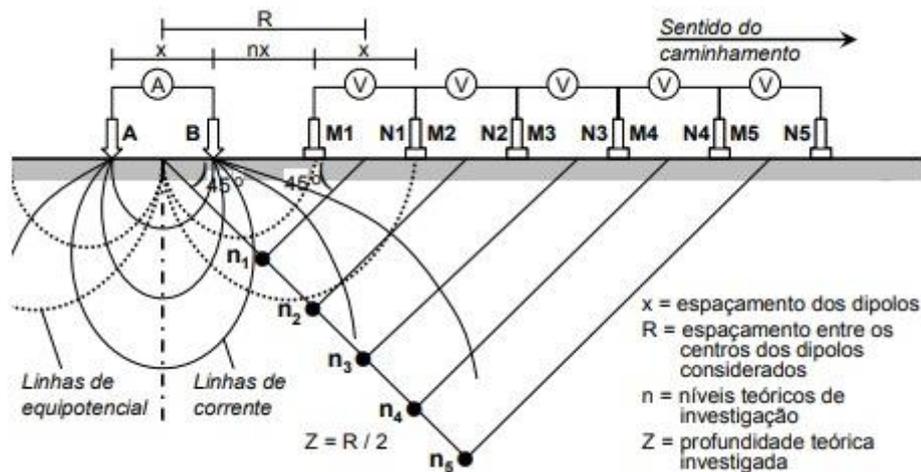


Figura 4 - Desenho esquemático representando o método da ER e o desenvolvimento da técnica da Tomografia Elétrica ao longo de um perfil (modificado de Braga, 2006).

Na técnica TE a resistividade é determinada pela Equação (1), porém o fator geométrico  $K$  é determinado pela Equação (3).

$$K = 2\pi \cdot G \cdot x, \text{ com } G = \frac{1}{\frac{1}{n} - \frac{2}{n+1} - \frac{1}{n+2}}$$

Sendo ( $n$ ) o nível teórico de investigação e ( $x$ ) o espaçamento constante entre os dipolos AB - MN. O resultado consiste em uma seção modelada 2D, decorrente do processo de inversão de dados, mostrando a distribuição dos valores de resistividades elétricas (Gandolfo, 2007).

### Aterro Sanitário de Resíduos Sólidos Urbanos

Segundo a NBR 8419 (1992), Aterro Sanitário é a técnica de disposição de resíduos sólidos no solo, de forma a não causar danos à saúde pública e minimizar possíveis impactos ambientais. O método utiliza princípios de engenharia para confinar os resíduos sólidos ao menor espaço possível de forma a reduzi-los ao menor volume possível permissível, cobrindo-os com uma camada de terra na conclusão de cada jornada de trabalho, ou a intervalos menores se necessário.

Existem diferentes tipos de aterros sanitários que variam conforme seus métodos construtivos e operacionais. Os aterros podem ser construídos e operados acima ou abaixo do nível original do terreno. O Aterro Sanitário em valas, tipo de Aterro escolhido para instalação no município, é construído abaixo do nível do terreno e tem como princípio a abertura de vala(s) destinada(s) a disposição dos resíduos sólidos urbanos que recebem uma cobertura diária de solo, a fim de minimizar odores e a proliferação de vetores decorrentes dos resíduos em decomposição, e também reduz a entrada de água na(s) vala(s). De maneira geral, o aterro sanitário deve dispor de sistema de drenagem superficial, impermeabilização da base e sistemas de coleta e tratamento de biogás e do líquido percolado.

## AQUISIÇÃO E PROCESSAMENTO DE DADOS

A aquisição dos dados foi feita em junho de 2021, no período de seca, com o apoio de equipes da FUNASA – Superintendência Estadual em Mato Grosso, Associação Mato-grossense dos Municípios (AMM) e Prefeitura Municipal de Jaciara – MT. Os dados de resistividade elétrica foram adquiridos por meio do resistivímetro multicanal e multieletrodo Syscal Pro 48 (Iris Instruments). Foram realizadas 07 linhas de TE, com arranjo dipolo-dipolo, utilizando espaçamento de 5 m entre os eletrodos, chegando a extensões de até 240 metros. As coordenadas de posição e variação topográfica foram coletadas com o equipamento Trimble R8 RTK (Base e Rover) com sistema GNSS, Figura (5). Os dados de resistividade coletados em campo foram primeiramente processados no programa Prosys III, versão 1.6.11, onde foram filtrados preliminarmente e excluídos possíveis valores nulos ou negativos de resistividade elétrica. Após a primeira filtragem os dados foram exportados para o programa Res2dinv, versão 4.07, (Geotomo Software, 2002), onde foram geradas as seções de resistividade para cada linha de TE.

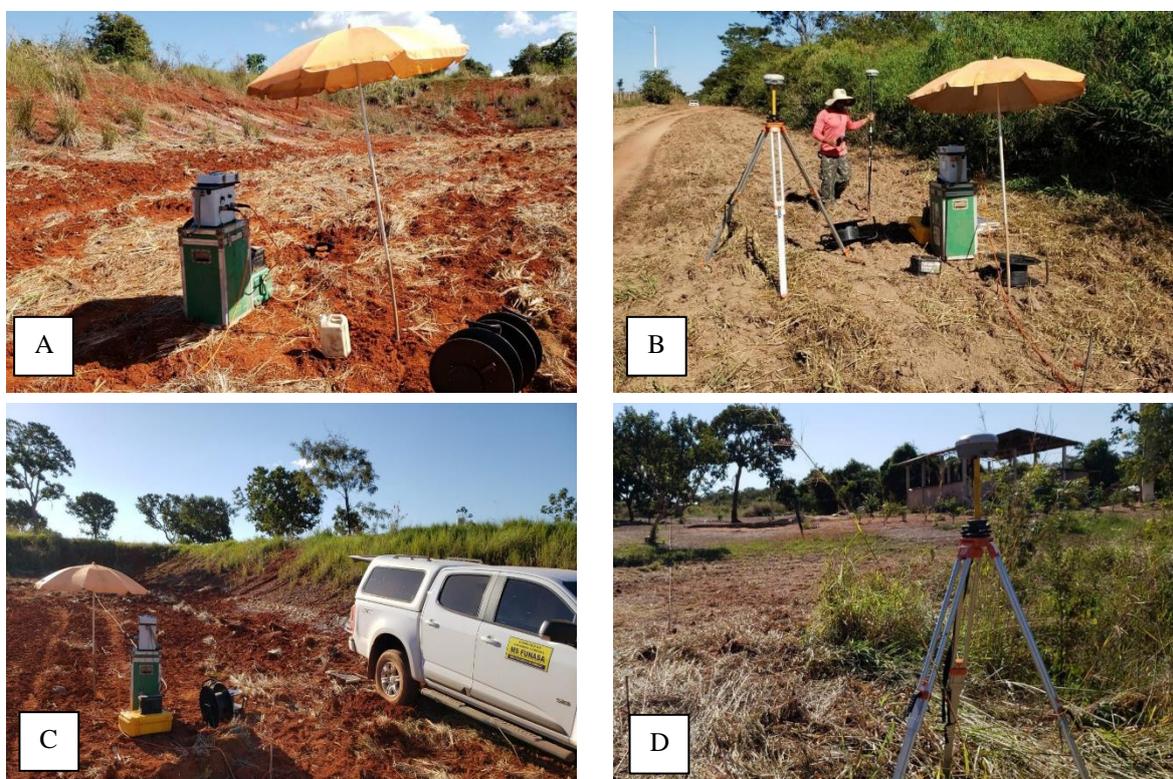


Figura 5 - A) Área escavada previamente pela Prefeitura Municipal de Jaciara para receber os Resíduos Domiciliares Urbanos; B) Levantamento topográfico da linha de *background* (PF01) ao longo da estrada vicinal; C) Resistivímetro em operação na área escavada destinada a instalação do aterro; D) Coleta de coordenadas e dados topográficos da Área de Estudo.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados geofísicos obtidos através das seções de resistividade geradas foram interpretados em conjunto com os dados de ensaios diretos apresentados na Tabela (1).

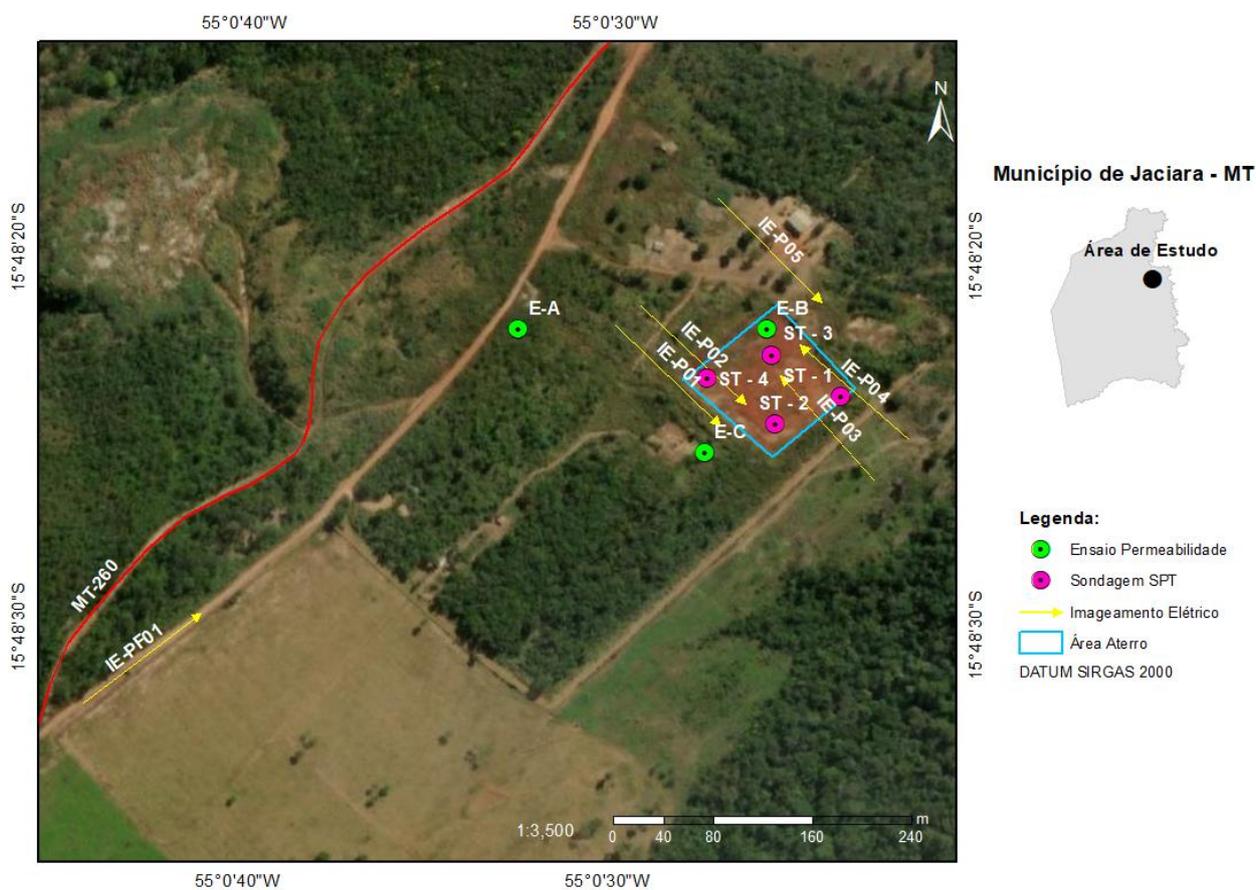


Figura 6 - Mapa de localização dos perfis de TE, ensaios de permeabilidade e ensaios SPT.

A linha PF 01 foi posicionada ao longo da estrada (Rodovia MT-260) que permite acesso à área de estudo, conforme Figura (6). O posicionamento desta linha foi escolhido para obtenção de valores em condições naturais. A linha foi levantada na direção SW-NE, e apresenta zonas menos resistivas ao centro, com valores abaixo de  $278 \Omega.m$ , conforme Figura (7), indicando zonas preferenciais de fluxo entre os intervalos de 40 a 80 m e nos 160 m de comprimento da linha. Nos primeiros 30 m de profundidade, no extremo NE, ocorre uma anomalia com resistividade  $< 100 \Omega.m$  indicativo de um intervalo aquífero. Ao longo da seção, os valores de resistividade acima de  $537 \Omega.m$  representam a presença de zonas não saturadas, principalmente na camada superficial do terreno com resistividades acima de  $2000 \Omega.m$ .

Na linha P01, no sentido SE, nos primeiros 10 m de profundidade, até aproximadamente 160 m de comprimento, verifica-se uma zona menos resistiva, com valores  $< 100 \Omega.m$ , indicativo de uma zona de aquífero livre. Valores acima de  $537 \Omega.m$  demonstram a presença de uma camada não saturada espessa que isola o aquífero profundo presente logo abaixo.

A linha P02 está posicionada paralelamente à linha P01, a uma distância de aproximadamente 25 m. No sentido NW da Figura (7), até 80 m de comprimento, os dados indicam a presença de um aquífero livre (zona úmida) com valores de resistividade  $< 75 \Omega.m$ . Esta zona menos resistiva é responsável pela recarga do aquífero profundo com uma zona preferencial de fluxo demonstrada na Figura (7). Após os 80 m de comprimento, no sentido SE, os valores de resistividade aumentam para  $> 500 \Omega.m$ , que apontam a presença de solo seco.

Os valores de resistividade no extremo NW da linha P03, Figura (7), concordam com as linhas P01 e P02, visto que a resistividade aumenta ao longo da linha, de 140 para valores acima de

1000  $\Omega$ .m, no sentido NW, ressaltando que esta foi levantada no sentido contrário. A linha P03 demonstra a presença de aquífero livre na superfície, porém este não apresenta contato com o aquífero profundo.

A linha P04 traz valores de resistividade baixa ( $< 140 \Omega$ .m) ao centro da seção, que indica a presença de aquífero livre, conforme Figura (7). Ao longo da seção ocorrem valores de resistividade altos que indicam a presença de solo não saturado. A linha P05 se apresenta mais homogênea, com algumas zonas menos resistivas ( $< 537 \Omega$ .m) ao centro nos primeiros 10 m de profundidade. De maneira geral, a resistividade é alta ao longo de toda seção.

Em análise as linhas apresentadas na Figura (7) e os dados de ensaios diretos descritos na Tabela (1), os valores de resistividade  $> 537 \Omega$ .m representam os solos podzólico e/ou latossolos não saturados, que em algumas regiões apresentam composição mais arenosa, concordante com o resultados dos Ensaio SPT que descrevem o solo da área de estudo como areia silto-argilosa, bem compacta. Os valores de resistividade entre 537 e 144  $\Omega$ .m representam zonas úmidas e nas seções PF01 e P02 é indicativo de zonas preferenciais de fluxo. Os valores abaixo de 100  $\Omega$ .m descrevem zonas saturadas indicativo de aquífero livre (que podem ser zonas de recarga ou não) ou profundo. Os níveis d'água variam ao longo das seções, presentes entre 5 a 30 m de profundidade. As seções P01, P02, P3 e P04, que foram levantadas na área escavada destinada a disposição dos resíduos apresentam uma camada espessa de solo insaturado, porém há presença de zonas saturadas nas camadas superficiais de solo em alguns pontos das seções que devem ser levadas em consideração.

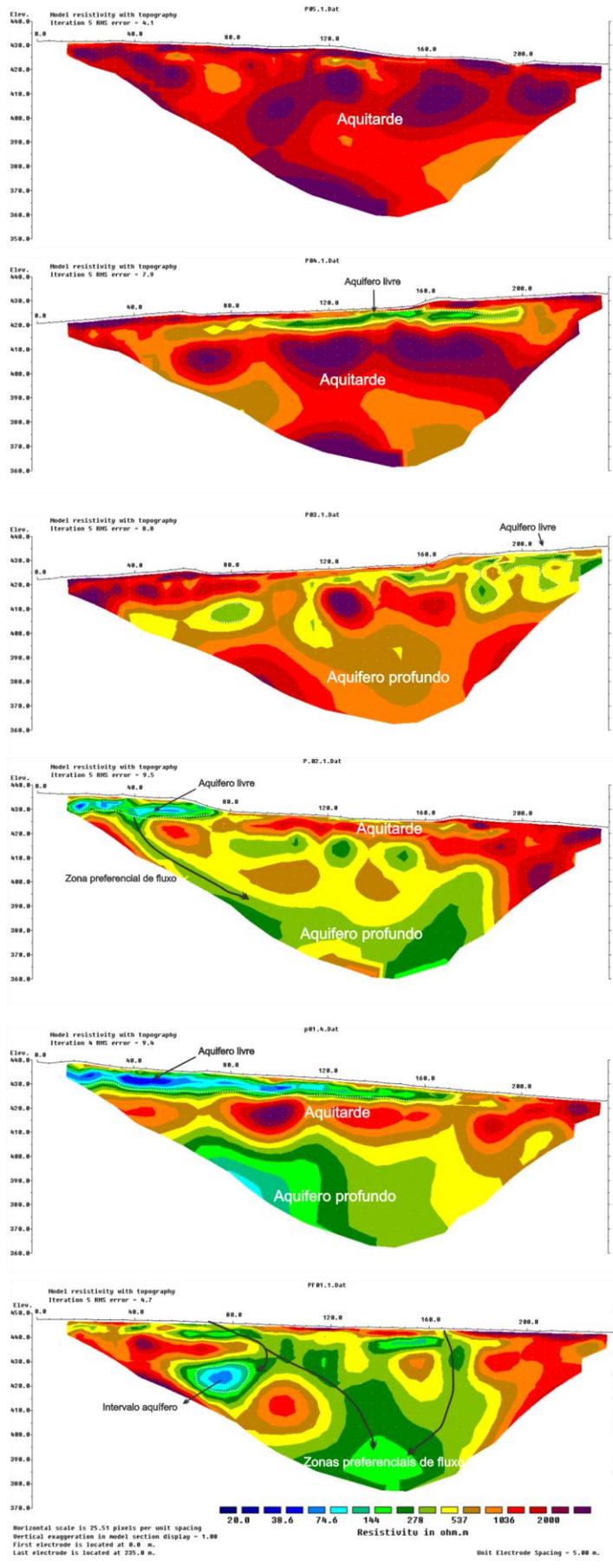


Figura 7 - Modelos de inversão de resistividades elétricas com interpretações de lito-estratigrafia e identificação do nível d'água.

## CONCLUSÕES

Por meio do método geofísico da Eletrorresistividade, técnica da Tomografia Elétrica, foi possível gerar imagens 2D de alta resolução, as quais proporcionaram detectar variações nos valores de resistividade ao longo do terreno e em profundidade, que permitiram reconhecer variações pedológicas e de umidade.

Os coeficientes de permeabilidade determinados na área ( $K = 1,50 \times 10^{-5}$  cm/s), indicam um solo com grau de permeabilidade baixo e um tipo de solo que varia de areias finas a argilosas, já os ensaios SPT definiram um solo areno-siltoso muito compacto nos primeiros 2m de profundidade, dispostos na Tabela (1), concordando com a descrição de solos encontrada na Bacia Sedimentar do Paraná.

As linhas apresentaram valores de resistividade altos na superfície, que demonstram a presença de solo não saturado e concordam com os dados de ensaios diretos apresentados na Tabela (1). Com exceção das linhas PF01 e P02, que apresentam zonas de recarga de aquífero, e não são apropriadas para a instalação de aterro de resíduos, já que, caso haja contaminação, esta pode se percolar rapidamente para o aquífero profundo, as demais linhas apresentam uma zona espessa de resistividade alta, que indica zonas não saturadas, e concordam com os parâmetros geológicos mínimos exigidos na Tabela (1).

A localização dos níveis d'água descritos na Figura (7) favorecem a instalação do aterro de resíduos, porém, em alguns pontos das seções, as zonas saturadas estão presentes na superfície e discordam do disposto na Tabela (1). É sugerido repensar a localização da área escavada, de forma a não contactar as zonas saturadas (Aquífero livre).

Por fim, conclui-se que o método se mostrou satisfatório e eficiente para levantamentos de áreas cuja necessidade de investigações de subsuperfície e entende-se que, com os dados apresentados neste trabalho, a área se mostra favorável para a instalação de aterro de resíduos.

## REFERÊNCIAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. (1992). *NBR 8419 - Apresentação de projetos de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos*.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. (1997). *NBR 13896 - Aterros de resíduos não perigosos – critério de projeto, implantação e operação – Procedimentos*.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2010). *NBR 15849 - Resíduos sólidos urbanos: aterros sanitários de pequeno porte: diretrizes para localização, implantação, operação e encerramento*.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2001). *NBR 6484 – Solo – Sondagens de simples reconhecimento com SPT – Método de ensaio*.

Barros, A. M., Silva, R. H., Cardoso, O. R. F. A., Freire, F. A., Júnior, J. J. S., Rivetti, M., Luz, D. S., Palmeira, R. C. B., Tassinari, C. C. G. (1982). *Projeto RADAMBRASIL, Folha sd. 21 Cuiabá*. Disponível em <<https://biblioteca.ibge.gov.br/biblioteca-catalogo.html?id=213269&view=detalhes>>. Acesso em: 01 jun. 2022.

BRAGA, A. C. O. (2006). *Métodos da eletrorresistividade e polarização induzida aplicados nos estudos da captação e contaminação de águas subterrâneas: uma abordagem metodológica e prática*. Tese (Doutorado). Rio Claro: Instituto de Geociências e Ciências Exatas - UNESP.

BRASIL. Política Nacional dos Resíduos Sólidos (2010). *Lei nº 12.305, de 02 de agosto de 2010*. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm). Acesso em: 10 ago. 2022.

CAMARGO, E. C. (1995). *Definição de características do meio físico para implantação de aterros sanitários na porção sul do Município de Paranaguá*. Tese (Doutorado). São Paulo: Instituto de Geociências - USP.

CUTRIM, A. O. (1999). *Hidrogeologia, consumo e demanda de água em Rondonópolis-MT: subsídios para o desenvolvimento urbano sustentável*. Tese (Doutorado). Cuiabá: Instituto de Biociências - UFMT.

Del'Arco J., Silva R.H., Tarapanoff I., Freire F.A., Pereira L.G.M., Souza S.L., Luz D.S., Palmeira R.C.B., Tassinari C.C.G. (1982). *Projeto RADAMBRASIL: levantamento de recursos naturais – Folha SE.21, Corumbá*. 27, 25-160.

FACHIN, S. J. S. (2007). *Ensaio geoeletricos 2D no antigo lixão de Ribeirão Preto-SP: avaliação de parâmetros de aquisição e monitoramento ambiental do problema*. Tese (Doutorado). São Paulo: Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas - USP.

FERNANDES, M. M. (2016). *Mecânica dos solos: conceitos e princípios fundamentais, v. 1*. Oficina de Textos: São Paulo.

GANDOLFO, O. C. B. (2015). Levantamento Geofísico (sísmica de refração) em uma área para implantação de um Aterro Sanitário em valas. *14th International Congress of the Brazilian Geophysical Society & EXPOGEF*, 3, 204-209. Rio de Janeiro: SBG.

GANDOLFO, O. C. B. (2007). *Um estudo do Imageamento Geoeletrico na investigação rasa*. Tese (Doutorado). São Paulo: Instituto de Geociências – USP.

IBGE - Instituto Brasileiro De Geografia e Estatística. (2013). *Panorama Cidades*. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/mt/jaciara/panorama>. Acesso em: 19 set. 2022.

Kearey, P., Brooks, M., Hill, I. (2002). *An introduction to geophysical exploration*. John Wiley & Sons.

Lago, A. L., Elis, V. R., Giacheti, H. L. (2006). Aplicação integrada de métodos geofísicos em uma área de disposição de resíduos sólidos urbanos em Bauru-SP. *Revista Brasileira de Geofísica*, 24 (3), 357-374.

Lima, E. B. N. R., Filho, P. M., Moura, R. M. P. (2017). *Plano Municipal de Saneamento Básico: Jaciara – MT*. Disponível em: <[http://pmsb106.ic.ufmt.br/wp-content/uploads/2018/04/PMSB\\_Jaciara.pdf](http://pmsb106.ic.ufmt.br/wp-content/uploads/2018/04/PMSB_Jaciara.pdf)>. Acesso em: 05 ago. 2022.

Milani, E. J., Melo, J. H. G., Souza, P. A., Fernandes, L. A., França, A. B. (2007). Bacia do Paraná. *Revista de Geociências Petrobras*, 15 (2), 265-287.

Moura, H. P., Malagutti Filho, W. (2007). Métodos da eletrorresistividade e da polarização induzida aplicados no estudo do aterro controlado de Piracicaba – SP. *Revista do Instituto de Geociências - USP*, 26 (1), 35-43.

Pinto, C. S. (2006). *Curso básico de mecânica dos solos em 16 aulas*. Oficina de Textos: São Paulo.

Schneider, R.L., Muhlmann, H., Tommasi, E., Medeiros, R. A., Daemon, R. F., Nogueira, A. A. (1974). *Revisão estratigráfica da Bacia do Paraná*. Congresso Brasileiro de Geologia, 1, 41-65. Porto Alegre: SBG.

SEMA – Secretaria de Estado de Meio Ambiente de Mato Grosso. (2006). *Unidade Resíduos Sólidos, processo nº 23697/2006*. Disponível em: solicitação direta ao órgão. Acesso em: 09 jul. 2022.

Shiraiwa, S., Lisovsky, S. P., Elis, V. R., Porsani, J. L., Borges, W. R. (2002). Estudos geofísicos integrados no lixão de Cuiabá, MT, Brasil: resultados preliminares. *Revista Brasileira de Geofísica*, 20 (3), 181-186.

Silva, J. E., Loureiro, E. M. L., Elis, V. R., Hiodo, F. Y., Porsani, J. L. (2002). Aplicação de ensaios elétricos e eletromagnéticos em problema de poluição ambiental. *Revista Brasileira de Geofísica*, 20 (3), 193-198.

SNIS - Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento. (2019). Diagnóstico dos serviços de água e esgoto. Disponível em: [http://www.snis.gov.br/downloads/diagnosticos/ae/2019/Diagn%C3%B3stico\\_SNIS\\_AE\\_2019\\_Republicacao\\_31032021.pdf](http://www.snis.gov.br/downloads/diagnosticos/ae/2019/Diagn%C3%B3stico_SNIS_AE_2019_Republicacao_31032021.pdf). Acesso em: 30 set. 2022.

Waste Atlas. (2014). *The World's 50 Biggest Dumpsites 2014 Report*.

## Anexos

---

### ANEXO I – Diretrizes para submissão junto a Revista do Instituto de Geociências da USP

1. PÁGINA DE ROSTO – deverá conter: três títulos, em português, em inglês e título curto (no idioma principal do manuscrito com no máximo 50 caracteres, contando os espaços); nome completo e instituição de origem dos autores; endereço institucional completo somente do autor principal (logradouro, CEP, cidade, estado, país, caixa postal e telefone para contato - endereço da Universidade), e-mail de todos os autores; ORCID de todos os autores; número de palavras; total de figuras e de tabelas.

2. RESUMO E ABSTRACT – em um único parágrafo, devem ser concisos, com no máximo 270 palavras. Textos mais longos devem vir acompanhados de justificativa circunstanciada.

3. PALAVRAS-CHAVE E KEYWORDS – máximo seis, separadas por ponto e vírgula, com a primeira letra em maiúscula. Ex.: Bacia do Araripe; Quaternário; Fácies; Depósitos magmáticos.

Os descritores em inglês devem acompanhar os termos em português.

4. TEXTO PRINCIPAL – poderá ser redigido em português ou inglês. Elaborar em Word, fonte Times New Roman, tamanho 12, espaço simples. O tamanho máximo aceito para publicação é de 25 páginas, incluindo: texto, resumo, abstract, tabelas, figuras e referências bibliográficas. (Trabalhos mais longos podem ser aceitos desde que argumentos científicos que os justifiquem sejam apresentados e aceitos). Configuração da página: formato A4; margens superior e inferior: 3 cm; direita e esquerda : 2 cm.

a) Na fase de submissão, inserir numeração de páginas, bem como as figuras, tabelas, legendas e referências.

b) Quando o artigo estiver devidamente aprovado para publicação, as figuras, tabelas e legendas devem ser retiradas do texto. Enviá-las separadamente e numeradas, cada uma num arquivo. As legendas devem vir em um único arquivo, separadas das figuras e tabelas.

### 5. TÍTULOS

a) Título do artigo:

Título principal – Negrito, caixa alta na primeira letra da primeira palavra e caixa baixa nas demais.

Título em inglês – Itálico, caixa alta na primeira letra da primeira palavra e caixa baixa nas demais (sem negrito).

Título curto - Caixa alta na primeira letra da primeira palavra e caixa baixa nas demais (sem negrito /sem itálico).

b) Títulos e subtítulos no interior do artigo:

NÍVEL 1 – NEGRITO, CAIXA ALTA.

Nível 2 – Negrito, caixa alta na primeira letra da primeira palavra e caixa baixa nas demais.

Nível 3 – Itálico, caixa alta na primeira letra da primeira palavra e caixa baixa nas demais (sem negrito).

Nível 4 – Caixa alta na primeira letra da primeira palavra e caixa baixa nas demais (sem negrito).

6. TABELAS E QUADROS – considerar quadro como tabela. Elaborar em Word, no modo “tabela”, com formato aberto, fonte Arial, tamanho 8. Obedecer as medidas: 8,2 cm (uma coluna) ou 17 cm (duas colunas), comprimento máximo de 22 cm, incluindo a legenda. Tabelas muito extensas deverão ser divididas.

a) Na fase de submissão, inserir as tabelas no texto, juntamente com a legenda, com a devida numeração sequencial.

b) Quando o artigo estiver devidamente aprovado para publicação, as tabelas devem ser retiradas do texto. Enviá-las separadamente e numeradas, cada uma num arquivo. As legendas devem vir em um único arquivo, separadas das tabelas.

c) Legendas: fonte Times New Roman, tamanho 12. (sem itálico)

7. ILUSTRAÇÕES – mapas, fotos, figuras, gráficos, pranchas, fotomicrografias etc., considerar como figuras. Utilizar fonte Arial, tamanho 9. Obedecer as medidas: 8,2 cm (uma coluna) ou 17 cm (duas colunas), comprimento máximo de 22 cm, incluindo a legenda.

- a) Na fase de submissão, inserir as figuras no texto, juntamente com a legenda, com a devida numeração sequencial.
- b) Quando o artigo estiver devidamente aprovado para publicação, as figuras devem ser retiradas do texto. Enviá-las separadamente e numeradas, cada uma num arquivo. Deverão estar em formato JPEG, TIFF ou EPS, com resolução mínima de 300 dpi. As legendas devem vir em um único arquivo, separadas das figuras.
- c) Legendas: fonte Times New Roman, tamanho 12. (sem itálico)

#### 8. CITAÇÕES NO TEXTO – exemplos de citação direta / citação indireta:

- a) Um autor

Santos (1980) / (Santos, 1980)

- b) Dois autores

Norton e Long (1995) / (Norton e Long, 1980)

- c) Mais de dois autores

Moorbath et al. (1992) / (Moorbath et al., 1992)

- d) Congressos, conferências, seminários etc.

... no Congresso Brasileiro de Geologia (1984) / (Congresso Brasileiro de Geologia, 1984)

- e) Vários trabalhos de diferentes autores

Smith (1985), Rose e Turner (1986) e Johnson et al. (1990) / (Smith, 1985; Rose e Turner, 1986; Johnson et al., 1990)

- f) Citação de vários trabalhos de um mesmo autor

Smith (1979a, 1979b, 1981) / (Smith, 1979a, 1979b, 1981)

#### 9. REFERÊNCIAS – listar no final do texto, em ordem alfabética de autores e, dentro dessa sequência, em ordem cronológica.



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO  
FACULDADE DE GEOCIÊNCIAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS**

**FOLHA DE APROVAÇÃO DA DISSERTAÇÃO DE MESTRADO APRESENTADA EM  
DEFESA PÚBLICA**

**AUTOR(A):**

**TÍTULO DA DISSERTAÇÃO DE MESTRADO:**

**ORIENTADOR(A):**

**CO-ORIENTADOR(A):**

**EXAMINADORES**

**ASSINATURAS**

Presidente da Banca Examinadora:

...

Membro Interno da Banca Examinadora:

...

Membro Externo da Banca Examinadora:

...

---

---

---

**APROVADA EM:** \_\_\_\_ / \_\_\_\_ / \_\_\_\_ .

Cuiabá, \_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_ .