

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA

RODOLFO BUSOLIN ALVES DOS SANTOS

**CARACTERIZAÇÃO GEOFÍSICA DE ÁREA SOB INFLUÊNCIA DE
NECRÓPOLE NO MUNICÍPIO DE CAÇAPAVA DO SUL - RS**

**Caçapava do Sul
2015**

Ficha catalográfica elaborada automaticamente com os dados fornecidos
pelo(a) autor(a) através do Módulo de Biblioteca do
Sistema GURI (Gestão Unificada de Recursos Institucionais).

S237c Santos, Rodolfo Busolin Alves dos
CARACTERIZAÇÃO GEOFÍSICA DE ÁREA SOB INFLUÊNCIA DE
NECRÓPOLE NO MUNICÍPIO DE CAÇAPAVA DO SUL - RS /
Rodolfo Busolin Alves dos Santos.

53 p.

Trabalho de Conclusão de Curso(Graduação)--
Universidade Federal do Pampa, GEOLOGIA, 2015.
"Orientação: Maximilian Fries".

1. Geologia Ambiental. 2. Geofísica Ambiental. 3.
Contaminação. 4. Cemitério. I. Título.

RODOLFO BUSOLIN ALVES DOS SANTOS

**CARACTERIZAÇÃO GEOFÍSICA DE ÁREA SOB INFLUÊNCIA DE
NECRÓPOLE NO MUNICÍPIO DE CAÇAPAVA DO SUL - RS**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de Geologia
da Universidade Federal do Pampa,
como requisito parcial para obtenção
do Título de Bacharel em Geologia.

Orientador: Prof. Dr. Maximilian Fries

Coorientador: Prof. Dr. José
Waldomiro Jiménez Rojas

**Caçapava do Sul
2015**

RODOLFO BUSOLIN ALVES DOS SANTOS

**CARACTERIZAÇÃO GEOFÍSICA DE ÁREA SOB INFLUÊNCIA DE
NECRÓPOLE NO MUNICÍPIO DE CAÇAPAVA DO SUL - RS**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de Geologia
da Universidade Federal do Pampa,
como requisito parcial para obtenção
do Título de Bacharel em Geologia.

Trabalho de Conclusão de Curso defendido e aprovado em: 02 de Dezembro
de 2015

Banca examinadora:

Prof. Dr. Maximilian Fries
Orientador
UNIPAMPA

Prof. Dr^a. Cristiane Heredia Gomes
UNIPAMPA

Prof. Dr. Pedro Daniel da Cunha Kemerich
UNIPAMPA

Dedico este trabalho à minha mãe que sempre me apoiou em tudo e à minha cachorra Safira, minha filha, amiga e companheira de todas as horas. Que são tudo que mais prezo nessa vida.

AGRADECIMENTO

Agradeço primeiramente meus pais que me apoiaram a iniciar o curso e a ajuda que sempre me deram, minha família por todo o apoio, meus amigos que se tornaram minha família e que sempre se preocuparam comigo, tanto os de Araras, quanto os que fiz no Rio Grande do Sul. Aos moradores da república que estavam na mesma situação e sempre nos apoiávamos (Jandir, Letícia, Marly e Gleicy). Ao Lenon pela grande ajuda nos campos e paciência para me ensinar muitas coisas. Aos professores da graduação, e ao meu orientador e coorientador Maximilian Fries e José Rojas, pelo conhecimento transferido e auxílio em todos os aspectos. À professora Cristiane Gomes pela orientação do estágio, ao professor Marcelo Barcellos e Luis Ferraz do Laboratório de Análises Químicas da Universidade Federal de Santa Maria pelo estágio e possibilidade de maior aprendizagem e ajuda para realizar as análises químicas.

RESUMO

Uma fonte de contaminação/poluição pouco conhecida são os cemitérios que, quando mal localizados e planejados, configuram um potencial risco de contaminação dos solos e águas superficiais e subterrâneas, além do risco de contato com seres humanos com esses contaminantes pode provocar. O objetivo deste trabalho foi de realizar perfis de caminhamento elétrico (C.E.) para comprovar a presença de pluma de contaminação, fluxo da água subterrânea e zonas possivelmente contaminadas. Com os perfis de C.E. realizados, a interpretação geofísica e geotécnica foi realizada, determinando dois locais principais onde há influência do cemitério, além de ter determinado o fluxo da água subterrânea e o local onde há uma nascente, na zona de fratura, evidenciada em campo e comprovado pelo modelo 3D de resistividade elétrica aparente gerado. Com os locais das zonas de condutividade anômalas determinadas, foram coletadas quatro amostras de água em pontos próximos ao cemitério e realizados testes microbiológicos de coliformes totais e *Escherichia Coli*. Todas as amostras apresentaram resultado positivo para coliformes totais e apenas uma deu negativa para *Escherichia Coli*. A análise química de elementos metálicos foi realizada, porém, não foi obtido resultados devido ao fato do método usado (AAS atomizado por chama) não detectar quantidades em µg/L. Foi determinado um valor elevado de alumínio quando comparado com o proposto da OMS (2011). Concluiu-se que a pluma de contaminação detectada no cemitério, possui uma nascente situada em zona de fratura e está contaminada devido a influência do cemitério, podendo ter outros agentes microbiológicos e elementos químicos que não foram possíveis de serem detectados, dando espaço para futuros trabalhos na área de estudo, agregando o conhecimento do fenômeno investigado. Esta área de estudos associada a impacto ambiental de cemitérios é pouco conhecida e possui significativa relevância devido a tendência de crescimento (aumento da densidade demográfica). Os resultados foram satisfatórios na detecção e caracterização de forma a orientar novos estudos. O método geofísico da eletrorresistividade constituiu uma ferramenta eficaz e rápida no reconhecimento inicial de uma área urbana contaminada.

Palavras-Chave: eletrorresistividade, contaminação, águas subterrâneas.

ABSTRACT

A source of contamination / pollution are little known graveyard that when bad planned and leased, constitute a potential soil contamination risk and surface water and groundwater, besides the risk of human contact with such contaminants can cause. . The objective of this study was to perform resistivity profiles (CE) to demonstrate the presence of contamination plume, groundwater flow and zones possibly contaminated. With CE profiles carried out geophysical and geotechnical interpretation was performed by determining two main places where there is influence of the graveyard, and have determined the groundwater flow and where there is a source in the fracture zone, observed in field and evidenced by the 3D model generated apparent electrical resistivity. With the locations of determined anomalous conductivity zones were collected four samples of water points close to the cemetery and performed microbiological testing of total coliforms and E. coli. All samples were positive for total coliforms and only one has given negative for E. coli. Chemical analysis of metals was performed, however, was not obtained results due to the fact the method used (AAS atomized flame) does not detect amounts in $\mu\text{g} / \text{L}$. It was determined a high amount of aluminum when compared to the proposed WHO (2011). It was concluded that the contamination plume detected in the graveyard, has a spring located in fracture zone and is contaminated due to the influence of the graveyard, may have other microbiological agents and chemicals that were not possible to detect, making room for future work in the study area, adding knowledge of the phenomenon investigated. This field of study associated environmental impact of graveyards is little known and has significant importance because of the growing trend (increase in population density). The results were satisfactory in the detection and characterization in order to guide further research. The geophysical resistivity method was an effective and fast tool on initial recognition of a contaminated urban area.

Keywords: electrical resistivity, contamination, groundwater

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO.....	1
2.	OBJETIVOS E JUSTIFICATIVA	1
	Objetivo Geral	1
	Objetivos Específicos	2
	Justificativa.....	2
3.	MATERIAIS E MÉTODOS.....	3
	Revisão Bibliográfica	3
	Trabalhos de Campo.....	3
	Aquisição geofísica – propostas de levantamento e arranjos adotados	3
	Etapa de escritório - Processamento dos Dados	5
	Análise e Interpretação dos Dados	6
	Etapa das Análises Laboratoriais.....	6
4.	ÁREA DE ESTUDO	11
	Histórico do Cemitério	11
	Geologia Regional	12
	Geologia Local	13
	Hidrogeologia	14
	Pedologia	15
5.	REVISÃO DA LITERATURA	15
	Estado da Arte – A Morte e suas Consequências <i>Post Mortem</i>	15
	História dos Cemitérios	19
	Resíduos da Decomposição dos Seres Vivos	20
	Fenômenos Cadavéricos Transformativos.....	21
	Destrutivos.....	21
	Conservativos	22
	Fundamentos Teóricos Geofísica - Método da Eletrorresistividade	22
	Caminhamento Elétrico – CE e arranjos de campo.....	23
	Equipamento.....	24
	Método de Absorção Atômica por Chama	25
	Legislação Nacional	27
6.	RESULTADOS E INTERPRETAÇÃO.....	28
	Geofísicos e Geotécnicos.....	28
	Análises Microbiológicas, Físico-Químicas e Analíticas.....	42
7.	CONCLUSÃO.....	46
8.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	47

1. INTRODUÇÃO

A Geofísica é uma ciência de extrema importância atualmente, devido às suas diferentes aplicações tanto no ramo denominado de Geofísica Pura (teórica) como na Geofísica Aplicada para estudos e pesquisas nas geociências. Aplicações essas que variam desde trabalhos acadêmicos sem fins lucrativos a pesquisas de exploração mineral, água subterrânea, forense e estudos ambientais sendo, esse último, o tema deste Trabalho de Conclusão de Curso (TCC).

Dos diferentes métodos geofísicos que existem, dois se destacam principalmente pela sua maior aplicação para estudos ambientais, que são os métodos Eletroresistivos e Eletromagnéticos, ambos usados para a exploração de águas subterrâneas, contaminações no solo e contaminações no nível freáticos. Além desses o método do *Ground Penetration Radar* (GPR) é muito utilizado também em estudos de águas subterrâneas e contaminações.

Diversos estudos ambientais já foram realizados com esses métodos, os quais podemos citar Moura & Malagutti Filho (2003), Moreira (2005, 2009), Fundação Nacional de Saúde (FUNASA) (2007), Silva (2008), Silva & Malagutti Filho (2009, 2010), Saraiva (2010), Bortolin & Malagutti Filho (2010), Yadyr (2011) Figueiredo (2012), entre outros que utilizam a geofísica para complementar os estudos.

Este Trabalho de Conclusão de Curso (TCC), tem como foco principal a identificação de provável contaminação por necrópole das águas subterrâneas na área do Cemitério Municipal Mário Bittencourt (Catacumbas), utilizando a geofísica associada a caracterização geológica/estrutural e geotécnica sucinta, para comprovar possível contaminação e caso comprovado, constatar a situação de vulnerabilidade da população que vive no entorno do cemitério.

2. OBJETIVOS E JUSTIFICATIVA

Objetivo Geral

Realizar de um estudo investigatório de contaminação por necrochorume das águas subterrâneas da área do cemitério através do uso de métodos geofísicos (eletroresistivos) para determinar as zonas anômalas e análises químicas, comparando com o padrão de potabilidade de águas da Organização Mundial da Saúde (OMS, 2011).

Objetivos Específicos

Especificamente, a fim de se obter os resultados propostos, pretende-se:

- a) Identificar e delimitar zonas anômalas associáveis a possíveis contaminações por necrochorume;
- b) Análise da geologia estrutural e litologias sucintas no reconhecimento e caracterização dos principais lineamentos e fraturas no local correlacionáveis as zonas de percolação de águas superficiais e contaminantes;
- c) Determinação do fluxo da água subterrânea e seu local aflorante;
- d) Coleta de amostras de água subterrânea, análises laboratoriais e proposição de um modelo geométrico;

Justificativa

Esta investigação ambiental da necrópole do município de Caçapava do Sul, tem como justificativa principal a necessidade de reconhecimento e caracterização de contaminações causadas por atividades antrópicas no meio ambiente e as consequências que essas podem causar a saúde humana considerando que certos elementos presentes no solo e água, por mais escasso que seja, é sinônimo de riscos a população. Um dos exemplos mais conhecidos de contaminação da água é o Caso de Minamata no Japão, considerando que seja permitido 1µg/L de mercúrio, em Minamata encontrou-se até 338mg/L; outro caso é da exposição de 140 milhões de pessoas por arsênio em água, que é permitido até 10µg/L (CETESB, 2014), porém em países em desenvolvimento esse valor é superado facilmente. Esses dois exemplos são poucos, comparados aos milhares que existem e não são documentados

Outra questão é a logística para realizar o estudo, como a localização da área que é próxima ao Campus Caçapava do Sul da Universidade Federal do Pampa (UNIPAMPA), facilidade de acesso, equipamentos disponíveis para o estudo e a inexistência de estudos desta natureza no município e região tornam justificável.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Revisão Bibliográfica

Esta etapa consistiu em realizar uma pesquisa de referencial teórico, com a revisão de artigos/dissertações/teses de trabalhos que já foram realizados nas áreas temas, como geofísica, decomposição de corpos e a geofísica ambiental. O levantamento dessas referências proporcionou um melhor entendimento e conhecimento referente ao embasamento teórico necessário para realizar essa investigação.

Trabalhos de Campo

Os trabalhos de campo consistiram em basicamente quatro etapas principais sendo i) reconhecimento prévio da área e observação do meio circundante para locação dos perfis geofísicos e áreas a serem analisadas, ii) aquisição geofísica, análise geológica sucinta dos componentes litológicos, iii) aquisições geofísicas para refinamento de anomalias previamente detectadas e iv) coleta das amostras de água subterrânea em quatro pontos específicos para as análises químicas (FIGURA 1).

Aquisição geofísica – propostas de levantamento e arranjos adotados

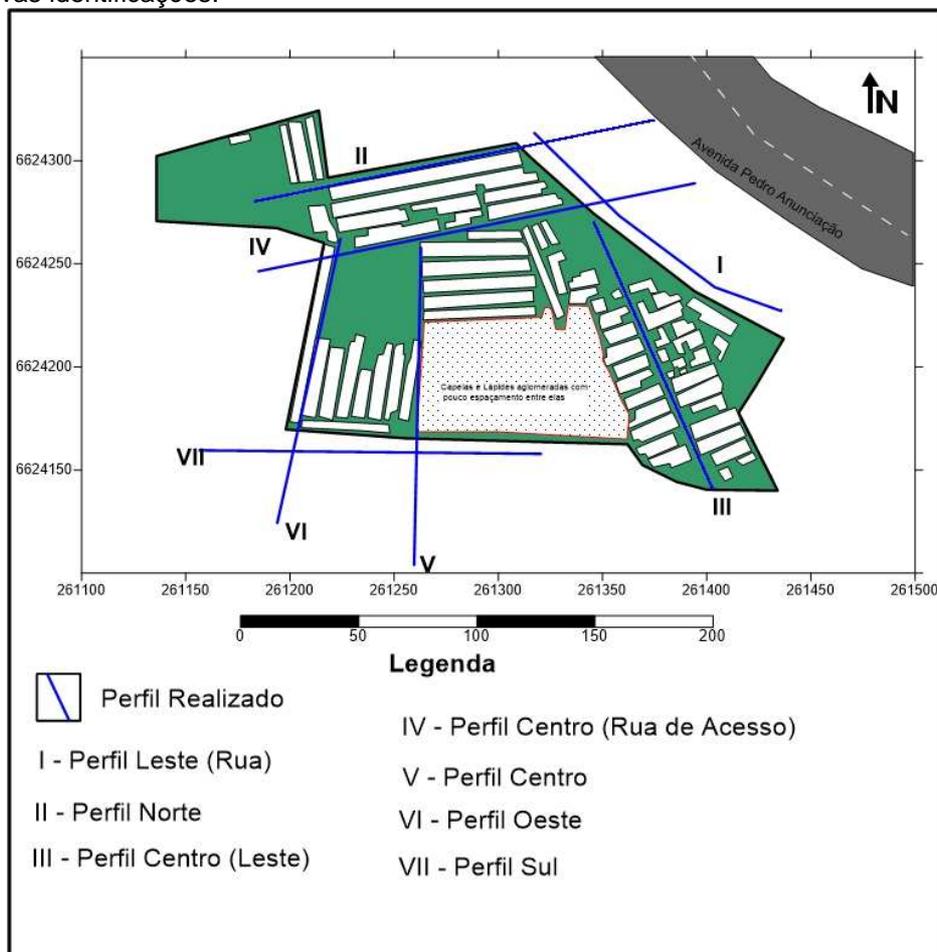
Foram realizados os perfis de caminhamento elétrico pré-definidos. Os comprimentos dos perfis foram de 144 m com espaçamento entre os eletrodos de 2 m respectivamente.

O arranjo que foi utilizado para os caminhamentos elétricos é o Dipolo – Dipolo (oferece bons resultados em trabalhos de investigação de contaminações), que foi usado por Moreira (2005), e de acordo com Silva (2008), caracteriza-se como segundo melhor em resolução de investigações laterais e verticais.

Na obtenção das medidas de resistividade um resistímetro modelo *Syscal Pro* de 10 canais da *IRIS Instruments* (França) foi utilizado. Os acessórios que compõem o aparelho para as leituras no campo são 72 eletrodos, cabos de conexão entre o resistímetro e suas respectivas ligações, 2 fitas métricas de 30 m, marreta para inserção dos eletrodos no solo/rocha,

conexão entre os eletrodos e cabos. A fim de melhorar o contato solo-rocha/eletrodos a irrigação com água salobra é usada.

FIGURA 1 - Mapa do cemitério com os perfis de caminhada realizados (azul) e suas respectivas identificações.

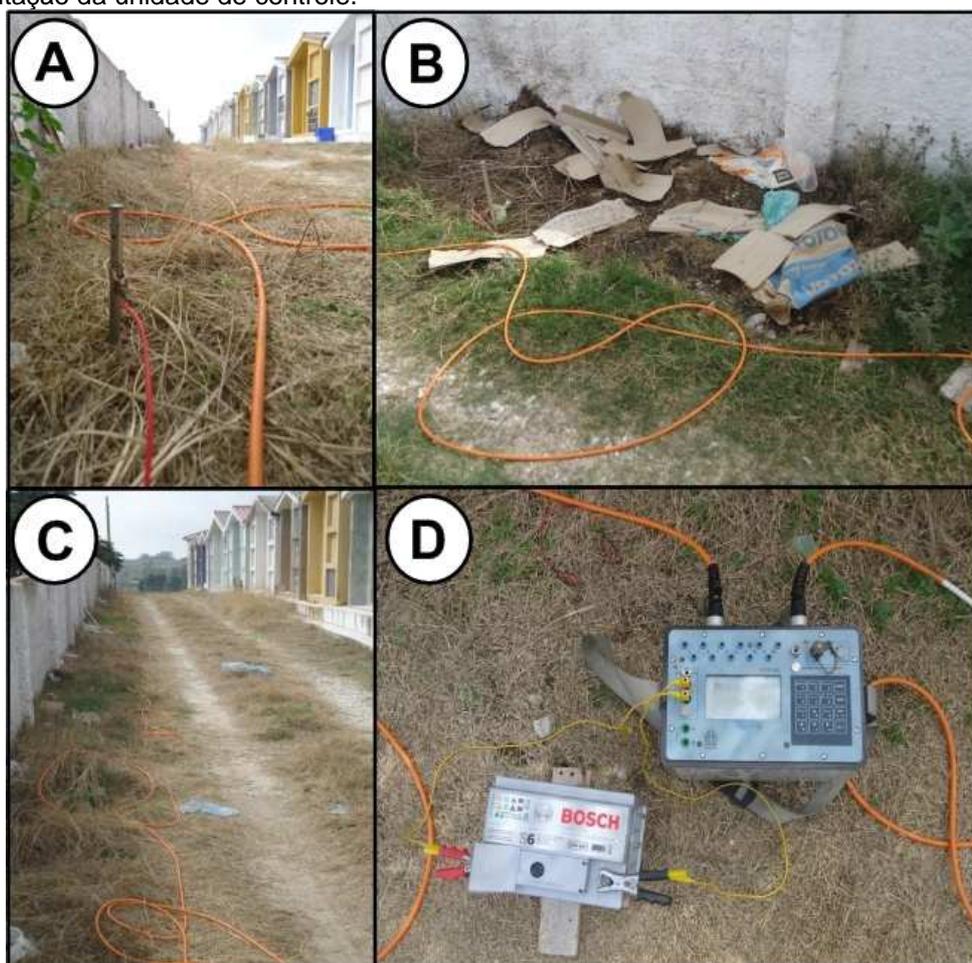


a) **Etapas de pré aquisição** – Previamente à aquisição dos dados geofísicos no campo foi realizado o carregamento (*upload*) no resistímetro do arquivo necessário para o aparelho realizar as leituras previstas em campo (arranjo escolhido, espaçamento de eletrodos e profundidade teórica de investigação). Para isso, utilizou-se o programa ELECTRE II da IRIS;

b) **Aquisição na área** – Determinação do comprimento do perfil e espaçamentos foram feitos por meio de fitas métricas. Com o arranjo e espaçamento dos eletrodos já definidos e o resistímetro devidamente ajustado (arquivo carregado), os eletrodos são inseridos no solo/rocha na ordem que foi estipulada. Durante este processo, é necessário estender os cabos que serão ligados aos conectores do aparelho (FIGURA 2D).

Para cada eletrodo introduziu-se sua conexão (jacaré) para que haja contato da corrente elétrica com os eletrodos e solo. Com toda a linha de caminhamento elétrico montado, ligou-se o resistivímetro, foi realizado um teste de contato com o meio (solo/rocha) e iniciou o processo de aquisição dos dados.

FIGURA 2 - Composição de imagens do Caminhamento Elétrico. A) Eletrodo cravado no solo durante o levantamento. B) No perfil do C.E. é possível a observação de resíduos de construção civil. C) Foto de parte do perfil levantado. D) Aparelho Syscal Pro e bateria de alimentação da unidade de controle.



Etapa de escritório - Processamento dos Dados

Foi realizado o *download* dos dados do Syscal para um PC. O arquivo gerado, (com dados de resistividade para cada nível teórico e respectivos eletrodos no perfil) possui uma extensão *.txt*. O arquivo *.txt* gerado foi então, enviado ao programa RES2DINV da IRIS para inversão (obtenção das seções em profundidade/metros) e geração dos perfis com respectivos isovalores interpolados de resistividade para visualização e interpretação.

Análise e Interpretação dos Dados

Etapa que consiste em analisar os perfis (seções geoeletricas) obtidas na etapa anterior. Georeferenciar com precisão a seção no mapa da área de estudo. Deu-se início integração dos dados de resistividade com todo o contexto geológico, estrutural e geoquímico do local. Zonas anômalas detectadas de baixos resistivos, possivelmente estarão associadas com águas superficiais e subterrâneas. Contaminantes oriundos da necrópole, também oferecem valores contrastantes e significantes de resistividade.

Um imageamento elétrico da área em 2D foi gerado, permitindo-se a definição de tamanho da pluma de anomalia (provável contaminação), limites laterais e em profundidade e sua direção de fluxo.

Com a interpretação dos perfis dos caminhamentos elétricos realizados, foi possível a separação de possíveis alvos para a realização da coleta da água subterrânea para posterior análises químicas.

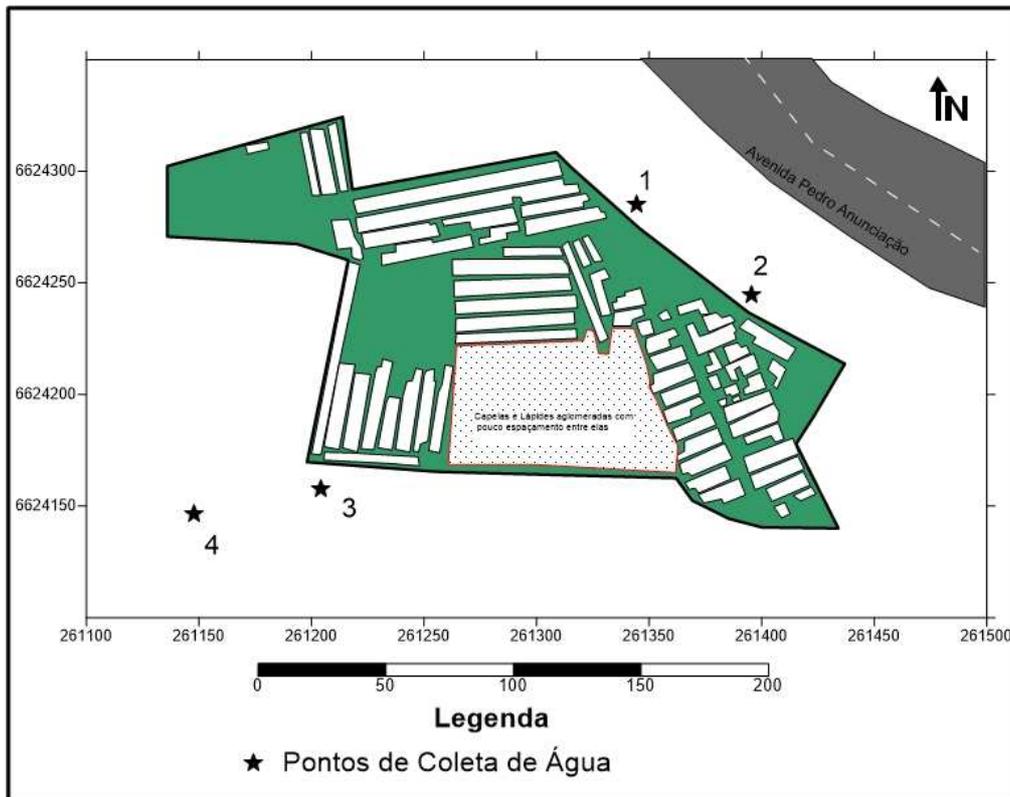
Para todas as etapas propostas neste estudo, tanto equipamento como os acessórios e *softwares* empregados nos processamentos, são de propriedade da Universidade Federal do Pampa – Campus Caçapava do Sul.

Os processamentos, análises, inversões, imageamentos e modelagens dos dados foram realizados no Laboratório de Geofísica Aplicada/LGA do campus. Enquanto as análises químicas foram realizadas no Laboratório de Química do campus e no Laboratório de Análises Químicas – LACHEM da Universidade Federal de Santa Maria.

Etapa das Análises Laboratoriais

As coletas de água, foram realizadas por meio de 13 frascos brancos leitosos que não permitem a passagem da luz. Estes, foram descontaminados com banho de descontaminação (solução de HNO₃ a 1% e álcool etílico absoluto) durante dois dias. Foram repassados com água deionizada e postos para secagem. A coleta da água foi realizada em quatro pontos nas proximidades do cemitério (FIGURA 3).

FIGURA 3 - Mapa com os pontos onde foram coletadas as amostras de água.



Para a coleta de água foram utilizadas luvas descartáveis para evitar contaminação da água e alteração dos resultados. Foram coletadas duas alíquotas de cada amostra, uma para ser levada para análise no Laboratório de Análises Químicas – LACHEM na Universidade Federal de Santa Maria, nessas amostras foi colocado 1 ml de HNO_3 para a estabilização dos íons dissolvidos. Enquanto a segunda alíquota não foi adicionado HNO_3 , sendo as análises realizadas no Laboratório de Química do Campus Caçapava do Sul da Universidade Federal do Pampa.

Após a coleta as amostras foram levadas para o Laboratório de Química do Campus Caçapava do Sul e filtradas, sendo feito uma amostra em branco com água deionizada e 1 ml de HNO_3 , para caso haja algum contaminante na água deionizada/ácido nítrico/papel filtro e possa ser descontado quando for realizada as análises que serão realizadas no LACHEM.

- **Amostra 1** (área de fratura), foi coletada ao lado do cemitério onde há água aflorante;
- **Amostra 2** (Poço) foi coletada no poço escavado ao lado do cemitério;

- **Amostra 3** (Sul) foi coletada na parte sul do cemitério, sendo realizado um furo com trado manual de aproximadamente 40 cm e realizada sua coleta;
- **Amostra 4** (Açude) foi coletada no açude a sudoeste do cemitério sendo um baixo topográfico com possível influência do cemitério.

Microbiológicas

Para a determinação da presença ou ausência de coliformes fecais foi utilizado o teste microbiológico do Colitag, que é um meio de cultura que irá indicar se há ou não coliformes fecais e *Escherichia Coli*. O teste é simples e é necessário apenas tubos de ensaios com tampas o meio de cultura do Colitag e uma estufa.

Consiste em fazer triplicata de cada amostra e uma em branco. Pegando 10 ml da amostra de água transferindo para um tubo de ensaio com 0,1 g do meio de cultura de Colitag e deixar em repouso por 24 horas na estufa a 35°C. Após um período de 24 horas se o tubo de ensaio apresentar coloração amarela significa a presença de coliformes fecais na água. Para saber se há ou não a *Escherichia Coli*, é necessário pegar as amostras e observar a luz negra, caso haja a luminescência verde do tubo de ensaio significa a presença de *Escherichia Coli*.

Físico-Químicas

Método da Condutividade Elétrica

O material necessário para realizar a medição da condutividade elétrica é um Condutímetro (CG1800) da Gehaka, realizar a calibração do aparelho com solução de condutividade conhecida, esperar a estabilização e lavar o eletrodo e secar, para depois iniciar as medidas de condutividade das amostras, esperando estabilizar e anotar o valor de condutividade. Além da condutividade o aparelho também é capaz de medir quantas partículas por milhão (ppm) de KCl – NaCl há na amostra.

Método do Peagâmetro

O material necessário para realizar a medida de pH é um peagâmetro (HI Calibration Check pH/ORP Meter) da Hanna *Intruments*, realizar a

calibração do aparelho com soluções de pH conhecidas (4, 7 e 10), esperar sua estabilização, lavar o eletrodo e secar, para depois iniciar as medidas de pH das amostras esperando a estabilização do aparelho para anotar seu valor de pH.

Método da Alcalinidade Total

Para realizar a análise de alcalinidade total foram necessários os seguintes materiais e reagentes:

- Pipeta volumétrica de 50 ml;
- Bureta de 50 ml;
- Erlenmeyer de 100 ml;
- Solução de Ácido Sulfúrico (H₂SO₄) a 0,02 N;
- Solução indicadora mista (Verde de Brometocresol a 0,1% e Vermelho de Metila a 0,02%).

O procedimento seguido consiste basicamente em:

- Ambientar a bureta com a solução titulante (Ácido Sulfúrico 0,0387 N);
- Transferir 25 ml da amostra de água para o erlenmeyer;
- Adicionar 2 gotas da solução indicadora mista (que deverá ficar com a coloração de azul claro);
- Titular a solução até a amostra ficar incolor e anotar o volume gasto da solução titulante;
- Repetir essas mesmas etapas para as demais amostras.

As amostras foram feitas em duplicatas e não em triplicatas, que seria o ideal, devido a não ter um excedente de amostra coletada.

Para o cálculo da Alcalinidade Total utiliza-se a seguinte fórmula:

$$CaCO_3 \frac{mg}{L} = \frac{V_{H_2SO_4} N_{H_2SO_4} 50000}{V_{Amostra}} \quad \text{Equação (1)}$$

Onde: $V_{H_2SO_4}$ é o volume gasto na titulação, $N_{H_2SO_4}$ é a normalidade da solução e $V_{Amostra}$ é o volume usado de amostra e 50000 é uma constante e ser multiplicada.

Método da Dureza Total

Para realizar a análise de alcalinidade total foram necessários dos seguintes materiais e reagentes:

- Pipeta volumétrica de 50 ml;
- Bureta de 50 ml;
- Erlenmeyer de 250 ml;
- Solução Tampão pH 10 de Cloreto de Amônio (NH₄Cl);
- Indicador Negro de Eriocromo;
- Solução EDTA Dissódico 0,0125 M.

O procedimento seguido consiste basicamente em:

- Ambientar a bureta com a solução titulante (EDTA Dissódico de Fc = 0,99099);
- Transferir 25 ml da amostra de água para o erlenmeyer;
- Adicionar 0,05 g do indicador Negro de Eriocromo, que deverá ficar em uma coloração vinho;
- Titular a solução até a coloração azul, anotar o volume e preencher a bureta com a solução titulante;
- Repetir essas mesmas etapas para as demais amostras.

Do mesmo modo dito no Método da Alcalinidade Total, o ideal seria realizar análises em triplicata das amostras para obter maior acuracidade dos resultados, devido à pouca grande quantidade de amostras, foi realizada apenas em duplicata.

A fórmula a ser usada para a determinação da Dureza Total é a seguinte:

$$mg \frac{CaCO_3}{L} = \frac{(V_1 - V_b) \cdot Fc \cdot 0,01 \cdot 100000}{V_{Amostra}} \quad \text{Equação (2)}$$

Onde, V_1 é o volume gasto da solução de EDTA na titulação da amostra, V_b é o volume gasto da solução de EDTA na titulação da amostra em branco, Fc é o fator de correção da solução de EDTA que é de 1,25 e $V_{Amostra}$ é o volume usado da amostra.

Química Analítica

Para a análise de elementos metálicos e posterior comparação com a tabela de potabilidade da OMS (2011), foram separados 8 elementos analisar que foram considerados a sua possível ocorrência. Essas análises foram realizadas no Laboratório de Análises Químicas – LACHEM na Universidade Federal de Santa Maria.

Os elementos escolhidos, que a princípio seriam analisados, foram os seguintes:

Chumbo (Pb), Zinco (Zn) e Prata (Ag): Por serem elementos que são utilizados na fabricação de caixões;

Cobre (Cu) e Cromo (Cr): Por serem elementos que a população de Caçapava do Sul está mais exposta devido a antiga mineração de cobre na região e a presença de um curtume próximo ao cemitério, os quais podem bioacumular no organismo humano e ser disperso durante a composição;

Alumínio (Al), Bário (Ba) e Ferro (Fe): Por serem elementos comuns em rochas graníticas e que podem estar sendo solubilizados nas águas subterrâneas na região.

Para realizar a análise no Espectrômetro de Absorção Atômica por atomização em chama é necessário realizar a curva de calibração para cada elemento que deseja a ser analisado. Feito isso é realizado as análises em triplicata e o próprio programa do aparelho realiza a conversão de absorbância para mg/L ou µg/L, dependendo do tipo de elemento que se deseja analisar.

4. ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo se localiza a norte do município de Caçapava do Sul, tendo seu acesso pela Avenida Pedro Anunciação, próximo à entrada da cidade pela BR 392. Caçapava do Sul situa-se na porção central do Rio Grande do Sul (FIGURA 4).

O acesso até a área, a partir de Porto Alegre, é pela estrada federal BR-290, cerca de 330 km de distância até Caçapava do Sul, com acesso pela BR-392 utilizando a entrada da cidade pela Avenida Presidente Kennedy, realizando a conversão para a Avenida Pedro Assumpção, na rotatória localizada próxima ao Campus Caçapava do Sul da Universidade Federal do Pampa cerca de 1 km de distância.

Histórico do Cemitério

Segundo relatos de moradores do município o cemitério das Catacumbas teve início no ano de 1971 sendo atualmente administrado pelo Sr. Manoel Leori Silveira (responsável no local). As informações dos munícipes

e do administrador do cemitério relatam que há hoje, cerca de 770 jazigos com aproximadamente 800 terrenos já vendidos.

FIGURA 4 - Mapa de da área de estudo, situada a norte de Caçapava do Sul.



Fonte: Adaptado do Wikipedia, Google Earth, Cartas Topográficas do Exército da Região Sul do Brasil 1:50000 de 1979 (Durasnal - Folha SH.22-Y-A-II-3, MI-2983/3; Caçapava do Sul - Folha SH.22-Y-A-V-1, MI-2996/1; Passo do Salsinho - Folha SH.22-Y-A-I-4, MI-2982/4; Arroio Santa Bárbara - Folha SH.22-Y-A-IV-2, MI-2995/2).

Próximo ao cemitério, de frente a entrada principal situado a esquerda, um poço do tipo cacimba (escavado), para irrigação e obras no local foi construído. Há a presença de animais de pecuária ao redor do cemitério e próximo dele há uma instalação de 'ferro-velho'; pode-se ver também tanto dentro como fora do cemitério, a presença de resíduos (restos de flores e objetos), deixado pelos familiares das vítimas e/ou deixado por outros moradores como uma forma de 'descarte rápido'. O resíduo recolhido semanalmente é colocado nas vias públicas para posteriormente ser levado pelos órgãos responsáveis.

Geologia Regional

A Geologia Regional próximo à área de estudo, têm-se a presença do Complexo Metamórfico Vacacaí, uma sequência de rochas vulcano-sedimentares que foram metamorfozadas, que pode conter desde ardósias,

filitos, xistos pelíticos, xistos grafiticos, mármore, quartzitos, metaconglomerados, anfibolitos e metabasaltos, de acordo com Remus *et al.* (2000), de idade entre 556 e 666 M.a. de datações K-Ar realizadas por Soliani Jr. (1986).

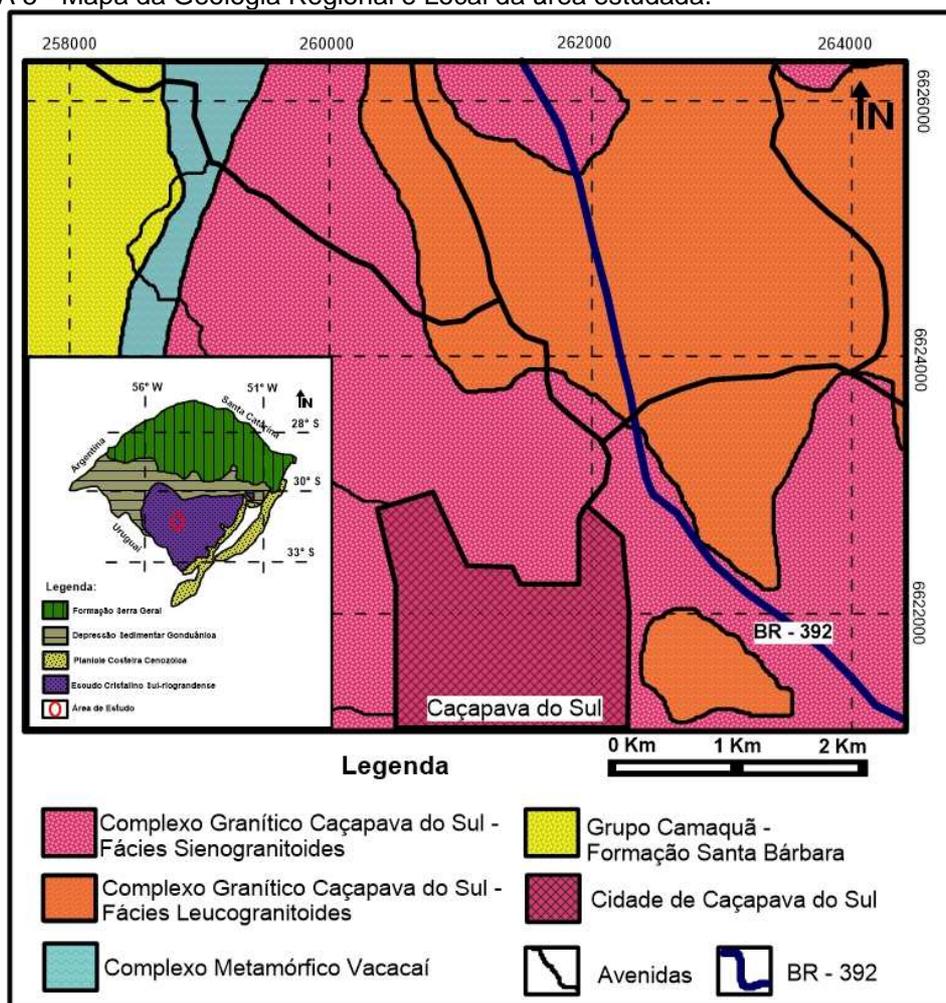
Adjacente a Suíte Granítica Caçapava do Sul tem-se o Grupo Santa Bárbara, que é caracterizado como sendo uma sucessão aluvial-marinho-aluvial, gerado em um sistema de rifts em um contexto anorogênico, de distensões NW-SE (FRAGOSO-CÉSAR *et al.*, 2001), possuindo rochas siliciclásticas de ambientes aluviais, costeiros e deltaicos. Esse grupo é subdividido em cinco formações, da base para o topo, explicitadas por Fambrini (2003), como sendo Estância Santa Fé, Seival, Serra dos Lanceiros, Arroio Umbu e Pedra do Segredo.

O Complexo Metamórfico Vacacaí e o Grupo Santa Bárbara, por serem rochas que compõem o arcabouço geológico e estrutural, de importância na caracterização do local proposto, são descritos de forma sucinta, pois não possuem nenhuma influência na área de estudo. Estudos mais detalhados são descritos por Bitencourt & Hartmann (1984), Almeida (2001), Paim *et al.* (1994, 2000), Remus *et al.* (1996), Fambrini *et al.* (2005) e Borba (2006).

Geologia Local

A Geologia Local da área de estudo está situada na denominada Suíte Granítica Caçapava do Sul (FIGURA 5), a qual compreende dois corpos intrusivos no Complexo Metamórfico Vacacaí. Possui uma forma ovalada e dômica, tendo aproximadamente 25 km de extensão sob orientação N-S. De modo geral a suíte é composta predominantemente por leucogranitos, monzogranitos e sienogranito. Nardi & Bitencourt (1989), conseguiram identificar os principais minerais constituintes da Suíte Granítica Caçapava do Sul, sendo eles biotita com hornblenda subordinada, como principais minerais máficos, identificou minerais acessórios como zircão, titanita, apatita, pirita, alanita, magnetita, em alguns casos encontraram granada, turmalina e muscovita, além de quartzo, plagioclásio e feldspato alcalino. Além disso, na parte leste é comum a observação de aplitos, pegmatitos e veios de quartzo, que caracterizam o processo final da cristalização da Suíte Granítica Caçapava do Sul.

FIGURA 5 - Mapa da Geologia Regional e Local da área estudada.



Modificado: CPRM (2007).

Um estudo de datação realizado por Leite *et al.* (1995), identificou uma idade de cristais de zircão de cerca de 561 ± 6 e 541 ± 11 M.a., além de informações de Sm-Nd, onde se obteve idades que variam entre 2,05 e 2,22 G.a., com a razão de Sm-Nd que mostra uma importante fonte crustal no magmatismo que gerou a suíte granítica, além de identificar uma afinidade metaluminosa e cálcio-alcalina da contribuição do manto.

Hidrogeologia

Dos recursos hídricos de subsuperfície, a cidade de Caçapava do Sul possui seis domínios hidrogeológicos de acordo com “Projeto SIG de Disponibilidade Hídrica – Mapa de Domínios e Subdomínios Hidrogeológicos do Brasil”, realizado pela CPRM (2007), além do Projeto do Mapa

Hidrogeológico do Rio Grande do Sul, realizado pela CPRM (2005). Sendo esses domínios:

- Domínio Formações Cenozoicas;
- Domínio Bacias Sedimentares;
- Domínio Poroso/Fissural;
- Metassedimentos/Metavulcânicas;
- Domínio Vulcânicas;
- Domínio Cristalino.

O último domínio (Cristalino) constitui de fundamental importância neste estudo. É composto basicamente por rochas da Suíte Granítica de Caçapava do Sul, de um comportamento hidrodinâmico típico de aquífero fissural. As vazões produzidas nos poços são baixas, em função da falta de circulação da água (CPRM, 2005). Por estar em contato direto com rochas félsicas pode apresentar uma salinidade pouco maior do que em aquíferos em rochas sedimentares, também podendo ocorrer um enriquecimento em flúor, em alguns casos.

Pedologia

No local, o solo é oriundo das rochas graníticas da Suíte Granítica de Caçapava do Sul, sendo assim classificado como um Neossolo Litólico, esse solo é pouco profundo a profundo (variando de centímetros até aproximadamente 20 metros), onde próximo ao local é possível a observação de afloramentos de rochas graníticas. Possui uma textura média, possuindo muitos grãos do tipo areia, de quartzo/feldspato alcalino/plagioclásio, além de silte/argila oriundo dos minerais félsicos, pode também possuir grânulos dispersos, os quais são compostos por quartzo/feldspato alcalino/plagioclásio. Mais informações dos solos da região de Caçapava do Sul podem ser obtidas em EMBRAPA (1999).

5. REVISÃO DA LITERATURA

Estado da Arte – A Morte e suas Consequências *Post Mortem*

Generalidades

Falar de cemitérios sem citar o fato da morte é algo irrisório. Mas qual o real significado da morte? Estritamente a palavra “morte” significa a falta de

existência ou ausência definitiva de alguma coisa, seria a cessação completa da vida, extinguir as funções vitais. Desde quando o homem se conhece por homem, sabia de uma coisa inevitável, que iria morrer, não se sabe quando, onde ou o motivo, mas isso é certo. Tentaram postular o seu significado nos mais diferentes pensamentos, além de suas aceitações com relação a mesma. Essa seria a Tanatologia, o estudo científico da morte (abordada em diferentes aspectos religiosos, tradicional, biológico, antropológico, filosófico).

Com o conceito e todo o seu pesar que sobre ela paira o entendimento humano e sentimental, é possível discorrer do que ocorre após a morte; a decomposição do corpo (não necessariamente apenas do ser humano, pois em termos de composição os seres humanos são tão similares quanto aos cães, apenas um agregado de átomos).

Os rituais fúnebres como agentes de contaminações antrópicas

Augusto dos Anjos, um poeta parnasiano, já discorria sobre o tema da morte e suas consequências, tanto que, em sua poesia "*Anseio*", "*Apóstrofe à Carne*" e "*Post Mortem*", é possível perceber que naquela época já se tinha uma noção do que o corpo era feito e no que ele se tornava. Além dele, dois anos antes de seu nascimento, em 1882, era apresentada a dissertação de Manoel Pereira da Cruz à Escola Médico-Cirúrgica do Porto, no qual ele faz uma profunda investigação sobre o conceito de 'ritos funéreos', desde a Idade da Pedra Lascadas até a mais recente para a época do estudo.

Esse trabalho poderia ser um dos primeiros (se não o primeiro) com essa temática, cemitérios e suas implicações ambientais. Não obstante a isso, Silva (1998), também apresentou dados similares aos de Manoel Pereira da Cruz, dados esses atuais e detalhados, como por exemplo a constituição do necrochorume, como sendo um líquido viscoso e mais denso que a água ($1,23\text{g/cm}^3$), que possui elevada concentração de sais minerais e substâncias orgânicas degradáveis, coloração acinzentada, com alta Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), além de uma elevada patogenicidade.

Porém, um aspecto que poucas pessoas possuem conhecimento de que a decomposição do corpo humano gera, é a contaminação de solos e águas. Geralmente se tem mais notícias de contaminações sobre casos que repercutiram mundialmente ou nacionalmente. Com isso, também é possível

citar diversos estudos de contaminações ambientais que abrangem as mais diversas situações e metodologias utilizadas na sua detecção e caracterização, desde a utilização da geofísica a utilização de análises microbiológicas.

A investigação indireta, não invasiva como forma de detecção de contaminações – A geofísica

O homem constitui o principal agente causador de poluição e contaminação, impactando de diferentes formas o meio ambiente de forma ampla (atmosfera, biosfera, meio geológico e as águas superficiais e subterrâneas).

Estudos realizados para a detecção de contaminações exigem abordagem multidisciplinar, por meio de metodologias que englobam as áreas da microbiologia, botânica, geoquímica, geotécnica, e, também, no âmbito das ciências sociais, saúde e antropológica (no caso de estudos forenses, má formação de crianças, inumação de cadáveres dentre outros).

O uso da geofísica como uma ferramenta de investigação primária ou secundária constitui, atualmente, uma técnica de amplo uso, com resultados satisfatórios e de baixo custo nas diferentes problemáticas que envolvem o meio ambiente, como laudos ambientais, detecção de contaminações, caracterização da profundidade e direções de fluxo de elementos nocivos de diferentes origens e gravidades na saúde humana e do ambiente circundante

Na investigação de problemas ambientais, é empregada em larga escala especialmente nos estudos em lixões e aterros, que são uma grande fonte de contaminação dos solos e das águas superficiais e subterrâneas. Estudos de Moura & Malagutti Filho (2003), Xavier & Berkendrock (2005), Laureano (2007), Bortolin & Malagutti Filho (2010), Gallas *et al.* (2011), Moreira *et al.* (2011), Figueiredo (2012), corroboram com a efetividade e reconhecimento desta ferramenta nos últimos anos nos estudos ambientais. Como exemplo pode-se citar o estudo de Moreira (2009), onde foi feito um monitoramento no Aterro Controlado Municipal de Cordeirópolis, para uma análise do comportamento temporal dos materiais enterrados, utilizado métodos de Eletrorresistividade, Polarização Induzida (IP) e Potencial Espontâneo (SP). Além de aquisição de outros dados como o Eh e pH, constatando uma correlação da baixa condutividade em áreas ricas de matéria orgânica; relacionar anomalias de

baixo potencial e alta cargabilidade com as fases de degradação da matéria orgânica nas valas. Além de sugerir que o potencial elétrico que é produzido na área é um produto do fluxo do chorume das águas subterrâneas em fraturas.

Outra área de emprego da geofísica com bons resultados constitui a investigação de contaminantes orgânicos ou inorgânicos, derivados de petróleo ou processos industriais. Nesses casos, os estudos são relativamente poucos, comparados com o âmbito geral, Fachin *et al.* (2006) e Moreira (2005). Lago (2009), usou os métodos de *Ground Penetration Radar* (GPR) e levantamentos elétricos 3D e 2D, para identificar áreas contaminadas por derivados de petróleo em Ribeirão Preto – SP, que eram dispostos em cavas sem impermeabilização durante 25 anos, além de análises diretas de água e solo. Conseguiu determinar uma pluma de contaminação com variáveis resistividades e cargabilidade, devido a biodegradação e da atenuação natural do ambiente, além de constatar a contaminação por hidrocarbonetos e chumbo na água subterrânea.

A geofísica como método de investigação em cemitérios

Para o caso específico de estudo em necrópoles, objetivo deste trabalho, pode-se citar o emprego da geofísica como auxílio na investigação nos estudos de FUNASA (2007), Castro (2008), Saraiva (2010), Figueiredo Filho (2011). Silva (2008) no qual foi investigado e mapeado uma contaminação de necrochorume, utilizando a técnicas de Sondagem Elétrica Vertical (SEV) e Imageamento Elétrico (2D), determinando o nível freático e os diferentes tipos de camadas de solo no local. Através destes produtos, foi possível determinar que há uma relação entre a profundidade no nível freático e o tempo de sepultamento, além de determinar a localização e expansão das prováveis plumas de contaminação, indicando, assim, que a geofísica, associada as técnicas diretas de análise e investigação constitui uma ferramenta importante nos estudos de avaliação da qualidade ambiental de modo geral e, também, em casos específicos.

É perceptível um maior número de trabalhos na área ambiental devido à legislação que foi sendo criada desde 1986, principalmente com a criação do Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA), da resolução nº1/1986, a qual foram criadas leis específicas para cada setor, aplicando-se muitas

severas para o não cumprimento das mesmas. Desta forma, as empresas, a sociedade e o meio acadêmico passou a interessar-se mais em estudos e análises contribuindo para a preservação do meio ambiente, e casos de contaminação provável ou comprovada.

História dos Cemitérios

O termo cemitério ou necrópole, possui sua origem na Grécia antiga, na qual o seu significado pode ser tanto dormitório para cemitérios, cidade dos mortos para necrópole, logo esses locais podem ser vistos como “a cidade onde os mortos dormem”. Esse significado de ‘um morto dormir’ foi muito influenciado pela religião, principalmente o cristianismo que começou a utilizar esse termo mais amplamente, visto que essa prática era comum na Idade Média para pessoas que possuíam uma importância maior para a sociedade da época (ou seja poder sócio-econômico ou político), eram inumados nas igrejas ou imediações e criavam um local de aproximação com os que estavam nestes locais, trazendo assim uma sensação de paz.

Enquanto os mais importantes eram enterrados, os menos afortunados (pobres, miseráveis, hereges, entre outras definições), eram simplesmente jogados em rios, utilizados como adubo para as plantações, esquecidos e deixados em locais até o término da sua decomposição. Essa prática deliberada e inconsequente é uma das possíveis explicações para os diversos surtos de febre tifoide, peste negra, meta-hemoglobinemia (síndrome do bebê azul), entre outras (NASCIMENTO *et al.*, 2008).

De acordo com Pacheco (1986), foi devido a isso, que no século XVIII, quando os problemas de saúde pública tomaram conta das cidades, que foi efetivada a proibição do sepultamento nas igrejas e próximas, no qual deveriam ser criadas áreas próprias para essa finalidade, sempre que possível o mais afastado do perímetro urbano das cidades.

Porém, esse problema tinha sido solucionado por hora, com a Revolução Industrial e o crescimento urbano desorganizado que ocorreu em todo o mundo, as cidades cresceram tão abruptamente que não foi possível para os governantes criarem planos diretores para evitar que a cidade englobasse os cemitérios, visto que hoje em dia, muitos cemitérios estão no meio das cidades, causando um ‘impacto visual’ nos arredores e

consequentemente vindo a ser um problema sanitário aos moradores do seu entorno.

Resíduos da Decomposição dos Seres Vivos

Quando um ser vivo morre, demora cerca de 24 horas para o corpo começar a sofrer o processo de decomposição. Dependendo do caso em si o corpo pode sofrer um processo de destruição ou conservação. A principal causa de contaminação por cemitérios é devido a liberação de necrochorume pelos corpos.

Durante esse processo de decomposição, pode ser observado a liberação de gases pela ação das bactérias e enzimas, gases esses característicos como o sulfeto de hidrogênio (H_2S), dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4), amônia (NH_3), fosfina (PH_3) (SILVA, 1995). Esses gases são os principais responsáveis pelo odor fétido de 'carniça' que começa a exalar do corpo em um estado de putrefação mais avançado.

Além de gases, a liberação de líquidos também é observável, líquido esse chamado de necrochorume, o qual contém uma vasta gama de componentes, que podem ser ou não nocivos ao ser humano. Dentre os principais elementos químicos existentes no necrochorume estão alumínio (Al), ferro (Fe), cromo (Cr), manganês (Mn), magnésio (Mg), níquel (Ni), titânio (Ti), chumbo (Pb), cálcio (Ca), sódio (Na), potássio (K). Deve-se considerar também que é possível a observação de radioisótopos de pessoas que receberam tratamento químico (quimioterapia), além de microorganismos (vírus, bactérias, fungos) provenientes de pessoas que morreram por alguma doença. Pode ser muito variável a presença ou não de certos metais, pois diferentes espécies requerem diferentes concentrações metálicas para suas funções metabólicas, isso se tratando de cemitérios humanos ou de animais (Silva, 1998).

Porém, há dois principais componentes orgânicos que são liberados durante a decomposição do corpo, as aminas biogênicas cadaverina ($NH_2(CH_2)_5NH_2$) e putrescina ($NH_2(CH_2)_4NH_2$) (CARDOZO *et al.*, 2013). Elas causam o cheiro de carne podre, estão relacionadas ao aumento de nitrato e nitrito das águas subterrâneas que causam a síndrome do bebê azul (NASCIMENTO *et al.*, 2008).

Fenômenos Cadavéricos Transformativos

Os fenômenos cadavéricos transformativos, ocorrem em todos os seres vivos, por isso é normal a utilização de conceitos de destruição ou conservação de um indivíduo, independentemente de sua espécie. A morte é algo comum a todos os seres vivos, isso não modifica e nem dá exclusividade de como o homem irá se transformar em pó, sendo da mesma maneira que todos os animais que circundam o ser humano.

Destrutivos

Esses fenômenos destrutivos, são aqueles que alteram de forma mais efetiva o cadáver, reduzindo ao máximo os tecidos do indivíduo. Designam as alterações que agentes microbiológicos e externos efetuam para levar a decomposição, que são eles:

Autólise: Após ser declarada a morte de um indivíduo, pode-se haver uma variação de tempo para que comece a ocorrer a autólise, dependendo de cada ser especificamente. Esse processo pode ser classificado como abiótico (sem a interferência de agentes microbiológicos), porém por causar uma alteração nos tecidos é considerado destrutivo. As alterações são principalmente nas células nervosas e na medula suprarrenal, logo após as células do trato intestinal e epitélios são afetadas (BANDARRA & SEQUEIRA, 1999). Isso explicaria o motivo de muitas vezes, quando um ser vivo morre de causas naturais, geralmente está com o corpo enrijecido, outrora envolto com urina e/ou fezes, pois são os primeiros grupos musculares e nervosos que iniciam a sua decomposição.

Putrefação: Após a autólise, inicia-se o processo de putrefação, que pode ocorrer de 24 horas até 72 horas de o indivíduo ter sua morte confirmada, variando muito com o clima, predação, componentes químicos adicionais. De acordo com Bandarra & Sequeira (1999), esse processo ocorre quando os microorganismos que vivem na flora intestinal, conseguem finalmente vencer a barreira do intestino e chegar em contato com algum tecido, após isso a sua proliferação é instantânea, causando a liberação de gases e líquidos e promovendo uma circulação sanguínea *post-mortem*. Pode ser dividido em três períodos. O período gasoso que seria a liberação de gases que já foram descritos anteriormente. A seguir é o período de coliquação (liberação de

líquidos), que ocorre uma dissolução do indivíduo de forma mais eminente, com a liberação do necrochorume. E por final o período de esqueletização, que ocorre quando o indivíduo começa a perder os tecidos que sobraram do período anterior, isso ocorre geralmente por causa da predação dos animais que na maioria das vezes são insetos (como besouros, larvas), até que os ossos fiquem 'limpos', podendo durar até centenas de anos, dependendo do ambiente que se encontra, ou simplesmente se reduzir a pó (SILVA, 2008).

Conservativos

Esses fenômenos conservativos, são aqueles que, apesar das alterações que os fenômenos destrutivos podem ter ocasionado, acaba mantendo as características gerais do indivíduo. A Mumificação é a condição de conservação em condições específicas que inibe a ação microbiana e ocorre geralmente em clima quente e seco. A Saponificação transforma o cadáver em uma substância mole e quebradiça, seria um estágio menos avançado da putrefação, ocorre em ambientes sem a presença de oxigênio. A Calcificação é um fenômeno raro de ocorrer em cemitérios, ocorre devido a substituição do tecido mole por minerais de cálcio (BANDARRA & SEQUEIRA 1999).

Os fenômenos conservativos apresentados ocorrem naturalmente, porém há métodos de conservação artificiais, o mais conhecido e estudado é o do embalsamamento. Essa técnica previne a decomposição natural dos cadáveres, que antigamente era efetuada pela retirada das vísceras e a introdução de substâncias que inibissem de alguma forma a putrefação. Com o avanço dos estudos a tanatopraxia, ajudou na conservação dos cadáveres e atualmente faz-se a injeção intra-arterial de poderosos antissépticos (SOUZA & BOTELHO, 1999)

Fundamentos Teóricos Geofísica - Método da Eletrorresistividade

A eletrorresistividade é um método geofísico pertencente aos 'geoelétricos'. É amplamente usado em estudos de geofísica rasa, geotecnia, prospecção de águas subterrâneas e meio ambiente. Seu princípio é baseado na determinação elétrica dos materiais (solo e rocha) em subsuperfície. Esses materiais possuem propriedades eletromagnéticas ao serem submetidos a

correntes elétricas geradas artificialmente (KEAREY, 2009). A heterogeneidade dos diversos tipos de solo e rochas no meio geológico atua como “interfaces de contraste” que são detectadas nos valores de resistividade elétrica. Esta propriedade física, devidamente detectada, medida e, inserida em modelos ou seções de resistividade serve para caracterizar o grau de alteração, fraturamentos, depósitos minerais e conduzir investigações em diferentes profundidades de forma indireta ou não invasiva.

Esse método pode ser definido pela lei de Ohm, no qual é dada a seguinte equação:

$$R = \rho \frac{L}{S} \quad (\text{ohms}) \quad \text{Equação (1)}$$

Utilizando a Equação (1), podemos definir que L é o comprimento e S é a seção transversal do condutor. Temos que ρ é um coeficiente dependente da natureza e estado físico denominado de *eletrorresistividade*. Isolando ρ pode-se definir a resistividade elétrica como sendo:

$$\rho = R \frac{S}{L} \quad (\text{ohm.m}) \quad \text{Equação (2)}$$

Logo a dimensão da resistividade é um produto de uma resistência elétrica ao longo de um corpo. A resistividade pode ser compreendida como sendo a dificuldade de propagação de uma corrente elétrica em um determinado material, isso está ligado a leis elétricas que está ligada aos mecanismos que a corrente elétrica se propaga. Em algum caso de corpos tridimensionais, como a Terra, a corrente elétrica não flui por uma reta, um único caminho, a corrente elétrica se propaga em todas as direções. Aplicando a Equação (1) em semi-espaco e isolando ρ , obteremos a seguinte equação (SHARMA, 2002):

$$\rho = 2\pi r \frac{V}{I} \quad (\text{ohm.m}) \quad \text{Equação (3)}$$

Onde V é o potencial, I é a corrente e r é a distância entre o eletrodo de corrente e o ponto que foi medido o potencial. Obtendo assim a resistividade ρ .

Caminhamento Elétrico – CE e arranjos de campo

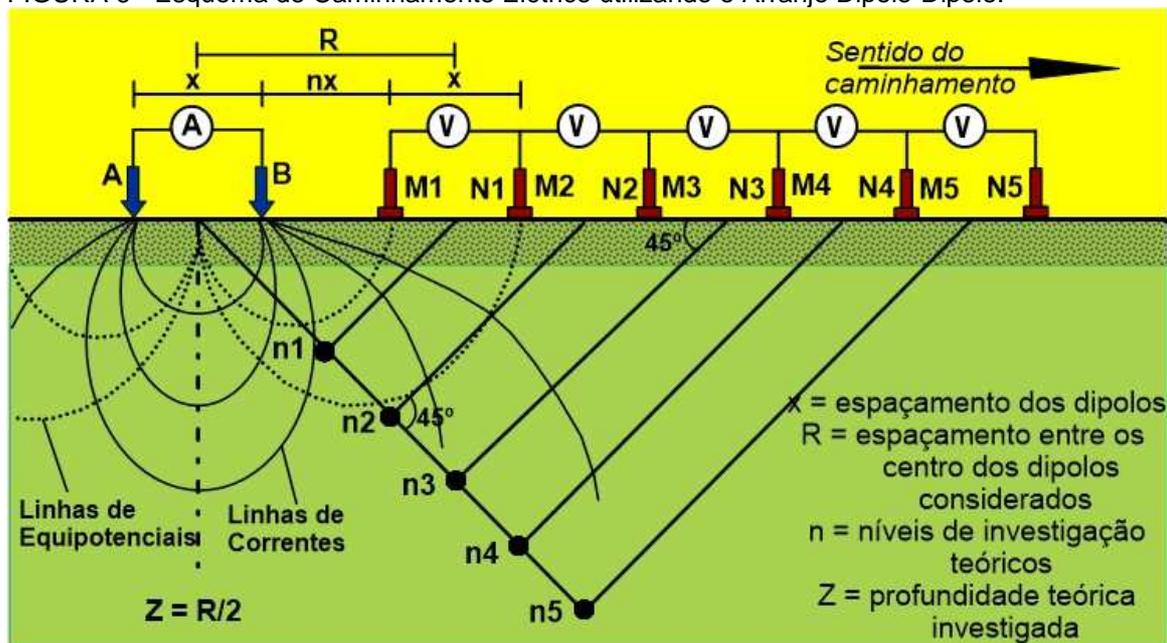
A técnica do Caminhamento Elétrico CE, consiste basicamente na obtenção de medidas de resistividade elétrica aparente, ao longo de uma

seção/linha, obtendo informações que podem ajudar na investigação em níveis de profundidade e em continuidade lateral.

Braga (1999), apresenta vários tipos de arranjo que podem ser utilizados com essa técnica, desde Polo-Dipolo, Gradiente, Schlumberger, Wenner, Dipolo-Dipolo. Para este trabalho, é proposto a utilização de um arranjo Dipolo-Dipolo, sendo, portanto, descrito apenas este de forma detalhada. Outras técnicas e arranjos, são detalhados em Telford (1990), Braga (1999), Sharma (2002) e Kearey (2009).

O desenvolvimento desse arranjo caracteriza-se por um espaçamento igual entre os eletrodos de detecção MN e de injeção AB, com um deslocamento da corrente elétrica e detecção da resistividade aparente, a partir do centro de ambos os dipolos (FIGURA 6). A profundidade de investigação aumenta na medida que o espaçamento entre os eletrodos aumenta, teoricamente igual a $R/2$ (Sharma, 2002).

FIGURA 6 - Esquema de Caminhamento Elétrico utilizando o Arranjo Dipolo-Dipolo.



Fonte: Modificado de Braga (1999)

Equipamento

Ao longo das últimas décadas, diferentes equipamentos foram desenvolvidos no estudo da eletrresistividade. No emprego da técnica do Caminhamento Elétrico, são utilizados atualmente equipamentos que

possibilitam o envio de corrente para os eletrodos de forma automática e na potência ajustada de acordo com o contato eletrodos/solo/rocha.

Para a realização deste trabalho será usado um resistivímetro da *Iris Instruments*, de fabricação francesa, modelo *Syscal Pro* com operação em 10 canais de saída e potência de 250 watts. Após o arranjo de campo ser previamente montado, o equipamento fica no centro e através de programação prévia, as medidas em profundidade teóricas e lateralmente são efetuadas. O resistivímetro descrito a ser empregado neste trabalho pertence à Universidade Federal do Pampa, Campus Caçapava do Sul.

Método de Absorção Atômica por Chama

A técnica de espectrometria de absorção atômica (AAS) é uma técnica analítica que realiza determinações quantitativas de diversos elementos, baseado na absorção da radiação por átomos livres no estado gasoso (SKOOG *et. al*, 1998)

Para que seja possível essa medida, deve ocorrer uma interação entre a luz e a matéria. Para que isso ocorra é necessário que uma certa quantidade de energia seja fornecida para ocorrer a ionização (energia de ionização). Cada elemento tem um número específico de elétrons associados ao seu núcleo, que na configuração mais estável é dito como "estado fundamental". Quando é aplicada uma quantidade de energia e essa for compatível com a energia de ionização, o elétron mais externo da camada de valência é 'promovido' para uma configuração energética mais instável (estado excitado) sendo esse processo chamado de salto quântico. Quando o elétron retorna ao estado fundamental ele libera a energia absorvida em forma de luz.

Durante a análise espectrométrica de absorção atômica em chama, o que se mede não é a quantidade de luz que foi absorvida, apesar de existirem também equipamentos que medem a radiação absorvida, é medido a quantidade de luz que consegue passar (transmitância). Com a medida da variação da quantidade de luz transmitida, é possível realizar uma determinação quantitativa do analito presente. Fontes especiais de luz conjugadas com sistemas eficientes de seleção de comprimentos de onda permitem a determinação específica de elementos. A função da chama, que pode ser atomizada por acetileno e óxido nítrico, é converter o aerossol da

amostra líquida em vapor atômico, sendo que a quantidade de radiação absorvida está ligada a concentração do elemento que se deseja analisar na solução.

Um aparelho que mede a transmitância, possui uma fonte de luz (lâmpada de cátodo oco) que emite comprimentos de onda apropriados para cada elemento em um feixe de abertura que é possível trabalhar na detecção do elemento desejado. Após essa fonte de luz, há a região que contém a espécie atômica que se deseja analisar, que no caso estará embutido na chama. Após esse local, há um monocromador, que seleciona o comprimento de onda incidente na amostra, que depois passa por um detector que gera um sinal elétrico proporcional a intensidade da luz percebida, que é passado para um registrador que pode ser convertido em sinal digital e armazenado.

Os instrumentos empregados na técnica de Absorção Atômica atomizado por chama possuem cinco componentes básicos (FIGURA 7):

FIGURA 7 - Equipamento de Absorção Atômica com atomização em Chama e Geração de Hidretos da Analytikjena novAA 300.



1 - A fonte de luz, que emite o espectro do elemento de interesse (lâmpadas de cátodo oco);

2 - A “célula de absorção”, na qual os átomos da amostra são produzidos, no caso é a chama, o atomizador e produção dos átomos através do vapor de aerossol da amostra;

3 - O monocromador, para a dispersão da luz e seleção do comprimento de onda a ser utilizado, composto por vários espelhos;

4 - O detector, que mede a intensidade de luz, transforma este sinal luminoso em um sinal elétrico e o amplifica;

5 - Um display (ou registrador) que registra e mostra a leitura depois do sinal ser processado, que no caso é o computador que possui o programa.

Existem dois tipos básicos de instrumentos para Absorção Atômica: o de feixe simples e o de feixe duplo.

Legislação Nacional

No Brasil, a maioria dos estados não possuem leis específicas que regem a operação dos cemitérios. Há resoluções no Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA) que apresentam normativas para a implantação desses cemitérios. As resoluções vigentes são as resoluções CONAMA nº335/2003, que foi alterada pela nº368/2006, alterando alguns aspectos nos artigos 3º e 5º, mais recentemente a resolução CONAMA nº402/2008, que alterou os artigos 11º e 12º da nº335/2003 e revogou o artigo 3º da nº368/2006.

De acordo com essas resoluções, qualquer empreendimento de cemitérios (verticais ou horizontais), devem necessariamente requerer a Licença Ambiental para operarem, tendo em vista o potencial de contaminação desses locais. No Estado de São Paulo a Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB) é que dispõe sobre legislação e normas vigentes para a obtenção de uma Licença Ambiental para a criação de novos cemitérios, além da adequação dos que já haviam sido fundados.

As normas a serem seguidas em âmbito nacional são as seguintes:

- As sepulturas que forem enterradas no solo, devem possuir distância de um metro e meio do nível mais alto do nível freático. Caso essa especificação não seja atendida, as sepulturas deverão ser realizadas acima do nível natural do terreno, que é o caso do Cemitério das Catacumbas.

- Aplicação de dutos de trocas gasosas, retendo os gases gerados e proporcionando a ventilação necessária para a decomposição dos corpos.
- Recuo de cinco metros na área de sepultamento em relação ao perímetro do cemitério. Pode aumentar devido as características hidrogeológicas da área.
- Distância de corpos d'água superficiais e subterrâneas, de acordo com estudos para a obtenção da Licença Ambiental.
- Sistema de drenagem dentro dos cemitérios para a captação de águas pluviais, evitando contaminação e erosão do local.
- Corpos sepultados deverão estar envoltos de mantas/urnas/caixões biodegradáveis, sem que tenham em sua composição elementos nocivos a qualidade das águas.
- Os resíduos sólidos, não humanos (como flores, velas, vasos entre outros), além daqueles da exumação dos corpos, deverão ter destino ambientalmente e sanitariamente adequados.

Porém, como é possível constatar em diversos cemitérios do Brasil, poucas dessas normativas são adotadas e seguidas corretamente.

6. RESULTADOS E INTERPRETAÇÃO

Geofísicos e Geotécnicos

- **Perfil I** - Esse perfil se localiza ao lado da avenida de acesso ao cemitério (FIGURA 8). Como pode ser observado no caminhamento elétrico e verificado em campo em aproximadamente 36 m após o início do perfil há um poço de cacimba, onde ao lado da rua é possível observar água do nível freático aflorando, a água possuía um aspecto cinza-esverdeado e como indicado na figura possui uma baixa resistividade, indicando assim uma alta condutividade, possivelmente associado a dissolução de sais na água e íons, que podem ser contaminantes. Neste mesmo perfil, logo a frente, em aproximadamente 86 m após o início do perfil, em superfície é um local similar a um banhado, exceto pelo fato de que há um afloramento de água que foi constatado depois como sendo um local aflorante da zona fraturada, evidenciada pelo perfil de caminhamento elétrico. Desse modo é possível determinar que as zonas com baixos resistivos estão associadas a zonas

saturadas de água com um possível aumento de sua salinidade, enquanto zonas com altas resistividades indicam a presença de rocha sã ou então matacões que não estão muito alterados. Zonas com resistividade entre 150 e 500 ohm.m, estão associados a um solo regolitizado.

- **Perfil II** - Esse perfil se localiza ao norte do cemitério, sendo em uma das vias de acesso ao mesmo (FIGURA 9). Como é possível observar, os altos resistivos associados a rocha sã, estão em maior presença nessa área do cemitério, os matacões presentes estão em profundidades de até 7 m, enquanto as zonas de baixo resistivos que estão associadas a zonas saturadas e uma possível elevação de sais dissolvidos se concentra no final do perfil e em 82 m do início do perfil, onde possivelmente ocorre a entrada de água no solo pouco profundo, encontra o topo da rocha sã e se dispersa pelas laterais se acumulando nos baixos da rocha sã, na qual não há nenhuma evidência de fraturas.

- **Perfil III** - Esse perfil se localiza no centro-leste do cemitério, em uma das vias de acesso ao mesmo (FIGURA 10). Como é possível observar a rocha sã está em grande profundidade, 18 m, sendo apenas o topo da rocha que possui um certo intemperismo associado. O manto de solo/regolito é espesso nessa localidade principalmente pela maior circulação de água na zona saturada que é evidenciada como o baixo resistivo. Como é possível observar há uma pluma de água, sendo essa possivelmente contaminada, no qual é possível evidenciar em superfície que em aproximadamente 52 m, é um local com um solo mais úmido e onde é possivelmente a entrada da percolação de águas pluviais que drenam o cemitério. No início do perfil em profundidades que variam de 0.4 m até 6 metros há a presença de matacões que em campo se apresentam bastante alterados e no final do perfil, há uma zona que está associada a aterro para a construção das vias de acesso principal ao cemitério.

FIGURA 8 - Perfil de Caminhamento Elétrico I denominado de Perfil Leste (Rua) com sua interpretação geolétrica e geotécnica.

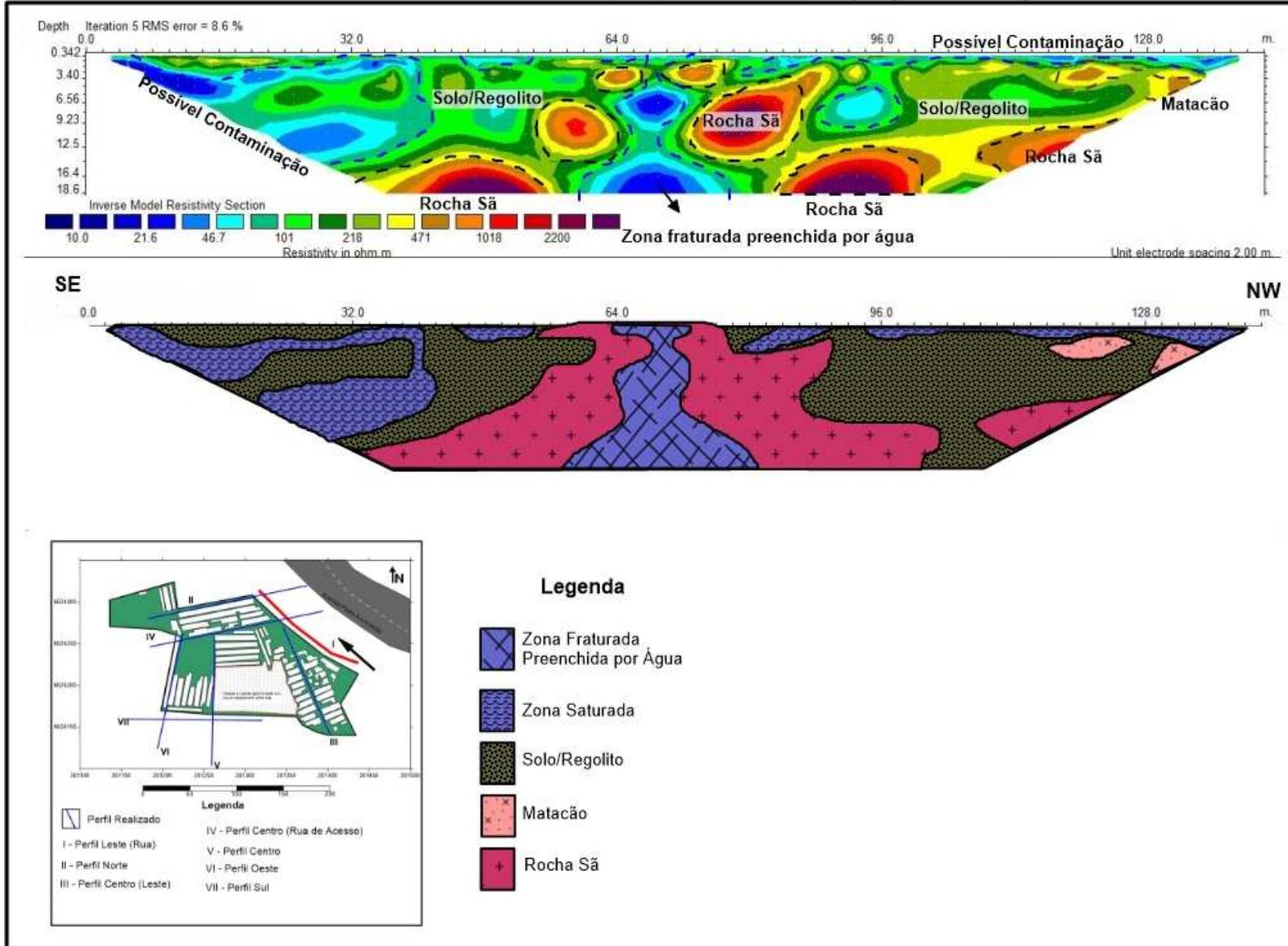


FIGURA 9 - Perfil de Caminhamento Elétrico II denominado de Perfil Norte com sua interpretação geolétrica e geotécnica.

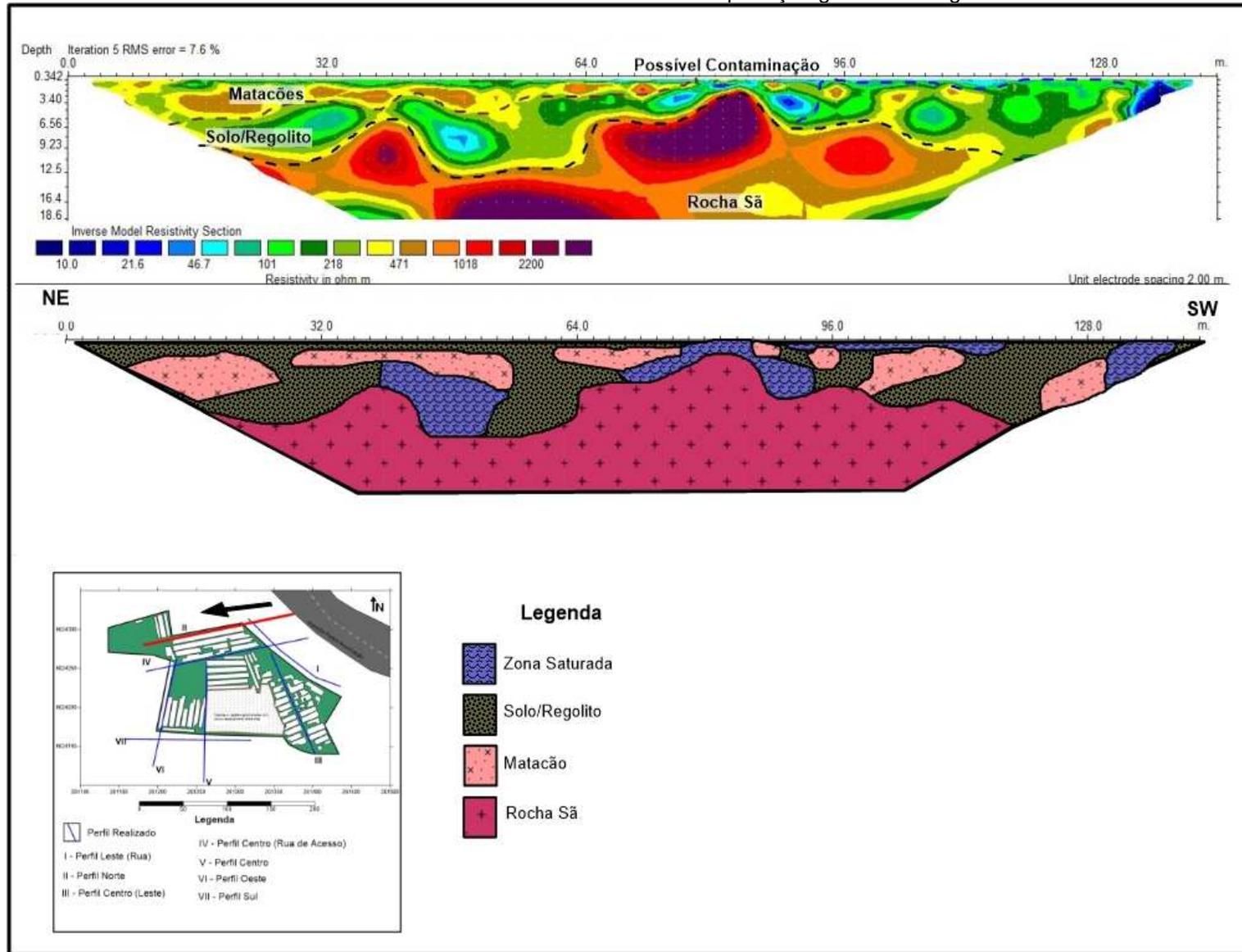
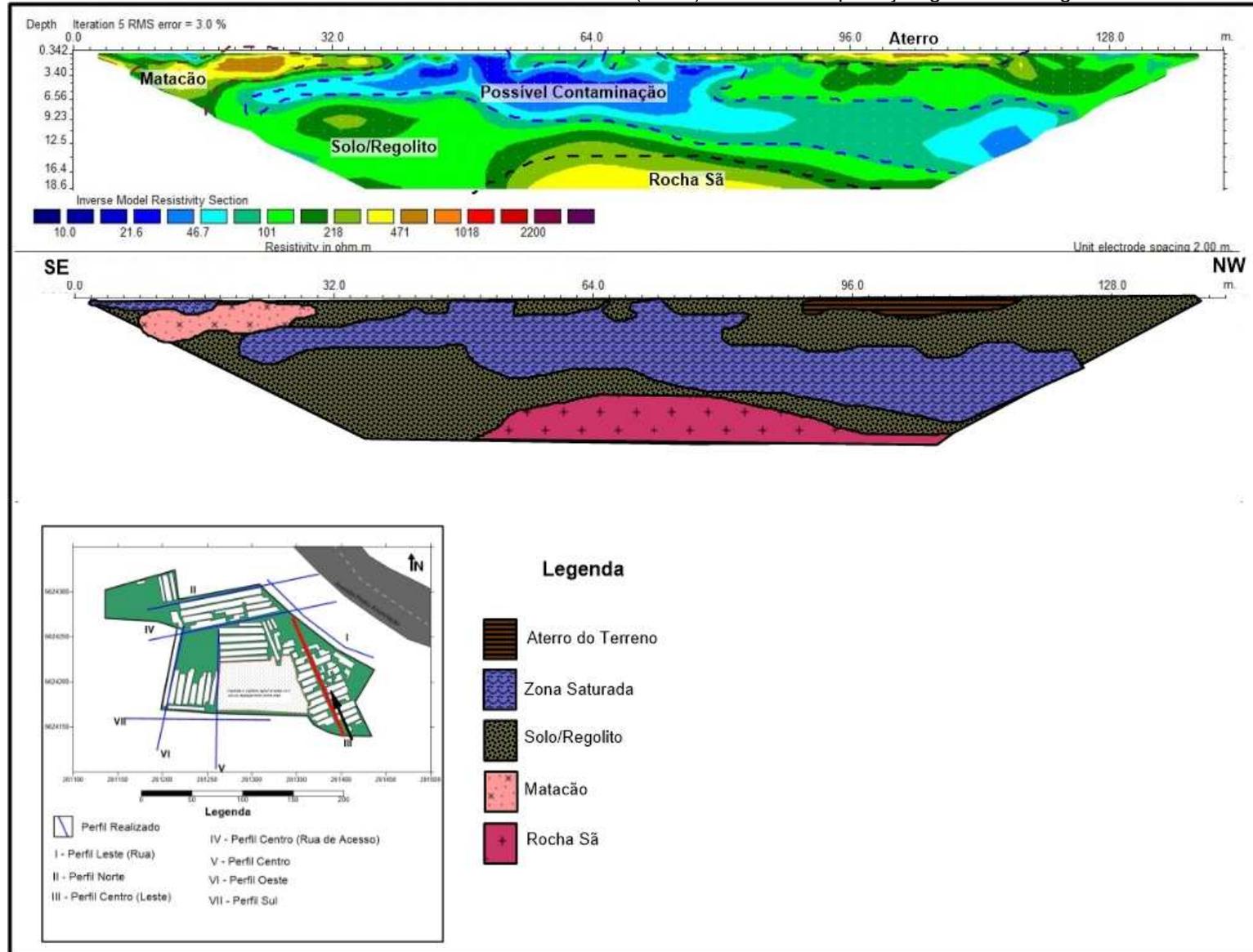


FIGURA 10 – Perfil de Caminhamento Elétrico III denominado de Perfil Centro (Leste) com sua interpretação geolétrica e geotécnica.



- **Perfil IV** - Esse perfil se localiza no centro do cemitério na via de acesso principal, que leva até o centro do cemitério (FIGURA 11). Nesse perfil, é possível a observação de diversos matacões pelo terreno dispersos no solo/regolito que possui uma grande profundidade, de até 18 m, enquanto o topo da rocha sã é evidenciado em apenas 88 m de distância do início do perfil, sendo o topo da rocha sã com um certo grau de intemperismo. Os altos resistivos mais superficiais são locais onde foi feito o aterro para a criação da via de acesso, que se caracteriza como uma via de terra compactada com presença de calcário que foi usado como a base do aterro. O único ponto em que há baixos resistivos é em aproximadamente 120 m, localizado próximo ao limite do cemitério onde possivelmente está associado a infiltração de águas pluviais no solo que se movimentam para leste devido a ser um baixo topográfico, como se pode ver no final do perfil.

- **Perfil V** - Esse perfil se localiza no centro do cemitério (FIGURA 12). Nesse perfil, é possível observar uma zona de aterro até 52 m do início do perfil. A rocha sã se localiza nas zonas com maior resistividade e mais profundas, o solo/regolito é espesso e varia até 18 m de profundidade. No final do perfil há a presença de um ou mais matacões, evidenciados como altos resistivos. Abaixo da zona do aterro há uma zona de baixo resistivo associado a zona saturada, que possivelmente possui contaminantes oriundos do cemitério. Além disso entre 64 m e 104 m há a presença de uma zona com baixo resistivo e superficial de até 4 m de profundidade, pode ser um local onde há a infiltração da água da chuva e de contaminantes, por ser localizado no centro do perfil ao lado da área mais antiga do cemitério, onde as capelas apresentam rachaduras horizontais e verticais na sua estrutura.

FIGURA 11 - Perfil de Caminhamento Elétrico IV denominado de Perfil Centro (Rua de Acesso) com sua interpretação geolétrica e geotécnica.

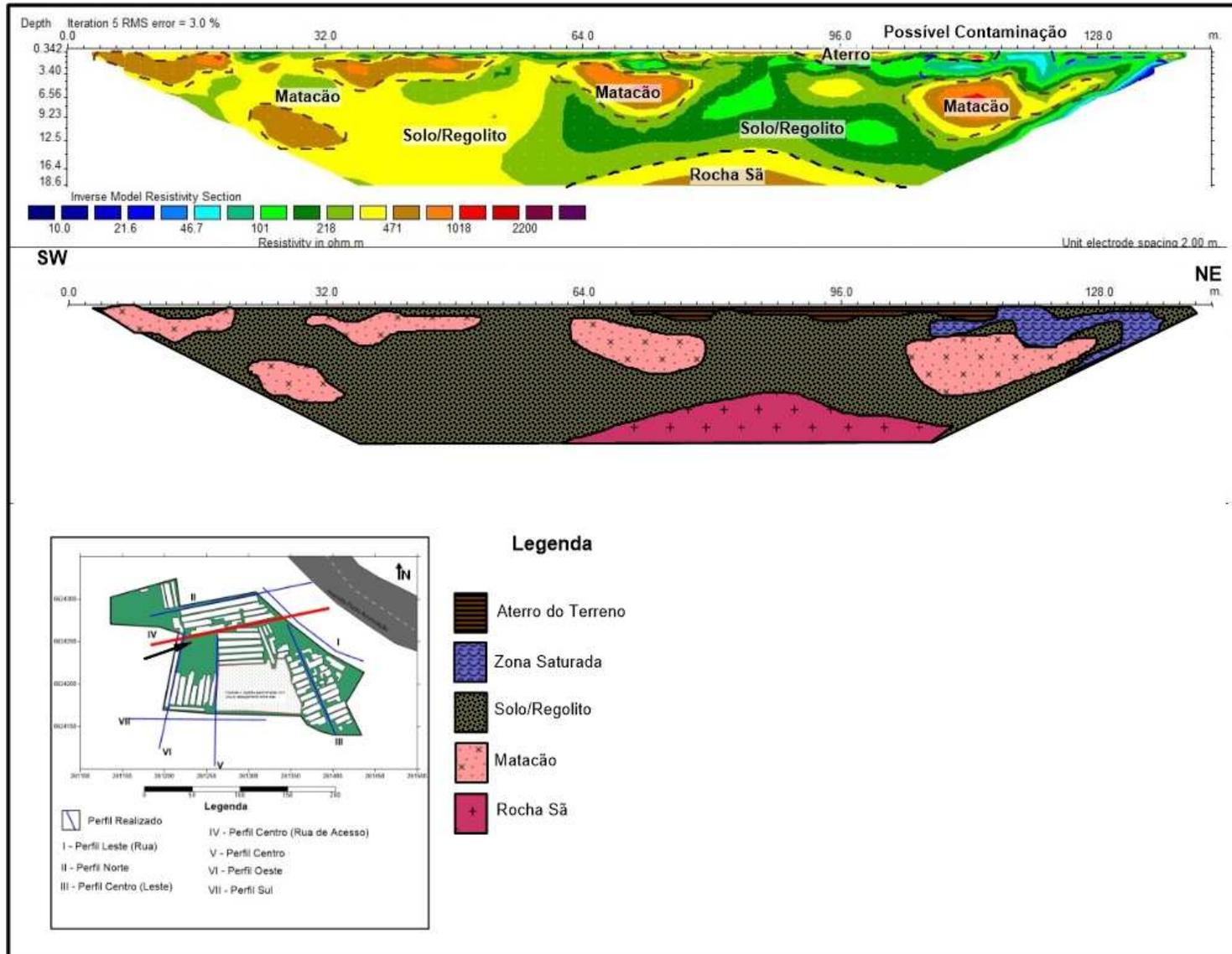
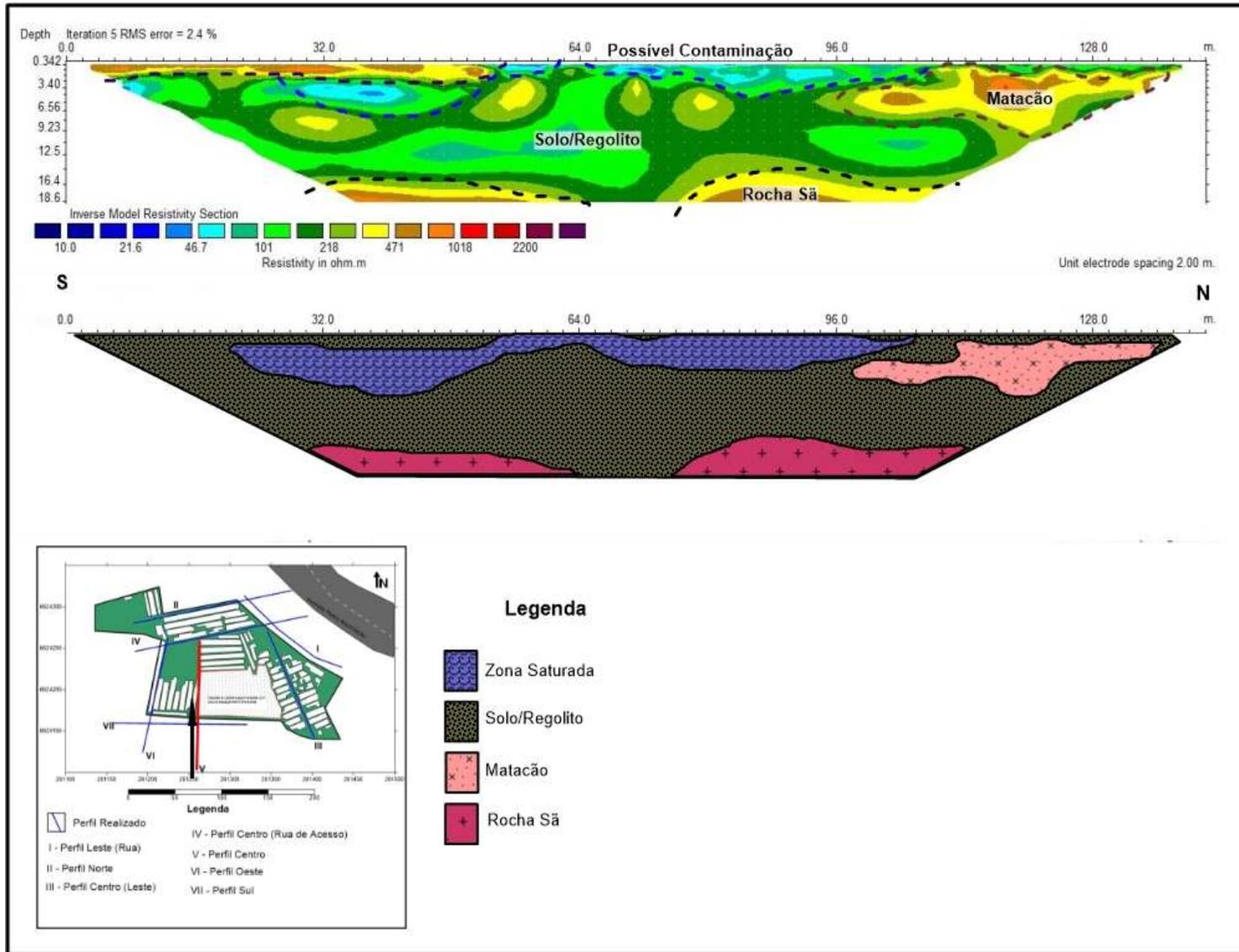


FIGURA 12 -- Perfil de Caminhamento Elétrico V denominado de Perfil Centro com sua interpretação geolétrica e geotécnica.



- **Perfil VI** - Esse perfil se localiza a oeste do cemitério (FIGURA 13). No início e no final do perfil é possível observar a presença da rocha sã, evidenciada pelos altos resistivos, além da presença de poucos matacões. Com uma estrutura parecida com um vale no centro do perfil, é onde se localiza a maior espessura de solo e exatamente no centro do perfil há apenas uma zona anômala de baixo resistivo, porém sem muita importância por se tratar de uma zona saturada que não aparenta ser uma pluma de contaminação, possivelmente é o ponto de entrada de água pluvial que se infiltra e percola para oeste no baixo topográfico.

- **Perfil VII** - Esse perfil se localiza no sul do cemitério (FIGURA 14). No início do perfil há a presença de matacões em superfície e evidenciado como sendo a rocha sã em subsuperfície. Há a presença de um possível matacão ou a rocha sã, com maior grau de intemperismo entre 32 e 64 m e uma pequena zona de baixo resistivo entre a rocha sã e o matacão. De 64 m até o final do perfil há a presença de diversos matacões em até 4 m de profundidade e posteriormente um solo/regolito com zonas de baixo resistivo possivelmente de concentração de água saturada em sais. Em superfície essa zona de 64 até o final é um banhado que está localizado em uma área mais baixa que o cemitério e próximo a um açude. Desse modo é possível que o solo/regolito também esteja saturado com água, porém apenas as zonas com baixo resistivo podem ser representantes de contaminação.

Enquanto nos mapas de subníveis (FIGURA 15) que foram gerados é possível retirar algumas informações pertinentes sobre a pluma de contaminação e seu fluxo no subterrâneo.

No primeiro subnível de profundidade a - 0,34 m, é possível a observação de um ponto em cima do Perfil III onde seria a entrada da água lixiviada do cemitério, sendo o início da pluma de contaminação. Os altos resistivos no centro da imagem representam a parte mais alta do cemitério, composta da rocha sã, enquanto no Perfil VII representa a rocha sã e alguns possíveis afloramentos/matacões.

No segundo subnível de profundidade a - 1,03 m, no Perfil III é possível observar o aprofundamento da pluma de contaminação e sua migração para NW. No Perfil I há a presença dessa pluma de contaminação.

FIGURA 13 - Perfil de Caminhamento Elétrico VI denominado de Perfil Oeste com sua interpretação geolétrica e geotécnica.

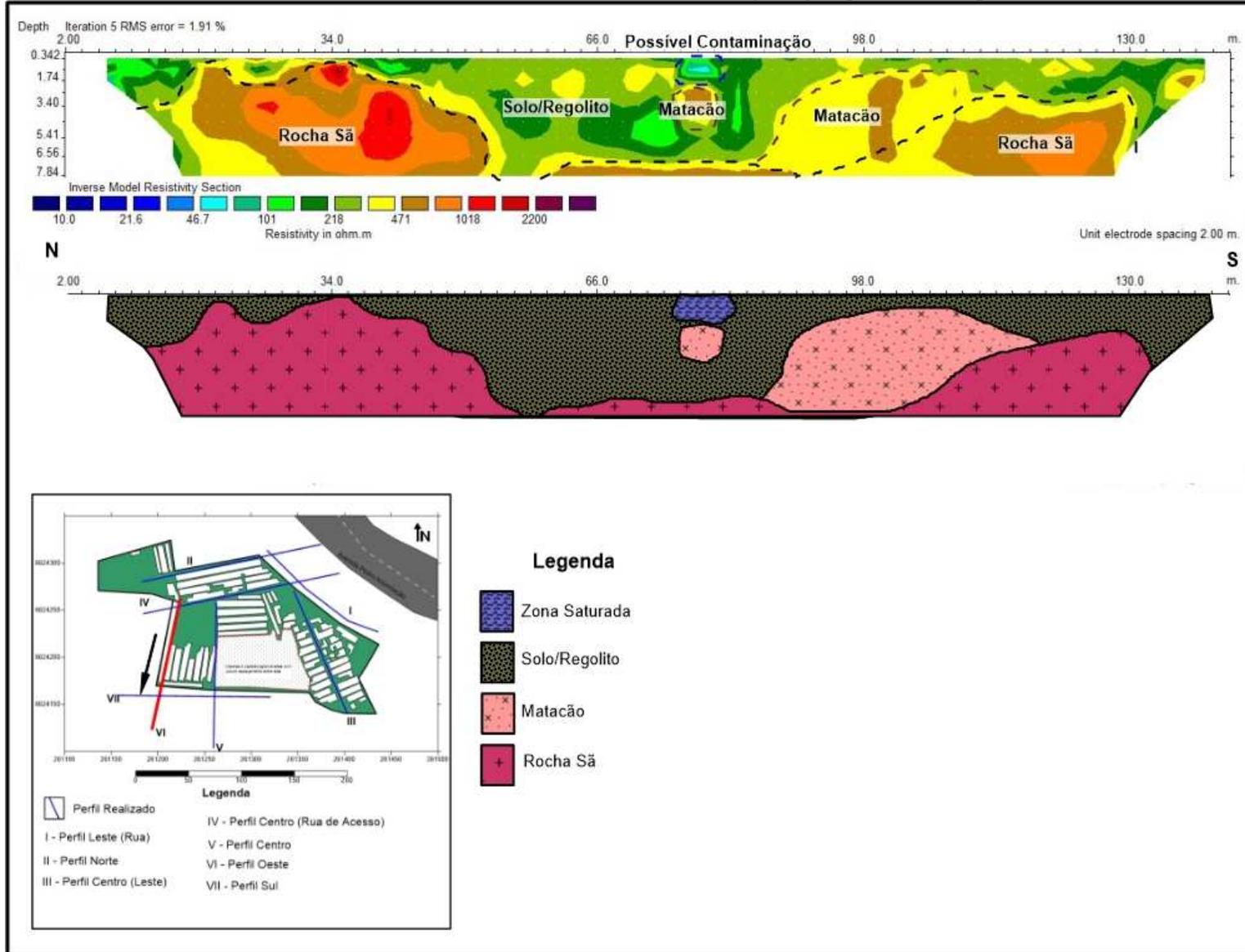
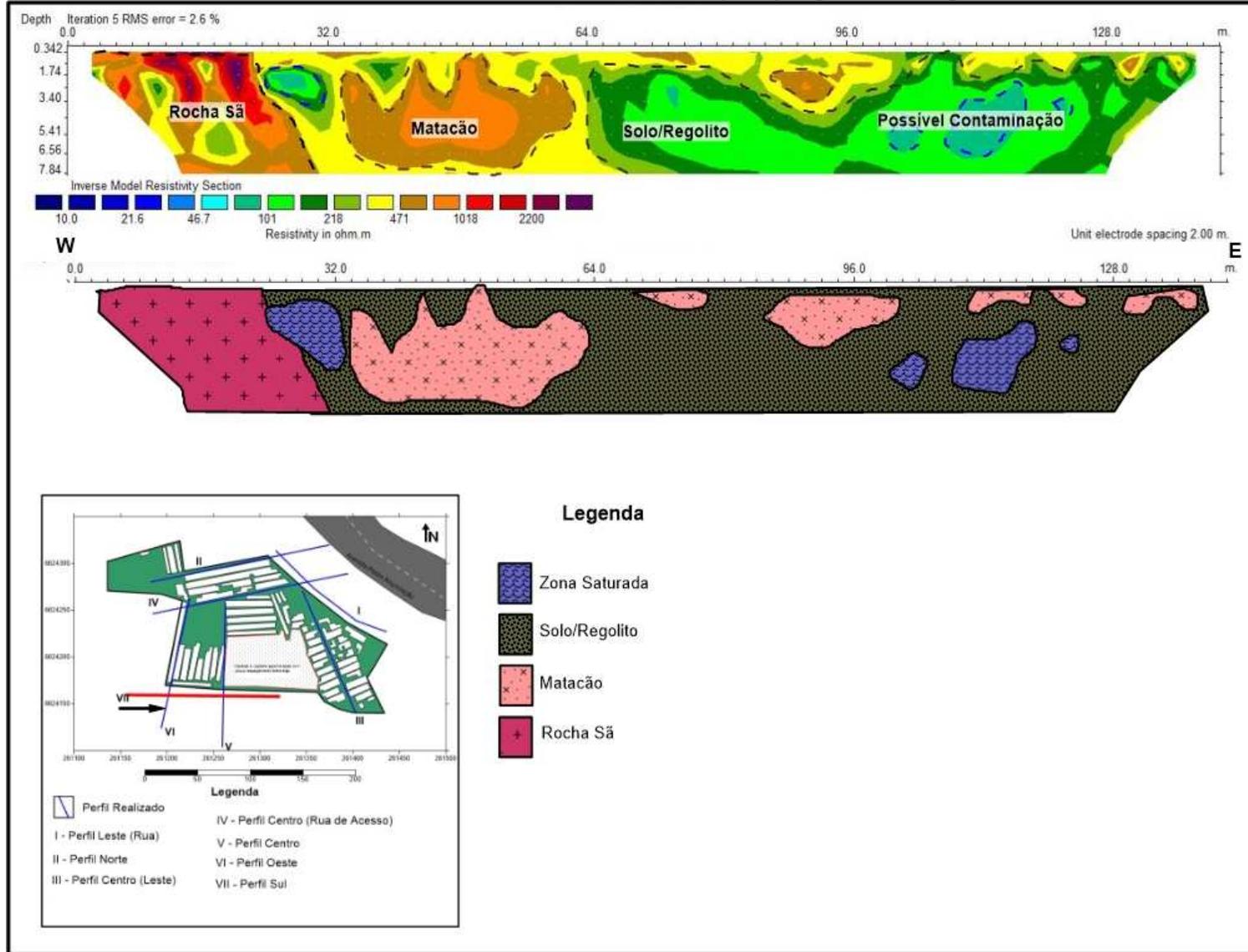


FIGURA 14 - Perfil de Caminhamento Elétrico I denominado de Perfil Sul com sua interpretação geolétrica e geotécnica.



No Perfil I há a presença dessa pluma de contaminação. No Perfil V há uma anomalia de baixo resistivo (também detectado a - 0,34) porém aumentando de tamanho.

No terceiro subnível de profundidade a -1,74 m, a pluma de contaminação do Perfil III aumenta de tamanho e continua sua migração para NW. Há uma pequena anomalia no Perfil V associado a uma possível pluma de contaminação de menor tamanho. Enquanto os altos resistivos são rocha sã ou matacões pouco alterados no solo/regolito.

No quarto subnível de profundidade a - 2,53 m, a pluma de contaminação no Perfil III continua seu aumento de tamanho e começa uma migração que além de ir para NW começa a se direcionar também para N.

No quinto subnível de profundidade a - 3,4 m, a pluma de contaminação se direciona para NW e para N indo em direção para o Perfil I.

No sexto subnível de profundidade a - 4,36 m, a pluma do Perfil III segue sua migração para NW atingindo o Perfil I, enquanto o mais baixo resistivo observado no Perfil VI está ligado a uma zona de banhado próximo a um açude, o que caracteriza o baixo resistivo devido a infiltração da água no solo/regolito.

No sétimo subnível de profundidade a - 5,41 m, a pluma de contaminação no Perfil III se 'dispersa' e diminui de tamanho e com migração para NW. Enquanto no meio dos Perfis II e IV e nos Perfis V e VI é possível observar duas anomalias de baixo resistiva, por não estarem acima dos perfis de caminhamento elétrico pode ser uma extrapolação que o programa realizou de forma errônea, não sendo necessariamente uma pluma de contaminação apenas um erro embutido do programa. Para a comprovação de tais anomalias, seria necessário realizar um caminhamento elétrico entre esses perfis ou uma sondagem elétrica vertical no centro das anomalias com a finalidade de comprovar.

No oitavo subnível de profundidade a - 6,56 m, a pluma de contaminação no Perfil III aumenta seu tamanho e tem sua migração para NW e N se conectando com o Perfil I. A zona anômala em volta dos Perfis VI e VII estão associadas a um erro de interpolação, que acaba gerando essas feições de '*bull eyes*', o que acaba tornando o interpolador 'inútil'.

FIGURA 15 - Composição dos mapas de resistividade aparente dos subníveis de investigação para todos perfis de aquisição.

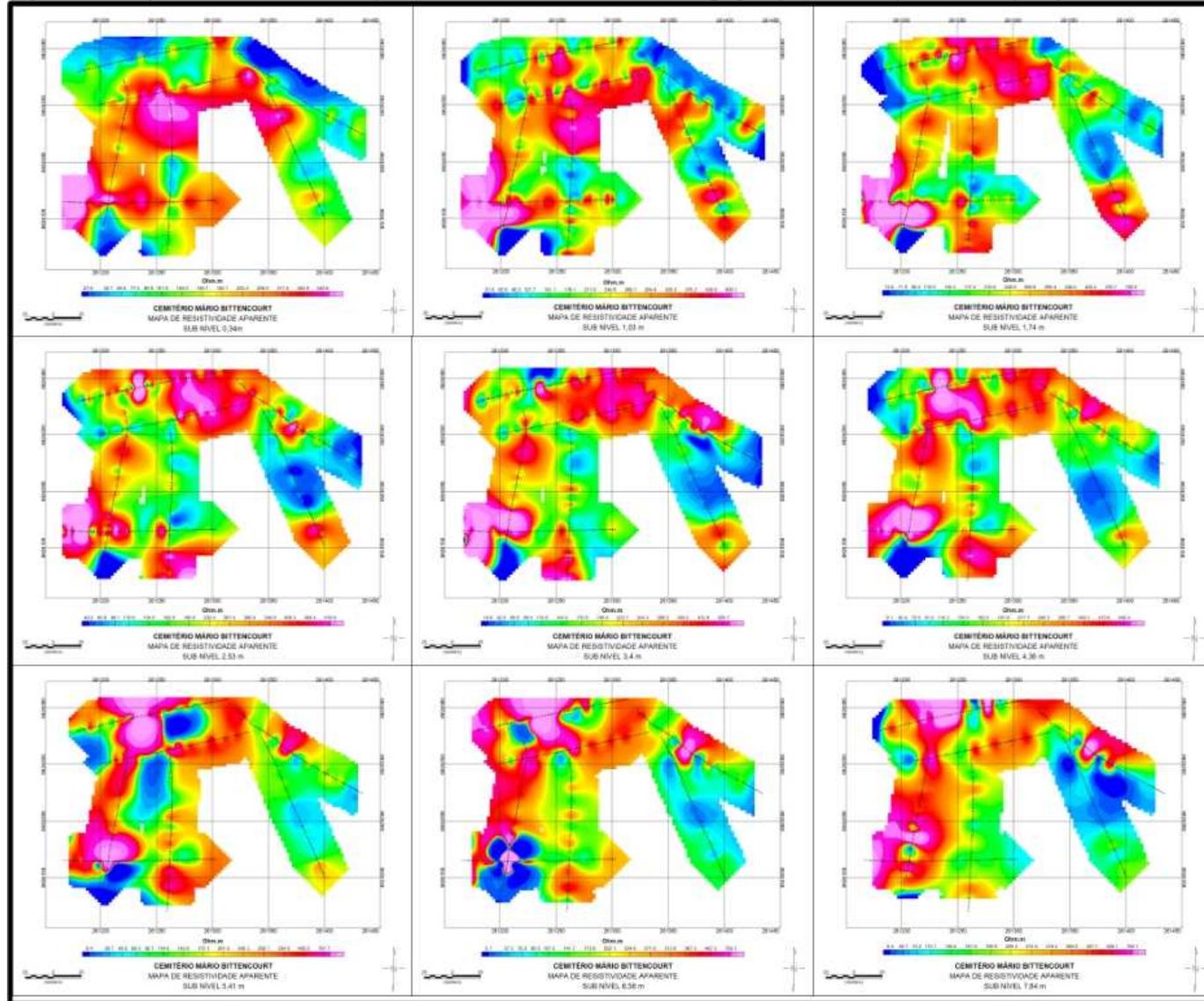
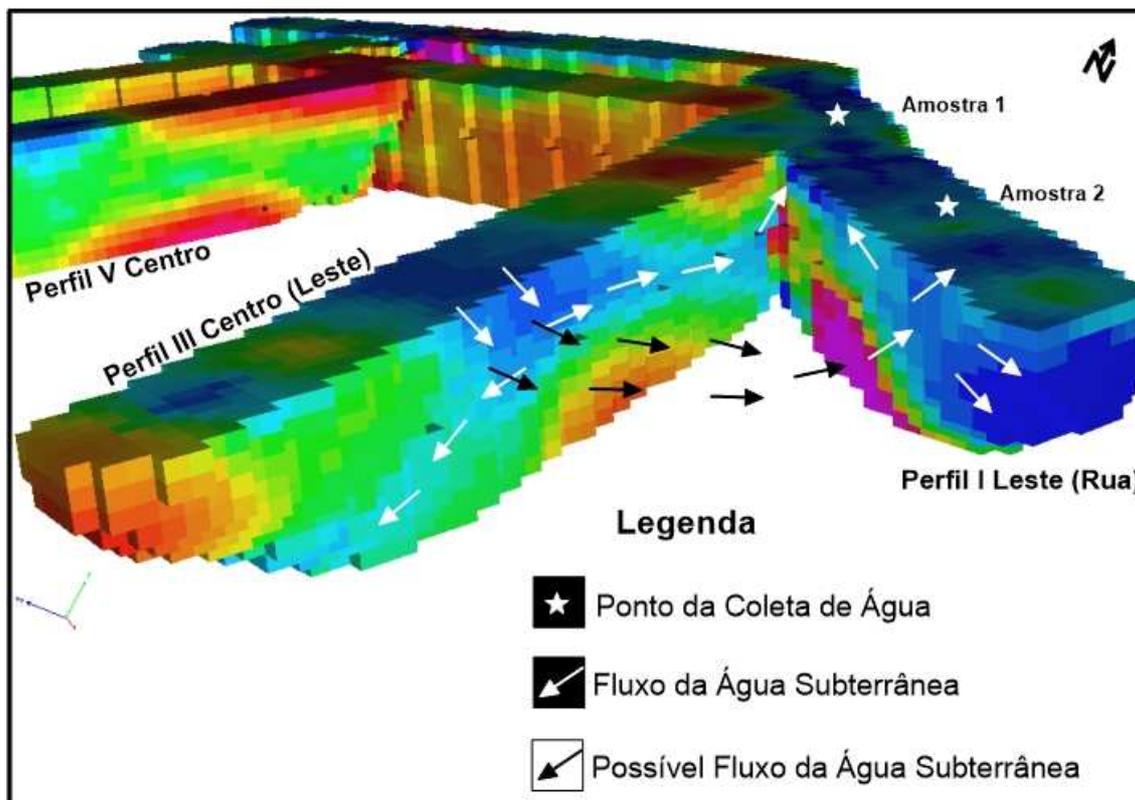


FIGURA 17 - Modelo 3D gerado, com ênfase nos Perfis I e III respectivamente, indicando a direção do fluxo da água subterrânea e os locais aflorantes que foram coletadas amostras de água.



Análises Microbiológicas, Físico-Químicas e Analíticas

TABELA 1 – Tabela com os resultados das análises Microbiológicas e Físico-Químicas realizadas no Laboratório de Química do Campus Caçapava do Sul (UNIPAMPA)

Análise	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3	Amostra 4
Coliformes Totais	Presente	Presente	Presente	Presente
<i>Escherichia Coli</i>	Ausente	Presente	Presente	Presente
Condutividade	151,7 $\mu\text{S/cm}$, 75,8 ppm de KCl-NaCl	203 $\mu\text{S/cm}$, 101,7 ppm de KCl-NaCl	58 $\mu\text{S/cm}$, 29 ppm de KCl- NaCl	37,5 $\mu\text{S/cm}$, 18,7 ppm de KCl-NaCl
pH	5,88	6,37	6,38	6,94
Alcalinidade	82 mg CaCO ₃ /L	98 mg CaCO ₃ /L	28 mg CaCO ₃ /L	16 mg CaCO ₃ /L
Dureza Total	72,5 mg/L CaCO ₃	112,5 mg/L CaCO ₃	135 mg/L CaCO ₃	40 mg/L CaCO ₃

Os resultados das águas coletadas deram positivo para a presença de coliformes fecais (FIGURA 18). Para a presença ou não de *Escherichia Coli*, apenas a Amostra 1 (Fratura) deu negativo, enquanto as outras três amostras deram positivo para sua presença.

FIGURA 18 – Tubos de ensaio com coloração amarelada, comprovando a presença de coliformes fecais nas amostras de água coletadas.



Para os resultados de condutividade não apresentaram valores anômalos, sendo considerados normais. Para as Amostras 1 e 2 os maiores valores estão associados a maior permanência no subterrâneo e conseqüentemente uma maior dissolução dos minerais do granito/solo/saprolito, enquanto das Amostras 3 e 4, por serem mais superficiais, apresentariam valores mais baixos de condutividade. Outro fator que pode ter mascarado os resultados foram as chuvas que ocorreram um dia antes da coleta das amostras, sendo necessário coleta da água em um período que não tenham ocorrido chuvas.

Para os resultados obtidos para o pH não apresentam valores anômalos, estando dentro do permitido pela OMS (2011), sendo apenas o pH da Amostra 1 que não está entre o limite indicado para o pH de água potável, isso pode ser

explicado pela acidificação das águas quando percolam pelo granito podendo ter um enriquecimento em íons como flúor e cloro, diminuindo o pH. Enquanto para as Amostras 2, 3 e 4 os valores se mantiveram abaixo de 7, sendo levemente ácidas. Como dito posteriormente esse resultado pode ter sido mascarado pelas chuvas que ocorreram um dia antes da coleta das amostras.

Para os resultados obtidos para a alcalinidade total, seus valores se mantiveram nos valores de referência da OMS (2011), onde os maiores valores da Amostra 1 e 2 podem ser justificados por serem águas com um fluxo subterrâneo e maior contato com minerais que elevam a alcalinidade da água.

Para os resultados obtidos para a dureza total, seus valores se mantiveram abaixo dos 500 mg/L de CaCO_3 , que é o máximo considerado apropriado para consumo humano (OMS, 2011).

Para as análises de elementos metálicos e posterior comparação com a tabela de potabilidade da OMS (2011), foram separados 8 elementos para analisar, considerando sua possível ocorrência. Essas análises foram realizadas no Laboratório de Análises Químicas – LACHEM na Universidade Federal de Santa Maria.

Os elementos escolhidos, que a princípio seriam analisados, foram os seguintes:

Chumbo (Pb), Zinco (Zn) e Prata (Ag): Por serem elementos que são utilizados na fabricação de caixões;

Cobre (Cu) e Cromo (Cr): Por serem elementos que a população de Caçapava do Sul está mais exposta devido a antiga mineração de cobre na região e a presença de um curtume próximo ao cemitério, os quais podem bioacumular no organismo humano e ser disperso durante a composição;

Alumínio (Al), Bário (Ba) e Ferro (Fe): Por serem elementos comuns em rochas graníticas e que podem estar sendo solubilizados nas águas subterrâneas na região.

Para realizar a análise no Espectrômetro de Absorção Atômica por atomização em chama é necessário realizar a curva de calibração para cada elemento que deseja a ser analisado. Feito isso é realizado as análises em triplicata e o próprio programa do aparelho realiza a conversão de absorbância para mg/L ou $\mu\text{g/L}$, dependendo do tipo de elemento que se deseja analisar. Os resultados podem ser observados na Tabela 2.

TABELA 2 – Tabela com os resultados dos elementos analisados para cada amostra de água coletada.

Elemento	Amostra Branco	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3	Amostra 4
Chumbo	MND	MND	MND	MND	MND
Zinco	MND	MND	MND	MND	MND
Prata	MND	MND	MND	MND	MND
Cobre	ND	ND	ND	ND	ND
Cromo	MND	MND	MND	MND	MND
Alumínio	ND	0,486 mg/L	ND	8,395 mg/L	ND
Bário	MND	MND	MND	MND	MND
Ferro	ND	0,487 mg/L	ND	51,48 mg/L	ND

Durante o início das análises com o Cu, foi perceptível que os elementos que possuem baixos valores permitidos para a água potável (OMS, 2011) não seriam detectados pois seus limites de detecção não são compatíveis com o método AAS atomizado por chama, sendo apenas para valores próximos e acima de 0,5 mg/L, menores que esses valores ou não são detectados ou caem fora da curva de calibração tendo um erro muito alto embutido na análise. Desse modo os elementos que o Método Não Detecta (MND) não foram analisados, evitando-se desperdício de reagentes, material e amostra, para ser obter o resultado que já se havia previsto na análise do Cu.

Porém elementos como o Fe e Al foram detectados em duas amostras (Amostra 1 e 3). Os altos valores encontrados na Amostra 3 ocorrem provavelmente em razão de ter sido realizada coleta em subsuperfície (aproximadamente 30 cm de profundidade). Ocorreu uma mistura da água estagnada no banhado com a do subterrâneo. Durante a coleta foi observado a presença de limonita na água e com ela tendo um aspecto mais 'viscoso' além de argilominerais que são ricos em alumínio. De qualquer modo quando essa água se mistura com a água de rios/açudes ocorre uma diluição e consequente diminuição desse valor, que não deve exceder 0,2 mg/L de alumínio e estar até 2 mg/L de ferro, para poder ser consumida (OMS, 2011).

Com relação a Amostra 1, os valores encontrados para alumínio são maiores que os permitidos pela OMS e estão abaixo do permitido de ferro. De

certa maneira o valor acima de alumínio pode ser explicado pela percolação em subsuperfície e dissolução de plagioclásio e feldspato potássico, que possuem alumínio em sua fórmula química. Enquanto o ferro seria explicado pela dissolução da biotita e hornblenda presente na Suíte Granítica Caçapava do Sul. Porém pode-se considerar que esses valores não são oriundos da influência do cemitério, mas como visto a presença de coliformes totais nas análises microbiológicas e evidenciado o fluxo subterrâneo da água, abaixo do cemitério, é possível confirmar que há sim uma contaminação devido ao cemitério.

7. CONCLUSÃO

Foi detectado uma pluma de contaminação no Perfil III Centro (Leste) que se conecta a uma zona de fraturas no Perfil I Leste (Rua) onde há uma nascente de água subterrânea, que foi observada em campo e confirmada pelo modelo 3D de eletrorresistividade gerado. As Amostras 1 e 2 coletadas de água, apresentaram coliformes totais e *Escherichia Coli* que são influência única e exclusivamente do cemitério pela percolação da água subterrânea, enquanto as Amostras 3 e 4 podem ter influência do cemitério, porém podem também estarem conectadas a presença de animais de sangue quente.

Os valores das análises físico-químicas não apresentaram nenhum valor acima do permitido pela OMS (2011), sendo explicados os maiores valores para as Amostras 1 e 2 como a percolação das águas subterrâneas, que acabam dissolvendo os minerais ricos em elementos alcalinos (Ca, Na, K, Mg), aumentando assim sua dureza total, alcalinidade total e condutividade.

Os valores de alumínio encontrado na Amostra 1 que estão acima do permitido pela OMS (2011), ajuda a embasar o não uso da água para consumo humano. Porém de acordo com a resolução do CONAMA 420/2009, o valor permitido máximo para alumínio e águas subterrâneas é de 3,5 mg/L (nesse caso estaria dentro das normas), porém a resolução do CONAMA 396/2008, indica que para consumo humano esse valor esteja no mesmo tabelado pela OMS (2011), porém permitindo assim o uso dessa água para irrigação e dessedentação de animais. Pois esse valor de alumínio encontrado pode não ser necessariamente uma contaminação devido ao cemitério, apenas valores

de *background* do próprio solo. Podendo assim, como sugestão para trabalhos futuros, realizar uma análise do solo para os elementos já citados.

Os perfis de caminhamento elétrico que não foram conclusivos para evidenciar verdadeiras plumas de contaminação podem ser utilizados para agregar maior conhecimento geotécnico da região de Caçapava do Sul.

A importância do trabalho realizado foi da constatação de que há contaminação nas águas subterrâneas do cemitério, provocada pelo mesmo, inibindo o uso dessa água (da zona de fratura e do poço cacimba) para seres humanos, por acarretar perigos na contração de doenças e acúmulo de elementos químicos (que não puderam ser detectados, como previamente se tinha pretensão), porém com os resultados obtidos, foram suficientes para realizar tal constatação. Pois a contaminação da água e o seu consumo por seres humanos é uma das principais fontes de disseminação de doenças, por isso se faz cada vez mais necessário realizar estudos que comprovem e inibam o uso de águas contaminadas pelos seres humanos, melhorando assim a saúde pública e a qualidade de vida das pessoas que moram em regiões que possuam contaminação e não possuem ciência do perigo que diversas atividades antrópicas podem ter durante a sua vida. Pois por menor que seja a contaminação, e por décadas de exposição aos diversos contaminantes, pode sim desenvolver diversas doenças.

Infelizmente a temática de estudos ambientais da influência de necrópoles à população é desconhecida e desconsiderada pelos órgãos públicos, que até hoje não possuem uma legislação que trate estritamente sobre esse assunto, tendo apenas leis pontuais que tentam 'regularizar' uma atividade que nunca irá parar e tende a aumentar ainda mais. Desse modo a conscientização da população sobre os riscos que os cemitérios acarretam, a criação de uma legislação mais específica e a maior fiscalização dos órgãos públicos é o ideal para que essa atividade não se torne o mártir do ser humano nas próximas décadas.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA R.P. **Evolução tectono-sedimentar da Formação Santa Bárbara na Sub-bacia Camaquã Ocidental**, RS. Dissertação de Mestrado. Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 160 p. 2001.

BANDARRA, E. P.; SEQUEIRA, J. L. **Tanatologia: fenômenos cadavéricos transformativos. Thanalogy: transformatives cadaveric phenomenons**; Rev. educ. contin. CRMV-SP *Continuous Education Journal* CRMV-SP, São Paulo, volume 2, fascículo 3, p.072-076, 1999.

BITENCOURT, M.F.; HARTMANN, L.A. **Geoquímica das rochas anfíbolíticas da região de Caçapava do Sul, RS. Parte I: Caracterização geológica e petrográfica, elementos maiores e menores**. Anais do XXXIII Congresso Brasileiro de Geologia (Rio de Janeiro, Brasil). 1984.

BORBA, A. W. 2006. **Evolução geológica da “Bacia do Camaquã” (Neoproterozóico e Paleozóico Inferior do Escudo Sul-rio-grandense, RS, Brasil): uma visão com base na integração de ferramentas de estratigrafia, petrografia e geologia isotópica**. Tese de Doutorado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 109 p.

BORTOLIN, J.R.M. & MALAGUTTI FILHO, W. **Método da eletrorresistividade aplicado no monitoramento temporal da pluma de contaminação em área de disposição de resíduos sólidos urbanos**. Engenharia Sanitária Ambiental, v. 15, n.4, p. 367-374, 2010.

BRAGA, A. C. O. **Métodos Geométricos Aplicados**. Apostila do curso de Geologia, Instituto de Geociências e Ciências Exatas – UNESP, Rio Claro (SP), 1999.

CARDOZO, M.; LIMA, K.S.C.; FRANÇA, T.C.C.; LIMA, A.L.S. **Aminas Biogênicas: Um Problema de Saúde Pública**. Revista Virtual Química, 2013, 5 (2), 149-168, ISSN 1984-6835, 2013.

CARVALHO P.F. **Reconhecimento Geológico no Estado do Rio Grande do Sul**. Boletim do Instituto Geológico e Mineralógico Brasileiro, Rio de Janeiro, 66:1-72. 1932.

CASTRO, D.L. **Caracterização geofísica e hidrogeológica do cemitério Bom Jardim, Fortaleza - CE**. Revista Brasileira de Geofísica, v.26, n.3, p 251-271, 2008

CETESB, Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Valores orientadores para solo e água subterrânea no estado de São Paulo – 2014**. Publicado no Diário Oficial Estado de São Paulo - Caderno Executivo I (Poder Executivo, Seção I), edição nº 124 (36) do dia 21/02/2014, Página: 53.

Disponível em << <http://www.cetesb.sp.gov.br/userfiles/file/solo/valores-orientadores-2014.pdf> >> Acessado em: 16/06/2015 as 22:01 hrs.

CONAMA, Conselho Nacional de Meio Ambiente. **Resoluções nº 335/2003, nº 368/2006, nº 402/2008.** Brasília. Disponível em << <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiano.cfm?codlegitipo=3> >> Acessado em: 16/06/2015 as 22:02 hrs.

CPRM. Companhia De Pesquisa De Recursos Minerais. Diretoria de Hidrologia e Gestão Territorial. **Projeto Mapa Hidrogeológico do Rio Grande do Sul, escala 1:750.000.** Brasília, 2005.

CPRM. Companhia De Pesquisa De Recursos Minerais. **Projeto SIG de Disponibilidade Hídrico. 2007. Mapa de Domínios e Subdomínios Hidrogeológicos do Brasil. Sistema de Informações Geográficas de Disponibilidade Hídrica. Escala 1:2.500.000.** Brasília, DF.

CPRM; Companhia De Pesquisa De Recursos Minerais. **Mapa Geológico do Rio Grande do Sul, escala 1:750.000. Produto derivado do Projeto Geologia do Brasil ao Milionésimo – Programa Geologia do Brasil.** Ministério de Minas e Energia. Brasília, 2007.

EMBRAPA, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Solos - Sistema brasileiro de classificação de solos.** Rio Grande do Sul: Embrapa Solos, 1999.

FACHIN, S. J. S.; HUBER, F.; SHIRAIWA, S.; BORGES, W.R.; MIGLIORINI, R.B. **Aplicação de métodos geofísicos para identificar áreas contaminadas por resíduos de um curtume.** Rev. Bras. Geof. [online]. 2006, vol.24, n.1, pp. 129-138. ISSN 0102-261X.

FAMBRINI G.L. **O Grupo Santa Bárbara (Neoproterozóico III) da Bacia do Camaquã, Rio Grande do Sul.** Tese de Doutorado, IG-USP, São Paulo, SP. 264p. 2003.

FAMBRINI, G.L.; JANIKIAN, L.; PAES DE ALMEIDA, R.; FRAGOSO-CÉSAR, A.R.S. (2005) **O Grupo Santa Bárbara (Ediacarano) na sub-bacia Camaquã Central, RS: estratigrafia e sistemas deposicionais.** Revista Brasileira de Geociências, v.35 (2), pp. 227-238

FIGUEIREDO, W.S. **Mapeamento da resistividade elétrica do solo no entorno do Aterro Sanitário de Formosa. Planaltina,** 2012, 45p. Monografia (Bacharel em Gestão Ambiental), Universidade de Brasília.

FIGUEIREDO FILHO, Y.A. **Contaminação do solo e das águas subterrâneas por sepultamentos de carcaças de animais no solo** [dissertação de mestrado] São Paulo: Departamento de Geografia da Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da USP; 2011

FRAGOSO-CÉSAR, A. R., FAMBRINI, G., ALMEIDA, R., PELOSI, A. P., JANIKIAN, L., NOGUEIRA, A., RICCOMINI, C., **As Coberturas do Escudo Gaúcho no Rio Grande do Sul: Revisão e Síntese** (Abst.). XI Congreso Latinoamericano de Geología e III Congreso Uruguayo de Geología, Uruguay. 2001.

FUNASA, Fundação Nacional de Saúde. **Cemitérios como fonte potencial de contaminação das águas subterrâneas. Região de Cuiabá e Várzea Grande – MT** – Brasília: Funasa, 2007. 118 p.: il.

GALLAS, J.D.F.; TAIOLI, F.; MALAGUTTI FILHO, W. **Indexed polarization, resistivity, and self-potential: a case history of contamination evaluation due to landfill leakage**. Environment Earth Science, v. 63, p 251-261, 2011

GOOGLE, **Google Earth Maps**. Programa Gratuito.

KEAREY, P.; BROOKS, M.; HILL, I.; **An Introduction to Geophysical Explorations; Tradução Oficina de Textos: Geofísica de Exploração;** COELHO, M.C.M. 2009

LAGO, A.L. 2009. **Investigação geofísica 2D e 3D com aplicação em meio ambiente: estudo sobre uma área de disposição de resíduos de óleo lubrificante no município de Ribeirão Preto - SP**. Tese de Doutorado, Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas, Universidade de São Paulo, SP, 194p.

LAUREANO, A.T. **Estudos geofísicos no aterro sanitário de Cuiabá - MT. Cuiabá**, 2007, 149p. Dissertação (Mestrado em Física e Meio Ambiente) Programa de Pós-Graduação em Física e Meio Ambiente, Universidade Federal do Mato Grosso.

LEITE, J., MCNAUGHTON, N., HARTMANN, L., CHEMALE JR., F., **Age and tectonic setting of metabasalts and metagranitoids from the Cerro Mantiqueiras region: evidences from SHRIMP U/Pb zircon dating and Pb/Pb**. In: 5 Simpósio Nacional de Estudos Tectônicos, Vol. 1, pp. 389-390. 1995.

MOREIRA, C.A. **Aplicação do método eletromagnético transiente em área contaminada sob atenuação natural**. Rio Claro, 2005. 161p. Dissertação (Mestrado em Concentração em Geociências e Meio Ambiente) Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista.

MOREIRA, C.A. **Geofísica aplicada no monitoramento de área de disposição de resíduos sólidos domiciliares**. Rio Claro, 2009. 167 p. Teses (Doutorado em Concentração em Geociências e Meio Ambiente) Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista.

MOREIRA, C. A.; OLIVEIRA, M. T. de.; SILVA, A. C. da. **Estudo geofísico em aterro controlado disposto sobre rochas fraturadas**. *Ambi-Agua*, Taubaté, v. 6, n. 2, p. 180-190, 2011

MOURA, H.P. & MALAGUTTI FILHO, W. **Métodos da Eletrorresistividade e da Polarização Induzida Aplicados na Área de Disposição de Resíduos Urbanos: Aterro Controlado de Rio Claro - SP**. *Geociências*, v. 22, n. Especial, p. 129-139, 2003.

NARDI, L.V.S.; BITENCOURT, M.F., 1989. **Geologia, petrologia e geoquímica do Complexo Granítico de Caçapava do Sul, RS**. *Revista Brasileira de Geociências*. v.19, n.2, p. 153-169

NASCIMENTO, T.S.; PEREIRA, R.O.L.; MELLO, H.L.D.; COSTA, J. **Methemoglobinemia: from diagnosis to treatment**. *Rev. Bras. Anestesiologia*. 2008, vol.58, n.6, pp. 651-664. ISSN 0034-7094.

OMS, Organização Mundial de Saúde. **Guidelines for drinking-water quality - Volume 1: Recommendations**. 3rd Edition. 668p. ISBN: 978 92 4 154761 1, 2011. [Web Version]. Disponível em << http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/gdwq3rev/en/ >> Acessado em: 16/06/2015 as 22:04 hrs.

PACHECO, A. **Os cemitérios como risco potencial para as águas de abastecimento**. *Revista do Sistema de Planejamento e Administração Metropolitana*, São Paulo, n. 17, ano IV, p. 25-31, 1986.

PAIM P.S.G. **Depositional Systems and Paleogeographical Evolution of the Camaquã and Santa Bárbara Basins, Brazil**. Phil. Doctor Thesis, Oxford. v.I, 277 p. (inédito). 1994.

PAIM, P., CHEMALE JR., F., LOPES, R. C., **A Bacia do Camaquã. Geologia do Rio Grande do Sul**, Holz, M., De Ros, L.F. (Eds.), 231-274, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brazil. 2000.

REMUS, M., MCNAUGHTON, M., HARTMANN, L., FLETCHER, I., **Gold in the Neoproterozoic juvenile Bossoroca Volcanic Arc of southernmost Brazil: isotopic constrains on timing and sources**, Journal of South America Earth Sciences, Vol. 12, pp. 349-366. 1996.

REMUS, M.V.D.; HARTMANN, L.A.; MCNAUGHTON, N.J.; GROVES, D.I. & FLETCHER, I.R. **The link between hydrothermal epigenetic cooper mineralization and the Caçapava Granite of the Brazilian Cycle in southerne Brazil**. Journal of South American Earth Sciences, v.13, p. 191-216. 2000.

RIBEIRO, M., BOCCHI, P., FIGUEIREDO FILHO, P., TESSARI, R., **Geologia da Quadrícula de Caçapava do Sul, Rio Grande do Sul – Brasil**. Divisão de Fomento da Produção Mineral, Boletim 127. 1966.

SARAIVA, F.A. **Avaliação de Métodos Geofísicos no Comportamento Espacial de Plumas de Necrochorume**. São Paulo, 2010, 103p. Tese (Doutorado do Programa de Pós-Graduação em Recursos Minerais e Hidrogeologia) - Instituto de Geociências - Universidade de São Paulo.

SEMA/DRH. **Secretaria do Meio Ambiente do Rio Grande do Sul/ Departamento de Recursos Hídricos**. Disponível em << <http://www.sema.rs.gov.br/> >>

SHARMA, V.P. **Environmental and Eingeering Geophysics**, 2^o Edition United Kingdon, Cambridge University Press, 2002.

SILVA, L. M. **Os Cemitérios na Problemática Ambiental**. In: SINCESP & ACEMBRA: Seminário Nacional “Cemitérios e Meio Ambiente”, São Paulo, 1995. 1., 1995. (Apostila).

SILVA, L. M. **Cemitérios fonte potencial de contaminação dos aquíferos livres**. In: Congresso Latino Americano De Hidrologia Subterrânea, Montevideo: ALHSUD, p.667-681, 1998.

SILVA, R.W. DA. **Aplicação do método da eletrorresistividade na investigação e mapeamento da contaminação por cemitérios - o exemplo do cemitério de Vila Rezende, Piracicaba/SP**. Rio Claro, 2008. 157 p.

Dissertação (Mestrado em Geociências e Meio Ambiente) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista.

SILVA, R.W.S & MALAGUTTI FILHO, W. **Cemitérios como áreas potencialmente contaminadas**. Revista Brasileira de Ciências Ambientais, número 9, p.26-35, 2008.

SILVA, R.W.S & MALAGUTTI FILHO, W. **O emprego de métodos geofísicos na fase de investigação confirmatória em cemitérios contaminados**. Engenharia Sanitária Ambiental, v.14, n.3, p327-336, 2009.

SILVA, R.W.S & MALAGUTTI FILHO, W. **Emprego do imageamento elétrico no estudo da contaminação por cemitérios**. Geociências, v.29, n.3, p. 343-354, 2010.

SKOOG, D. A.; HOLLER, F. J. & TIMOTHY, A. N., **Principles of Instrumental Analysis**. 5a Ed. Philadelphia, Harcourt Brace, 1998

SOLIANI, E. JR., **Os dados geocronológicos do Escudo Sul-Riograndense e suas implicações de ordem geotectônica**. Unpublished PhD. Thesis, Universidade de São Paulo, São Paulo, Brasil, 239 p. 1986.

SOUZA, M. & BOTELHO, R. A. **Métodos artificiais de tanatoconservação**. Revista Saúde, Ética & Justiça, Ed. 4(1/2): pg 33-47, 1999.

TELFORD, W. M.; GELDART, L. P.; SHERIFF, R. E. **Applied Geophysics**. 2o ed., New York, Cambridge University Press, 1990, p. 774.

XAVIER, F. F. & BERKENDROCK, P. E. **Mapeamento geoeletrico no aterro sanitário do município de Blumenau - SC**. 11º Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia e Ambiental, ABGE, Novembro de 2005, Florianópolis - SC. Tema 7 - Investigações Geológico-Geotécnicas.

YADYR, A.F.F. **Contaminação do solo e das águas subterrâneas por sepultamentos de carcaças de animais no solo**. São Paulo, 2011. Dissertação (Mestrado em Geografia Física), Departamento de Geografia da Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo.