

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Instituto de Geociências e Ciências Exatas

Campus de Rio Claro

FERNANDA VIEIRA XAVIER

**MÉTODOS GEOELÉTRICOS APLICADOS AO
DIAGNÓSTICO AMBIENTAL SUBSUPERFICIAL DO
CEMITÉRIO MUNICIPAL DE RIO CLARO, SP**

Rio Claro, SP
2015

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
Instituto de Geociências e Ciências Exatas
Campus de Rio Claro

FERNANDA VIEIRA XAVIER

**MÉTODOS GEOELÉTRICOS APLICADOS AO
DIAGNÓSTICO AMBIENTAL SUBSUPERFICIAL DO
CEMITÉRIO MUNICIPAL DE RIO CLARO, SP**

Tese de Doutorado apresentada ao Instituto de Geociências e Ciências Exatas do *Campus* de Rio Claro, da Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Geociências e Meio Ambiente.

Orientador: Prof. Dr. Walter Malagutti Filho

Rio Claro, SP
2015

551.4+ X3m Xavier, Fernanda Vieira
Métodos geoeletricos aplicados ao diagnóstico ambiental
subsuperficial do cemitério municipal de Rio Claro, SP /
Fernanda Vieira Xavier. - Rio Claro, 2015
180 f. : il., figs., gráfs., tabs., quadros, fots., mapas

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista,
Instituto de Geociências e Ciências Exatas
Orientador: Walter Malagutti Filho

1. Geografia física - Aspectos ambientais. 2. Cemitério. 3.
Geofísica. 4. Contaminação. 5. Eletroresistividade. 6.
Eletromagnético. I. Título.

Ficha Catalográfica elaborada pela STATI - Biblioteca da UNESP
Campus de Rio Claro/SP

FERNANDA VIEIRA XAVIER

**MÉTODOS GEOELÉTRICOS APLICADOS AO DIAGNÓSTICO
AMBIENTAL SUBSUPERFICIAL DO CEMITÉRIO MUNICIPAL
DE RIO CLARO, SP**

Tese de Doutorado apresentada ao Instituto de Geociências e Ciências Exatas do *Campus* de Rio Claro, da Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Geociências e Meio Ambiente.

Comissão Examinadora

Prof. Dr. Walter Malagutti Filho
Orientador
IGCE/UNESP/Rio Claro (SP)

Prof. Dr. Antônio Celso de Oliveira Braga
IGCE/UNESP/Rio Claro (SP)

Prof. Dr. César Augusto Moreira
IGCE/UNESP/Rio Claro (SP)

Prof. Dr. José Domingos Faraco Gallas
IG/USP/São Paulo (SP)

Prof. Dr. Robson Willians da Costa Silva
CENA/USP/Piracicaba (SP)

Resultado: Aprovado

Rio Claro, 13 de março de 2015.

À minha família, minha maior incentivadora, e aos amigos
amados, dedico.

Agradecimentos

Nietzsche, em *Crepúsculo dos ídolos*, já ressaltava que nossas verdadeiras experiências não são ditas, não são tagarelas. Para tudo aquilo que temos palavras, é porque já fomos além. Que as reais experiências, vivências, sentimentos, moram além das palavras....

Portanto, minhas simples palavras de agradecimento aqui descritas, não conseguem expressar verdadeiramente minha consideração por tais pessoas.

Começo, agradecendo às forças superiores por me concederem a saúde e a determinação necessárias para que eu pudesse realizar este trabalho.

Agradeço à minha família, base de sustentação de pilares nos quais eu me espelho; e à Samuel, companheiro de longa viagem, por estar ao meu lado, sempre.

Ao meu orientador prof. Dr. Walter Malagutti pela sábia orientação, apoio, incentivo e por acreditar que eu seria capaz de realizar este trabalho;

Aos professores César, Braga, Gallas e Robson, que contribuírem para enriquecimento da pesquisa nas bancas de qualificação e defesa;

Ao professor César, pela disponibilidade em ajudar com as coletas de dados com o equipamento EM34 e com o processamento de dados;

Ao professor Braga pela contribuição na realização do arranjo Gradiente e pelas valiosas sugestões acerca do processamento dos dados;

Ao técnico Francisco Manoel Garcia Barrero, o Paco, por sua amizade e inestimável ajuda nas coletas de dados no cemitério;

Á Rosângela Vacello pela dedicação, amizade, apoio, e pela prestatividade sempre que precisamos;

Á Maria Emília Auler, pela ajuda nas coletas de campo e pela concessão dos dados no arranjo Gradiente;

Aos colegas da Pós-Graduação e a todos aqueles que me ajudaram nas idas ao cemitério para a realização dos ensaios geofísicos, em especial: José

Ricardo, Maria Emília, Syngra, Lenon, Adriano, Henrique, Felipe, Roberto, e a todos não mencionados aqui, e que não são menos importantes;

Aos queridos amigos da Pós-Graduação, companheiros de “Sujinhos”, de boas risadas, mas também de momentos de estudo, conselhos e dificuldades. Obrigada pela troca de experiências e aprendizados. É bom saber que temos com quem contar muitas vezes!

Às colegas e amigas da república pela vivência, amizade, diálogos e trocas de saberes;

Ao Restaurante Universitário da UNESP, pelas ótimas refeições a preços módicos;

À cidade de Rio Claro, e bairro Bela Vista pela acolhida;

À Pós-Graduação em Geociências e Meio Ambiente;

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES pela bolsa concedida;

À Prefeitura Municipal de Rio Claro, pela liberação da pesquisa no Cemitério São João Batista;

À administração, e aos funcionários do Cemitério, pela prestatividade;

À empresa Geocia, pela concessão dos dados analíticos;

À UNIPAMPA pelo empréstimo do equipamento EM34;

Ao Departamento de Geologia/Geofísica Aplicada pela concessão do resistivímetro Terrameter;

A todos aqueles de contribuíram de alguma forma para a realização deste trabalho, e que, mesmo não mencionados aqui, desempenharam com certeza, papel importante, e assim, deixo meus sinceros agradecimentos.

*Os conhecimentos nos dão meios para viver.
A sabedoria dos dá razões para viver.
Sábias são as pessoas que sabem viver. Tolo é aquele que, tendo
defendido tese sobre barcos e mapas, não sonha com horizontes,
não planeja viagens, não imagina portos. Anda sempre em terra
firme por medo do naufrágio.*

Rubem Alves

*O nome daquele mar eu não sei. Nunca fui lá. Não o naveguei.
Não o conheço. Por isso, nada tenho a dizer. É mar
desconhecido, por navegar. Mas, com o que sei sobre outros
mares, vou lhe ensinar a se aventurar por mares
desconhecidos: essa é a aventura suprema. Para isso
nascemos. É isso que deve ser uma pesquisa e uma tese: uma
aventura por um mar que ninguém mais conhece.*

Roland Barthes

RESUMO

Necrochorume é um efluente gerado a partir da decomposição de corpos. Em áreas de cemitério, a principal causa de poluição subsuperficial é a sua percolação, que altera significativamente o solo impedindo-o de realizar suas funções naturais. Particularmente no Brasil, pela falta de planejamento consequente do histórico cultural, os cemitérios se localizam totalmente integrados à malha urbana, representando um problema de saúde pública. O necrochorume pode causar contaminação dos solos e águas subterrâneas, devido à presença de elementos, tais como compostos nitrogenados, metais pesados, vírus e bactérias, com riscos inerentes à saúde humana. Na bibliografia, essa presença de contaminantes no ambiente geológico muitas vezes resultou em baixos valores de resistividade quando comparados a uma área que não impactada. A presente pesquisa objetivou investigar qualitativamente o meio físico subsuperficial do cemitério, para reconhecer eventuais alterações, correlacionáveis às presenças de contaminantes (necrochorume), através da inter-relação entre as respostas geofísicas e os resultados analíticos dos poços de monitoramento e assim, subsidiar pressupostos indicativos de anomalias geofísicas no cemitério municipal de Rio Claro, São Paulo. Portanto, o presente trabalho apresenta e discute os resultados de aplicação de Imageamento Eletromagnético (usando *Geonics* EM34) e método de resistividade elétrica, utilizando as técnicas de Sondagem Elétrica Vertical, (Schlumberger) e Imageamento Elétrico 2D/dipolo – dipolo e Gradiente. Foram definidos dois estratos geoeletricos principais, referentes à geologia local – Formação Rio Claro e Formação Corumbataí e os resultados dos ensaios permitiram a definição de três classes principais de faixas de resistividades que deram margem às interpretações sobre possíveis áreas contaminadas. São elas: baixos valores de resistividade como áreas potencialmente impactadas; valores intermediários de resistividade, como áreas de transição, com possível influência do contaminante; e altos valores de resistividade, como áreas sem alterações físicas no meio, representados pelas condições geológicas naturais. Tais interpretações foram discutidas e relacionadas juntamente com os resultados de condutividade aparente e com os resultados analíticos de solos e água. A definição do sentido de fluxo das águas subterrâneas através das SEVs demonstrou a migração de água subterrânea concomitante com o possível contaminante (necrochorume), no sentido NE - SW. Os resultados geofísicos mostraram boa correlação com a evolução espacial e temporal da ocupação do cemitério ao longo de sua história, uma vez que os altos valores de resistividades foram associados às regiões de

ocupação mais recentes no cemitério, e os baixos valores, associados às regiões ocupadas inicialmente, datadas da construção do cemitério, no século XIX, portanto, mais antigas.

Palavras-chave: Cemitério; Necrochorume; Geofísica, Eletroresistividade; Eletromagnético;

ABSTRACT

Cemetery slurry is an effluent generated from the decomposition of organic bodies. In cemetery areas, the major cause of subsurface pollution is its percolation, which significantly alters the soil features limiting its functional performance. Particularly in Brazil, due to a historical lack of consequent planning, cemeteries are mostly located fully integrated into the urban fabric, representing a public health problem. The slurry can cause contamination of soil and groundwater due to the presence of nitrogen compounds, heavy metals, viruses and bacteria, and others risks to human health. In the literature the presence of contaminants in the geological environment often resulted in low resistivity values when compared to not affected areas. This research aimed to qualitatively investigate the subsurface of the cemetery in Rio Claro, São Paulo, to identify any changes, correlated with contaminants by inter-relationship between the geophysical responses and analytical results on monitoring wells in order to subsidize indicative assumptions of geophysical anomalies. This paper presents and discusses the results of application of Electromagnetic profiling (using Geonics EM34) and electrical resistivity method, using the Vertical Electrical Sounding techniques (Schlumberger) and 2D Electrical profiling / dipole – dipole and Gradiente. Two geoelectric main layers were defined, related to the local geology - Rio Claro Formation and Corumbataí Formation. Test results allowed the definition of three major classes of resistivity ranges giving rise to interpretations of possible contaminated areas. They are: (i) low resistivity values as potentially impacted areas; (ii) intermediate resistivity values, as transition areas, with possible influence of the contaminant; (iii) and high resistivity values, such as areas without physical changes in the environment represented by natural geological conditions. Such interpretations are discussed and related with the results of apparent conductivity and analytical results of soil and water. The definition of the direction of groundwater flow through the SEVs demonstrated the migration concomitant groundwater with possible contaminant in a NE - SW. The geophysical results showed good correlation with the spatial and temporal evolution of the occupation of the cemetery throughout its history, since the high resistivity values were associated with the most recent occupation of regions in the cemetery. The low values were associated with the former occupied regions, dated on the construction of the cemetery in the nineteenth century.

Key Words: Cemetery; Necrochorume; Geophysics; Electrical Resistivity; Electromagnetic.

LISTA DE FOTOS

Foto 1.1: Cemitério Municipal de Rio Claro, SP.	8
Foto 1.2: <i>Idem</i>	8
Foto 3.1: Extravasamento de necrochorume no cemitério Vila Nova Cachoeirinha, São Paulo. Fonte: (MATOS & PACHECO, 2000)	33
Foto 3.2: Extravasamento de necrochorume no túmulo no Cemitério Municipal de Rio Claro, SP. Fonte: acervo pessoal.	34
Foto 3.3: Extravasamento de necrochorume no túmulo no Cemitério Municipal de Rio Claro, SP. Fonte: acervo pessoal.	34
Foto 3.4: Extravasamento de necrochorume no túmulo no Cemitério Municipal de Rio Claro, SP. Fonte: acervo pessoal. Estes estágios de extravasamento ocorrem aproximadamente em 20 a 30 dias após o sepultamento, de acordo com as datas nos túmulos, e das condições climáticas do município.	35
Foto 5.1: Adaptação de eletrodos para a utilização no piso de “Pedra Portuguesa”	62
Foto 5.2: <i>Idem</i>	62
Fotos 5.3: Resistivímetro TERRAMETER modelo SAS 4000 da ABEM Instruments	63
Foto 5.4: Sistema de posicionamento Global: Antena DGPS Trimble; receptor Navigation Pathfinder Pro XR 12 e coletor Recon respectivamente.	65
Fotos 5.5: Equipamento EM-34 composto por duas bobinas (transmissora e receptora). Um módulo de controlo e emissão de corrente elétrica e um módulo de leitura.	71
Foto 5.6: Furo de sondagem sendo executado na área externa ao Cemitério Municipal.	74
Foto 5.7: Furo de sondagem no interior do cemitério.	75
Foto 5.8: Procedimento de coleta de amostras de solos.	75
Foto 6.1: Túmulos antigos do século XIX localizados na porção mais antiga do cemitério.	105
Foto 6.2: Primeiros túmulos construídos próximos à entrada principal.	105
Foto 6.3: Túmulos do início da construção do cemitério.	106
Foto 6.4: Em um mesmo túmulo, foram sepultadas dezenas de pessoas. Situação recorrente no cemitério de Rio Claro.	106
Foto 6.5: Avenida central.	123
Foto 6.6: Avenida principal central do cemitério.	123
Foto 6.7: Capela do cemitério.	125
Foto 6.8: visão lateral da capela.	126
Foto 6.9: Túmulos menores na porção posterior do cemitério.	126
Foto 6.10: Túmulos localizados na região posterior do cemitério, atrás da capela, corroborando com hipóteses do histórico de ocupação.	127
Foto 6.11: Árvores de grande porte e raízes expostas.	127
Foto 6.12: <i>Idem</i>	127
Foto 6.13: Torneiras ao longo da avenida principal.	128
Foto 6.14: <i>Idem</i>	128
Foto 6.15: <i>Idem</i>	128
Fotos 6.16: muro com cerca elétrica e postes de iluminação do lado de fora, paralelos ao muro do cemitério.	129
Foto 6.17: Cemitério de indigente.	129
Foto 6.18: Torneiras localizadas ao longo dos muros limítrofes do cemitério.	130
Foto 6.19: <i>Idem</i>	130

Foto 6.20: Sequência de fotos de estruturas metálicas ocorrentes no cemitério: vasos, enfeites, adereços dos túmulos.	131
Foto 6.21: <i>Estátuas de bronze e cobre com mais de um metro de altura.</i>	131
Foto 6.22: <i>Idem</i>	131
Foto 6.23: Estruturas diversas, artefatos metálicos, decorativos dentre outros.....	131
Foto 6.24: Cerca de arame, pequenas construções.....	131
Foto 6.25: Estruturas metálicas, muito comuns no cemitério.	132
Foto 6.26: Portão lateral do cemitério.....	134
Foto 6.27: Banheiro (branco) e cemitério de indigentes (verde), próximos ao portão lateral.....	134

LISTA DE FIGURAS

Figura 2-1: Inserção regional do município de Rio Claro, SP.	10
Figura 2-2: Médias mensais de chuva (em mm) - período de 2000 a 2011. Fonte: CEAPLA, (2011). 11	
Figura 2-3: Mapa Geológico regional do município de Rio Claro. Fonte dados: Serviço Geológico do Brasil – CPRM.	13
Figura 2-4: Contexto geológico local do cemitério. Fonte dados: Serviço Geológico do Brasil – CPRM.....	14
Figura 2-5: Mapa de domínios hidrogeológicos. Fonte: adaptado de Bonfim (2010).	17
Figura 2-6: Localização do Cemitério São João Batista - Rio Claro, SP. Capacidade esgotada, porém ativo há 138 anos.....	18
Figura 2-7: Raio de 200 m a partir dos limites do cemitério com áreas contaminadas cadastradas na CETESB e os poços de captação cadastrados no DAEE - Departamento Autônomo de Água e Esgoto podem ser visualizados.....	19
Figura 4-1: Organograma referente aos métodos, técnicas e arranjos utilizados no presente trabalho. 42	
Figura 4-2: diferentes tipos de condutividade (ORELLANA, 1972).	43
Figura 4-3: Esquema de um condutor cilíndrico homogêneo.	45
Figura 4-4: Esquema de disposição de eletrodos para medições no campo por meio do método da eletrorresistividade. Obs: a configuração dos eletrodos empregados pode ser diferente conforme o arranjo objetivado.....	46
Figura 4-5: Esquema simplificado de Sondagem Elétrica Vertical – a profundidade de investigação aumenta conforme a distância AB. Onde I é a intensidade da corrente, e ΔV é a diferença de potencial medida em Volts, formando dessa forma um circuito elétrico em meio geológico.	49
Figura 4-6: Plotagem dos dados de SEV.....	50
Figura 4-7: Operação de embreagem em curvas de SEV.....	51
Figura 4-8: Esquema do Arranjo dipolo - dipolo na técnica do Imageamento Elétrico.	53
Figura 4-9: Plotagem dos dados de campo em forma de pseudo – seção.	53
Figura 4-10: Esquema do arranjo Gradiente.	55
Figura 4-11: Propagação da onda eletromagnética. Fonte: adaptado de Reynolds (1997).	58
Figura 4-12: Princípio dos métodos eletromagnéticos. Fonte: Gallas (2007).	60
Figura 4-13: Combinações de utilização dos sistemas de bobinas. A seta representa a orientação do campo magnético (Fonte: BORGES, 2007).	61
Figura 5-1: Exemplos de morfologia de curvas de resistividade.	64
Figura 5-2: Esquema de localização das grades do IE – Gradiente.	69
Figura 5-3: Área investigada pelo arranjo gradiente no Cemitério São João Batista, Rio Claro, SP....	70

Figura 5-4: Linhas de EM nas ruas e avenidas do cemitério.....	72
Figura 5-5: Mapa de localização de alocação dos poços de monitoramento e sondagens.	73
Figura 6-1: Mapa de localização das SEVs no Cemitério São João Batista, Rio Claro, SP.	88
Figura 6-2: Exemplo de curva de campo típica de ensaios geofísicos em áreas de rochas sedimentares para as Formações Rio Claro e Corumbataí, do tipo “KQ”.	89
Figura 6-3: Variação da resistividade em função da distribuição da água no solo	90
Figura 6-4: modelo geoeletrico interpretado para o cemitério.	90
Figura 6-5: SPM2 (Av.2 com rua 6 - próxima da SEV3). Os pontos nas figuras representam os locais amostrados. Mudança litológica ocorreu em 12,70.....	95
Figura 6-6: SPM3 (Av.3 com rua7 - próxima da SEV15). Os pontos nas figuras representam os locais amostrados. Mudança litológica ocorreu em 14,90 metros.....	95
Figura 6-7: SEV3: curva de campo interpretada.....	96
Figura 6-8: SEV15: curva de campo interpretada.....	97
Figura 6-9: SPM4 - localizada na avenida 4 com rua 10. Próxima à SEV2.	98
Figura 6-10: Curva de campo e modelo geoeletrico da SEV2.....	99
Figura 6-11: Mapa potenciométrico da área de estudo.	101
Figura 6-12: Localização das linhas de IE nas avenidas do cemitério São João Batista, Rio Claro, SP. Arranjo dipolo - dipolo.....	103
Figura 6-13: Seção de IE, localizada fora da área do cemitério. (Fonte: Camargo, Isadora Vilela, 2007).	105
Figura 6-14: Seção geoeletrica IE1.	108
Figura 6-15: Seção geoeletrica IE2, com presença do poço SPM02.....	108
Figura 6-16: Seção geoeletrica IE4, com a presença do SPM04.	109
Figura 6-17: Seção geoeletrica IE5, com presença do poço SPM05.....	110
Figura 6-18: Seção geoeletrica IE7.....	110
Figura 6-19: Seção geoeletrica IEr2.....	111
Figura 6-20: Seção geoeletrica IEr4.....	111
Figura 6-21: Seção geoeletrica IEr6, com presença do poço SPM02.	112
Figura 6-22: Seção geoeletrica IEr8.....	112
Figura 6-23: Seção geoeletrica IEr10.....	113
Figura 6-24: Seção geoeletrica IEr12.....	113
Figura 6-25: Seção geoeletrica IEr14.....	114
Figura 6-26: Seção geoeletrica IEr15.....	114
Figura 6-27: Mapa do nível 1. Profundidade aproximada: 2,5 m.	115
Figura 6-28: Mapa do nível 2. Profundidade aproximada: 5 m.	116
Figura 6-29: Mapa do nível 3. Profundidade aproximada: 7,5 m.	117
Figura 6-30: Mapa do nível 4. Profundidade aproximada: 10 m.	117
Figura 6-31: Mapa do nível 5. Profundidade aproximada: 12,5 m.	118
Figura 6-32: Mapa do nível 6. Profundidade aproximada: 15 m.	119
Figura 6-33: Mapa Pseudo 3D ou Multinível até o sexto nível geoeletrico.....	120
Figura 6-34: Arranjo Gradiente - mapa resistividade aparente - Cemitério Municipal de Rio Claro, SP.	122
Figura 6-35: Mapa de isocondutividade aparente, profundidade máxima de 7,5 metros.....	125
Figura 6-36: Mapa de isocondutividade aparente, profundidade máxima de 15 metros.....	133

LISTA DE TABELAS

Tabela 6.1: Parâmetros Analíticos de solos, com destaque para valores acima do LQ.....	83
Tabela 6.2: Parâmetros Analíticos de solos.....	83
Tabela 6.3: Parâmetros analíticos de água subterrânea.....	86
Tabela 6.4: Localização Geográfica e aberturas máximas das SEVs no cemitério São João Batista... ..	87
Tabela 6.5: Modelo geológico de curva de campo interpretada.....	96
Tabela 6.6: Modelo geológico de curva de campo interpretada.....	97
Tabela 6.7: Modelo geológico de curva de campo interpretada.....	99
Tabela 6.8: Identificação da das cotas dos níveis d'água e potenciometria da área do cemitério Municipal de Rio Claro, SP.....	100

LISTA DE QUADROS

Quadro 2.1: Temperaturas médias máximas e mínimas e precipitação média para Rio claro. Fonte: Cepagri, (2011).	11
Quadro 3.1: Composição aproximada do corpo de um homem adulto de 70 kg (Fonte: DENT e KNIGHT, 1998).	32
Quadro 5.1: Profundidade de exploração do EM 34-3, com variação no espaçamento entre as bobinas (adaptado de McNeill, 1980).	71
Quadro 5.2: Localização espacial das sondagens e poços de monitoramento instalados.....	74
Quadro 5.3: Parâmetros analisados em solo.....	76
Quadro 5.4: Principais características construtivas dos poços de monitoramento instalados.	78
Quadro 5.5: Parâmetros analisados em água subterrânea.	79
Quadro 6.1: Resistividades calculadas por nível geológico.....	92

LISTA DE EQUAÇÕES

(Equação 4.1).....	45
(Equação 4.2).....	45
(Equação 4.3).....	47
(Equação 4.4).....	48
(Equação 4.5).....	48
(Equação 4.6).....	48
(Equação 4.7).....	48
(Equação 4.8).....	48
(Equação 4.9).....	50
(Equação 4.10).....	51
(Equação 4.11).....	54
(Equação 4.12).....	55
(Equação 4.13).....	55
(Equação 4.14).....	56
(Equação 4.15).....	57
(Equação 4.16).....	59
(Equação 4.17).....	60

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
1.1. Contextualização	1
1.2. Problemática e Justificativa	4
1.3. Premissas	7
1.4. Objetivos	9
2. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	10
2.1. Localização e aspectos gerais da área de estudo	10
2.2. Contexto Pedológico	12
2.3. Contexto Geológico	12
2.3.1. Caracterização Hidrogeológica	16
2.4. Inserção Urbana do Cemitério São João Batista	18
2.4.1. Poços de Captação e Áreas Contaminadas	19
3. REVISÃO HISTÓRICA	20
3.1. Origem dos Cemitérios e Sepultamentos	20
3.2. Contexto Histórico urbano de rio claro	22
3.2.1. Serviços de Água e Esgoto da Cidade	24
3.2.2. A Remoção do Cemitério Municipal	24
3.2.3. Cemitério São João Batista	26
3.2.4. Cemitério dos “Bexiguentos ou Leprosos”	27
3.3. impactos potenciais causados por corpos em decomposição	27
3.4. Processos Transformativos de Cadáveres	31
3.4.1. Necrochorume	31
3.4.2. Processo de decomposição de cadáveres	35
3.5. Métodos Geofísicos Aplicados a Estudos Ambientais	38
3.5.1. Breve histórico	38
3.5.2. Métodos geoeletricos	40
4. MÉTODOS GEOELÉTRICOS: CONCEITOS FUNDAMENTAIS	41
4.1. Generalidades	41
4.2. Eletrorresistividade	42
4.3. Resistividade Aparente	46
4.3. Técnica da Sondagem Elétrica Vertical	49
4.3.1. Arranjo Schlumberger	50
4.4. Técnica do Imageamento Elétrico	52

4.4.1.	Arranjo Dipolo - Dipolo	52
4.4.2.	Arranjo Gradiente	54
4.5.	Método Eletromagnético EM	56
4.5.1.	Técnica EM no Domínio da Frequência - FDEM	58
5.	TRABALHOS REALIZADOS	61
5.1.	Considerações iniciais	61
5.2.	Sondagem Elétrica Vertical – SEVs	62
5.3.	Georreferenciamento dos dados	65
5.4.	Superfície potenciométrica do Cemitério Municipal	66
5.5.	Imageamento Elétrico – Dipolo - Dipolo	66
5.6.	Pseudo 3D - Mapa Multinível	68
5.7.	Gradiente	68
5.8.	Eletromagnético – FDEM	70
5.9.	Sondagens Mecânicas	73
5.9.1.	Amostragem de solo	75
5.9.2.	Instalação de Poços de Monitoramento	77
5.9.3.	Amostragem de água subterrânea	78
6.	INTERPRETAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	79
6.1.	Resultados analíticos	79
6.2.	Resultados analíticos de solo	80
6.3.	Resultados analíticos de água subterrânea	84
6.4.	Ensaio Geofísicos	87
6.5.	Sondagem Elétrica Vertical - SEV	87
6.5.1.	Potenciometria	100
6.6.	Imageamento Elétrico – IE	102
6.6.1.	Seções Geoelétricas – dipolo - dipolo	102
6.6.2.	Mapa Pseudo 3d ou Mapa de nível	114
6.6.3.	Imageamento Elétrico – IE arranjo Gradiente	121
6.7.	Imageamento Eletromagnético - EM	124
7.	CONCLUSÕES	135
8.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	138
ANEXO I		150

1. INTRODUÇÃO

1.1.CONTEXTUALIZAÇÃO

Um dos grandes desafios do século XXI é, indubitavelmente, minimizar a problemática ambiental originada da evolução da sociedade no que diz respeito ao desenvolvimento econômico. Há tempos o homem rompeu com a natureza e esta passou a ser considerada mero objeto de exploração e mercantilização dadas as condições do modo de produção contemporâneo. Desde então, a natureza tida como insumo, despertou um tipo de desenvolvimento moderno inevitável, que associa crescimento econômico e sustentabilidade. Dessa forma, o Desenvolvimento Sustentável, termo definido por WCED (1987) em “Nosso Futuro Comum”, já alertava e sugeria, de certa forma, um novo olhar, mais cauteloso, para as futuras ações e tomadas de decisões em relação ao meio ambiente.

Sabe-se que qualquer alteração no ambiente reflete em uma cadeia de consequências e que o processo de urbanização como parte do progresso e desenvolvimento econômico está diretamente relacionado à qualidade de vida da população. Logo, qualquer alteração na ordem da urbanização altera sua urbanidade, sua função social, econômica e ambiental.

Problemas ambientais no contexto urbano são comuns, estão atrelados por ação e reação, e afetam a vida da população exposta a suas consequências. Questões relacionadas em geral com o uso do solo e da água são os mais sérios, visto que, basicamente todos as espécies dependem destes dois elementos para sua sobrevivência.

Neste sentido, o mau uso destes recursos têm se tornado constante, e o homem, contudo, já vem enfrentando sérios problemas tanto por escassez, como por inutilização por poluição e contaminação. Muitas são as causas de contaminação de águas superficiais e subterrâneas e, cada vez mais, as dificuldades de seu aproveitamento se tornam reais.

Segundo Silva (2008), a maior preocupação se concentra na contaminação de aquíferos subterrâneos, que têm suas técnicas de despoluição muito complexas e onerosas, além de não funcionar em curto prazo. Muitas vezes, o aquífero se torna irrecuperável.

Para Pinto *et.al.* (1976), a distribuição das águas subterrâneas, seu deslocamento e eventual ressurgimento na superfície, natural ou artificialmente, envolvem condicionantes extremamente variados e complexos nos domínios da geologia e da hidráulica do escoamento em meios porosos, constituindo um amplo campo de estudo especializado. A preocupação justifica-se não só pela importância das águas subterrâneas, cujas reservas são dezenas de

vezes superiores ao volume de água doce superficial disponível, como pela sua estreita inter-relação com a mesma.

Segundo o Ministério do Meio Ambiente – MMA, a água doce, representada por 2,4% do total de água existente no planeta, tem sua maior parte situada nas calotas polares e geleiras (1,9%), inacessível aos homens pelos meios tecnológicos atuais. Da parcela restante (0,5%), mais de 95% é constituída pelas águas subterrâneas. Menos de 5% da água doce disponível no planeta, portanto, estão presentes nos rios e lagos, que são mais afetados pela ação antrópica do que as águas subterrâneas.

Pode-se dizer, genericamente, que há dois tipos de fontes de poluição e contaminação:

A) a fonte localizada (ou pontual), responsável pelo lançamento de poluentes em um determinado local, que é fácil de identificar e de monitorar, e

B) a fonte difusa (ou não localizada), que envolve o lançamento dos poluentes sem um ponto de referência, espalhando-os por toda a área, que é difícil de identificar e tratar.

Dentre as fontes de poluição e contaminação da água, destacam-se aquelas capazes de atingir as águas subterrâneas, pelo potencial estratégico que estas terão na manutenção da vida. São elas:

- i) infiltração das fossas sépticas;
- ii) injeção de esgotos no subsolo;
- iii) vazamentos de tubulações ou depósitos subterrâneos;
- iv) infiltração de águas contendo agrotóxicos, fertilizantes, detergentes e poluentes atmosféricos depositados no solo;
- v) infiltração de resíduos industriais contendo metais pesados, combustíveis, produtos químicos em geral;
- vi) resíduos de curtumes;
- vii) contaminação por resíduos derivados de lixo hospitalar;
- viii) percolação do chorume resultante de depósitos de lixo doméstico no solo, e
- xix) percolação do necrochorume resultante dos cemitérios.

A última é pouco conhecida, talvez por se tratar de um tema pouco discutido, talvez pela simples aversão que o mesmo comumente produz.

De acordo com Pacheco *et.al.* (1993); Marinho (1998); Silva (2000), Matos (2001) e Rezende (2005), em áreas de cemitério, a principal causa de poluição subsuperficial é a percolação do necrochorume, efluente gerado a partir da decomposição dos corpos. Em termos físico-químicos esse efluente apresenta, na sua composição, aproximadamente 60% de

água, 30% de sais minerais e 10% de substâncias orgânicas; viscosidade maior que a água; densidade de 1,23 g/cm³; e pH entre 5 e 9 à temperatura de 23 a 28°C.

Além da problemática que envolve a contaminação de aquíferos, a descarga de resíduos de toda e qualquer espécie no solo, infere em alterações significativas, causando danos a este meio, que o impede de exercer suas funções ecossistêmicas.

De acordo com CETESB (1999), o solo foi considerado por muito tempo receptor ilimitado de substâncias nocivas descartáveis, como o lixo doméstico e os resíduos industriais, com base no suposto poder tampão e potencial de autodepuração, que leva ao saneamento das mudanças geradas. Porém, sua capacidade foi superestimada e, somente a partir da década de 70 foi dispensada maior atenção à sua preservação.

Sendo assim, a percolação por necrochorume em áreas de cemitérios se torna potencialmente preocupante no que diz respeito à possível contaminação de solos e aquíferos.

De acordo com Almeida & Macêdo (2005), os cemitérios são monumentos à memória daqueles que morreram e que os vivos fazem questão de perpetuar. Conseqüentemente, ao longo do tempo, este tipo de construção adquiriu a condição de inviolabilidade no que tange à pesquisa científica nos seus diferentes aspectos.

Pacheco (2000) ressalva que as sociedades contemporâneas, não se sentem à vontade, em geral, de tratar do assunto morte. É algo incomodativo, perturbante. Procura-se esquecer do assunto fugindo à discussão. No entanto, a literatura sobre o tema tem aumentado nos últimos tempos. Sociólogos, antropólogos e historiadores têm trazido ótimas contribuições sobre os costumes e os hábitos funerários. Por outro lado, a relação entre cemitério e meio ambiente, nunca foi incluída na lista das prioridades sobre questões de possíveis formas tradicionais de contaminação do solo e da água. Por preconceito, ou por crenças de que os cadáveres, depois de enterrados não tinham quaisquer tipos de conseqüências sobre o meio ambiente e saúde pública.

Sendo assim, o homem como agente de constante transformação do meio, deve prezar por assumir uma postura mais responsável e agir de forma a mitigar os impactos causados pelo desenvolvimento. Parafraseando Porto-Gonçalves (2006) e Leff (2001), o homem deve assumir os limites da relação sociedade-natureza, diagnosticando os efeitos dos impactos ambientais oriundos das práticas atuais e daquelas decorrentes dos processos históricos.

1.2. PROBLEMÁTICA E JUSTIFICATIVA

Em função da localização de cemitérios em áreas urbanizadas, célebres casos de febre tifóide já foram constatados em Berlim no século XIX e em Paris, na década de 70 (COSTA *et.al.* 2002). Esta é uma questão de saúde pública, com a possibilidade de utilização das águas contaminadas por microorganismos patogênicos oriundos do necrochorume.

Os cemitérios, contudo, não recebem a devida atenção, a começar pelo local de seu assentamento, frequentemente impróprio do ponto de vista geológico. A preservação desses locais, geralmente é deficitária e a ocupação do seu entorno, não planejada, pode gerar ocupações irregulares de famílias de baixa renda, que acabam por vezes utilizando a água local. Diante da situação socioambiental, a *World Health Organization* – WHO (1998) demonstra preocupação com os impactos que os cemitérios podem causar ao meio ambiente, ressaltando que fatores hidrogeológicos foram historicamente desconsiderados em sua localização e potencial de impacto sobre a qualidade das águas, enfatizando sobre a necessidade de mais pesquisas a respeito do assunto.

Felicioni *et.al.* (2007) ressaltam que o risco de impacto aumenta na ausência de políticas ambientais e cuidados sanitários nos cemitérios, principalmente os públicos. Matos (2001) afirma que os estudos sobre os impactos ambientais provocados pelos cemitérios ainda são incipientes e que o maior problema está nos cemitérios administrados pelos municípios, nos quais os sepultamentos ocorrem em covas rasas diretamente no solo, sem qualquer tipo de proteção. No município de São Paulo, existem 16 cemitérios particulares e 23 públicos. Destes, 75% apresentam algum tipo de problema ambiental ou sanitário. (FELICIONI *et.al.*, 2007).

A localização de cemitérios ocorre em grande parte, no Brasil, em áreas urbanas. Com o crescimento desordenado das cidades, é comum encontrar cemitérios totalmente integrados à malha urbana, até mesmo em suas áreas mais centrais.

Atualmente, os olhares têm se voltado à contaminação das necrópoles, às águas subterrâneas, como ressaltou o pesquisador e professor Alberto Pacheco, do Centro de Pesquisas das Águas Subterrâneas – CEPAS em Pacheco (2000), da Universidade de São Paulo (USP). Segundo o mesmo, todo cemitério é um risco em potencial:

“Para que esse risco seja controlado é preciso projetar adequadamente um cemitério, levando em conta os aspectos geológicos, hidrogeológicos e geotécnicos. Se isto não for feito, aquele risco potencial vai evoluir para um risco efetivo, e teremos

então, os impactos ambientais. E o principal impacto está naquela água subterrânea de menor profundidade, que é o aquífero freático, aquele onde a temática ambiental está mais exposta à contaminação por parte dos cemitérios, não só dos cemitérios, mas também dos lixões, aterros sanitários e postos de gasolina”.

Mesmo com aumento do número de estudos e trabalhos voltados à identificação e investigação de áreas utilizadas para disposição de cadáveres, além de levantamentos ambientais nesses locais, existem autores que contestam os resultados encontrados, discorrem Felicioni *et.al.* (2007). Enquanto não existe consenso sobre a real possibilidade de contaminação das águas subterrâneas, estuda-se o desenvolvimento de alternativas para evitar que o líquido atinja o solo.

De acordo com Dent (1995), a quantidade de produtos que infiltram no solo devido ao tipo de sepultamento, pode atingir o lençol freático e é extremamente difícil de quantificar no tempo e espaço.

Pacheco (2000) estudou a relação entre cemitério e meio ambiente, e através de várias referências, enfatizou que as propriedades físico-químicas do solo permitem que o mesmo tenha uma capacidade de depuração natural dos contaminantes, e que a capacidade de retenção no solo mantém uma relação inversa com a permeabilidade do mesmo. Esclareceu, ressaltando que a infiltração de material contaminante em um terreno arenoso ocorre com velocidades muito superiores às que ocorrem nas argilas, e que ao infiltrar contaminantes, infiltram também microorganismos responsáveis pela evolução do contaminante. Dessa forma, a presença das argilas no solo permite fixar um grande número de produtos de decomposição e assegurar uma boa depuração das águas.

Dent (1995) afirma que o conjunto geológico formador das áreas contaminadas pode atenuar naturalmente as plumas, porém, da mesma forma, pode haver algum efeito de acumulação de metais em materiais cadavéricos enquanto eles persistem. Dent (2007) ressalta que quando a chuva cai, ocorrem as interações habituais entre o ciclo hidrológico e suas relações com o solo. A água pode evaporar, infiltrar, escoar, ou acumular dentro ou sobre o solo e suas estruturas. Quando a água infiltra poderá levar consigo artefatos de restos mortais. Somente a configuração hidrogeológica do cemitério poderá ditar o grau de atenuação natural hidrogeoquímica e da biota. Os produtos de decomposição podem extravasar dos limites do cemitério, dependendo do grau de acumulação existente, dos caminhos de escoamento da água, da localização do cemitério e muitos outros fatores.

Romero (1970) resumiu os resultados de muitos estudos sobre o movimento de bactérias em águas subterrâneas, e chegou à conclusão que o percurso máximo dos microorganismos em condições normais varia de 15,0 a 30,0 metros em meios saturados, podendo percorrer maiores distâncias em águas com nutrientes. Para vírus, a distância pode atingir até 60 metros. Tendo em vista as características geopedológicas do cemitério objeto deste estudo, fez-se necessária uma investigação direta e indireta acerca de possíveis níveis de alteração no subsolo do local.

Na maioria dos cemitérios é incomum o planejamento de áreas para o sepultamento de indigentes, que são enterrados diretamente no solo. Além disso, outros fatores que afetam as taxas de quantificação de sepultamentos e que dizem respeito à cobertura do solo, podem acontecer ou não em áreas complementadas com gramado, monumentos ou uma combinação destes. Entretanto, a prática operacional, e que mais afeta significativamente estudos quantitativos, é a deposição altamente variável espacial e temporal dos restos mortais. Enterros ocorrem em partes muito diferentes dos cemitérios em épocas diferentes. A questão é ainda mais complicada em relação aos cemitérios mais antigos, pois os sepultamentos ocorrem por meio da reutilização de jazigos das famílias. Isto provoca uma variação vertical no tempo e no espaço com graves consequências para o meio subsuperficial. Quanto maior o cemitério, mais provável esta variação ocorrer.

Ainda segundo Dent (1995), cemitérios são sistemas complexos e merecem uma atenção especial, pois são considerados um tipo especial de aterro sanitário. Em essência, pequenas quantidades de resíduos orgânicos são depositadas abaixo do nível da superfície e coberto com terra. Para a WHO (1998), cada corpo é capaz de liberar uma grande quantidade de componentes orgânicos e inorgânicos e parâmetros biológicos para o subsolo.

Sem novos terrenos nas cidades para criação de cemitérios em locais apropriados, ocorre o acúmulo e sobrecarga do sistema daquele solo. Plumas de contaminação são geradas a partir da infiltração de resíduos dos corpos e caixões, e podem atingir os corpos d'água subterrâneos. De qualquer forma, é notória a necessidade de estudos mais aprofundados.

Atualmente no Brasil, a implantação de cemitérios está sujeita ao atendimento dos critérios legais da Resolução nº 335 de 3 de abril de 2003, do CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente, que dispõe sobre a obrigatoriedade do Licenciamento Ambiental de cemitérios horizontais e verticais no território nacional (CONAMA, 2003). Essa Resolução foi criada devido ao consenso de que cemitérios são fontes de contaminação localizadas, mas de grande periculosidade devido à elevada carga de patógenos e substâncias químicas

liberadas para o meio, que podem acabar atingindo o nível de água. Esta água, por sua vez, é eventualmente utilizada pelas populações vizinhas às necrópoles. (MIGLIORINI, 2002).

É conveniente considerar os impactos ambientais e os procedimentos de um cemitério, assim como o estudo do histórico do crescimento do mesmo, diante do objetivo em evidenciar indícios de coerência entre as áreas alteradas fisicamente com os locais de sepultamentos mais antigos. Parte-se do pressuposto que o potencial de alteração física exista principalmente nos cemitérios mais antigos, e nos locais mais antigos dentro de um determinado cemitério. Além disso, o histórico do surgimento do cemitério está diretamente relacionado com o crescimento da cidade e seu entorno.

Para que haja um pensamento direcionado ao planejamento adequado de cemitérios, são necessários estudos e pesquisas específicas *in loco*, com a necessidade de se pensar em ferramentas adequadas de trabalho, que juntamente com métodos também adequados, possibilitem efetuar trabalhos relevantes que subsidiem ações futuras objetivando a minimização de prováveis impactos ambientais.

1.3.PREMISSAS

Este trabalho realiza uma pesquisa no cemitério São João Batista, localizado no município de Rio Claro, São Paulo. Tem por interesse, a identificação de possíveis alterações no meio subsuperficial, detectadas pela geofísica, relacionados à presença de necrochorume.

A referida área de estudo é o principal cemitério da cidade (Fotos 1.1 e 1.2), recebeu seus primeiros sepultamentos a partir de 1875, de forma irregular e, a princípio, se localizava afastado da região do vilarejo. Porém, com o crescimento desordenado ao redor do mesmo, hoje o cemitério encontra-se totalmente integrado à malha urbana, e em área central da cidade. Atualmente, sua capacidade está esgotada, porém, o mesmo se mantém ainda ativo e os jazigos familiares são reutilizados após aproximadamente dois anos do último sepultamento na mesma cova.



Foto 1.1: Cemitério Municipal de Rio Claro, SP.

Foto 1.2: *Idem.*

A presente pesquisa baseia-se nas seguintes premissas:

- Os primeiros sepultamentos na área de estudo ocorreram a partir de 1875, e desde então, o cemitério representa uma fonte de reposição pontual de corpos, oriunda dos diversos sepultamentos posteriores;

- O solo, predominantemente arenoso e com alta permeabilidade característica da formação geológica local, permite uma acelerada percolação subsuperficial de compostos diversos;

- O nível basal dos jazigos situa-se a aproximadamente 2 metros da superfície do terreno, o que possivelmente permite um escoamento de necrochorume de mais fácil acesso ao meio subsuperficial;

- Em termos gerais, inúmeros trabalhos foram realizados para identificação de possíveis plumas de contaminação em áreas de cemitério, e muitos, obtiveram resultados positivos para contaminação apresentando os resultados de análises químicas;

- Métodos geofísicos começaram a ser utilizados para investigação de contaminação em cemitérios a partir da década de 80 pela Universidade de São Paulo - USP e, desde então, têm se mostrado eficientes, com diversos trabalhos publicados em revistas e livros;

- Métodos geoeletricos são muito utilizados para identificação de plumas de contaminação no Brasil e no mundo;

- Métodos eletromagnéticos não costumam ser empregados em investigação de cemitérios urbanos, devido à possível situação de ruídos geoeletricos verificados, embora aplicados em estudos ambientais. A premissa é a de que, mesmo em situação ruidosa, e, utilizado em experimentação, o método pode ser válido para comparação com os demais;

- Muitos trabalhos concluíram que plumas de contaminação são identificáveis por meio dos métodos supracitados, devido à sua composição química caracterizada pela elevada quantidade de STD - Sólidos Totais Dissolvidos, com alteração física em termos de resistividade e condutividade elétrica;

- A aplicação dos métodos geofísicos em estudos dessa natureza apresenta diversas vantagens, principalmente pela característica investigativa indireta e não invasiva, e constitui uma boa ferramenta para utilização em cemitérios, sem riscos para construções presentes como jazigos, lápides, mausoléus, dentre outros;

- A investigação geofísica em área de cemitério urbano representa um desafio, por questões estruturais, de manuseio dos equipamentos, ruídos urbanos, dentre outros.

1.4.OBJETIVOS

O principal objetivo do presente trabalho foi a investigação indireta do meio físico subsuperficial do cemitério, para identificar eventuais alterações físico-químicas associadas à presença de contaminantes (necrochorume), através da inter-relação entre as respostas geoelétrica, os resultados analíticos dos poços de monitoramento e o histórico de ocupação do cemitério Municipal de Rio Claro, São Paulo.

Para alcançar tal objetivo as etapas foram as seguintes:

- Realização das coletas de dados geofísicos por meio dos métodos da Eletrorresistividade e Eletromagnético no Domínio da Frequência - FDEM;
- Mapeamento do nível freático como subsídio à realização do mapa de superfície potenciométrica, para determinação do sentido do fluxo subterrâneo;
- Análise da adequabilidade das ferramentas geofísicas na investigação de cemitério em área urbana;
- Identificação de anomalias geofísicas derivadas possivelmente da presença de compostos provenientes do necrochorume;
- Elaboração do mapa pseudo 3D para visualização da migração de possíveis plumas em subsuperfície;
- Estabelecimento da relação qualitativa entre as respostas geofísicas e os resultados analíticos de solo e água;
- Análise acerca da importância da realização de estudos que visem a investigação em áreas potencialmente impactantes ao meio ambiente, como cemitérios.

2. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

2.1. LOCALIZAÇÃO E ASPECTOS GERAIS DA ÁREA DE ESTUDO

O município de Rio Claro está localizado na porção centro-leste do estado de São Paulo, distando 85 km do município de Campinas, ao qual pertence à região administrativa, noroeste da capital paulista. Dista cerca de 170 km da capital paulista, com ligação através do Sistema Anhanguera – Bandeirantes e rodovia Washington Luiz. É circundado, num raio de aproximadamente 30 km, pelos municípios de Corumbataí e Leme, a norte; Piracicaba e Iracemápolis, a sul; Araras e Santa Gertrudes, a leste; e Ipeúna e Itirapina, a oeste. Possui como distritos: Assistência, Ajapi, e Santa Gertrudes, e, como bairros rurais, Batovi e Ferraz (Figura 2.1). Possui uma população de aproximadamente 188.000 habitantes de acordo com último censo registrado pelo IBGE (2010).

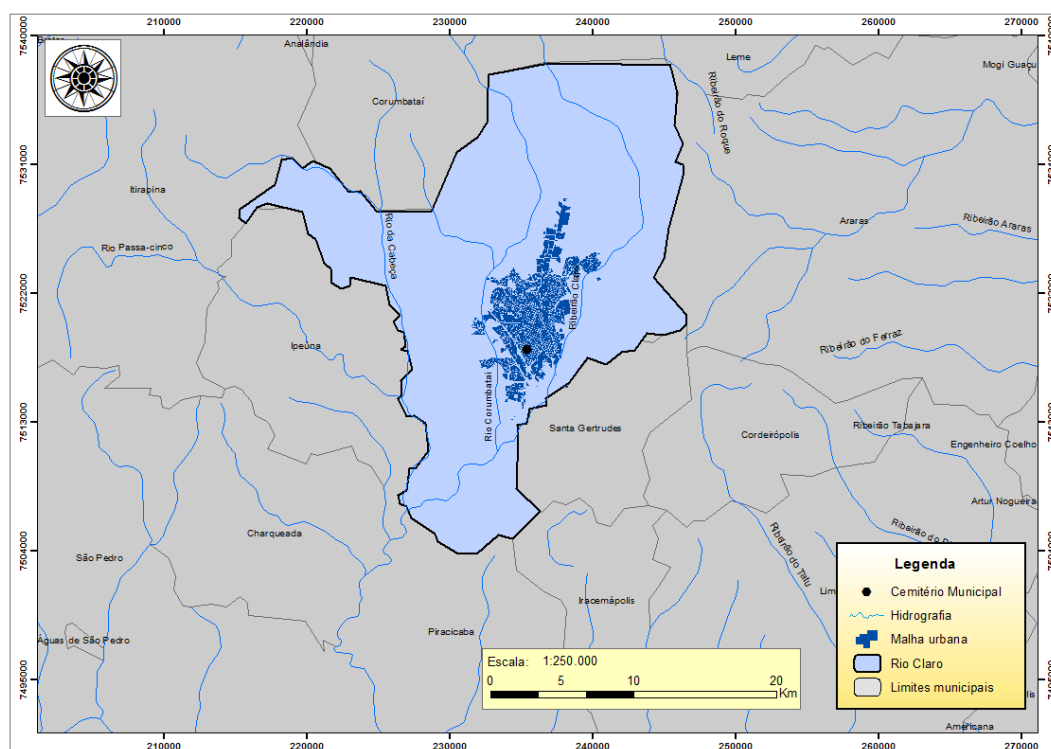


Figura 2-1: Inserção regional do município de Rio Claro, SP.

Em termos geomorfológicos o município está localizado na Depressão Periférica Paulista, representada por uma área rebaixada com altitudes variando de aproximadamente 500 a 700 metros, no centro do Estado de São Paulo.

De acordo com Penteadó (1976), o sistema de relevo dominante na região de Rio Claro, são as colinas tabuliformes de vertentes suavemente convexas e patamares de fraca inclinação dispostos entre 550 e 650 metros.

Segundo a classificação climática de Köeppen, baseada em dados mensais pluviométricos e termométricos, o estado de São Paulo abrange sete tipos climáticos distintos, a maioria correspondente a clima úmido. O tipo dominante na maior área é o *Cwa*, que define toda a parte central do Estado e é caracterizado pelo clima tropical de altitude, com chuvas no verão e seca no inverno, com a temperatura média do mês mais quente superior a 22°C. É o caso do município de Rio Claro. O “C” representa a média do mês mais frio (3°C a 18°C); “w” representa a seca no inverno, e “a”, o mês mais quente. Pode ser enquadrado dentro de um clima tropical alternadamente seco e úmido, controlado por massas tropicais e equatoriais, que predominam em mais de 50% do ano.

As temperaturas médias anuais de Rio Claro situam-se entre 18° e 21°C (Quadro 2.1).

Quadro 2.1: Temperaturas médias máximas e mínimas e precipitação média para Rio claro. Fonte: Cepagri, (2011).

Mês	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Ano
Temperatura máxima média (°C)	29,8	29,9	29,5	27,9	26,0	24,9	25,1	27,3	28,3	28,8	29,2	29,1	28,0
Temperatura mínima média (°C)	18,5	18,7	18,0	15,4	12,7	11,2	10,7	12,1	14,1	15,8	16,6	17,9	15,7
Precipitação (mm)	234,1	203,1	153,8	63,2	62,4	38,2	26,9	28,8	66,8	125,6	147,2	216,7	1366,8

A distribuição de chuvas anual é caracterizada por um período seco, entre abril e setembro, com chuvas de 15 a 20 dias e um período chuvoso, entre outubro e março, com mais de 80% das precipitações anuais com média de 1.200 mm (Quadro 2.1). Os dados utilizados foram da Estação Meteorológica da CEAPLA/UNESP - Universidade Estadual Júlio de Mesquita Filho, Rio Claro. O gráfico apresenta a distribuição mensal do regime de chuvas correspondente ao período de janeiro de 2000 a dezembro de 2011 (Figura 2.2).

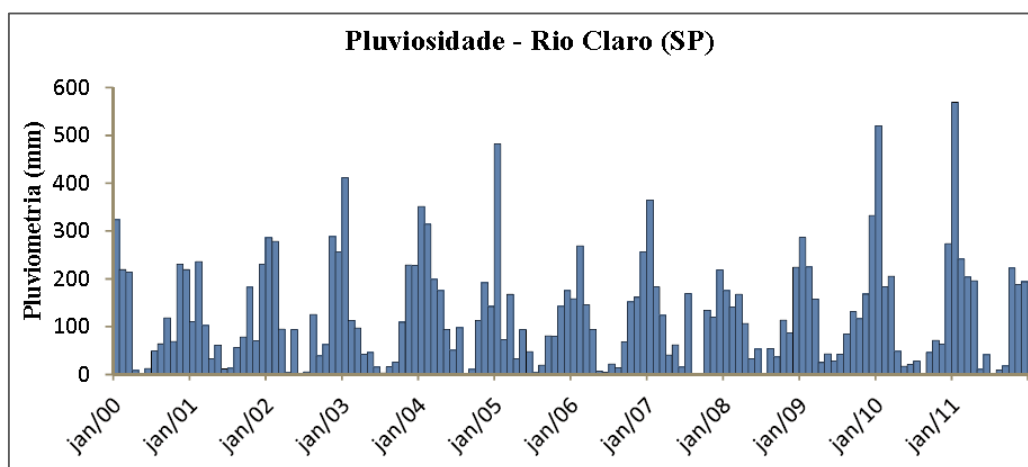


Figura 2-2: Médias mensais de chuva (em mm) - período de 2000 a 2011. Fonte: CEAPLA, (2011).

O município de Rio Claro localiza-se na bacia hidrográfica do Rio Corumbataí, com seus principais afluentes sendo constituídos pelos Rios Passa Cinco, Cabeça, e Ribeirão Claro. As cabeceiras destes rios situam-se nas escarpas das serras e morrotes que compõem a linha de cuestas; suas águas afluem para o Rio Piracicaba (ZAINE, 1994).

2.2.CONTEXTO PEDOLÓGICO

No município de Rio Claro predominam rochas areníticas, que originam solos de textura arenosa. Devido a essa característica, a infiltração e percolação da água da chuva ocorrem rapidamente, pela grande porosidade existente, promovendo a fácil lixiviação - processo físico de intemperismo - tornando os solos ácidos e pobres (ZAINE, 1994).

Os solos predominantes na região de Rio Claro são: (1) Argissolos Vermelho - amarelos, (2) Latossolos Vermelho - amarelos e (3) Latossolos Vermelho férrico - antigo Latossolo Roxo, ou Terra Roxa, derivados do diabásio.

O primeiro (1) apresenta textura médio-argilosa, presentes nos baixos topográficos, como nos vales do Rio Corumbataí e Ribeirão Claro. São os principais contribuintes dos argilitos e siltitos da Formação Corumbataí.

O segundo (2) corresponde ao solo predominantemente arenoso da Formação Rio Claro. Trata-se de um solo pobre, profundo e lixiviado, com fácil percolação e profundidade entre 10 e 12 metros;

O terceiro (3) com textura argilosa a muito argilosa, que ocorrem somente em pequenas quantidades.

2.3.CONTEXTO GEOLÓGICO

A área de estudo localiza-se, em termos geológicos, no flanco nordeste da bacia sedimentar do Paraná. Segundo o IPT (1981), esta bacia sedimentar:

“(...) é uma unidade geotectônica estabelecida sobre a plataforma sul-americana a partir do Devoniano inferior, senão mesmo do Siluriano. A persistente subsidência desta bacia, embora com caráter oscilatório, permitiu a acumulação de

grande espessura de sedimentos, lavas basálticas e sills de diabásio...”

O IPT (1981) cita que, na região mais profunda da bacia, até a qual se estende o extremo oeste do estado de São Paulo (Pontal do Paranapanema), a espessura total destes depósitos pode ultrapassar 5.000 metros.

O município de Rio Claro está localizado sobre litotipos pertencentes à Formação Rio Claro que capeia os grandes divisores de águas aplainados da região, sobre a qual está assentada, em sua maior parte, a ocupação urbana do município e, em termos regionais, está inserida na Bacia Sedimentar do Paraná (Figura 2.3).

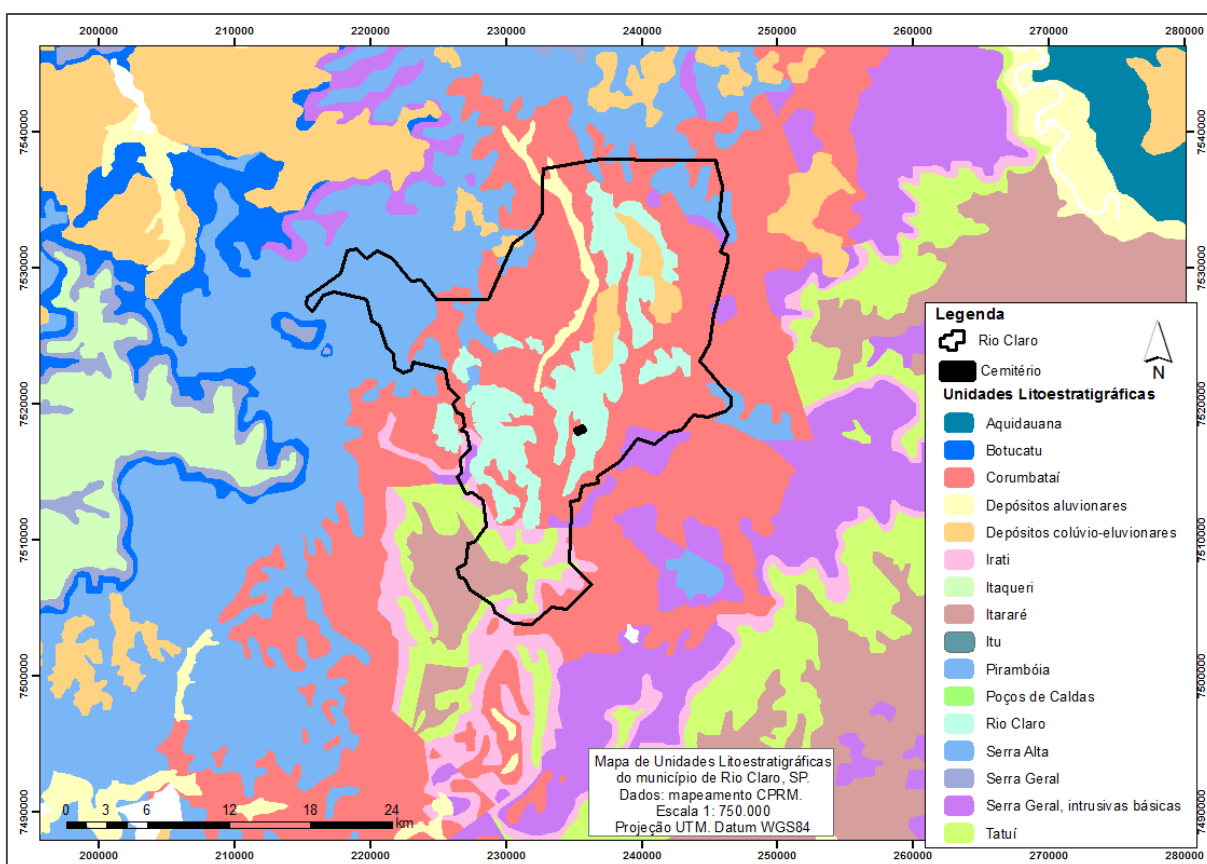


Figura 2-3: Mapa Geológico regional do município de Rio Claro. Fonte dados: Serviço Geológico do Brasil – CPRM.

O cemitério está localizado na área urbana de Rio Claro, e é representado pela Formação Rio Claro (Figura 2.4).

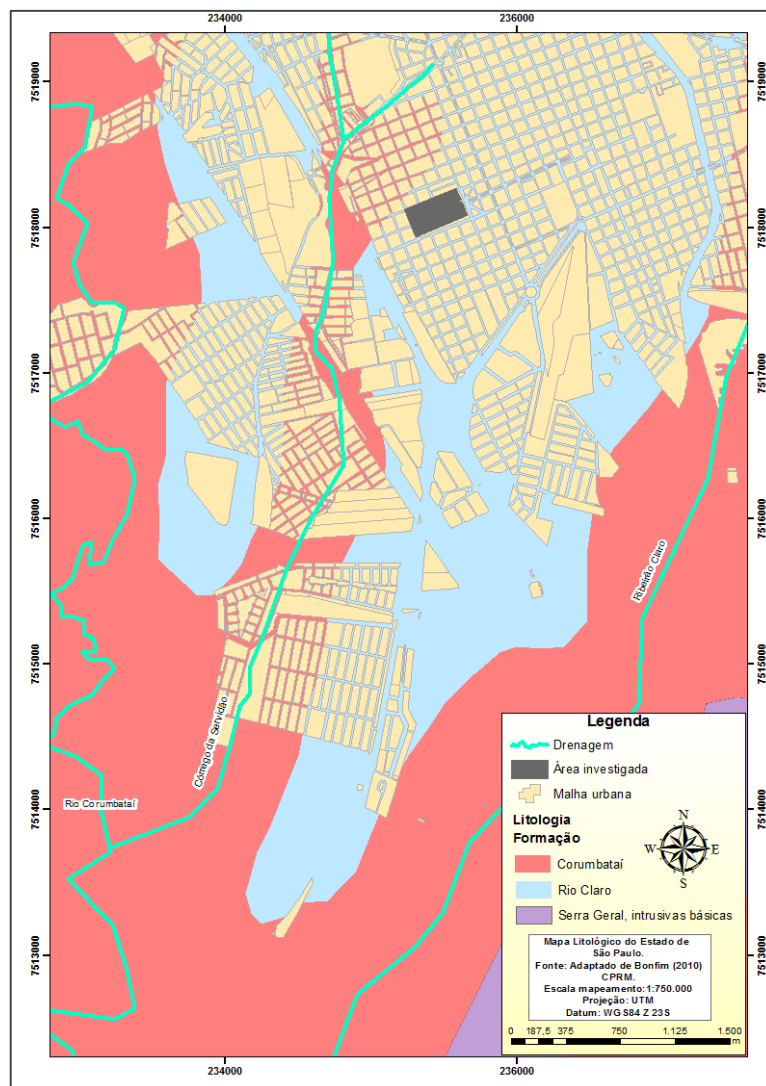


Figura 2-4: Contexto geológico local do cemitério. Fonte dados: Serviço Geológico do Brasil – CPRM.

Zaine (1994) apresenta a referida Formação, com características marcantes: fraca litificação e profunda alteração pedogenética, espesso solo arenoso e domínio de litotipos arenosos, esbranquiçados amarelados e avermelhados, variando de areia fina a grossa, com intercalação de camadas de conglomerados e de sedimentos argilosos. A espessura máxima é da ordem de 40 m, predominando valores entre 25 e 30 m. Tais características justificam a maior ocorrência no contexto regional, em nível de bacia hidrográfica, de Argissolos Vermelho-Amarelos seguido por Latossolo Vermelho-Amarelo ambos com predomínio de textura arenosa, bem drenados, com lixiviação e infiltração grandes, pobres em matéria orgânica, ácidos, pouco adequados para a agricultura, originados das formações Pirambóia, Botucatu e Rio Claro, de acordo com estudo feito por Köffler (1993).

Ainda segundo Zaine (1994), o intervalo basal é marcado por um nível conglomerático, que grada para um arenito argiloso e argilitos intercalados no sentido da base.

Os mesmos foram separados em quatro fácies: depósitos de lamitos; depósitos de cascalhos associados com areias com estratificação acanalada ou tabular; depósitos de areia com estratificação plano-paralela e cruzada acanalada e com intercalações de argila e, finalmente, depósitos argilosos a siltoargilosos, com laminação distinta a indistinta e conteúdo fossilífero.

Há também uma delgada lente de conglomerado basal sobre as unidades subjacentes, em discordância angular. Apresenta contato basal discordante com a Formação Corumbataí, constituído por seixos de quartzo, fragmentos de siltito, argilito e sílex. Na região ainda afloram rochas da Formação Serra Geral, além de sedimentos aluvionares recentes

As fácies encontradas na Formação Rio Claro são interpretadas como representantes de sistema fluvial meandrante em clima úmido. O conteúdo fossilífero é composto por restos de vegetais, sem datação precisa.

Os depósitos da Formação Rio Claro são explorados localmente para obtenção de cascalho e areia para construção civil, areia para moldes de fundição e argila para a indústria cerâmica.

Em relação à Formação Corumbataí, Zaine (1994) descreve que a mesma, ocorre de forma extensa pelo vale do rio Corumbataí, e constitui a principal unidade subjacente à Formação Rio Claro. Ocorre o domínio litológico dos argilitos, siltitos e folhelhos arroxeados e marrom-avermelhados, às vezes esverdeados, com intercalações de arenitos e leitos carbonáticos.

É composta na sua seção inferior de um pacote de argilitos, folhelhos e siltitos cinza-escuros e pretos, com fraturas conchoidais e concreções calcíferas, e ainda um conjunto de argilitos e folhelhos cinza-escuros, de aspecto rítmico, com ocasionais leitos de calcário silicificados, oolíticos em parte, além de níveis coquinóides.

Na seção superior, ocorre uma sequência de argilitos e arenitos finos, argilosos, regular a bem classificados, esverdeados, arroxeados e avermelhados.

A Formação Corumbataí foi depositada em ambiente marinho costeiro e representa uma deposição sob regime regressivo iniciando em sua base por depósitos marinhos de costa-afora (offshore). A sucessão de camadas de topo está composta por depósitos de planície de maré, representados por siltitos, arenitos e calcários. Sua espessura na região de Rio Claro oscila entre 60 e 180 m.

Na área urbana, ocorre nos bairros periféricos da zona norte e noroeste, nas médias e baixas vertentes, em direção ao vale do rio Corumbataí, tendo como características o solo pouco profundo (< 2 m) e o nível freático bastante próximo à superfície, em época de chuvas.

Calcários e camadas de argilas são os recursos minerais desta unidade, podendo assumir importância regional, como o polo cerâmico de Rio Claro - Santa Gertrudes - Cordeirópolis localizado no interior do estado de São Paulo.

2.3.1. CARACTERIZAÇÃO HIDROGEOLÓGICA

De acordo com Bonfim (2010), a área sob investigação encontra-se no Domínio hidrogeológico das Bacias Sedimentares - Subdomínio Bacia do Paraná (Figura 2.5). A Bacia do Paraná encontra-se na parte meridional do território brasileiro, com área de cerca de 1,1 milhões de km². Com formato alongado na direção NNE-SSW, tem aproximadamente 1.750 km de comprimento e largura média de 900 km. Os valores máximos de espessura de rochas sedimentares e vulcânicas, se somados, ultrapassam 6000 m (ZALÁN *et al.*, 1990). A referida bacia, possui aquíferos de grande importância econômica como os sistemas do aquífero Guarani, (Formações Botucatu e Pirambóia), Bauru, Itararé e Serra Geral.

Este domínio está representado por depósitos relacionados temporalmente ao Quaternário e Terciário como aluviões, coluviões, depósitos eólicos, areias litorâneas, depósitos fluvio-lagunares, arenitos de praia, depósitos de leques aluviais, depósitos de pântanos e mangues, coberturas detríticas e detríticas lateríticas diversas e coberturas residuais (ZAINÉ, 1994).

De acordo com Zaine (1994), as Formações Cenozóicas são representadas por pacotes de rochas sedimentares de naturezas e espessuras diversas, que recobrem as rochas mais antigas. Em termos hidrogeológicos, possuem um comportamento de “aquífero poroso”, com alta porosidade/permeabilidade, o que permite a exploração de vazões significativas.

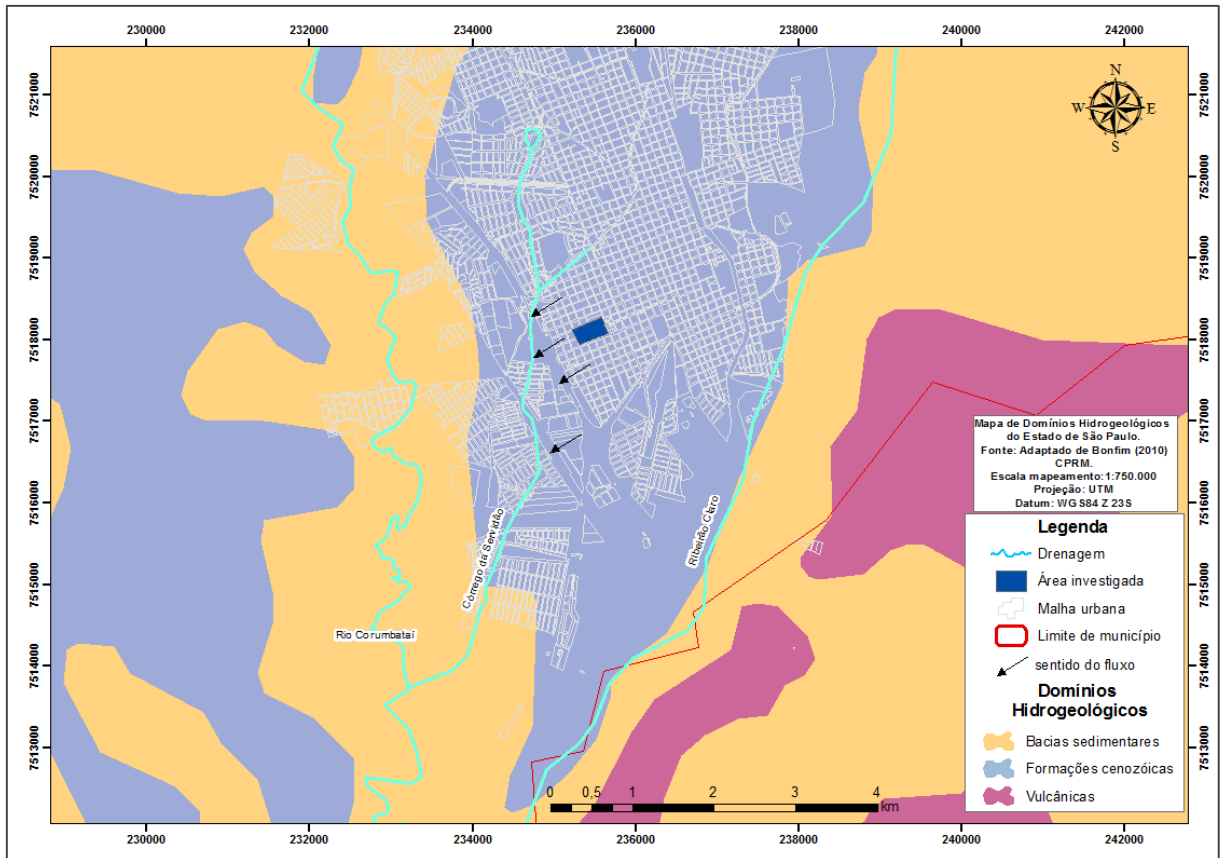


Figura 2-5: Mapa de domínios hidrogeológicos. Fonte: adaptado de Bonfim (2010).

Para o município de Rio Claro, SP, a exploração de águas subterrâneas, é implementada principalmente em rochas do Subgrupo Itararé, que encontra-se relativamente profunda (de 200 a 500 metros), e se caracteriza por apresentar baixa produtividade, além de apresentar, em porções mais profundas, alta salinidade, comprometendo sua qualidade.

Porém, existe também a utilização de água subterrânea extraída dos arenitos da Formação Rio Claro, assentada sobre siltitos e lamitos da Formação Corumbataí. Tais arenitos, com intercalações de finas camadas argilosas, constituem um aquífero pouco espesso, raso (aproximadamente 30 metros) que dependem das condições de pluviosidade para sua constante recarga.

Oliva (2006) ressalta que o aquífero Rio Claro atende de maneira satisfatória à demanda atual, mas um incremento muito elevado na exploração deste aquífero, no entanto, pode gerar problemas no suprimento de água.

2.4.INSERÇÃO URBANA DO CEMITÉRIO SÃO JOÃO BATISTA

O cemitério municipal São João Batista está localizado na Avenida da Saudade, bairro Consolação, município de Rio Claro, SP. Trata-se do primeiro cemitério oficial da cidade com 138 anos de utilização e área total de 80.000 m², (Figura 2.6). Atualmente sua capacidade está esgotada, ocorrendo sepultamentos apenas em jazigos familiares e após dois anos do último sepultamento. O histórico detalhado do cemitério está relatado no Capítulo 3.

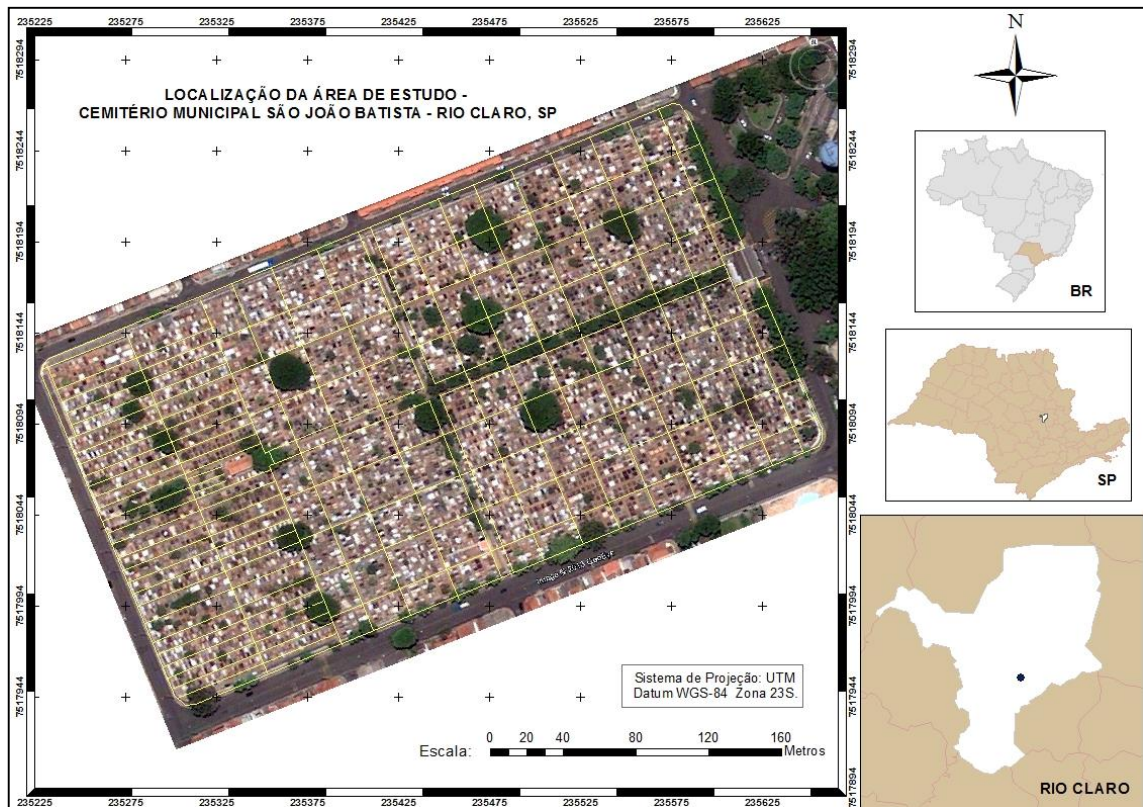


Figura 2-6: Localização do Cemitério São João Batista - Rio Claro, SP. Capacidade esgotada, porém ativo há 138 anos.

Localiza-se especificamente na porção centro-sul da área urbana do município de Rio Claro, e o acesso principal é feito pela Avenida da Saudade, sendo possível adentrar suas dependências pelos portões laterais nas Avenidas Dezenove e Vinte e Três, e pelos fundos na Rua Vinte. O entorno urbano próximo à área investigada, cerca de 200 metros de raio (Figura 2.7) é essencialmente residencial, com alguns pontos de comércio incluindo bares, restaurantes, lanchonetes, supermercados e prestadoras de serviços relacionadas ao cemitério, como funerárias e floriculturas. Por mês, são realizados cerca de 90 sepultamentos.

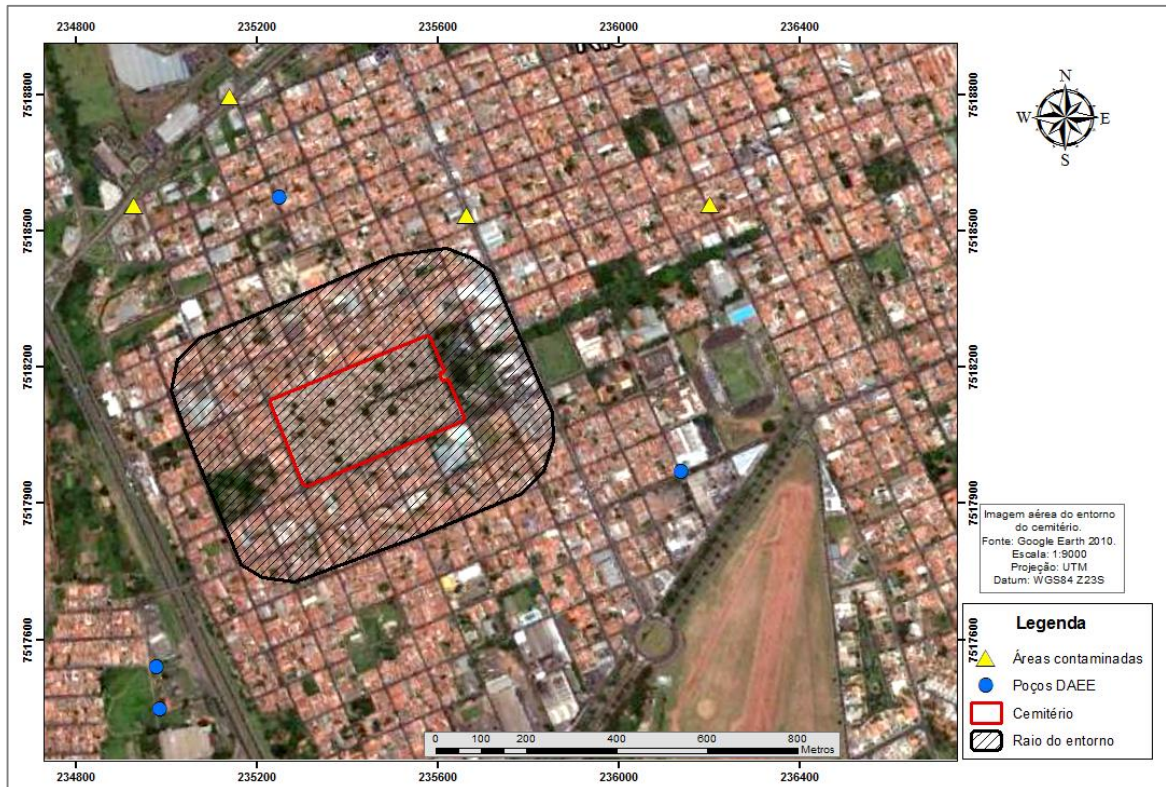


Figura 2-7: Raio de 200 m a partir dos limites do cemitério com áreas contaminadas cadastradas na CETESB e os poços de captação cadastrados no DAEE - Departamento Autônomo de Água e Esgoto podem ser visualizados.

No entorno não são identificados fragmentos de vegetação nativa, bem como Áreas de Proteção Ambiental, Áreas de Preservação Permanentes, Áreas de Preservação de Mananciais ou Áreas Tombadas pelo Patrimônio Histórico.

Segundo o Plano Diretor vigente no município de Rio Claro, a área investigada está inserida na Mesozona 6 da Unidade Regional de Planejamento (URP) 1 - Central, especificamente na subárea denominada ZUD 6. A ZUD-6 compreende os loteamentos Jardim Claret, Jardim Rio Claro, grande parte do loteamento Consolação, parte dos loteamentos Município, Jardim do Trevo, Jardim Shangrilá, Jardim Olímpico, Jardim Quitandinha e áreas agregadas.

2.4.1 POÇOS DE CAPTAÇÃO E ÁREAS CONTAMINADAS

De acordo com o cadastro no DAEE -, não são identificados poços de captação de água dentro do entorno estudado. O ponto de captação mais próximo dista aproximadamente 450 m a norte dos limites do cemitério (Figura 2.7).

O cadastro de áreas contaminadas contido na CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental, não apresenta áreas contaminadas inseridas no entorno estudado, havendo uma área cadastrada, denominada Auto Posto Paraqueda Ltda., localizada a aproximadamente 280 m a norte do empreendimento. Segundo o cadastro da CETESB, o Auto Posto Paraqueda apresenta subsolo e águas subterrâneas dentro da área do empreendimento, impactados por combustíveis líquidos oriundos dos locais de armazenagem dos mesmos. A área está em processo de remediação, com recuperação de fase livre e monitoramento da eficiência e eficácia do sistema.

3. REVISÃO HISTÓRICA

3.1. ORIGEM DOS CEMITÉRIOS E SEPULTAMENTOS

Os cristãos consideram que os mortos, sob a escrita bíblica, não estão mortos, mas sim adormecidos até a ressurreição (Apocalipse 14;13). Preferiam por isso, a palavra “cemitério” como lugar do seu repouso, em vez de outras palavras latinas que expressavam a idéia de encerramento eterno da vida.

A palavra cemitério vem do latim *Coemeterium*, derivado do grego *Koimetérion*, a partir do verbo *Kimáo* que significa “dormitório”, “pôr a jazer” ou “fazer deitar”. Significa o recinto onde se enterram e guardam os mortos. Segundo Bayard (1993), na terminologia hebraica, o cemitério é designado por termos como: *Berth Olam* (casa da eternidade) e *Beth ha' hayaim* (casa da vida). É o mesmo que necrópole ou Sepulcrário.

Muitas perguntas são feitas sobre o que se fazer com o cadáver. Estudos arqueológicos vêm desvendando, através de testemunhos e outros documentos, as práticas funerárias de muitas civilizações antigas, que têm evoluído desde as cavernas até os dias atuais, à luz das circunstâncias e crenças sociais, religiosas e econômicas.

Segundo Felicioni *et.al.* (2007), o sepultamento de cadáveres data da pré-história, quando os homens enterravam os corpos da tribo por questões de segurança. O corpo exposto poderia atrair predadores. Pode-se adicionar aí o incômodo que um corpo humano em decomposição pode ocasionar. A palavra “cadáver” tem origem latina e significa – “carne dada aos vermes”, o que traduz o destino dessa matéria orgânica.

Como a maior parte dos costumes, com o passar do tempo, o ato de enterrar se tornou um tabu, e foi inserido nas regras religiosas dos povos. Dois exemplos clássicos de que a

prática tornou-se quase obrigatória foram os egípcios e os maias. Duas civilizações bastante distintas, mas para as quais o sepultamento era extremamente importante.

Pacheco (2000) realizou um estudo histórico acerca do tema, e o que se segue foi baseado no seu trabalho.

Desde a era cristã é que se tem notícia de cemitérios (necrópolis). Sua origem data do fim do século I na Roma antiga, onde existia o costume de incinerar e/ou embalsamar o cadáver, pois em geral não havia lugar nos territórios romanos para inumação e nem para o encerramento do cadáver nos sarcófagos. Dessa forma, foi interrompida a tradição das necrópoles, que outrora coexistia em outros locais como no Egito e em outras regiões da Europa. Com a difusão do cristianismo, a inumação tornou-se uma realidade, os cristãos passaram a sepultar os seus mortos nas catacumbas de Roma e, depois, fora da cidade às margens das vias de trânsito. Segundo Pacheco (2000), o III Concílio de Toledo realizado no ano de 627, no Cânon 22 estabelece a inumação como norma geral da Igreja.

Muitos povos antigos, por razões higiênicas, sepultavam os seus mortos longe das cidades. Porém, a repugnância à proximidade dos mortos acabou por se esmaecer entre os antigos cristãos. No período compreendido entre a Idade Média e o século XVIII, na Europa Ocidental, em especial na França, os mortos passaram a ter maior proximidade com a população. Os sepultamentos começam a ser feitos nas imediações das igrejas, mosteiros, conventos e no interior destes, em sarcófagos de pedras. Os que possuíam maior poder aquisitivo eram enterrados no interior das igrejas, para estarem próximos de Deus, enquanto os pobres eram enterrados em campos afastados, em valas comuns.

Com o passar dos tempos iniciaram-se na França, campanhas médicas que se opunham aos enterros em interiores de mosteiros, igrejas dentre outros, apoiadas em relatos de que pessoas morreram devido à exposição a “vapores mefíticos” oriundos de corpos em decomposição e uma ordem de Luís XVI, em 1776, interditou os sepultamentos nas igrejas, mosteiros, conventos e capelas, com exceção dos corpos de entidades eclesiásticas.

Como consequência, a geografia dos cemitérios urbanos da cidade de Paris foi substituída pelas necrópoles extramuros. Em Portugal, os problemas sanitários decorrentes da insalubridade de cadáveres enterrados em locais fechados, e interiores de igrejas, já se tornava uma realidade no século XVIII. Aos poucos, foi surgindo a consciência dos perigos causados por estes tipos de sepultamentos tanto nos interiores quanto nos arredores das vilas e cidades. Definitivamente, em meados do século XIX, foi decretada a construção de cemitérios públicos mais afastados das vilas e cidades, como forma de defender a salubridade das

mesmas. O preconceito, o conservadorismo e a incapacidade da população para entendimento dos problemas sanitários do país, coexistiam naquela época, o que levou a muitas dificuldades e obstáculos para, de fato, se iniciarem as construções de tais obras públicas.

No Brasil, foi a colonização cristã dos portugueses, que trouxe ao país todas as tradições de Portugal incluindo as práticas de sepultamentos no interior de igrejas, conventos etc, sobretudo nos estados brasileiros como Minas Gerais, onde a influência portuguesa era intensa e dominante. As igrejas em Ouro Preto, por exemplo, possuem em seu interior, no assoalho, as demarcações de “túmulo” nas tábuas corridas do piso de madeira, que são numeradas de acordo com os cadáveres que lá foram enterrados. Nesta época, no fim do século XVIII, os médicos brasileiros já se preocupavam com as questões de saúde pública causadas por essas tradições de sepultamento. Os médicos acreditavam que os sepultamentos deveriam ocorrer em locais afastados das cidades, longe das fontes de água, em terrenos arejados, ou seja, implicitamente nestas opiniões, já se via certa preocupação ambiental. Finalmente foi promulgada a lei imperial que determinou a localização dos cemitérios afastados das vilas e cidades, e assim como na França e Portugal, a lei só entrou em vigor anos depois, devido às mesmas resistências encontradas nesses países, principalmente por coligações católicas leigas.

Dessa forma, os cemitérios passaram a ser construídos afastados das cidades, como cita Pacheco (2000), foi oficializada a primeira necrópole pública na cidade de São Paulo - o Cemitério da Consolação, no ano de 1858, longe dos vivos, por razões de salubridade pública, e após este, surgiram outros vários, públicos e particulares.

Estes cemitérios que antes se localizavam afastados, nos dias atuais, se encontram totalmente inseridos nos centros urbanos, devido ao crescimento populacional e urbano e novamente, constituem uma preocupação de saúde pública.

3.2.CONTEXTO HISTÓRICO URBANO DE RIO CLARO

De acordo com pesquisa realizada no Arquivo Histórico Municipal de Rio Claro, o livro “Rio Claro - Sesquicentenária” (PEREIRA *et.al.* 1978), o surgimento da cidade de Rio Claro ocorreu através de forasteiros que vinham de toda a região da província de São Paulo, passando pela região do Ribeirão Claro à procura de ouro no Mato Grosso desde 1719. A rota pelo rio era perigosa, devido à febre que dizimava o povo, e preferiram a rota pela terra. Assim, surgiam os primeiros povoados que se fixavam nas planícies do Morro Azul e Ribeirão Claro como relata trecho do histórico:

(...) “Aos bandeirantes e aventureiros que desbravavam inóspitos sertões à procura de ouro, aqui se deixavam ficar, às vezes vencidos pelo cansaço, outras, entusiasmados pela exuberância da flora e pela salubridade do clima”.

As primeiras casas e glebas foram alocadas junto às margens do Ribeirão Claro, e quando as primeiras sesmarias foram demarcadas, já existia um incipiente povoado.

O surgimento do município de Rio Claro se deu por uma série de concessões dadas pelo governo da província de São Paulo às famílias e freguesias na região do Ribeirão Claro por volta de 1821 e familiares desta freguesia foram povoando outras regiões ao redor e nas proximidades dando início a vários bairros e vilas.

A primeira capela surgiu devido a vinda do padre chamado Delfino da Silva Barbosa, para paranimfar a fundação da sesmaria pertencente à família sua amiga. O padre trouxe em sua bagagem uma imagem de São João Batista e assim nasceu o povoado “São João Batista do Ribeirão Claro”. A imagem do santo que figurou naquela solenidade é a mesma que ainda se encontra no altar-mor da igreja matriz da cidade de Rio Claro.

Desta forma, construíram uma capela e uma casa paroquial para a residência do referido padre e novas construções e casas e comércio se iniciaram ao redor.

O dono das terras, logo doa um grande terreno para a edificação da futura cidade e da igreja definitiva. Foi erguida no lugar da atual matriz uma igreja de paredes de barro socado e madeira lavrada - foi a primeira matriz de São João do Ribeirão Claro e serviu aos fiéis de Rio Claro por 40 anos.

A população aumentava por volta de 1830 a 1845, e com ela as necessidades sociais e econômicas. Porém, a freguesia de São João Batista de Ribeirão Claro não possuía uma câmara municipal que resolvesse seus interesses. Dessa forma, seus habitantes, encabeçados por Jose Estanislau de Oliveira - Visconde de Rio Claro idealizaram elevar a freguesia à categoria de vila, e o desvencilhamento da freguesia de Limeira. No dia 07/03/1845, Rio Claro elevou-se à categoria de vila.

Por volta de 1850, a vila de Rio Claro passava por grande desenvolvimento, sobretudo no setor agrícola. Colhia-se com abundância o milho, o café, a cana - de - açúcar, e o algodão. Fabricava-se e exportava-se o açúcar produzido nos diversos engenhos instalados na região. O comércio melhorava, o número de habitações crescia e novas casas de negócios se abriam. Era a lei da oferta e da procura.

Em 30 de abril de 1857, foi decretada a Lei nº 44 que promovia a vila à categoria de cidade. Desde sua fundação em 1827 até 1857, com 30 anos de existência, Rio Claro se tornou cidade em uma época de fracos recursos. Visconde de Rio Claro foi o prefeito de 1857 a 1860.

3.2.1. SERVIÇOS DE ÁGUA E ESGOTO DA CIDADE

Até 1886, a população de Rio Claro era abastecida de água potável através de poços domiciliares e das nascentes existentes ao longo das margens do Córrego da Servidão. Porém, com o aumento crescente da população, a água havia se tornado insuficiente.

Em 1900, foi inaugurado pela câmara o novo serviço de abastecimento de água, que se tratava de um reservatório (a água pertencia ao Córrego da Servidão). Através de bombeamento após filtração, a água era distribuída em encanamentos pelas ruas da parte oeste da cidade a partir da rua 5. Em 1901, foi inaugurada a rede de esgoto, a fim de acabar em definitivo com as fossas domiciliares, ruins à higiene e à saúde pública. Futuramente, por volta de 1945, deu-se início ao aproveitamento do Ribeirão Claro.

3.2.2. A REMOÇÃO DO CEMITÉRIO MUNICIPAL

Na situação de cidade, São João do Rio Claro insistia para a remoção de seu cemitério para um lugar mais afastado do centro urbano. O cemitério ocupava uma quadra próxima à igreja matriz, no lugar onde se encontra hoje o grupo escolar “Cel. Joaquim Sales” situado à rua 7, que foi o primeiro cemitério não oficial da cidade.

Em 1873, a câmara decidiu contrair um empréstimo para executar as obras do novo cemitério, dadas as condições de limitações de recursos do município e na ocasião, o vereador Dr. José Alves de Cerqueira Cesar, membro da comissão das obras do futuro cemitério, leu perante os seus pares o seguinte parecer:

“A remoção do Cemitério Público é uma necessidade reconhecida de longa data; a Sociedade do Bem Comum, criada por iniciativa particular para zelar dos públicos interesses desta localidade, há 40 anos já a reconhecia. Há oito anos, esta Câmara Municipal demarcou o local para o erguimento do novo cemitério,

porém a míngua de recursos não permitiu que se levasse a efeito a obra, cuja necessidade de dia para dia, torna-se maior, atento ao crescimento que se observa na cidade. Hoje, o cemitério acha-se circundado de casas, ocupa o centro da povoação, apesar da notável repugnância que todos sentem em habitar nas vizinhanças dos lugares destinados aos mortos. Deixaria esta câmara de corresponder às expectativas de seus munícipes, se pusesse de parte a satisfação dessas necessidades, por todos sentida (...) outro expediente não pode a câmara recorrer senão o de contrair um empréstimo com esse destino (...) Rio Claro, 23 de fevereiro de 1873”.

Procurando diminuir a dúvida, o intendente da municipalidade, Coronel Joaquim de Salles, consultou ao então diretor de serviços sanitários do estado, Dr. Emilio Ribas, indagando se os trabalhos poderiam ter prosseguimento ou se haveria inconveniência no uso do terreno do então cemitério sediar um estabelecimento de ensino primário e também para a saúde da população. Em março do mesmo ano Emilio Ribas dizia em resposta, que “pode ser utilizado o local, por tratar-se de um terreno poroso, com declividade natural (...), tempo decorrido é mais que suficiente para a decomposição dos cadáveres pela ação combinada do ar, da água, do calor e dos germes saprófitas, como costuma acontecer em tais circunstancias depois de 5 anos”. Em seguida o Dr. Emilio Ribas aconselhava que “durante o revolvimento da terra, seja feita a desinfecção do terreno com leite de cal recentemente preparado, como medida de precaução”. A preocupação se dava pela quantidade de doenças e epidemias que ocorriam naquele período.

Desde 1889, Rio Claro e Campinas vinham apresentando numerosos casos de febre amarela, com número acentuado de óbitos, quando também o litoral brasileiro sofria as consequências do Tifo, ou Febre Tifóide.

No ano de 1892, a epidemia de febre amarela deixou em Rio Claro um grande saldo de óbitos: 331 pessoas haviam sucumbido. Outra epidemia que assolou o país foi a “Gripe Espanhola”. A epidemia foi pior no ano de 1918 no Brasil, em Rio Claro ocorreram 597 óbitos no geral, e dentre eles, 59 foram por causa da gripe. Em 1919, de 512 óbitos totais, 45 foram devidos à gripe, ou seja, mais de 10% do total dos óbitos.

Outros tipos de gripes também atingiram Rio Claro, como a “Gripe Asiática” e a “Gripe Beija Flor”, sendo bastante significativos os números de doentes na cidade. Cerca de 600 casos de média anual, porém, sendo insignificante o número de óbitos (PEREIRA *et.al.* 1978).

Por volta de 1971, apareciam os primeiros casos de meningite na cidade de Rio Claro, atingindo seu pico máximo em 1975, porém a campanha de vacinação conseguiu vacinar cerca de 86.000 pessoas em um único dia! O índice da doença caiu e no total, ocorreram 56 óbitos (PEREIRA *et.al.* 1978).

3.2.3. CEMITÉRIO SÃO JOÃO BATISTA

O novo Cemitério Municipal ficou pronto em 1875, e sua inauguração foi marcada para o dia primeiro de novembro, dia de Todos os Santos. O serviço de demarcação e alinhamento da nova necrópole foi entregue ao agrimensor Manoel José de Carvalho, que faleceu no dia marcado para a inauguração. O seu sepultamento realizou-se no dia 02 de novembro, dia de Finados, e a sua sepultura recebeu o número “1”, número de ordem dos enterramentos. Dessa forma, com seu cadáver, inaugurou o cemitério que havia demarcado.

O cemitério São João Batista recebeu seu nome devido ao padroeiro da cidade, e primitivamente era localizado nas ruas que hoje, são conhecidas como 7 e 8 e avenidas 5 e 7, e posteriormente transferido para onde se encontra atualmente, nas ruas 16b e 20b e avenidas 19 e 23. Desde sua inauguração - 2 de novembro de 1875, até o presente, sofreu várias transformações e ampliações. Destaca-se a transferência do portão principal, então situado em frente ao túmulo de Barão de Rio Claro - Visconde de Rio Claro, para o lugar onde se encontra na rua 16.

Em 1922, nova área foi anexada ao cemitério, promovendo sua ampliação. Outras ampliações foram realizadas desde então, o que ensejou oportunidade para novas reformas ocorridas com destaque para a fachada e portal de entrada. O cemitério de Rio Claro, hoje graças aos cuidados que vem merecendo do poder municipal, se destaca pela beleza de seu traçado, pela riqueza dos seus túmulos, pela arborização e, sobretudo, pela paz que transmite em local de habitual frequência da população local.

3.2.4. CEMITÉRIO DOS “BEXIGUENTOS OU LEPROSOS”

As grandes epidemias de varíola e a alta incidência da lepra (hanseníase) no município de Rio Claro, no século XIX, produziram um número bastante elevado de mortes. Todavia, aos que morriam dessas doenças, não lhes era permitido que fossem sepultados nos cemitérios locais e só podiam ser sepultados em covas de 10 palmos de profundidade. Somente a partir de janeiro de 1874, essa proibição foi revogada por deliberação da câmara.

Até então, os chamados “bexigentos” e leprosos que morriam, deveriam ser enterrados no campo, fora da cidade. Assim, houve a necessidade que se lhes destinasse um local no campo, como exigia a determinação da câmara, para acolher os corpos desses doentes. E, dessa forma, surgiu em Rio Claro outro cemitério - o “dos bexigentos ou dos leprosos” como era chamado. Nas buscas efetuadas, não foram encontrados registros ou documentos de sua existência formal oficial. Todavia, é certa a sua existência, pois podia-se notar a ocorrência de ruínas. Localizava-se na região sudoeste da cidade, a aproximadamente 300 metros à esquerda da atual via Washington Luiz, na altura do km 176. Não havia muro de fecho e a sua área teria sido de aproximadamente 1000 m². Hoje nada mais dele resta, tendo sido completamente destruído.

Porém, antes da existência do referido cemitério, os “bexigentos” - os doentes de varíola, eram enterrados no cemitério da rua 7, onde hoje se encontra a escola “Cel. Joaquim Salles”, e em 1902 - 27 anos após a inauguração do novo cemitério – o São João Batista, procedia-se à demolição e ao revolvimento da terra, para ser construído o grupo escolar. Nessa mesma época, surgiram vários casos de varíola na cidade, fato que causou a apreensão na população, que atribuiu o fato à contaminação pelas terras onde haviam sido sepultados variolosos, há mais de 25 anos.

Dessa forma, surgiram suspeitas de que cadáveres podem se tornar perigosos poluentes quando se trata de sua localização em meio urbano.

3.3. IMPACTOS POTENCIAIS CAUSADOS POR CORPOS EM DECOMPOSIÇÃO

Do ponto de vista químico o corpo humano é formado por diferentes substâncias e depois de morto o mesmo passa a ser um ecossistema de populações formado por bactérias e microorganismos destruidores de matéria orgânica. Os seres microscópicos são os responsáveis pela putrefação, ou seja, a destruição dos tecidos do corpo. O resultado é a decomposição gradual gerando gases, líquidos e sais.

Em entrevista concedida a Felicioni *et.al* (2007), o professor Leziro Marques Silva exemplifica: “vamos considerar um cadáver adulto, um biotipo brasileiro de 70 Kg. No processo de decomposição, é capaz de produzir 24 litros de gases variados, 30 litros de substâncias mineralizadas e 10% de substâncias orgânicas. O necrochorume é mais denso que a água, tem cor acastanhada ou acinzentada, muito mal cheiroso”

Segundo o especialista, a decomposição do corpo pode durar de alguns meses a vários anos, dependendo da ação ambiental. Em clima tropical, o cadáver demora aproximadamente três anos para ser totalmente decomposto. Em regiões temperadas, o processo pode durar até dez anos (FELICIONI *et.al* 2007).

Além da eliminação do necrochorume pelos corpos, outros poluentes, não menos importantes, levantados por Silva (1995) e Silva (1998), não podem ser esquecidos, como, por exemplo, os óxidos metálicos (Ti, Cr, Cd, Pb, Fe, Mn, Hg, Ni e outros) lixiviados dos adereços diversos das urnas mortuárias, acessórios de embalsamamento, dentre outros.

Jonker & Olivier (2012), estudaram o cemitério de Zandfontein em Tshwane, na África do Sul, objetivando identificar se as práticas funerárias, poderiam contaminar com metais pesados os solos do cemitério. Compararam os solos de dentro do cemitério e de fora, e como foram enterrados cerca de 60.000 caixões, determinaram se a carga de enterros afetou a composição mineral do solo, a ponto de causar um risco potencial para a saúde. Constataram que houve um excesso de metais pesados, provavelmente de origem antrópica e práticas funerárias e verificou-se que a composição mineral do solo dentro “Zandfontein Cemetery” foi significativamente maior do que aquelas fora do local e que os solos nas zonas com as cargas mais altas de sepultamentos eram mais contaminados do que nas partes menos utilizadas do cemitério. Isto indicou que a quantidade de sepultamentos tem impacto direto no conteúdo dos minerais do solo mineral e, portanto, os cemitérios podem ser considerados também como fontes antropogênicas de contaminação.

Bergamo (1954) defendeu a necessidade de estudos geológicos e sanitários das áreas de cemitérios e a verificação das possibilidades de contaminação das águas subterrâneas e superficiais, que podem significar riscos às populações residentes nas adjacências de cemitérios.

Ottmann (1987) citado por Pacheco (2000), através de um extenso trabalho fez considerações de caráter geológico, legislativo e regulamentar sobre a implantação e gestão de cemitérios na França. Colocou em evidência o papel geológico na elaboração de projetos

sobre necrópoles, cuja intervenção é fundamental para proteção do meio ambiente, notadamente águas superficiais e subterrâneas.

Oliveira *et.al.* (2010) avaliaram o uso e ocupação de dois cemitérios instalados em Fortaleza - CE, relacionado às condições geoambientais e hidrogeológicas das áreas ocupadas por estes empreendimentos. Objetivaram com esta pesquisa, avaliar a vulnerabilidade da região ocupada pelos cemitérios. Os resultados obtidos demonstraram que grande parte dos cemitérios instalados no município situa-se em locais desapropriados pelas leis ambientais onde apresentam litologias sedimentares, o que pode resultar em uma alta permeabilidade e transmissividade.

Spongberg & Becks (2000), atentam para o crescente número de enterros e cemitérios, e os possíveis contaminantes antrópicos que deles são provenientes como: produtos químicos venenosos, como arsênio e mercúrio, que foram usados nos embalsamamentos no passado e práticas funerárias que utilizaram: formaldeído a partir de práticas de embalsamamento atuais; vernizes, selantes, e conservantes utilizados em caixões de madeira; e o chumbo, zinco, cobre, aço e de caixões de metal. O trabalho teve como objetivo estudar os metais adsorvidos em solos de um grande cemitério a noroeste de Ohio, EUA. Concluiu-se que certos metais associados com práticas funerárias atuais e do passado podem se acumular em profundidade em cemitérios. Foram identificadas concentrações elevadas de ferro, chumbo, cobre, zinco, cobalto e de arsênio, com a profundidade.

O necrochorume pode veicular, além de microrganismos oriundos do corpo, metais pesados e materiais antrópicos, restos ou resíduos de tratamento químicos hospitalares (quimioterapia) e os compostos decorrentes da decomposição da matéria orgânica. Silva (1995) e Silva (1998) afirma que todos esses contaminantes incorporados ao fluxo de necrochorume são também prejudiciais ao solo e as águas subterrâneas.

Pacheco *et.al.* (1993), após monitoramento na área interna de três cemitérios, constataram contaminação bacteriológica do aquífero freático por microrganismos oriundos de corpos em decomposição.

Migliorini (1994) avaliou a contaminação físico-química das águas subterrâneas do cemitério paulista de Vila Formosa. Em 2002, lançou um livro intitulado: “Cemitérios contaminam o Meio Ambiente?”.

Costa *et.al* (2002) realizaram estudos nos cemitérios “da Paz” e “da Saudade” em Belo Horizonte - MG, e constataram que é bastante significativa a contaminação das águas subterrâneas nas proximidades desses cemitérios por metais e pela presença de bactérias,

principalmente quando a superfície freática encontra-se a pequena profundidade. O estudo visou um diagnóstico da contaminação físico-química e bacteriológica do aquífero freático dos cemitérios.

Matos & Pacheco (2002) avaliaram a ocorrência e o transporte de microrganismos no aquífero freático do cemitério “Vila Nova Cachoeirinha”, município de São Paulo. As amostras de água do aquífero livre apresentaram, principalmente, bactérias heterotróficas, bactérias proteolíticas e clostrídios sulfito-redutores. Também foram encontrados enterovírus e adenovírus nas amostras. Verificaram que as bactérias são transportadas alguns metros, diminuindo em concentração com o aumento da distância à fonte de contaminação, e que os vírus parecem ter uma mobilidade maior que as bactérias, alcançando, no mínimo, algumas dezenas de metros no aquífero do cemitério em questão.

Migliorini *et.al.* (2006) estudaram dois cemitérios urbanos em Cuiabá - MT, e constataram o aumento do teor de sais dissolvidos nas águas subterrâneas de ambos. Encontraram *Salmonella*, demonstrando a presença de contaminação por necrochorume.

Almeida *et.al.* (2006), avaliaram a ocorrência de microrganismos no aquífero freático localizado no cemitério da Várzea em Recife - PE. Os resultados obtidos foram indicativos da contaminação microbiana do aquífero por necrochorume. Foram realizadas análises bacteriológicas das águas de oito poços que comprovaram a presença de bactérias heterotróficas e proteolíticas, indicando que a contaminação é gerada pela presença abundante de matéria orgânica e bactérias que predominam durante o processo de decomposição dos corpos.

Dent & Knight (2007) realizaram uma avaliação hidrogeoquímica e microbiológica de águas subterrâneas em aquíferos de nove cemitérios, com uma variação considerável de diferentes solos e de configurações hidrogeológicas. Enfatizaram que cemitérios devem ser tratados como um tipo de aterro sanitário, e que os resíduos orgânicos são colocados abaixo do nível da superfície e cobertos com terra, mas que um excesso desse material pode sobrecarregar e se acumular em subsuperfície. Ressaltaram que planejamentos de cemitérios devem ser adequadamente avaliados a partir de uma perspectiva geocientífica.

Silva & Malagutti Filho (2009) realizaram estudo de áreas potencialmente impactadas por necrochorume no cemitério municipal de Vila Rezende, Piracicaba - SP. Foi concluído que as prováveis plumas de contaminação têm ligação com a profundidade do nível freático e com o tempo de sepultamento.

3.4. PROCESSOS TRANSFORMATIVOS DE CADÁVERES

3.4.1 *NECROCHORUME*

O termo necrochorume segundo Miotto (1990) tomou emprestado o significado intrínseco do termo “chorume”, largamente empregado para designar o resíduo líquido resultante da decomposição da matéria orgânica presente nos lixos domésticos dispostos em aterros sanitários, que tem como características a cor negra, o mau cheiro e elevada demanda bioquímica de oxigênio (DBO).

Segundo Almeida & Macedo (2005), quando em estado de putrefação, que é a destruição dos tecidos do corpo por ação das bactérias e enzimas, o resultado é a dissolução gradual dos tecidos em gases, líquidos e sais. Os gases produzidos são H₂S (Sulfeto de Hidrogênio ou Ácido Sulfídrico quando dissolvido em água), CH₄ (gás metano), NH₃ (amônia), CO₂ (gás carbônico) e H₂ (gás hidrogênio). O odor é causado por alguns destes gases e por pequena quantidade de mercaptana (POUNDER, 1995) - substância que contém sulfeto de hidrogênio ligado a carbono saturado.

Segundo Silva (1995), se o cadáver possui 70 Kg, um líquido é liberado intermitentemente em quantidades equivalentes a 0,60 l/Kg. Essa é a relação necrochorume/massa corpórea para um adulto deste peso.

Esse líquido, mais viscoso que a água, mas nela bastante solúvel, é rico em sais minerais e substâncias orgânicas degradáveis, de coloração castanho-acinzentada, polimerizável, de cheiro acre e fétido e com grau variado de patogenicidade (SILVA, 2000 e MATOS, 2001). Possui densidade média de 1,23 g/cm³, portanto mais denso que a água (1g/cm³) e pH variando de 5 a 9 em temperatura de 23° a 28° C. Ele é constituído por 60% de água, 30% de sais minerais e 10% de substâncias orgânicas degradáveis, e diversas diaminas, mas as mais preponderantes são as mais tóxicas, entre as quais: a putrescina (1,4 Butanodiamina - C₄H₁₂N₂) e a cadaverina (1,5 Pentanodiamina - C₅H₁₄N₂), que podem ser degradadas, gerando amônio (NH₄⁺) (SILVA, 1998).

A composição do corpo de um homem adulto de 70 kg é mostrada no Quadro 3.1. A composição do corpo da mulher pode variar entre um quarto e dois terços da do homem (DENT e KNIGHT, 1998).

Quadro 3.1: Composição aproximada do corpo de um homem adulto de 70 kg (Fonte: DENT e KNIGHT, 1998).

Substância	Quantidade
Carbono	16.000g
Nitrogênio	1.800g
Cálcio	1.100g
Fósforo	500g
Enxofre	140g
Potássio	140g
Sódio	100g
Cloreto	95g
Magnésio	19g
Ferro	4,2g
Água	70 – 74%

De acordo com Nascimento (2009), o necrochorume apresenta toxicidade elevada em decorrência da presença não apenas dos compostos orgânicos complexos, mas também de agentes patogênicos (bactérias e vírus). Entretanto, a influência do necrochorume sobre a água depende especialmente, se os tipos de solo e de terreno permitem o seu acúmulo. Os patógenos, em sua grande maioria, têm aversão natural ao oxigênio presente na zona insaturada do solo, porém, a água subterrânea presente na zona saturada é pobre em oxigênio dissolvido, o que favorece a sobrevivência dos mesmos. Os microorganismos provenientes da decomposição podem, conseqüentemente, contaminar o lençol freático e mesmo os aquíferos confinados. O tempo de sobrevivência das bactérias e vírus varia muito; em geral, é de dois a três meses, mas pode atingir cinco anos em condições ideais (ROMERO, 1970).

Normalmente, a ingestão, a inalação ou qualquer contato direto com as substâncias tóxicas ou patogênicas do necrochorume atingem os seres humanos principalmente através do trato digestivo, do fígado, dos pulmões ou da epiderme (CARVALHO JUNIOR, 1997).

Pacheco & Matos (2001) ressaltam que, devido à heterogeneidade da composição química do necrochorume, encontram-se no mesmo, números elevados de bactérias degradadoras de matéria orgânica (bactérias heterotróficas), de proteínas (bactérias proteolíticas) e lipídios (bactérias lipolíticas). Encontram-se também bactérias que são normalmente excretadas por humanos (e animais), pois vivem nos seus tratos intestinais, como *Escherichia coli*, *Enterobacter*, *Klebsiella* e *Citrobacter* (as quatro formam o grupo coliforme total) e a *Streptococcus faecalis* - ao serem ingeridas, provocam diarréias e dores abdominais; e microrganismos patogênicos como *Clostridium perfringes*, *Clostridium welchii* - causam tétano, gangrena gasosa e toxiinfecção alimentar; *Salmonella typhi* que causa a febre

tifóide, e *paratyphi*, a febre paratifóide, *Shigella* que causa a desintéria bacilar e o vírus da hepatite A.

De acordo com Nascimento (2009), algumas bactérias, como as do gênero *Clostridium*, tipo esporuladas anaeróbicas, por exemplo, não oferecem riscos ao serem ingeridas. Entretanto, são capazes de provocar doenças quando penetram no organismo através da pele. O necrochorume pode causar várias enfermidades e algumas podem levar à morte, bem como provocar epidemias. Apesar de muitos organismos serem suscetíveis à transmissão de doenças pela água, os indicadores de contaminação usualmente utilizados são os coliformes, principalmente do grupo dos coliformes fecais ou termotolerantes, e os estreptococos. Os coliformes fecais possuem um tempo muito curto de sobrevivência, tanto no solo como nas águas subterrâneas. Os estreptococos fecais podem sobreviver por mais tempo em águas subterrâneas, mantidas naturalmente a temperaturas baixas. (FRANÇA, 1985).

Pode ser visualizado (Foto 3.1), o extravasamento de necrochorume no cemitério de Vila Nova Cachoeirinha. Isso ocorre devido à elevação do nível do lençol freático em períodos de chuvas mais intensas, submergindo assim as sepulturas com o contaminante, e desta forma, aflorando em superfície.



Foto 3.1: Extravasamento de necrochorume no cemitério Vila Nova Cachoeirinha, São Paulo. Fonte: (MATOS & PACHECO, 2000)

Na sequência, pode-se visualizar o líquido no Cemitério Municipal de Rio Claro (Fotos: 3.2; 3.3 e 3.4;) e notar extravasamento de necrochorume dos túmulos.



Foto 3.2: Extravasamento de necrochorume no túmulo no Cemitério Municipal de Rio Claro, SP.
Fonte: acervo pessoal.



Foto 3.3: Extravasamento de necrochorume no túmulo no Cemitério Municipal de Rio Claro, SP.
Fonte: acervo pessoal.

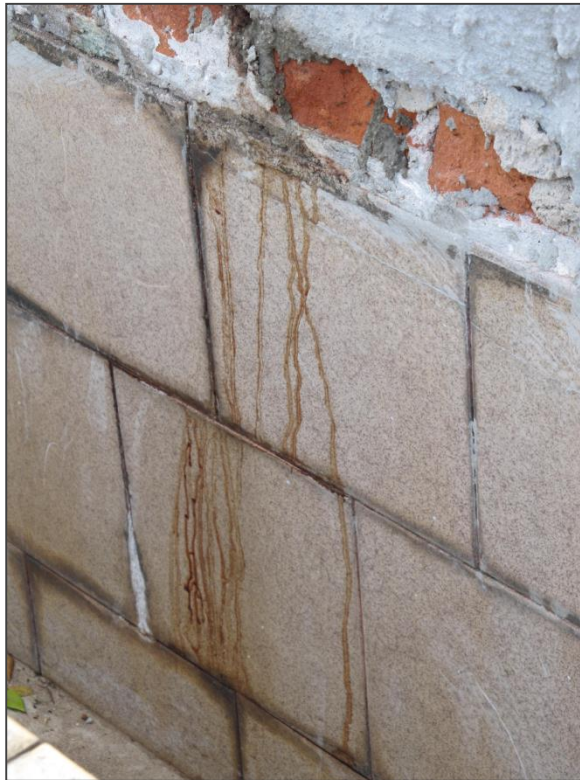


Foto 3.4: Extravasamento de necrochorume no túmulo no Cemitério Municipal de Rio Claro, SP. Fonte: acervo pessoal. Estes estágios de extravasamento ocorrem aproximadamente em 20 a 30 dias após o sepultamento, de acordo com as datas nos túmulos, e das condições climáticas do município.

3.4.2. PROCESSO DE DECOMPOSIÇÃO DE CADÁVERES

De acordo com Silva (2008), do ponto de vista de saúde pública, o processo de decomposição de cadáveres deve ser facilitado pelas condições e características dos solos, de modo que ocorra naturalmente sem oferecer riscos de contaminação ao sistema solo - água. A importância de uma metodologia para caracterizar a adequabilidade de terrenos destinados à implantação de cemitérios no contexto da Geologia de Planejamento e Gestão do Meio Físico é reforçada à medida que se conhecem os processos transformativos dos cadáveres e as relações com o meio onde são sepultados. Portanto, especial ênfase deve ser dada ao conhecimento desses processos.

Porém, de acordo com Dent (2007), a compreensão dos processos de decomposição dos corpos no solo necessita ter em conta a detenção do conhecimento dos fatores ambientais e detalhes dos restos mortais. Os processos de decomposição são afetados principalmente pela natureza dos restos mortais (*idade, a constituição do corpo, o peso e a causa da morte*), a natureza do local (*características físicas: condutividade hidráulica e estrutura granular*), a infiltração e percolação das águas subterrâneas e gases atmosféricos, a exalação ou percolação

de gases de decomposição, o clima (*temperatura e umidade*), flora e fauna nativas, os aspectos físicos do processo de enterro e, é claro, o tempo. Passado o tempo suficiente para as condições ambientais para que a esqueletização esteja completa, então os processos climáticos do intemperismo químico e a percolação das águas subterrâneas, proporcionarão o seu curso natural.

Segundo Nascimento (2009), verificado o óbito, o cadáver após ser sepultado, passa por processos de transformação que podem ser destrutivos ou conservativos. Entre os processos destrutivos, o mais importante é a putrefação que se inicia pelos intestinos sendo regida por fenômenos biológicos e físico-químicos nos quais atuam microrganismos vivos que podem ser aeróbios, anaeróbios ou facultativos. O processo de putrefação engloba quatro fases: fase de coloração (ou cromática), fase gasosa, fase coliquativa (ou humorosa) e fase de esqueletização (FÁVERO, 1980). As mais importantes para a contaminação das águas são as fases gasosa e humorosa (PACHECO, 1986).

Silva (2008) ressalta que é no período coliquativo que ocorre a dissolução pútrica do cadáver, devido à desintegração progressiva dos tecidos, no qual as partes moles diminuem de volume, resultando em um efluente líquido intermitente, denominado de produto de coliquação, líquido humoroso ou necrochorume, sendo o último termo, o mais utilizado. De acordo com França (1985), neste período o corpo perde sua forma, o esqueleto fica recoberto por uma massa de putrilagem, e surge um grande número de insetos, larvas e germes, que trabalham pela destruição do cadáver, dependendo das condições do corpo e do terreno, podendo estender-se por vários anos.

A fase de coloração, em geral, inicia-se entre 18 e 24 horas após o óbito, com a manifestação das bactérias intestinais (enterobactérias) do tipo saprófitas, em meio anaeróbico. Apresenta-se por meio de uma mancha esverdeada na pele na região abdominal, cuja cor é devida à presença de sulfometahemoglobina, resultado da reação do gás sulfídrico com a hemoglobina. A duração desta fase é de 7 a 12 dias, dependendo das condições climáticas (SILVA, 1995). Segundo Fávero (1991) e França (1985) citados por Silva (2008), esta fase é mais morosa nos cadáveres inumados do que nos conservados ao ar livre, e mais ligeira na presença de água. Silva (1995) salienta que, em geral, este período pode durar até sete dias após o óbito.

A fase gasosa, que se inicia sete a doze dias após o sepultamento pode se estender por até seis a oito meses (SILVA, 1998). Os gases originados na cavidade abdominal começam a se difundir por todo o corpo, originando a formação de bolhas inicialmente na pele e depois

avolumando o corpo, que fica com aspecto de gigantismo. O acúmulo destes gases faz com que o cadáver aumente seu volume, principalmente na face, no abdome e nos órgãos genitais masculinos. A forte pressão dos gases putrefativos provoca a ruptura das paredes abdominais, liberando os gases e a liberação posteriormente da produção do líquido humoroso - o necrochorume, que é facilmente detectável pelo odor intenso nauseoso e insuportável (SILVA, 1995).

Uma parte dos gases liberados pelos corpos inumados permanece adsorvida no solo, o restante atinge de maneira geralmente imperceptível a atmosfera (SILVA, 1995). No caso dos corpos enterrados em túmulos, os gases liberados chegam à atmosfera, após os mesmos escaparem das urnas funerárias e dos túmulos, por meio de suas juntas, sendo por vezes perceptíveis ao olfato. No caso do fosfano (trihidreto de fósforo - PH_3), o seu desprendimento na atmosfera somente é perceptível se ocorrer à noite, pois ao se inflamar instantaneamente pela reação com o oxigênio atmosférico, forma um clarão súbito característico (“flash”, “flare”) (SILVA, 1995). Segundo Emsley (1993), o fosfano entra em combustão espontânea em contato com o ar e “detona” o metano presente, que em alta concentração forma uma luz espectral, muito parecida com o fenômeno da aurora boreal.

A terceira fase, a *humorosa*, inicia-se logo após a fase gasosa e pode se estender até dois ou três anos (SILVA, 1998). É caracterizada pelo amolecimento e desintegração dos tecidos, que dá formação de um líquido denso e escuro, o necrochorume. De acordo com França (1985), neste período o corpo perde sua forma, o esqueleto fica recoberto por uma massa de putrilagem, e surge um grande número de insetos, larvas e germes, que trabalham pela destruição do cadáver, dependendo das condições do corpo e do terreno, podendo estender-se por vários anos.

Na última fase do processo da putrefração, a fase de *esqueletização*, após dois anos e meio a três anos de sepultamento, o esqueleto é desmontado, reduzindo a massa cadavérica a 18 ou 20 kg. O *período de esqueletização* é determinado pela ação continuada dos germes e insetos e da ação do meio ambiente. Os tecidos reduzem-se ainda mais, até que o cadáver apresente os ossos livres, unidos apenas pelos ligamentos (MIOTTO, 1990). Dependendo de algumas condições ambientais os ossos podem resistir por dezenas a centenas de anos, mas com o passar do tempo, esses perdem sua estrutura típica, tornando-se friáveis e mais leves. Os cabelos e os ossos resistem por muitos anos.

Segundo Pacheco & Batello (2000), a decomposição do corpo pode demorar muito tempo quando o processo putrefático é interrompido. Isso ocorre normalmente devido a

interferências externas em determinadas condições geológicas, e é observado em um grande número de cemitérios. Nesse caso, podem ocorrer fenômenos transformativos conservadores, e os mais comuns são a saponificação e a mumificação.

De acordo com Nascimento (2009), a mumificação ocorre geralmente em ambientes onde predominam pouca umidade e temperatura elevada, que impedem a ação microbiana e representa a dessecação ou desidratação dos tecidos. Pacheco & Matos (2000), enfatizam que a mumificação aparece em condições de clima quente e seco, com correntes de ar e que os solos que propiciam a mumificação são os do tipo arenosos das regiões desérticas e os solos calcários (permitem a histometabose - uma fossilização incipiente provocada pela substituição catiônica do sódio e do potássio pelo cálcio). Em solos calcários, os corpos inumados podem sofrer uma fossilização incipiente, devido à substituição catiônica de sódio e potássio pelo cálcio. Assim, têm sido encontradas múmias naturais, muito bem conservadas, sem ataúdes, depositadas no solo, em cavernas ou catacumbas (PACHECO & MATOS, 2000).

Já o processo de saponificação, de acordo com Matos (2001), é a hidrólise da gordura com liberação de ácidos graxos, tais quais, pela acidez, inibem as bactérias putrefativas, atrasando a decomposição do cadáver. A adipocera é resultante da saponificação, uma massa branca, mole, de aspecto céreo, que se forma nos diversos tecidos e órgãos do cadáver. Segundo Pounder (1995), a saponificação é favorecida por um ambiente quente, úmido e anaeróbico, e com a presença de bactérias endógenas. O solo argiloso, pouco permeável, com alta capacidade de troca catiônica (CTC) quando saturado por água, também facilita esse tipo de fenômeno.

3.5. MÉTODOS GEOFÍSICOS APLICADOS A ESTUDOS AMBIENTAIS

3.5.1. BREVE HISTÓRICO

Orellana (1972) define a geofísica como a ciência que estuda estruturas localizadas no interior da Terra, que representam corpos delimitados pelos contrastes de algumas de suas propriedades físicas com as do meio circundante, e que, para tanto, utiliza-se de medidas tomadas na sua superfície, interior de sondagens, e levantamentos aéreos.

Pode ser definida em duas áreas principais:

- GEOFÍSICA BÁSICA: cujo objetivo é o estudo das propriedades da Terra, no âmbito de sua constituição interna e propriedades físicas e relações com o meio, seu interesse limita-se basicamente ao cunho acadêmico;

- GEOFISICA APLICADA: cujo objetivo é a investigação de estruturas, anomalias e/ou alvos específicos, existentes no subsolo em situações de pequenas profundidades, e que subsidiam as necessidades de outras áreas de atuação como a geologia, engenharia civil, prospecção mineral, geotecnia, hidrogeologia, com aplicações em diversas áreas ambientais.

A geofísica aplicada apoia-se em um conjunto de técnicas físicas e matemáticas, e teve seu desenvolvimento relacionado à exploração dos subsolos, buscando localizar e estudar estruturas favoráveis à acumulação de substâncias úteis para a sociedade, tais como, petróleo, águas subterrâneas, minerais etc.

Porém, a diversidade do emprego da geofísica aplicada tem crescido muito rapidamente, sobretudo em estudos ambientais, proporcionando suporte para subsídio à resolução de muitos problemas. Sua aplicação em estudos ambientais, envolvendo contaminação de solos, rochas e águas subterrâneas, através de contaminantes orgânicos e inorgânicos, tem sido frequente e despertado a atenção de pesquisadores.

A bibliografia disponível sobre o emprego da geofísica é vasta, não só no Brasil, mas também no mundo todo, com inúmeros trabalhos desenvolvidos, dentre artigos científicos em revistas técnicas, trabalhos acadêmicos como teses, dissertações e livros.

Especificamente, em áreas de cemitério, no Brasil, em meados dos anos 80, o Centro de Pesquisas de Águas Subterrâneas - CEPAS/ USP, iniciou pesquisas sobre eventuais contaminações, pelo pesquisador e professor Alberto Pacheco, que defendia sua tese, no tema “cemitérios e meio ambiente”. A partir daí, iniciou-se a linha de pesquisa no tema que deu origem a diversos trabalhos e pesquisas pelo país, muitos, utilizando geofísica. Foi a partir da referida década, que os trabalhos do emprego da geofísica aumentaram nesse ramo ambiental.

No que se refere à aplicação em áreas de cemitério, algumas referências podem ser citadas:

Mendes *et.al.* (1989) pela primeira vez utilizaram no Brasil, as técnicas geofísicas de investigação no estudo da contaminação das águas subterrâneas por cemitérios.

Junior *et.al.* (1996) utilizaram métodos geofísicos no estudo hidrogeológico do cemitério municipal de São José, em Belém do Pará. Neste estudo, foi confirmado que o cemitério não apresentava condições insalubres para funcionamento.

Matos (2001) utilizou métodos geofísicos com objetivo de subsidiar a investigação da ocorrência de microorganismos no aquífero freático do cemitério Vila Nova Cachoeirinha, no município de São Paulo. Obteve resultado satisfatório para a presença de bactérias e vírus nas águas subterrâneas do cemitério.

Silva (2008) aplicou geofísica - Sondagens Elétricas Verticais e Imageamento Elétrico para mapeamento da pluma de contaminação no cemitério de Vila Rezende em Piracicaba. Evidenciou os métodos geofísicos como constituindo uma importante metodologia indireta para a avaliação ambiental em cemitérios na investigação e delimitação de plumas de contaminação, direcionando os ensaios invasivos como sondagens, poços de investigação e monitoramento para detecção efetiva dos eventuais contaminantes.

Castro (2008) realizou um estudo geológico, geofísico, hidrogeológico e hidrogequímico para a caracterização do cemitério Bom Jardim, em Fortaleza, CE. As características físico-químicas da água evidenciaram altos teores de sais dissolvidos e matérias orgânicas com valores elevados de condutividade elétrica. O levantamento geofísico, realizado através dos métodos da Sondagem Elétrica Vertical – SEV, do EM – Eletromagnético e do GPR - Radar de Penetração no Solo subsidiou o estudo hidrogeológico e contribuiu para a conclusão sobre a resposta geofísica da presença do necrochorume no substrato.

Dessa forma, infere-se que, as informações obtidas pelas respostas geofísicas correlacionadas com os parâmetros geológicos, hidrogeológicos, físicos e químicos, constituem uma base importante para subsidiar tomadas de decisões.

3.5.2. MÉTODOS GEOELÉTRICOS

Os métodos geoelétricos baseiam-se no fato de que as rochas, em função de suas composições mineralógicas, texturas e disposições, apresentam propriedades físicas e elétricas características, tais como resistividade, permeabilidade magnética etc. Em função disso, uma seção geológica pode ser considerada como um meio, cujos materiais existentes apresentam diferentes propriedades elétricas.

A presença de alguns tipos de contaminantes no subsolo podem alterar significativamente os valores naturais dos principais parâmetros físicos dos materiais geológicos como a resistividade, a cargabilidade e a condutividade cujas variações são estudadas pelos métodos Geoelétricos.

De um modo geral, tais métodos englobam várias modalidades e técnicas de investigação além de uma infinidade de dispositivos de campo possíveis de serem utilizados. Dessa maneira podem ser adaptados em função da área a ser estudada e do objetivo específico. Entretanto, o sucesso da resposta geofísica está diretamente ligado à escolha do(s) método(s) adequado(s) para as condições da área de estudo.

Braga (1988) propôs uma classificação para os métodos geoeletricos, que é baseada em três critérios: *método geofísico, técnica de desenvolvimento e arranjo de campo*. Tais critérios, na prática, revelam-se de fácil entendimento e utilização, tornando claro o tipo de levantamento geofísico empregado e podem ser definidos da seguinte maneira:

- Método: função do parâmetro físico medido (resistividade, cargabilidade, potencial espontâneo etc)
- Técnica: procedimento para obtenção do parâmetro físico (sondagens, imageamentos, perfilagens etc)
- Arranjos: disposição dos eletrodos para o desenvolvimento da técnica (Schlumberger, Wenner, Dipolo-Dipolo, Axial etc). O termo “arranjo” define as combinações numéricas e geométricas de eletrodos na execução de diferentes técnicas dos métodos geoeletricos.

Dessa forma, os métodos Geoeletricos constituem boa opção para realização do estudo em áreas de cemitérios urbanos, pois apresentam boas condições de adaptação ao meio.

4. MÉTODOS GEOELÉTRICOS: CONCEITOS FUNDAMENTAIS

4.1.GENERALIDADES

O capítulo que se segue, objetiva conceituar e fundamentar teoricamente os aspectos geofísicos utilizados para a realização desta pesquisa. O desenvolvimento da teoria está fundamentado em grande parte nos trabalhos de Ward (1990), Telford *et.al.* (1990), Parasnis (1986) e Orellana (1972).

A área escolhida para a investigação ambiental trata-se do cemitério São João Batista, o mais antigo do município de Rio Claro, datando do fim do século XIX. Como na atualidade, o cemitério se encontra novamente integrado à malha urbana e ativo, sua escolha tem por fundamento, investigar a situação ambiental subsuperficial local, dadas as circunstâncias supracitadas.

Os estudos geofísicos realizados no presente trabalho priorizaram os métodos Geoeletricos (Figura 4.1):

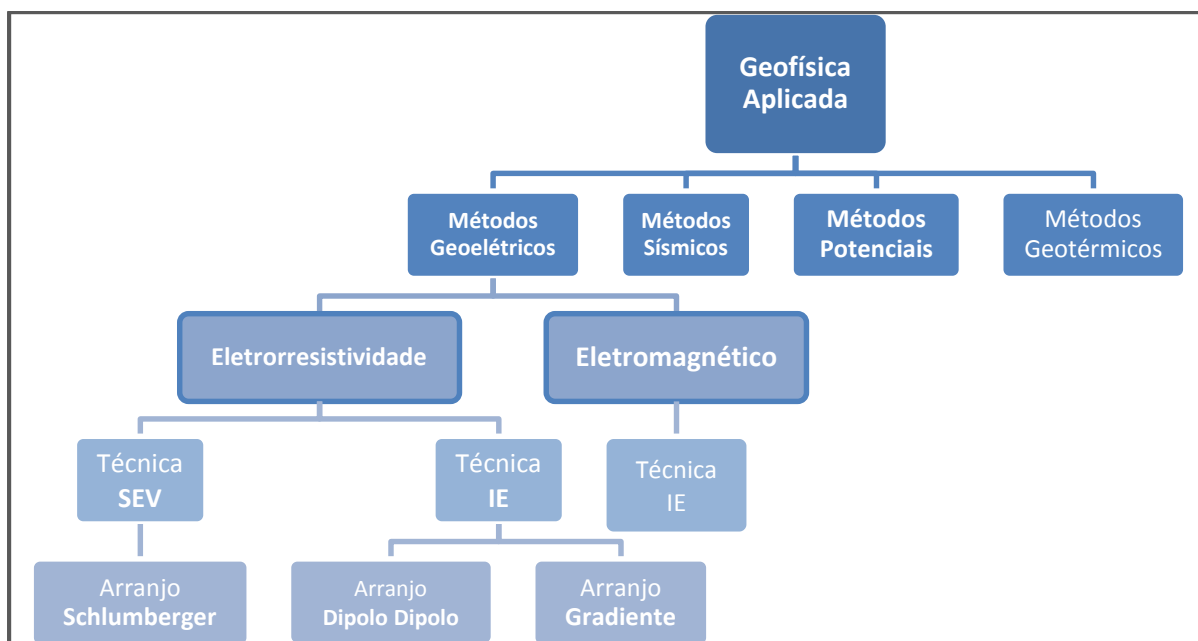


Figura 4-1: Organograma referente aos métodos, técnicas e arranjos utilizados no presente trabalho.

De acordo com Braga (1997), os métodos geoelétricos são tradicionalmente empregados em estudos hidrogeológicos e possuem particularidades que possibilitam a investigação subsuperficial como, por exemplo, possuem uma série de métodos, técnicas e arranjos, possíveis de serem realizados podendo dessa maneira, serem adaptados em função da área a ser estudada.

4.2.ELETRORRESISTIVIDADE

O método da eletrorresistividade é baseado na determinação da resistividade elétrica (ρ) dos materiais que, juntamente com a constante dielétrica¹ das rochas e minerais e a permeabilidade magnética, que é um fator de influência indireta, expressam fundamentalmente as propriedades eletromagnéticas mais significativas dos materiais constituintes do subsolo (TELFORD *et.al.*1990).

Segundo Ward (1990), as propriedades físicas que influenciam na eletrorresistividade, são características dos diferentes tipos de materiais existentes no ambiente geológico. São responsáveis por suas características peculiares que permitem caracterizar seus estados, em termos de alteração, fraturamento, saturação etc; e até identificá-los litologicamente, sem

¹ A constante dielétrica ou *permissividade relativa* é a capacidade de um material se opor ao fluxo de corrente. É a medida da habilidade do material dielétrico armazenar energia. É um valor relativo baseado em 1,0 para o vácuo. Fonte: Carvalho & Silva (2002).

necessidade de escavações físicas, tornando mais práticas, rápidas e menos onerosas as pesquisas. Sendo assim, a resistividade elétrica é um parâmetro intrínseco dos materiais, que se relaciona à dificuldade encontrada por uma corrente elétrica para se propagar em um meio e esse parâmetro depende, entre outras coisas, da natureza e do estado físico do corpo considerado.

De acordo com Orellana (1972), fisicamente, o mecanismo de propagação da corrente elétrica nas rochas pode ocorrer de duas maneiras: (1) condução eletrônica (ôhmica), que ocorre em materiais que possuem elétrons livres na matriz da rocha, (minerais metálicos, impurezas e agregação dos minerais) como nos materiais condutores e também ocorre nos semicondutores, ou até mesmo nos pouco condutores, que não possibilitem a passagem da corrente elétrica; e (2) condução eletrolítica (iônica), na qual o fluxo de corrente ocorre devido ao deslocamento de íons dissolvidos na água contida em poros e fissuras das rochas sendo afetada principalmente pela composição mineralógica, porosidade, teor em água e quantidade e natureza dos sais dissolvidos (Figura 4.2).

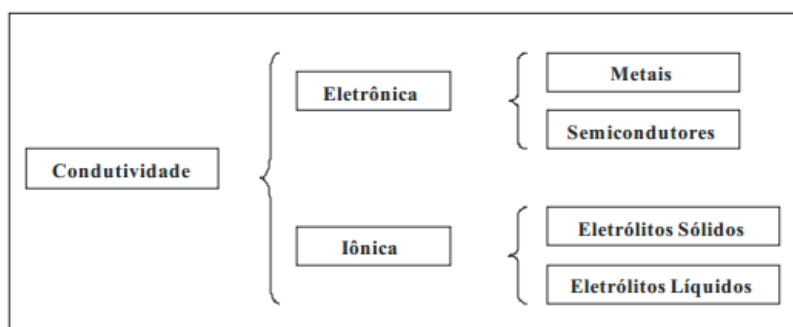


Figura 4-2: diferentes tipos de condutividade (ORELLANA, 1972).

Na maioria das vezes, a condutividade é eletrolítica, pois apenas em casos específicos os minerais condutores eletrônicos ocorrem em rochas em quantidades suficientes para aumentar sua condutividade global, sendo a resistividade afetada principalmente pela composição mineralógica, porosidade, teor em água e quantidade e natureza dos sais dissolvidos. Estas condições é que possibilitam a aplicação da eletrorresistividade em estudos ambientais e hidrogeológicos, segundo Gallas (2000), certamente a condução eletrolítica de maior importância nos estudos de levantamentos geofísicos e de eletrorresistividade.

A condução eletrolítica, segundo Telford *et.al.* (1990), ocorre principalmente em materiais geológicos de baixa condutividade, ou materiais denominados dielétricos, considerados “isolantes”, mas que possuem a capacidade de manter a carga, ou seja, se polarizar com a chamada “força dielétrica”. Dessa forma, a constante dielétrica, é a capacidade do material de armazenar energia.

Como as rochas usualmente apresentam poros e fissuras que geralmente estão preenchidos por fluidos, principalmente água e, eventualmente por contaminantes ricos em sais, as rochas e o subsolo em geral assumem um comportamento de condutores eletrolíticos, possibilitando a investigação pelo método (TELFORD *et.al.*, 1990).

Orellana (1972) explica que, se a resistividade das rochas dependesse unicamente dos minerais constituintes, haver-se-ia de considerar o material isolante na maioria das vezes, pois minerais como o quartzo, os silicatos, calcita, dentre outros são praticamente isolantes. Seria diferente, caso a rocha contivesse minerais semicondutores em quantidade significativa, é que poderia considerá-la como condutora. Porém, todas as rochas possuem poros ou fissuras em menor ou maior quantidade, os quais estão ocupados total ou parcialmente por eletrólitos, permitindo sua investigação pelo método da eletrorresistividade.

As condições físicas macroscópicas das rochas encontradas na superfície terrestre podem influenciar fortemente as variações na resistividade dos materiais. Segundo Iakubovskii & Liajov (1980), uma rocha condutora de corrente elétrica pode ser considerada como sendo um agregado com estrutura de minerais sólidos, líquidos e gasosos, no qual sua resistividade é influenciada pelos seguintes fatores:

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

Porém, a maioria das litologias encontradas na natureza apresenta condução iônica, onde o meio condutor é uma solução de sais distribuídos nos poros da rocha. Sendo assim, a resistividade dependerá da quantidade de eletrólito presente (água + sais), da salinidade e da maneira como esses eletrólitos se distribuem nos poros.

Desta maneira, a resistividade pode ser definida como sendo uma medida da dificuldade que a corrente elétrica encontra na sua passagem em um determinado material, e isto está ligado aos mecanismos pelos quais a corrente elétrica se propaga.

Quando o cilindro é atravessado por uma corrente elétrica (I), ele passa a ser submetido a uma diferença de potencial (ΔV) e sua resistência (R) com base na Lei de *Ohm*, será (Equação 4.1 e Figura 4.3):

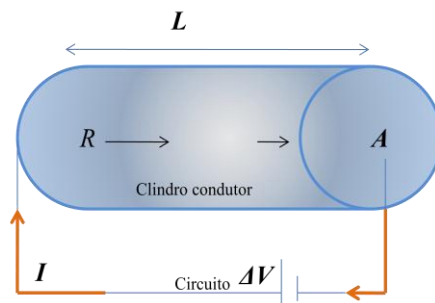


Figura 4-3: Esquema de um condutor cilíndrico homogêneo.

(Equação 4.1)

$$R = \frac{\Delta V}{I}$$

Onde:

ΔV é a voltagem, ou a tensão entre as extremidades do cilindro, dada em *volts* (V);

R é resistência elétrica expressa em *ohms* (Ω);

I é a intensidade da corrente que flui pelo cilindro, medida em *âmpères* (A).

Da física, sabe-se que a relação entre a resistividade (ρ) e a resistência (R) de um condutor homogêneo de forma cilíndrica ou prismática (Figura 4.3), cuja área (A) e comprimento (L), e que possuem dimensões unitárias é representada por (Equação 4.2):

(Equação 4.2)

$$\rho = R \frac{A}{L}$$

Onde:

R é a resistência elétrica do corpo - *ohms* Ω ;

L é o comprimento do cilindro, dado em metros;

ρ é a resistividade elétrica em Ωm ;

A é a área em m^2 .

4.3.RESISTIVIDADE APARENTE

O método da eletrorresistividade no campo é baseado na emissão de corrente no subsolo, por equipamento apropriado para investigar em diferentes profundidades, a fim de identificar a variação dos valores de resistividades dos materiais geológicos nas referidas profundidades.

Considerando uma fonte conectada ao solo através de cabos e eletrodos por dois pontos distantes um do outro, a Terra, que não é um isolante perfeito, conduz a corrente elétrica gerada pela bateria.

Esse contato, denominado galvânico, se caracteriza pela existência de eletrodos cravados na superfície do terreno. No ensaio de campo, aplica-se, em uma superfície plana de um semi-espço homogêneo e isótropo, um dispositivo arbitrário de quatro eletrodos com distâncias conhecidas, sendo um par para emissão de corrente (I) através dos eletrodos (**A** e **B**), e o outro par (**M** e **N**), para medir a diferença de potencial (ΔV) que se estabelece entre eles (Figura 4.4). A diferença de potencial (ΔV) gerada pela passagem da corrente provoca campo elétrico entre os eletrodos e a resistividade é assumida como constante. Assim, conhecendo-se a corrente (I) emitida, o espaçamento entre os eletrodos e medindo-se a diferença de potencial, é possível calcular a resistividade (ρ).

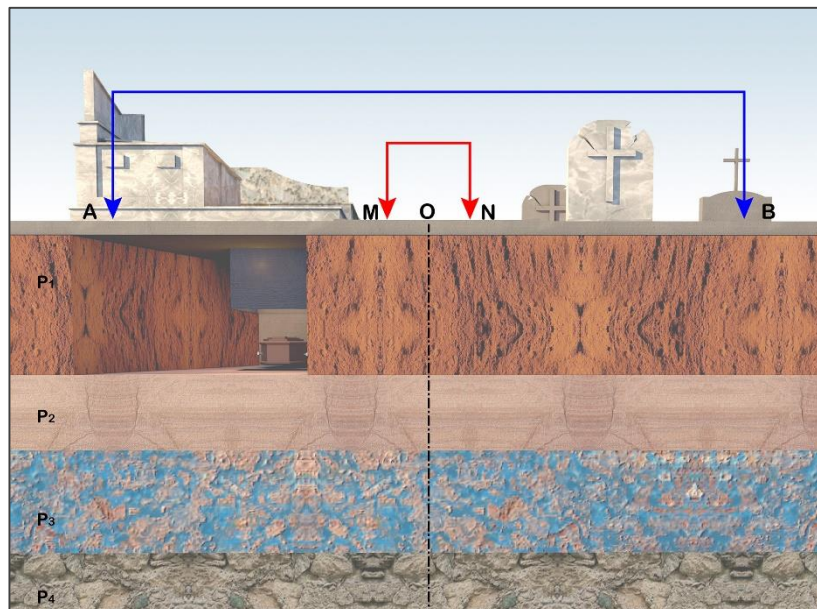


Figura 4-4: Esquema de disposição de eletrodos para medições no campo por meio do método da eletrorresistividade. Obs: a configuração dos eletrodos empregados pode ser diferente conforme o arranjo objetivado.

Essa lei é válida para um material homogêneo, diferentemente do que ocorre na natureza. É sabido que o meio físico de subsuperfície é heterogêneo, e esse representa a realidade.

De acordo com Gallas (2000), um dos conceitos mais importantes na prospecção geoeletrica é o da resistividade aparente: ao utilizar o mesmo arranjo de eletrodos para efetuar medições sobre o meio heterogêneo e um meio homogêneo, a diferença de potencial observada e a resistividade resultante das medidas serão diferentes. Como na prática o subsolo não pode ser considerado homogêneo, os valores calculados, referem-se a uma **Resistividade Aparente (ρ_a)**. Esta resistividade aparente não pode ser entendida como média, nem média ponderada das diferentes resistividades do meio, pois pode acontecer que seja maior, ou menor que qualquer uma das resistividades existentes naquele referido meio de acordo com Orellana (1972).

Ainda, de acordo com o autor supracitado, as heterogeneidades e anisotropias dos materiais geológicos, que geralmente estão distribuídos tanto lateralmente, como em profundidade, são as causadoras das distorções no campo elétrico, as quais, na superfície, serão traduzidas por anomalias de resistividade aparente. Essas anomalias serão, pois, de alta ou baixa resistividade e estarão condicionadas pela forma geométrica e posição espacial das heterogeneidades.

Parasnis (1986) explica que, a resistividade aparente é um conceito formal e artificial e que não deve ser interpretada de modo geral, como representando a média da resistividade da terra ou qualquer outra magnitude semelhante. Ressalta que a artificialidade do termo será evidente, quando se descobrem possíveis valores negativos de resistividade.

Resumidamente, a resistividade aparente, é obtida a partir de medidas realizadas sobre um meio heterogêneo aplicando-se a expressão válida para meios homogêneos. O potencial no eletrodo **M** será dado pela Equação 4.3:

(Equação 4.3)

$$V_M = \frac{I\rho}{2\pi} \left(\frac{1}{AM} - \frac{1}{BM} \right)$$

E o potencial *N* pela Equação 4.4:

(Equação 4.4)

$$V_N = \frac{I\rho}{2\pi} \left(\frac{1}{AN} - \frac{1}{BN} \right)$$

Como os potenciais são escalares, podem ser somados algebricamente e a diferença de potencial (ΔV) medida no equipamento para determinada posição dos eletrodos **MN** e **AB** será dado pelas Equações 4.5 e 4.6 a seguir:

(Equação 4.5)

$$\Delta V_{MN} = V_M - V_N$$

Assim:

(Equação 4.6)

$$\Delta V_{MN} = \frac{I\rho}{2\pi} \left(\frac{1}{AM} - \frac{1}{BM} - \frac{1}{AN} + \frac{1}{BN} \right)$$

Os valores de ρ calculados são valores de ρ_a . Estes valores são calculados em função da separação entre eletrodos, por meio do fator geométrico K . Pode-se então calcular o valor da resistividade ρ_a e do fator K do meio investigado mediante a seguinte equação 4.7:

(Equação 4.7)

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

Dessa forma, pode-se então expressar a resistividade aparente como (Equação 4.8):

(Equação 4.8)

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

4.3. TÉCNICA DA SONDAGEM ELÉTRICA VERTICAL

A técnica da Sondagem Elétrica Vertical é baseado nas análises e interpretações das respostas de campo elétrico gerado no subsolo por meio da injeção de corrente, e tais respostas variam a diferentes profundidades dadas as condições peculiares das resistividades dos materiais em subsuperfície.

Segundo Astier (1975), uma Sondagem Elétrica Vertical - SEV consiste em estabelecer a curva de variações de um parâmetro físico com a profundidade, através de medidas em superfície realizadas com a ajuda de um dispositivo de quatro eletrodos **AMNB**. A profundidade de investigação pode ser regulada variando a distância entre os eletrodos **A** e **B** de corrente (Figura 4.5), uma vez que corrente penetra mais, quanto maior for a distância intereletródica **AB**.

Orellana (1972) define Sondagem Elétrica Vertical - SEV, como uma série de determinações da resistividade aparente, efetuadas com o mesmo tipo de dispositivo e separação crescente entre os eletrodos de emissão e recepção. Essa técnica emprega uma corrente elétrica artificial contínua ou alternada de baixa frequência (inferior a 10 Hz) no terreno e têm seus dispositivos eletródicos simétricos e alinhados, a direção do arranjo e o centro do dipolo de recepção de potencial permanecem fixos (Figura 4.5).

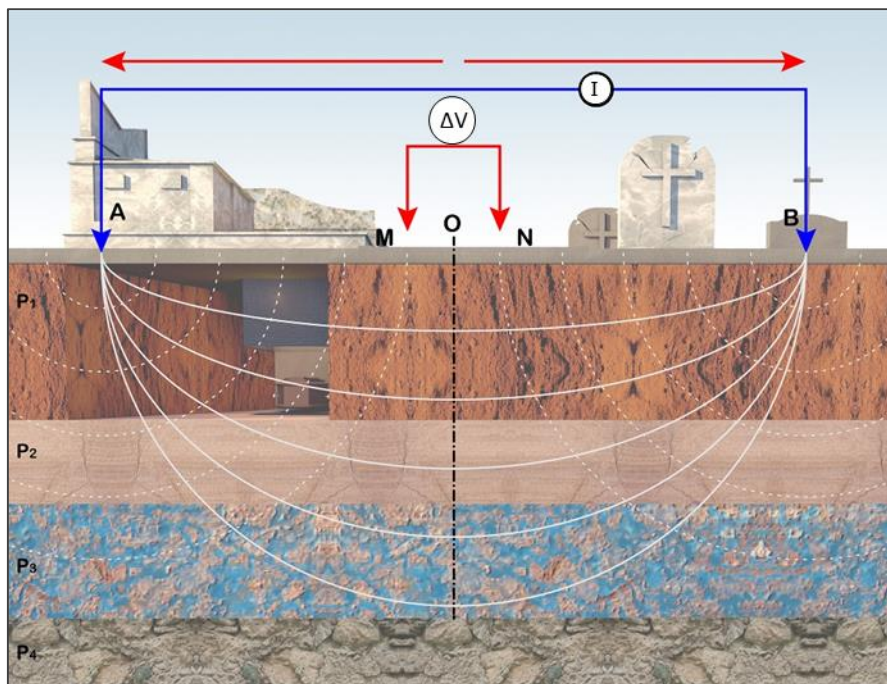


Figura 4-5: Esquema simplificado de Sondagem Elétrica Vertical – a profundidade de investigação aumenta conforme a distância AB. Onde I é a intensidade da corrente, e ΔV é a diferença de potencial medida em Volts, formando dessa forma um circuito elétrico em meio geológico.

O ponto de atribuição das medidas é o ponto O central entre os eletrodos de recepção de potencial, sendo os resultados de resistividade aparente em (Ωm), apresentados em forma de curva em base bi-logarítmica em função das distâncias entre os eletrodos de contato correspondentes ($AB/2$) (Figura 4.6).

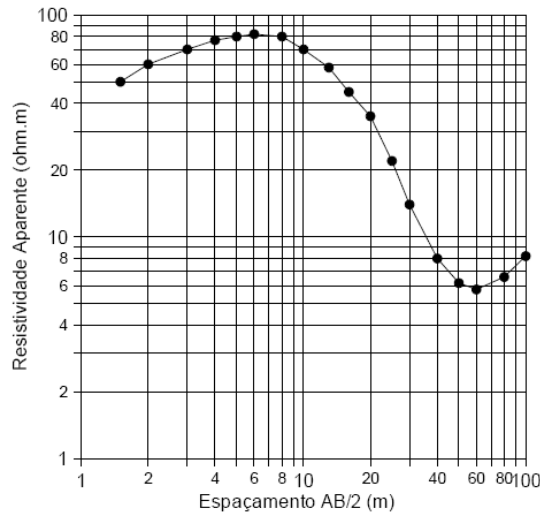


Figura 4-6: Plotagem dos dados de SEV.

4.3.1. ARRANJO SCHLUMBERGER

De acordo com Elis (1998), o arranjo de campo Schlumberger é o mais utilizado no Brasil em SEVs, devido à qualidade das curvas de campo, facilidade e rapidez na execução do ensaio e menor suscetibilidade às variações laterais de resistividade e ruídos, como correntes naturais no subsolo, linhas de alta tensão, dentre outras fontes.

No referido arranjo, escolhido para o presente trabalho, é utilizado na configuração eletródica quatro eletrodos, sendo dois para emissão de corrente, **A** e **B**, e dois para a leitura da diferença de potencial, **M** e **N**. A principal característica desse arranjo é que a distância MN deve ser sempre bastante pequena em relação a AB , devendo satisfazer, no máximo, à relação sugerida por Orellana (1972) descrita pela Equação 4.9:

(Equação 4.9)

$$MN \leq \frac{AB}{5}$$

Para quantificar a resistividade aparente ρ_a , calcula-se o fator geométrico K segundo Equação 4.10:

(Equação 4.10)

$$K = \pi \frac{(AM \cdot AN)}{MN}$$

Com o aumento da distância entre os eletrodos de corrente A e B , o volume total da subsuperfície incluída na medida também aumenta, permitindo alcançar camadas cada vez mais profundas. Os resultados sucessivos estarão, portanto, atrelados às variações da resistividade com a profundidade.

A profundidade teórica de investigação é diretamente proporcional à distância de separação AB : quanto maior a abertura, maior a profundidade investigada, e, normalmente, situa-se em torno de $1/4AB$, dependendo da resistividade das litologias subjacentes. Dada essa relação, o centro O é fixo e a abertura entre os eletrodos deve ser mantida constante o máximo possível, enquanto a recepção do sinal for adequada.

No procedimento de campo, ao aumentar o espaçamento entre os eletrodos AB com MN fixo, o valor da diferença de potencial (ΔV) diminui com rapidez, atingindo valores imprecisos. Uma das formas de manter a integridade dos valores é aumentar a intensidade da corrente, o que muitas vezes não é possível devido às limitações operacionais. Para tanto, quando o sinal se torna fraco, é possível usar de outra forma de solução para o problema, a chamada “embreagem” - que é a repetição da leitura ΔV com duas ou mais aberturas MN para uma mesma abertura AB (ORELLANA, 1972), (Figura 4.7).

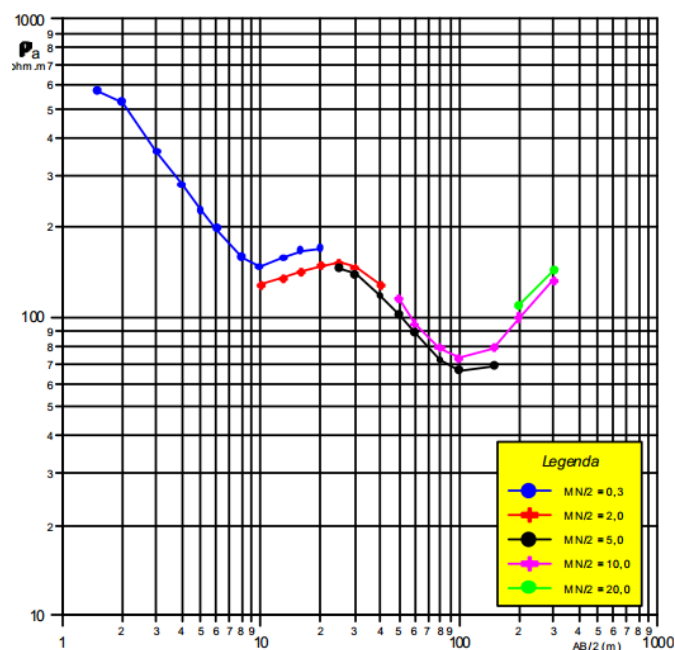


Figura 4-7: Operação de embreagem em curvas de SEV.

Dessa forma, esta operação possibilita manter as leituras de diferença de potencial dentro de um intervalo aceitável, e assim, controlar a qualidade dos resultados obtidos. O ponto de atribuição das medidas é o ponto médio O entre M e N , sendo os resultados apresentados sob a forma de curvas de resistividade, plotados em gráficos bi-logarítmicos. A plotagem das medidas de resistividades aparentes é feita no eixo das ordenadas e no eixo das abscissas as aberturas $AB/2$. Gallas (2000) enfatiza ainda que, o sistema de plotagem bi-logarítmico é adotado porque o mais importante é a relação entre as resistividades e não a diferença entre elas. Por exemplo, uma diferença de $100 \Omega m$ é significativa quando as resistividades forem da ordem de $200 \Omega m$, porém, torna-se quase irrelevante se os valores situarem-se em torno de 3.000 ou $4.000 \Omega m$. Desta forma, este sistema de plotagem favorece o realce das variações dos estratos geolétricos mais relevantes.

4.4. TÉCNICA DO IMAGEAMENTO ELÉTRICO

Segundo Ward (1990), a técnica do Imageamento Elétrico consiste em obter a variação lateral de resistividade a profundidades aproximadamente constantes em um ou mais níveis de profundidade. Ou seja, a partir da fixação de um determinado espaçamento de eletrodos, deslocam-se os mesmos ao longo de perfis efetuando medidas de resistividades aparentes.

O procedimento de campo consiste em manter constante o arranjo determinado entre os eletrodos e medir a diferença de potencial (ΔV). Os resultados obtidos se relacionam entre si através de mapas e/ou seções (com várias profundidades ou níveis de investigação). Este conceito descreve tanto o arranjo dipolo-dipolo, como o arranjo gradiente, objetos de estudo do presente trabalho. O que muda é a configuração dos eletrodos como é descrito a seguir.

4.4.1. ARRANJO DIPOLO - DIPOLO

No arranjo dipolo-dipolo a configuração é de dois eletrodos **A** e **B** de emissão de corrente e de dois eletrodos **M** e **N** de potencial com igual espaçamento “X” estando os eletrodos dispostos em um mesmo alinhamento, definidos por: $X=AB=MN$ (Figura 4.8). A profundidade teórica de investigação (z) aumenta com o espaçamento entre os eletrodos e as medidas são efetuadas em várias profundidades, cujos pontos de investigação centro são determinados pela intersecção das linhas que partem do centro geométrico de **AB** e **MN** com ângulo de 45 graus em relação à superfície.

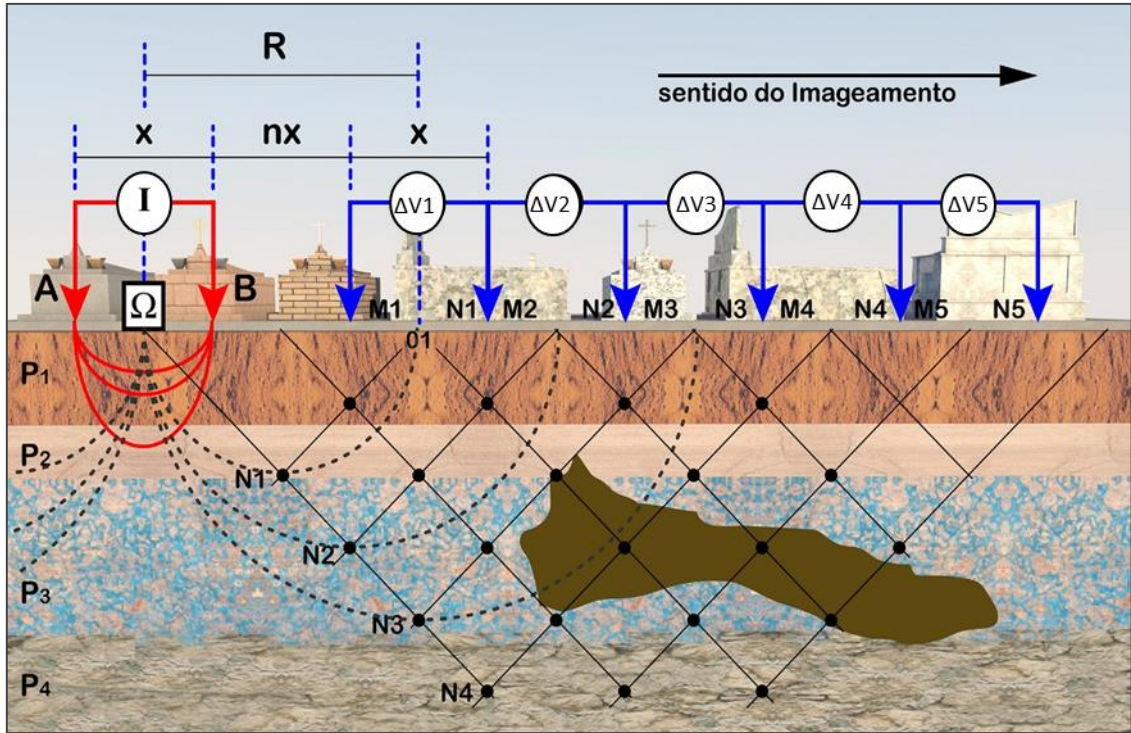


Figura 4-8: Esquema do Arranjo dipolo - dipolo na técnica do Imageamento Elétrico.

Após cada conjunto de medidas os dipolos são deslocados de uma distância igual a X . Os dados obtidos são plotados nos respectivos níveis de investigação ($n_1, n_2, n_3... etc$) e interpolados, gerando uma seção de resistividade aparente, conhecida como *pseudo-seção* (Figura 4.9), (HALOF, 1957).

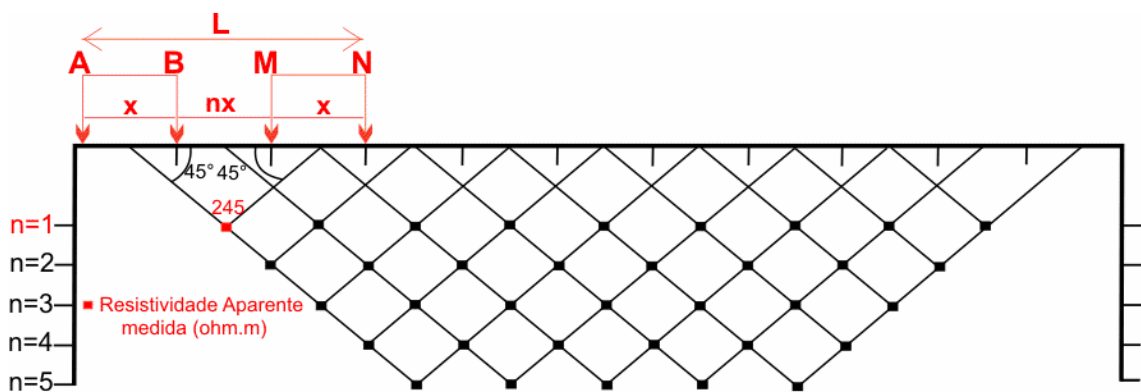


Figura 4-9: Plotagem dos dados de campo em forma de pseudo – seção.

Cada linha horizontal na pseudo-seção está associada a um valor de “ n ” e também a uma “profundidade teórica de investigação ou nível teórico de investigação”, resultando em uma apresentação apenas qualitativa, isto é, “não real”, das variações verticais de resistividade aparente. Porém, como os resultados das referidas medidas, representam uma distribuição

subsuperficial das resistividades aparentes, deve-se levar em conta que as profundidades de investigação não dependem unicamente do sistema de medidas, mas também dos contrastes das resistividades das litologias em subsuperfície. (HALLOF,1957).

Para calcular o valor da resistividade aparente, utiliza-se o fator geométrico K_{DD} que é dado pela Equação 4.11:

(Equação 4.11)

$$K_{DD} = 2\pi x \frac{1}{\left(\frac{1}{n} - \frac{2}{n+1} + \frac{1}{n+2}\right)}$$

Onde:

K = fator geométrico do arranjo dipolo - dipolo;

n = nível de investigação (n1, n2, n3...)

4.4.2. ARRANJO GRADIENTE

O arranjo gradiente, também denominado de retângulo, é indicado para levantamentos em áreas de grande extensão lateral, sendo que, para maior detalhamento, é recomendada a utilização de outros arranjos mais precisos, tais como o dipolo-dipolo. Orellana (1972), Ward (1990) e Gallas (2000) explicam o desenvolvimento do trabalho de campo: o levantamento é desenvolvido mantendo-se os eletrodos de transmissão de corrente (**A** e **B**) fixos, com uma abertura igual a L , e somente os eletrodos de recepção (**M** e **N**) são deslocados ao longo das linhas a serem estudadas em linhas paralelas ao alinhamento formado pelos eletrodos **A** e **B** (Figura 4.10).

De acordo com Orellana (1972), a profundidade de investigação do arranjo gradiente aumenta com o incremento de abertura L , ou seja, com o aumento do espaçamento de **AB**, e que a distância entre **M** e **N** depende do grau de detalhe desejado. Como o espaçamento adotado entre **AB** foi de 100 m, a profundidade de investigação atinge cerca de 10 a 25% de **AB**, ou seja, até aproximadamente 25 metros. Para garantir uma razão sinal/ruído aceitável e preservar a resolução lateral razoável, usualmente emprega-se uma relação **AB/MN** entre 30 e 40. Obedecendo a essa razão, o espaçamento entre **M** e **N** adotado foi de 3 m.

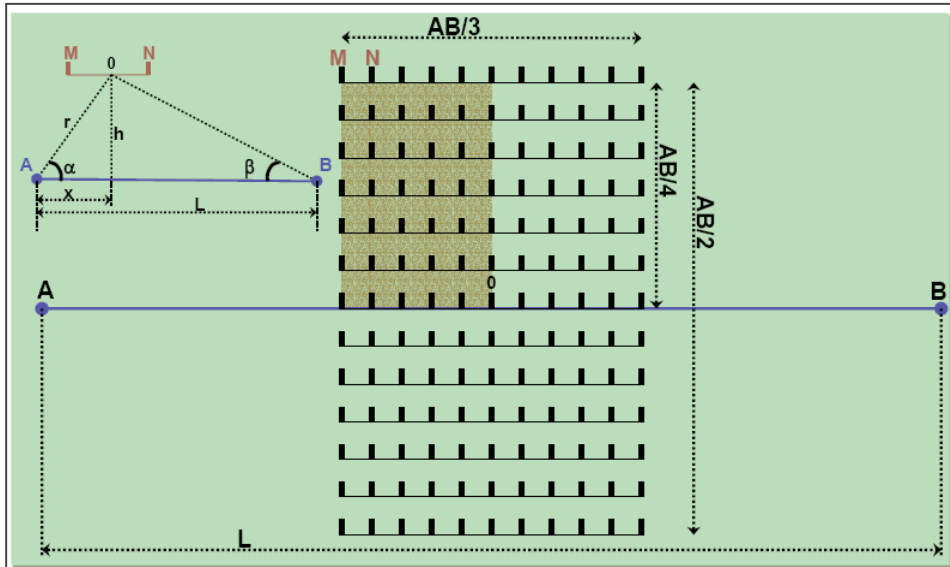


Figura 4-10: Esquema do arranjo Gradiente.

A razão L/X costuma ficar entre 10 e 50 e a profundidade de investigação do arranjo retângulo aumenta com o incremento da abertura $L = \mathbf{AB}$ (ORELLANA, 1972).

O mesmo autor ressalta que, para que o campo elétrico permaneça razoavelmente uniforme, ou seja, que a profundidade de investigação seja aproximadamente constante, é necessário obedecer a uma faixa proporcional, ou seja, é necessário que os pontos de medidas situem-se dentro de um retângulo centrado no ponto central O de \mathbf{AB} e tenha seus lados com as seguintes dimensões:

- Que o lado menor paralelo seja de até $\mathbf{AB}/3$;
- Que o lado maior perpendicular seja de até $\mathbf{AB}/2$.

Para o cálculo da resistividade é utilizada a seguinte equação 4.12:

(Equação 4.12)

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

Sendo o coeficiente geométrico K dado por (Equação 4.13 e 4.14):

(Equação 4.13)

$$K = \frac{2\pi}{MN} \left(\frac{\cos \alpha}{OA^2} + \frac{\cos \beta}{OB^2} \right)^{-1}$$

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

Segundo Gallas (2000), K muda a cada estação de medidas e para facilitar, pode-se elaborar tabelas ou gráficos com valores de K em função de $\mathbf{AB/MN}$ e das coordenadas dos pontos médios entre \mathbf{M} e \mathbf{N} para os pares calculados e os valores de K para um único quadrante do retângulo e, por simetria, os dos outros três quadrantes serão idênticos.

4.5.MÉTODO ELETROMAGNÉTICO EM

De acordo com Parasnis (1966) e Ward (1990), por necessidade de prospecção de jazidas minerais cada vez em maior profundidade, e mais tarde, na busca por petróleo, houve o desenvolvimento de estudos sobre o emprego das propriedades físicas das rochas e minerais na ciência geofísica, sobretudo a eletroresistividade e magnetismo. Segundo Parasnis (1966), a partir da década de 20 do século passado, os suecos H. Lundberg e K. Sundberg iniciaram os trabalhos de exploração utilizando métodos baseados na observação das linhas equipotenciais do campo elétrico e na intensidade do campo magnético, dando origem, assim, ao desenvolvimento dos métodos eletromagnéticos. Ward (1990) enfatiza que, durante a década de 30, os norte-americanos Peters e Bardeen pesquisaram a determinação da profundidade de penetração das ondas eletromagnéticas no solo como função da frequência emitida.

Mais adiante, segundo Mendes (1987), com a vinda do professor John P. Greenhouse para o Brasil, esses métodos tiveram um grande impulso na detecção da poluição e contaminação subterrânea no país.

De acordo com McNeill (1980) os métodos eletromagnéticos podem ser divididos basicamente em dois grupos: o método eletromagnético indutivo no domínio da frequência (FDEM), no qual a corrente emitida varia senoidalmente com o tempo em uma frequência fixa; e o método eletromagnético indutivo no domínio do tempo (TDEM) no qual a corrente emitida, ainda que periódica, é abruptamente interrompida em um domínio de tempo.

McNeill (1980) enfatiza que em todas as técnicas elétricas ou eletromagnéticas, o parâmetro utilizado para medidas de resistividade elétrica é obtido a partir da determinação da resistência ao fluxo de corrente elétrica. Ressalta que nas técnicas indutivas para a medida da

resistividade prefere-se usar a **condutividade**, uma vez que a resposta é inversamente proporcional à resistividade.

Dessa forma, fisicamente, a condutividade elétrica (σ) é o inverso da resistividade elétrica (ρ), e podem ser assim relacionadas, segundo Equação 4.15:

(Equação 4.15)

$$\rho = \frac{1}{\sigma}$$

Basicamente, a resistividade/condutividade elétrica do material reflete a dificuldade/facilidade com que a corrente elétrica possa fluir através do meio e que as diferenças de intensidade, direção e fase entre os campos eletromagnéticos primário e secundário podem revelar a presença de corpos condutores (MCNEILL,1980),

O método geofísico eletromagnético (EM) baseia-se na medida da condutividade elétrica (σ) ou parâmetros a ela relacionados dos materiais em subsuperfície através da utilização de campos eletromagnéticos induzidos no terreno e gerados por correntes alternadas de origem natural ou artificial (ORELLANA, 1976).

O método envolve a propagação de ondas eletromagnéticas geralmente de baixa frequência (<30000 Hz). O método EM inclui uma variedade de técnicas de levantamentos, aplicações e procedimentos de interpretação. Cada técnica, porém, envolve a medida, em um receptor, de uma ou mais componentes do campo elétrico, ou do campo magnético, gerado a partir de alguma fonte natural ou artificial de energia eletromagnética, chamada de transmissor (SWIFT, 1987).

Os métodos do transmissor e receptor móveis, foram desenvolvidos pelos suecos entre 1940 e 1950, em particular, o método Slingram - do sueco slinga (bobina) e ram (aro) e tornou-se popular na América do Norte a partir de 1958 (TELFORD *et.al.*, 1990).

A propagação das ondas ocorre com seus dois principais componentes: (E) elétrica e (M) magnética. Os Planos x e y e a direção de propagação e perturbação da onda eletromagnética são perpendiculares entre si (Figura 4.11).

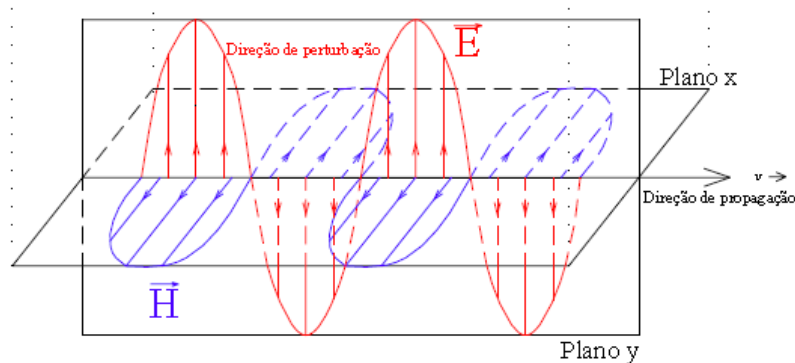


Figura 4-11: Propagação da onda eletromagnética. Fonte: adaptado de Reynolds (1997).

Em um meio geológico, a aplicação do método EM, consiste na indução de correntes primárias em materiais condutivos da subsuperfície através de uma fonte eletromagnética alternada (transmissor). Essas correntes primárias geram campos magnéticos secundários. As respostas EM são medidas através de uma bobina (receptor) e dependem da frequência, da condutividade elétrica da estrutura, e da geometria de acoplamento entre transmissor e receptor. As configurações de arranjos entre o transmissor e o receptor são selecionadas dependendo do tipo de aplicação, seja para perfilagem horizontal (medidas da variação lateral de resistividade através da superfície) ou para sondagem (medidas da variação de resistividade com a profundidade).

4.5.1. TÉCNICA EM NO DOMÍNIO DA FREQUÊNCIA - FDEM

Uma onda sinusoidal, ou onda senoidal, consiste em qualquer forma de onda que possui uma equação na qual uma variável é diretamente proporcional ao seno de outra variável. Esta curva com a forma de onda pode ser gerada por um osciloscópio (gerador de funções) que executa um movimento harmônico simples.

Existem três características básicas de uma onda sinusoidal: frequência, período e comprimento de onda. A frequência de uma onda sinusoidal é o número de ciclos completos que ocorrem durante um segundo e é medida em Hertz, ou ciclos.

O princípio do FDEM consiste na passagem de corrente elétrica alternada (AC) por uma bobina que pode estar situada acima ou abaixo da superfície. Esta passagem produz um campo magnético que se propaga em subsuperfície. Quando este campo interage com corpos ou camadas condutoras, induz a geração de corrente elétrica denominada *eddy current*.

As *eddy currents* induzem a criação de um campo magnético secundário, captado por uma bobina receptora, juntamente com o campo magnético primário. Desta forma, os valores

do campo magnético secundário refletem diretamente as propriedades elétricas e a geometria do corpo ou camada condutora em subsuperfície.

De acordo com McNeill (1980) o princípio da operação funciona com base em uma técnica simples onde, uma bobina transmissora (T_x) energizada por correntes alternadas com uma frequência de áudio, é colocada sobre o terreno (considerado homogêneo), (Figura 4.12). O campo magnético variável no tempo proveniente das correntes alternadas da bobina transmissora induz correntes muito pequenas no terreno, representadas por um campo eletromagnético primário. As *eddy currents* geradas, quando interagem com algum corpo condutivo, dão origem ao campo magnético secundário H_s , e que, em conjunto com o campo primário, H_p , são captados pela bobina receptora posicionada dentro da área de influência de ambos os campos (Figura 4.12).

De acordo com Sheriff (1989) e McNeill (1980), os parâmetros envolvidos na propagação de ondas eletromagnéticas são a condutividade elétrica (σ), permissividade dielétrica (ϵ), e a permeabilidade magnética (μ), (Equação 4.16). A condutividade elétrica varia por vez, por sua vez, em função dos tipos de solos ou rochas, porosidade, permeabilidade, grau de saturação e em função das propriedades eletroquímicas dos fluidos de preenchimento dos poros, que em muitos casos, apresentam-se como fator dominante.

(Equação 4.16)

$$\frac{H_s}{H_p} \cong \frac{i\omega\mu_0\sigma s^2}{4}$$

Onde:

H_s – o campo magnético secundário na bobina receptora;

H_p – o campo magnético primário na bobina receptora;

$\omega = 2\pi f$;

f = frequência da corrente elétrica que circula a bobina (T_x), medida em Hertz (Hz);

μ_0 = permeabilidade magnética no espaço livre dada em Hz/m;

σ = condutividade do terreno dada em mS.m;

s = espaçamento entre as bobinas T_x e R_x , em m;

$i = \sqrt{-1}$.

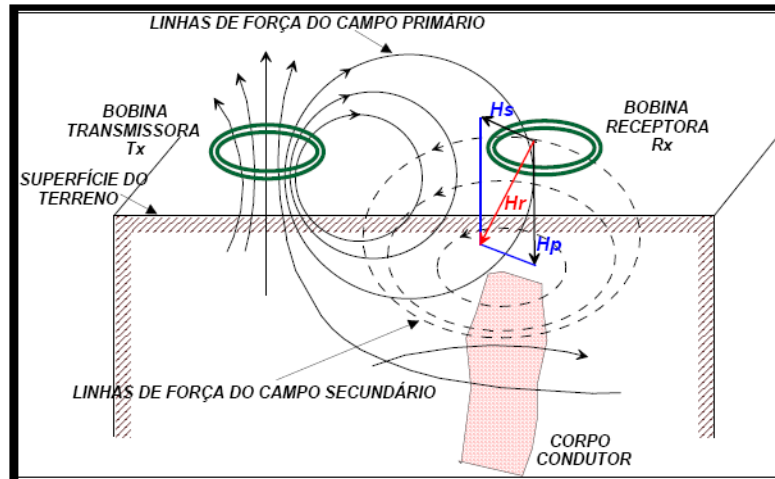


Figura 4-12: Princípio dos métodos eletromagnéticos. Fonte: Gallas (2007).

McNeill (1980) enfatiza que em geral, o campo magnético secundário é uma função complexa dos espaçamentos entre as bobinas, a frequência da operação (f), e a condutividade do solo (σ). Sob certas restrições técnicas como "operação com baixos números de indução" o campo magnético secundário se torna uma função muito simples desta variável. Greenhouse (1996) afirma que, se o campo secundário é proporcional às correntes geradas no terreno e, portanto, à condutividade elétrica do terreno, sob baixos números de indução, o sinal no receptor será também proporcional à condutividade. A linearidade entre o real e o medido não se sustenta quando o número de induções aumenta muito. Na prática, a linearidade não existe para condutividades muito elevadas.

McNeill (1980) ressalta que, a razão entre o campo secundário e o campo magnético primário é agora linearmente proporcional à condutividade do terreno, o que faz com que seja possível construir uma leitura direta. As restrições técnicas são incorporadas nos condutímetro EM31 e EM34 e assim, os mesmos pode simplesmente medir esta proporção, gerando medidas diretamente em mS/m. Dada a relação H_s / H_p , a condutividade aparente indicada pelo instrumento é definida a partir da equação 4.17 a seguir, válida para baixos números de indução:

(Equação 4.17)

$$\sigma_a = \frac{4}{(2\pi f)\mu_0 s^2} \left(\frac{H_s}{H_p} \right) = \frac{4}{\omega\mu_0 s^2} \left(\frac{H_s}{H_p} \right)$$

Segundo McNeill (1980), a variação na distância e na posição das bobinas permite a leitura das condutividades aparentes para diversas profundidades e que o sistema permite a operação com as bobinas orientadas de duas maneiras, de modo a orientar o campo eletromagnético nas posições vertical e horizontal.

Para aquisição de dados o campo, uma bobina serve como um transmissor, para gerar um campo magnético primário, e outra atua como um receptor, que mede tanto o campo primário quanto o campo secundário. A separação entre as bobinas é mantida fixa e o par de bobinas é movido ao longo de um perfil, em intervalos discretos. O ponto de referência para a medida é, frequentemente, o centro entre as bobinas, (MCNEILL, 1980). Os sistemas de dupla bobina possuem diversas combinações de orientação (Figura 4.13) (BORGES, 2007), entretanto somente duas configurações serão estudadas neste trabalho: a vertical coplanar (dipolo magnético horizontal - DMH) e a horizontal coplanar (dipolo magnético vertical – DMV).

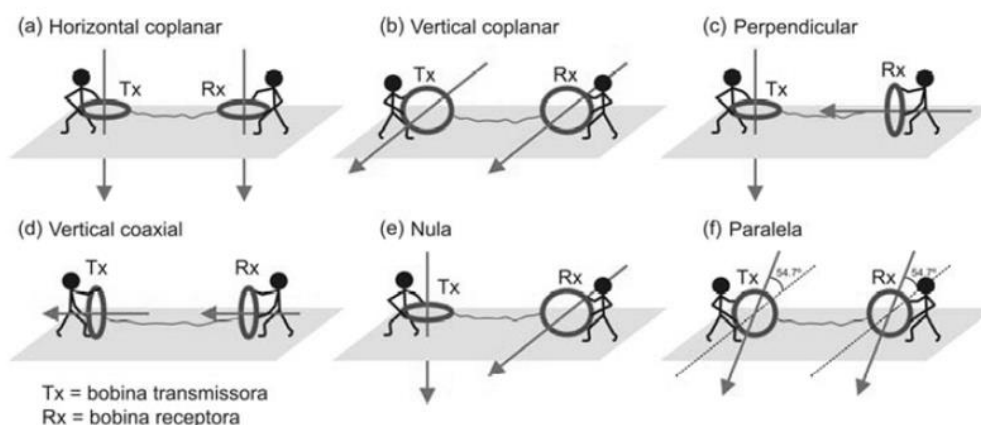


Figura 4-13: Combinações de utilização dos sistemas de bobinas. A seta representa a orientação do campo magnético (Fonte: BORGES, 2007).

5. TRABALHOS REALIZADOS

5.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Nos subitens que se seguem, são relatados os materiais e métodos utilizados para a elaboração do presente trabalho, como coletas, processamentos e interpretações realizadas. A pesquisa teve como ponto de partida o levantamento histórico acerca do cemitério, através de acesso ao acervo do Arquivo Histórico Municipal de Rio Claro, localizado na Prefeitura Municipal. Todos os arquivos existentes pertinentes ao tema foram consultados. Existem

muitos arquivos históricos, como documentos assinados por autoridades, vídeos antigos etc. No entanto, a pesquisa decorreu focando em questões pertinentes ao cemitério - seu surgimento, mudança de localização e construção, com base em Pereira *et.al.*(1978), que relata acontecimentos de 1827 a 1977 na cidade, fazendo jus aos objetivos propostos.

Em relação aos levantamentos geofísicos, os desafios provenientes da utilização destes métodos no cemitério objeto deste estudo, impossibilitaram melhor aproveitamento dos ensaios em alguns casos. O *layout* limitado do cemitério impossibilitou maior abertura dos eletrodos de corrente; outrora, o calçamento representou empecilhos para a emissão de corrente elétrica, levando à substituição dos eletrodos apropriados, por eletrodos adaptados, (Fotos 5.1 e 5.2):



Foto 5.1: Adaptação de eletrodos para a utilização no piso de “Pedra Portuguesa”
Foto 5.2: *Idem.*

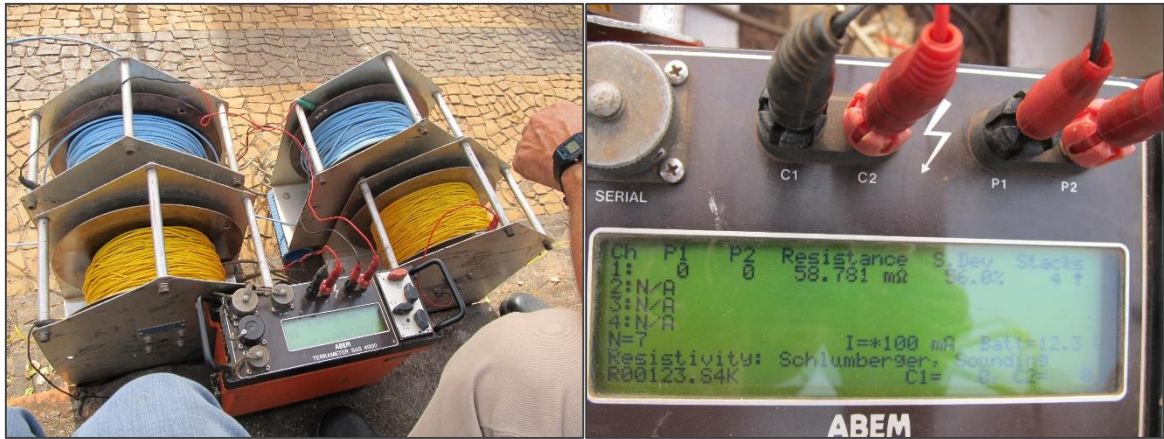
A seguir, serão detalhados os procedimentos utilizados para a realização dos ensaios geofísicos, além da descrição sobre a instalação dos poços e coletas de amostras de solos e água subterrânea.

5.2.SONDAGEM ELÉTRICA VERTICAL – SEVS

A interpretação nesta técnica consiste em definir um modelo onde as resistividades variem somente com a profundidade, em uma só direção e relacioná-las com a geologia local. Para este trabalho, foram utilizados para este fim, os métodos comparativo e o direto.

Foram realizadas 29 (vinte e nove) sondagens dentro dos limites do cemitério para identificar a profundidade do topo do nível de água subterrâneo a fim de obter dados indicativos da direção do seu fluxo.

Foi utilizado para os ensaios o Resistivímetro *TERRAMETER* modelo SAS 4000 da ABEM *Instruments* – Suécia, cedido pelo Laboratório de Geofísica do Departamento de Geologia Aplicada - DGA, UNESP (Fotos 5.3).



Fotos 5.3: Resistivímetro TERRAMETER modelo SAS 4000 da ABEM Instruments.

Foram realizadas SEVs com $AB = 80$; $AB = 150$, $AB = 200$ e $AB = 400$ metros. Vale ressaltar que nos ensaios de SEVs ao aumentar o espaçamento entre os eletrodos AB com MN fixo, o valor da diferença de potencial diminui com rapidez, atingindo valores imprecisos, e então utiliza-se a já mencionada “embreagem”, procedimento empregado neste trabalho.

Após a coleta dos dados de campo, as curvas foram submetidas a um método comparativo, com objetivo de realizar uma análise preliminar dos dados, observando a morfologia das curvas, propiciando assim, um modelo teórico inicial. O procedimento utilizado é baseado no método de *Ébert*, que consiste em reduzir artificialmente o número de camadas, supostamente existentes. As curvas de campo foram comparadas com as cartas de curvas predefinidas e suas auxiliares (carta H, carta A, carta Q e carta K). Isto é necessário para reduzir o número de camadas, muitas vezes erroneamente definidas no campo. O método consiste na sobreposição com as curvas supracitadas publicadas por Bhattacharya & Patra (1968).

As SEVs podem ser classificadas segundo seu número de camadas geelétricas, isto é, de uma, duas, três, quatro camadas etc. Em função do número de camadas identificadas e das variações de resistividades, as colunas geelétricas podem ser dos tipos (ORELLANA, 1972):

- 2 (duas) camadas:
 - a) ascendente: $\rho_1 < \rho_2$
 - b) descendente: $\rho_1 > \rho_2$

- 3 (três) camadas:

Tipo K: $\rho_1 < \rho_2 > \rho_3$

Tipo A: $\rho_1 < \rho_2 < \rho_3$

Tipo H: $\rho_1 > \rho_2 < \rho_3$

Tipo Q: $\rho_1 > \rho_2 > \rho_3$

Entretanto, as SEVs com 4 (quatro) ou mais camadas são combinações resultantes dos tipos: **HK, QK, AK** etc. como foi o caso objeto de estudo (Figura 5.1):

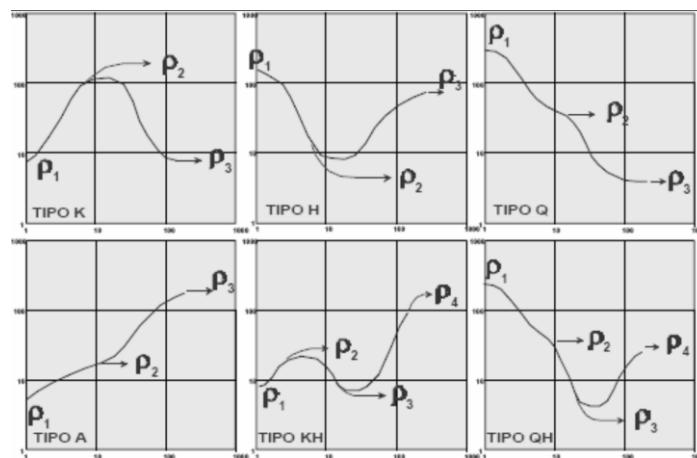


Figura 5-1: Exemplos de morfologia de curvas de resistividade.

Após o estabelecimento dos modelos teóricos iniciais, os mesmos foram submetidos a um ajuste final com o auxílio do *software* IX 1D v.3, comercializado pela *INTERPEX Limited* (EUA). No método direto, admite-se um modelo inicial e calcula-se a curva teórica comparando-a com a curva de campo. O algoritmo do programa calcula a curva de resistividade aparente, com base na teoria de filtragem linear, e assim alguns parâmetros podem ser modificados, tendo como base o conhecimento geológico prévio. Esses ajustes podem ser realizados também pelo método da inversão, no qual busca-se uma convergência da curva teórica para a curva de campo, até que um melhor ajuste seja alcançado. O algoritmo utilizado nesse processo baseia-se no método dos mínimos quadrados (INTERPEX LIMITED, 2008).

Para a definição dos níveis geoeletricos após os processamentos iniciais, foi utilizada como base a geologia da área através da bibliografia existente, as faixas de valores de resistividade citados por Braga (1997) e Oliva (2006) como subsídio para a interpretação dos valores encontrados no cemitério, bem como estudos pertinentes já realizados em Rio Claro.

As SEVs subsidiaram a elaboração do mapa de fluxo subsuperficial do cemitério.

5.3. GEORREFERENCIAMENTO DOS DADOS

Para georreferenciar os ensaios geofísicos (SEVs e imageamento) e os limites do cemitério, foi utilizado o Sistema de Posicionamento Global Diferencial– DGPS da marca *Trimble*, com antena integrada GPS/MSK *Beacon*, receptor *Navigation Pathfinder Pro XR 12* e coletor *Recon* (Fotos 5.4).



Foto 5.4: Sistema de posicionamento Global: Antena DGPS Trimble; receptor Navigation Pathfinder Pro XR 12 e coletor Recon respectivamente.

O DGPS é capaz de receber os sinais transmitidos pelos diversos satélites que orbitam o espaço e que emitem sinais para a Terra. Como os satélites estão em órbita, se movimentam, estão localizados em diferentes pontos no espaço em diferentes horários do dia e da noite. Assim, estas posições são transmitidas da Terra aos satélites e estes, por sua vez, as retransmitem em forma de sinais aos receptores – GPS.

Entretanto, vale ressaltar que a constelação de satélites varia ao longo do dia, e que nem sempre é possível detectar com precisão os mesmos.

De acordo com Gomes *et.al.* (2001), para determinar as coordenadas locais, é necessário calcular a distância entre o receptor e pelo menos quatro satélites disponíveis no mesmo instante. Com a modernização do Sistema Global, o DGPS, é capaz de precisar metricamente pontos através da “Triangulação”, para a qual se utiliza de um segundo ponto receptor, também chamado de “base” ou estação de referência, que se localiza em coordenada conhecida. Assim, através da triangulação, processo que se utiliza de satélite, receptor antena e receptor base, é possível calcular o erro que está sendo cometido no campo com a captação das coordenadas.

O procedimento supracitado foi realizado para o cemitério, após descarregados os dados do coletor para o computador utilizando arquivos definidos de correção disponíveis pela antena da empresa *Santiago e Cintra*®, localizado em São Paulo, e a correção foi realizada pelo programa *Pathfinder Office* versão 3.10, da *Trimble Navigation Limited*.

O procedimento DGPS, permitiu a criação da base cartográfica utilizada para o cemitério.

5.4.SUPERFÍCIE POTENCIOMÉTRICA DO CEMITÉRIO MUNICIPAL

Após o georreferenciamento das SEVs com DGPS geodésico e estabelecida a cota altimétrica do terreno, foi possível elaborar o mapa potenciométrico da área, que é relativamente pequena e possui muito pouca variação de altitude. Conhecidas as profundidades do nível d'água para cada ponto de SEV, foi possível obter pela diferença de altitude (a utilizada padrão foi 603,2 m) e profundidade, a cota do topo do nível d'água em relação ao nível do mar, também denominado nível potenciométrico.

Dessa forma, foi possível gerar uma malha de pontos, e estabelecer a curva de isovalores permitindo identificar, dentre outras características, a direção e sentido do fluxo subterrâneo.

O software utilizado para elaborar o mapa potenciométrico foi o *SURFER 9.0* com o interpolador da mínima curvatura. Este, trata-se de um método suavizador (*spline*), que melhor define as linhas equipotenciais de superfícies potenciométricas.

Este método gera a superfície estimada mais suave dentre todos os outros algoritmos disponíveis no software, além de mostrar-se aparentemente mais fiel aos dados amostrados na condição de haver apenas um valor por célula. O algoritmo deste método calcula um valor inicial (Z_i) para cada nó das células a partir de pontos próximos de forma a estabelecer uma malha contínua mesmo com os pontos irregularmente distribuídos em uma superfície. Os mapas gerados por interpolação através da mínima curvatura apresentam contornos mais suaves, mas por outro lado, artefatos indesejáveis são gerados em regiões onde não há valores amostrados próximos cujo nó pode ser incorretamente estimado.

5.5. IMAGEAMENTO ELÉTRICO – DIPOLO - DIPOLO

Foram realizadas 13 (treze) linhas de IE, sendo 5 (cinco) com extensão de 200 metros (Figuras 6.12), e 8 (oito) com extensão de 400 metros (Figura 6.13) dentro das possibilidades do layout do cemitério, dada a distribuição das ruas e avenidas. Assim, optou-se por realizar o imageamento com extensões de **AB** de 80 a 400 metros, com espaçamento de 10 em 10 metros e 8 níveis de profundidade de investigação para o arranjo dipolo - dipolo.

O processamento dos dados obtidos foi realizado procedendo-se a elaboração de planilhas em formatos *.xls* e *.dat*, através do programa computacional *SURFER 9*. Em seguida, os arquivos foram processados no programa *RES2DINV*, da *Geotomo Software - Malásia*.

O *RES2DINV* é um programa computacional, capaz de determinar um modelo bidimensional (2D) baseado na variação da resistividade subsuperficial calculada a partir dos dados obtidos pelos ensaios de IE no campo (GRIFFITHS & BARKER, 1994). O modelo 2D usado por este *software* divide o meio subsuperficial em um número de blocos retangulares – um modelo de blocos inicial – que tem sua distribuição e tamanhos delimitados automaticamente usando a distribuição dos pontos de dados como um guia, produzindo um modelo compatível com os dados de campo.

Segundo Griffiths & Baker (1994), um dos objetivos deste programa é determinar a resistividade dos blocos retangulares que produzirão uma seção modelada de resistividade aparente que concorda com as medidas reais.

O *RES2DINV* executa um imageamento do terreno, empregando o método de inversão por mínimos quadrados com suavização restringida (*smoothness-constrained leastsquare inversion method*) (de GROOT-HEDLIN & CONSTABLE, 1990; SASAKI, 1992; LOKE & BARKER, 1996).

De acordo com Loke & Barker (1996), o método matemático por suavização supracitado utiliza a inversão baseada em células, ou seja, o *software* estabelece a subsuperfície terrestre como blocos retangulares (*grid*) possuindo valores constantes para o parâmetro investigado. O arranjo dos blocos está vinculado ao número de pontos investigados em subsuperfície, baseado na pseudo-seção de resistividade elétrica aparente - posição e profundidade teórica dos pontos investigados. A profundidade teórica para cada ponto investigado é diferente para cada espaçamento entre eletrodos e também para cada arranjo eletródico.

Neste trabalho, para a aquisição dos dados de IE, o resistímetro foi configurado para a investigação em 8 (oito) níveis de profundidade e espaçamento de 10 (dez) metros entre os eletrodos, porém, para as avenidas 4 e 5, foi impossível aproveitar os dados dos níveis 7 e 8.

Após a realização de todas as inversões no *software*, definição de escala de valores e cores, as pseudo-seções foram exportadas para o *software SURFER 9.0*, para edição e finalização.

5.6. PSEUDO 3D - MAPA MULTINÍVEL

Para a elaboração do mapa pseudo 3D ou multinível, o modelo de resistividade (*modres*) obtido no *RES2DINV*, condizente com os dados de campo, foi exportado para modelo de resistividade com topografia (*topres*) para edição no *SURFER* 9.0. Após a edição das tabelas em níveis (nível 1, nível 2...nível 6) procedeu-se a realização de uma interpolação geoestatística de krigagem simples. A krigagem simples minimiza a variância do modelo prévio, no caso o *topres*, e leva em consideração a dependência de probabilidade entre os dados distribuídos no espaço (LANDIM, 1998).

De acordo com Matheron (1971), Andriotti (1988) e Camargo (1998), a *krigagem* possui sua base conceitual fundamentada na teoria das variáveis regionalizadas, que caracteriza os fenômenos distribuídos no espaço e que dependam de um valor e sua posição espacial, ou seja, valoriza as relações espaciais existentes entre as amostras. Segundo os mesmos autores, em casos de variáveis regionalizadas, geralmente, existe uma continuidade espacial e as amostras não são independentes, logo, pode existir uma correlação entre elas. Dessa forma, o método permite que dados obtidos por amostragem de certos pontos possam ser usados para parametrizar a estimativa de pontos onde o valor da variável seja desconhecido. Afora os valores estimados, o método fornece o erro associado a tal estimativa além de ser indicado, de acordo com Landim (1998), tanto para identificação de anomalias locais, quanto para tendências regionais.

Em virtude de baixa qualidade dos dados dos níveis 7 e 8 em algumas pseudo-seções, os mesmos não foram utilizados para confecção do mapa multinível pois não seria possível gerar uma malha de dados com tantas falhas. Logo, finalmente, o multinível foi gerado com somente 6 níveis de investigação.

5.7. GRADIENTE

Foram realizados 6 (seis) gradientes com 5 (cinco) linhas de 30 metros paralelas entre si de, com 100 metros de distância entre os eletrodos de corrente **AB**, e 3 metros entre os eletrodos de potencial **MN** (Figura 5.2), que possibilita uma profundidade de investigação aproximada de 25 metros. Para a elaboração do mapa de resistividade aparente, foi tomada a média entre a última leitura das linhas 1, 2, 3, 4 e 5 da grade 1 com a primeira leitura das linhas 1, 2, 3, 4 e 5 da grade 2. O mesmo ocorreu com as grades 3 e 4, e 5 e 6.

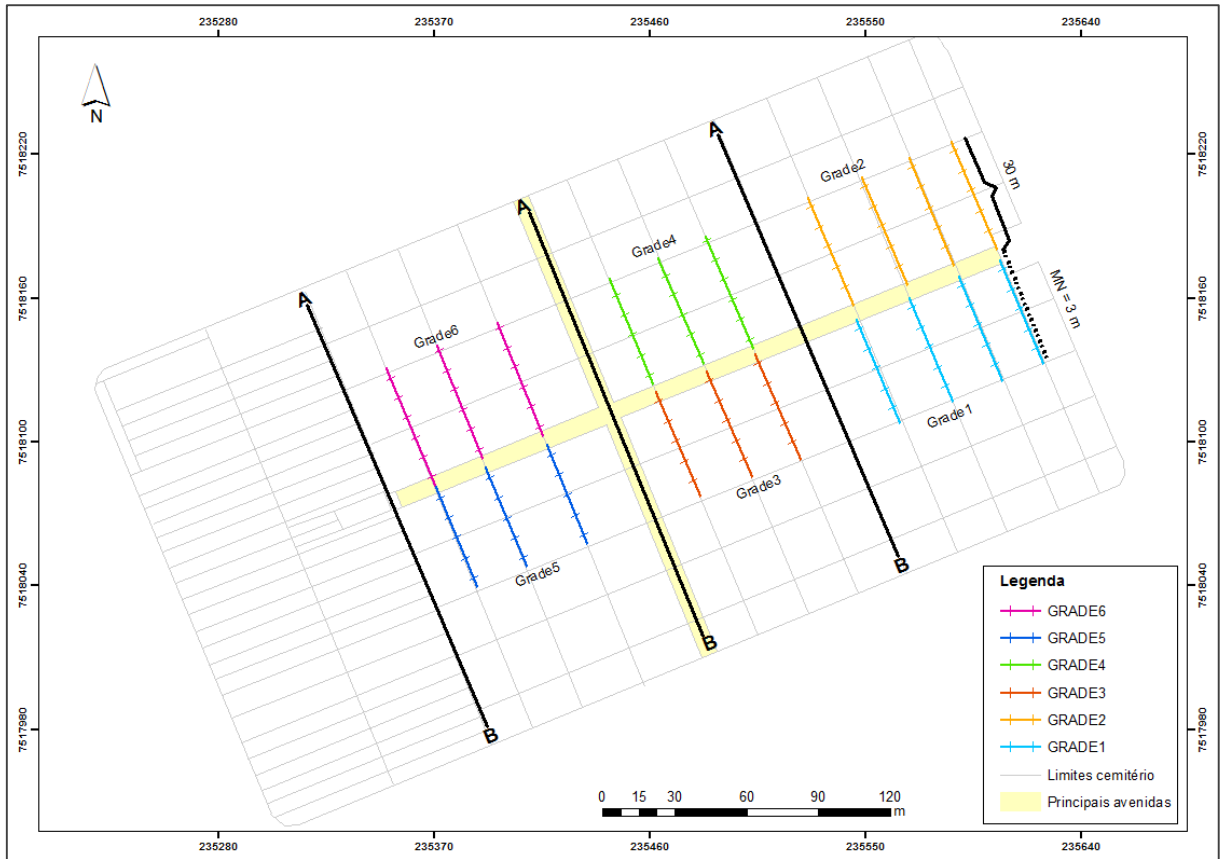


Figura 5-2: Esquema de localização das grades do IE – Gradiente.

Após a realização de tais cálculos, foi obtida a média da linha 5 da grade 1 e 2 com a linha 1 da grade 3 e 4, e da linha 5 da grade 3 e 4 com a linha 1 da grade 5 e 6. O *software* utilizado para elaborar o mapa de resistividades aparente foi também o *SURFER 9.0* e o método de interpolação utilizado foi *krigagem*, pelos motivos já especificados anteriormente.

Com a disposição do arranjo gradiente, a profundidade de investigação teórica máxima foi de 25 metros e a cobertura total de área investigada foi de 50.000 m² (Figura 5.3). Para a coleta de dados, foi utilizado o equipamento *TERRAMETER SAS 4000*, de fabricação sueca e os resultados dos ensaios foram ilustrados através de um mapa de isovalores de resistividade aparente.

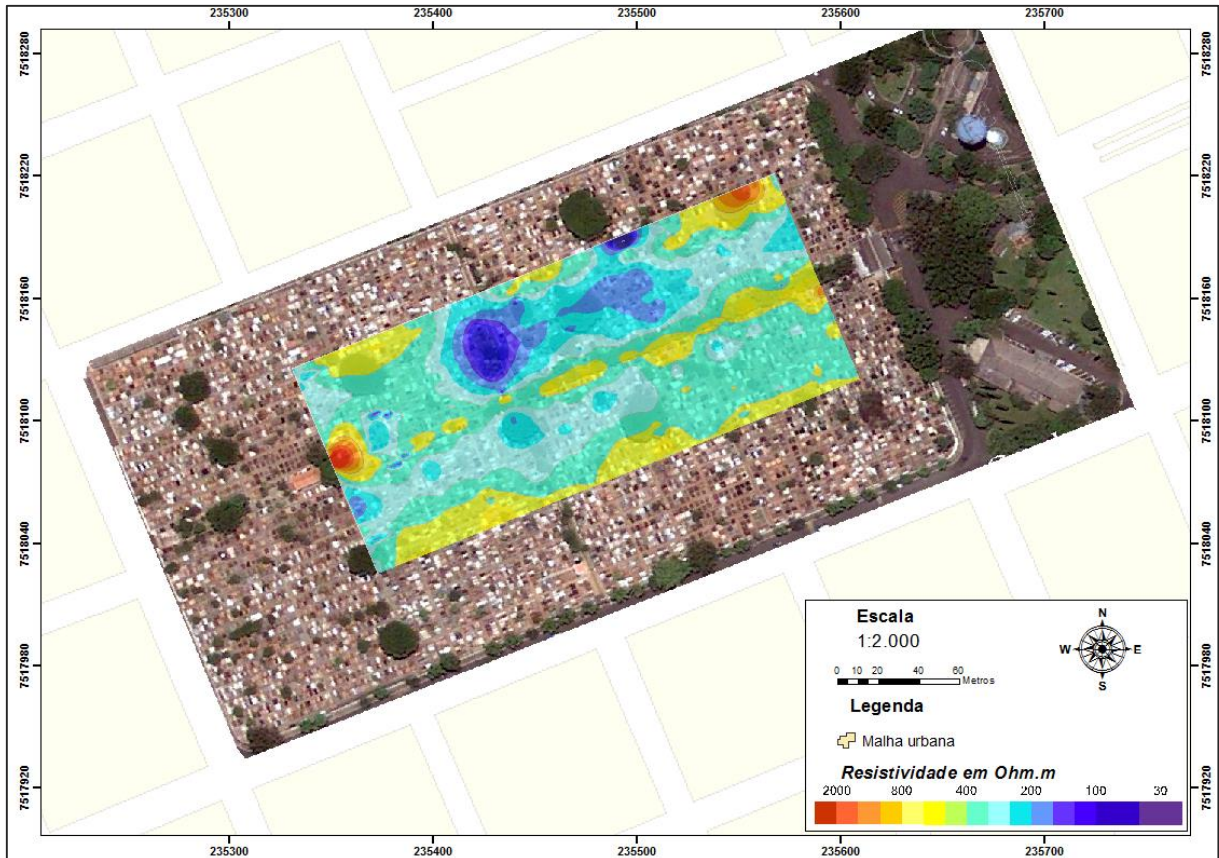


Figura 5-3: Área investigada pelo arranjo gradiente no Cemitério São João Batista, Rio Claro, SP.

5.8.ELETROMAGNÉTICO – FDEM

Os ensaios de campo foram executados em perfis ao longo de toda a extensão da área do cemitério. Após a elaboração dos perfis e mapas de condutividade aparente, foi realizada uma interpretação qualitativa, onde foram observadas as anomalias, visando associá-las a alvos e/ou estruturas de interesse. Em geral, não se encontram muitos trabalhos com aplicações de métodos eletromagnéticos em cemitérios urbanos, porém, salvo suas características e limitações, acredita-se que os valores de alta condutividade, associados com respostas geofísicas de eletrorresistividades coerentes com resultados analíticos de amostras coletadas nos locais hipoteticamente contaminados, representem anomalias condutivas associados à alterações físicas eventualmente consideradas pela presença de necrochorume.

Para a realização dos ensaios de campo, o equipamento utilizado neste trabalho foi o *EM-34*, da Geonics, cedido pela Universidade Federal do Pampa - UNIMPA (Fotos 5.5). Ele é composto por duas bobinas: uma transmissora, *Tx*, e outra receptora, *Rx*. Acoplada à bobina transmissora existe um módulo de controle e emissão de corrente elétrica, *MC*, alimentado por

uma bateria. À bobina receptora está acoplado um módulo de leitura, *ML*. Os módulos são ligados por um cabo de referência, *CR*.



Fotos 5.5: Equipamento EM-34 composto por duas bobinas (transmissora e receptora). Um módulo de controlo e emissão de corrente elétrica e um módulo de leitura.

A variação na separação e na posição das bobinas segundo McNeill (1980) permite a leitura da condutividade aparente para diversas profundidades de investigação. Para tanto, basta definir o espaçamento e a orientação das bobinas. No modo dipolo horizontal (DH), isto é, com o plano da bobina na vertical, a profundidade de investigação é de até cerca de três quartos da distância entre as bobinas. No modo dipolo vertical (DV), isto é, com o plano da bobina na horizontal, a profundidade de investigação é de cerca de até 1,5 vezes o espaçamento das bobinas. O *EM 34- 3XL* permite três espaçamentos entre as bobinas, assim, é possível investigar diferentes profundidades tanto no modo DH quanto no modo DV. (Quadro 5.1).

Quadro 5.1: Profundidade de exploração do EM 34-3, com variação no espaçamento entre as bobinas (adaptado de McNeill, 1980).

Espaçamento entre bobinas (m)	Posição	Intervalo de investigação Exploração máxima (m)
10	Vertical	0 -7,5
	Horizontal	0 -15
20	Vertical	0 -15
	Horizontal	0 -30
40	Vertical	0 -30
	Horizontal	0 -60

Em uma primeira etapa, foram levantadas 22 linhas por meio de duas configurações determinadas - dipolo magnético vertical e dipolo magnético horizontal, (GREENHOUSE &

SLAINE, 1986) referentes às avenidas e ruas do cemitério (Figura 5.4), totalizando 730 pontos de leitura de condutividade aparente para cada uma das profundidades máximas de investigação possíveis para o equipamento utilizado. As avenidas possuem 400 metros de comprimento, e as ruas, 200 metros, totalizando uma malha de pontos em 80.000 m². O espaçamento entre bobinas utilizado foi de 10 metros, e o espaçamento entre medidas, foi de 5 metros. O objetivo consistiu em analisar possíveis anomalias de isocondutividade aparente da área em dois níveis de profundidade máxima (7,5m e 15m) conforme Quadro 5.1.

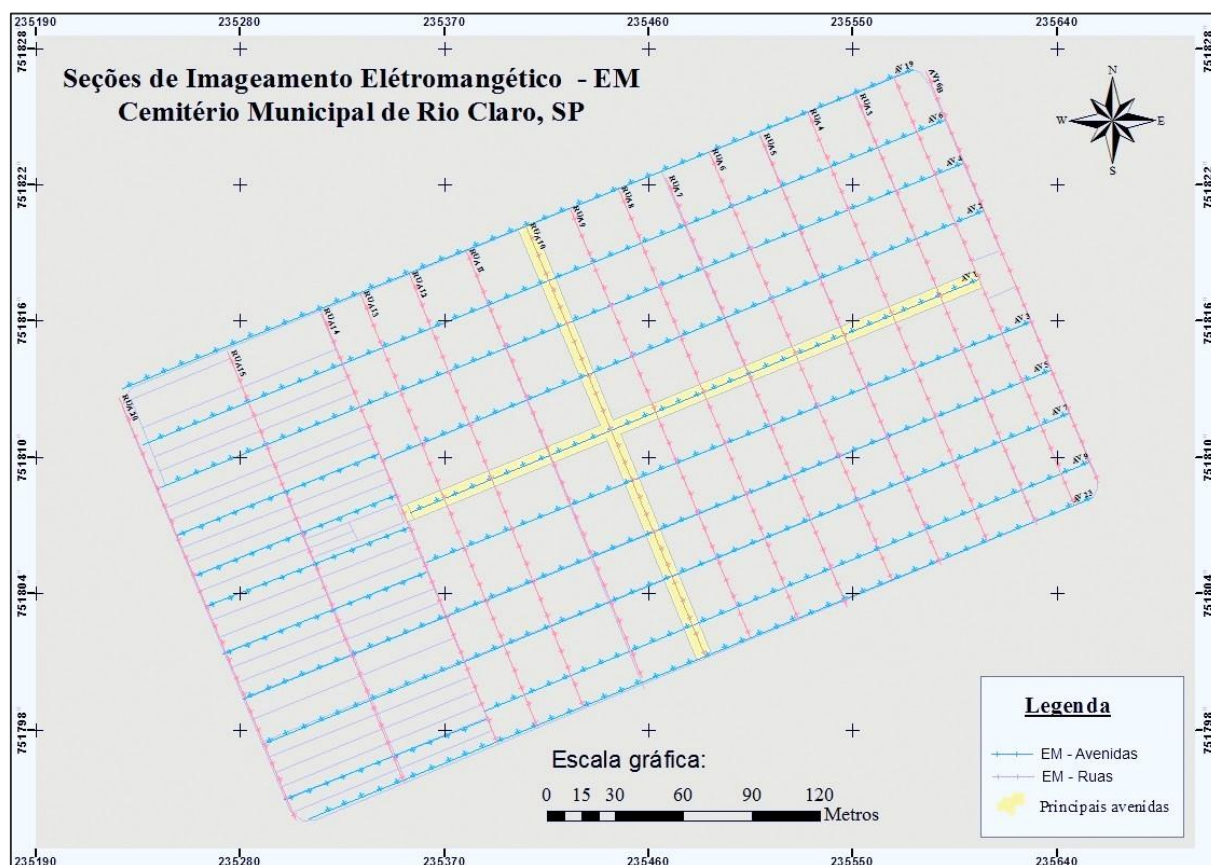


Figura 5-4: Linhas de EM nas ruas e avenidas do cemitério.

Como parte do tratamento e processamento dos dados EM, os mesmos foram integrados por interpolação dos valores a partir do programa *SURFER*, versão 9.0, desenvolvido pela *Golden Software* - EUA.

Durante o processo foram excluídos alguns pontos de leitura, por apresentarem valores muito discrepantes, uma vez que, por se tratar de área urbana, as situações ruidosas já eram esperadas. Alguns objetos passíveis de causarem ruídos já haviam sido previamente reconhecidos em campo, como geradores elétricos, postes, tubulações, objetos metálicos e adornos dos túmulos.

Os dados foram compilados em planilhas *.dat* e, pelo método de interpolação *krigagem*, mapas de isocondutividade foram gerados para as profundidades máximas de 7,5 m e 15 m para se estabelecer os pontos com maiores valores de condutividade aparente.

5.9.SONDAGENS MECÂNICAS

A aplicação de métodos geofísicos no presente trabalho, serviu também para subsidiar a realização de uma campanha de sondagens dentro da área do cemitério (Figura 5.5) e a instalação de poços de monitoramento e, com base nos resultados geofísicos obtidos previamente, 5 (cinco) pontos nomeados de SPM1 a SPM5 (Quadro 5.2 e Fotos 5.6 e 5.7), foram selecionados em função de suas localizações apresentarem alterações do meio físico.

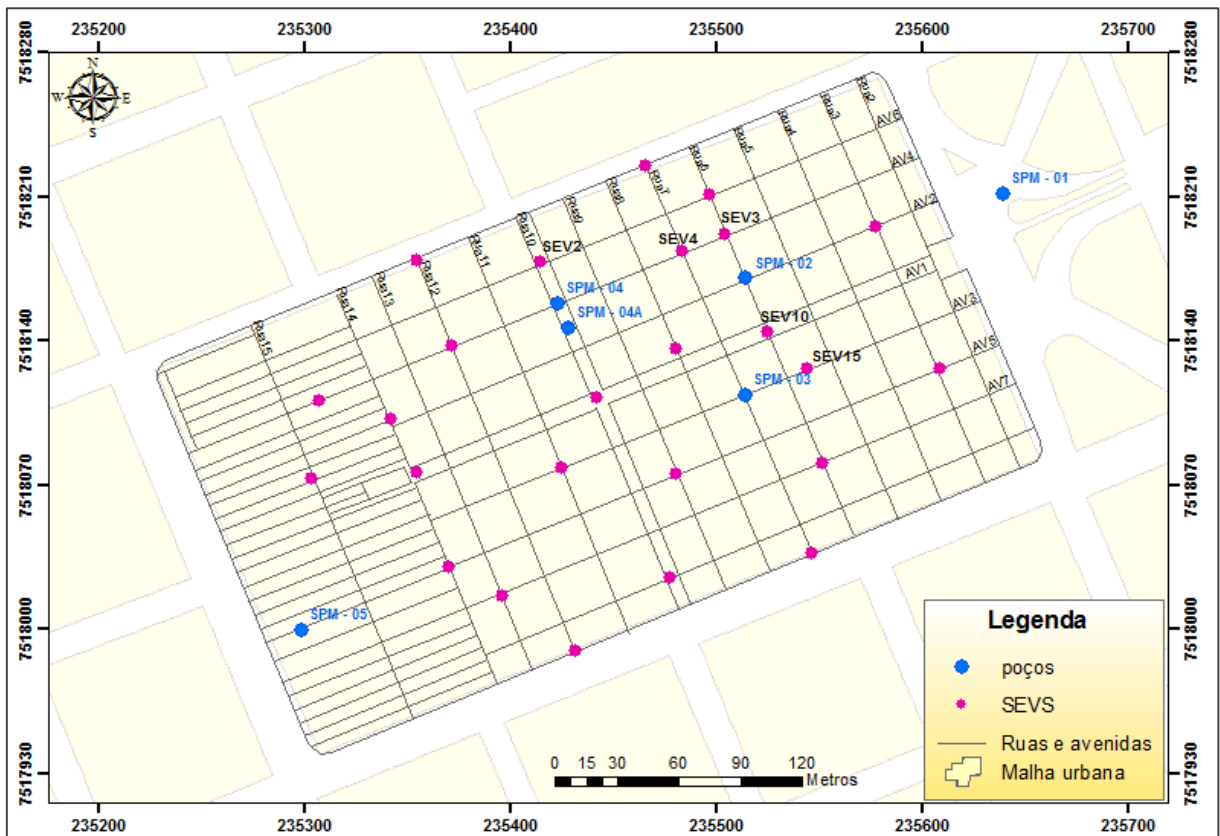


Figura 5-5: Mapa de localização de alocação dos poços de monitoramento e sondagens.

É importante ressaltar, que a execução das sondagens, a instalação dos poços de monitoramento, bem como as coletas e análises químicas de água e solo, foram executados pela empresa responsável pela investigação confirmatória no cemitério – Geocia.

De acordo com a referida empresa, o poço de monitoramento SPM4, apresentou problemas construtivos, sendo necessária a instalação de um novo poço ao lado, denominado SPM4A.

Quadro 5.2: Localização espacial das sondagens e poços de monitoramento instalados.

Sondagem e Poço de Monitoramento	Coordenadas		Local	Justificativa
	UTM X	UTM Y		
SPM 1	235679	7518244	Área externa a montante	Montante das anomalias Geofísicas - Poço <i>Background</i>
SPM 2	235558	7518212	Avenida 2 x Rua 6	Local de anomalia geofísica
SPM 3	235557	7518113	Avenida 3 x Rua 7	Local de anomalia geofísica
SPM 4	235466	7518195	Avenida 4 x Rua 10	Local de anomalia geofísica
SPM 4A	235468	7518196	Avenida 4 x Rua 10	Local de anomalia geofísica
SPM 5	235337	7518037	Avenida 5 x Rua 15	Jusante das anomalias geofísicas

É importante ressaltar, que as sondagens (Fotos 5.6 e 5.7), foram realizadas entre os meses de agosto a outubro, período de estiagem e pouca chuva em Rio Claro.



Foto 5.6: Furo de sondagem sendo executado na área externa ao Cemitério Municipal.



Foto 5.7: Furo de sondagem no interior do cemitério.

5.9.1. AMOSTRAGEM DE SOLO

Durante o avanço da sondagem, foram selecionadas amostras de solo para a realização de análises químicas (Foto 5.8).



Foto 5.8: Procedimento de coleta de amostras de solos.

As amostras de solo foram coletadas em duas profundidades. A primeira a aproximadamente 2 m de profundidade, visto que esta é a profundidade máxima dos jazigos do Cemitério São João Batista. A segunda amostra foi coletada pouco antes das sondagens atingirem o nível d'água, na região denominada franja capilar, a aproximadamente 16 m de profundidade.

Foram realizadas análises para Sulfato, Fosfato, Cloreto, Cálcio, Ferro, Potássio, Sódio, Série Nitrogenada, Bactérias Heterotróficas, Coliformes Totais, Coliformes

Termotolerantes, *Clostridium Perfringens*, (Quadro 5.3.), conforme normas técnicas estabelecidas pela CETESB (1999), para investigação confirmatória de contaminação subsuperficial.

Os parâmetros foram escolhidos a partir de informações relativas aos contaminantes que podem ocorrer, e que geralmente ocorrem em áreas de cemitério, definidos em estudos históricos em avaliações preliminares. Dentre os contaminantes com maior probabilidade de ocorrerem na área, são selecionados os que possuem maior toxidez e/ou maior potencial para causar danos. (CETESB 1999).

Quadro 5.3: Parâmetros analisados em solo.

Poço	Amostra	Data	Prof.(m)	Parâmetros
SPM -1	S-1/16m	20/08/2013	16,00	Sulfato, Fosfato, Cloreto, Cálcio, Ferro, Potássio, Sódio, Série Nitrogenada, Clostridium Perfringens
	S-1/16m	28/08/2013	16,00	Bactérias Heterotróficas, Coliformes Totais, Coliformes Termotolerantes
SPM -2	S-2/2m	20/08/2013	2,00	Sulfato, Fosfato, Cloreto, Cálcio, Ferro, Potássio, Sódio, Série Nitrogenada, Clostridium Perfringens
	S-2/2m	28/08/2013	2,00	Bactérias Heterotróficas, Coliformes Totais, Coliformes Termotolerantes
	S-2/16m	20/08/2013	16,00	Sulfato, Fosfato, Cloreto, Cálcio, Ferro, Potássio, Sódio, Série Nitrogenada, Bactérias Heterotróficas, Coliformes Totais, Coliformes Termotolerantes, Clostridium Perfringens
SPM -3	S-3/2m	20/08/2013	2,00	Sulfato, Fosfato, Cloreto, Cálcio, Ferro, Potássio, Sódio, Série Nitrogenada, Clostridium Perfringens
	S-3/2m	28/08/2013	2,00	Bactérias Heterotróficas, Coliformes Totais, Coliformes Termotolerantes
	S-3/16m	22/08/2013	3,00	Sulfato, Fosfato, Cloreto, Cálcio, Ferro, Potássio, Sódio, Série Nitrogenada, Bactérias Heterotróficas, Coliformes Totais, Coliformes Termotolerantes, Clostridium Perfringens
SPM -4	S-4/2m	20/08/2013	2,00	Sulfato, Fosfato, Cloreto, Cálcio, Ferro, Potássio, Sódio, Série Nitrogenada, Bactérias Heterotróficas, Coliformes Totais, Coliformes Termotolerantes, Clostridium Perfringens
	S-4/16m	22/08/2013	16,00	Sulfato, Fosfato, Cloreto, Cálcio, Ferro, Potássio, Sódio, Série Nitrogenada, Bactérias Heterotróficas, Coliformes Totais, Coliformes Termotolerantes, Clostridium Perfringens
SPM -5	S-5/2m	20/08/2013	2,00	Sulfato, Fosfato, Cloreto, Cálcio, Ferro, Potássio, Sódio, Série Nitrogenada, Bactérias Heterotróficas, Coliformes Totais, Coliformes Termotolerantes, Clostridium Perfringens
	S-5/16m	28/08/2013	16,00	Sulfato, Fosfato, Cloreto, Cálcio, Ferro, Potássio, Sódio, Série Nitrogenada, Bactérias Heterotróficas, Coliformes Totais, Coliformes Termotolerantes, Clostridium Perfringens

De acordo com CETESB (1999), preferencialmente, devem ser selecionados os parâmetros que possuam valores limites definidos, com o objetivo de facilitar a interpretação dos resultados.

A partir da identificação dos parâmetros a serem analisados, devem ser definidos os valores-limite a ser considerados na avaliação da área investigada, dos quais ela poderá ser considerada contaminada. Essa escolha pode se basear na comparação com valores naturais ("background") ou adotadas listas referenciais elaboradas com base em estudos de avaliação de risco à saúde humana. Preferencialmente, deve-se optar por listas de valores estabelecidas por lei em vigor na região de interesse. Caso não existam listas ou não sejam disponíveis valores para determinados contaminantes, pode-se optar por listas de outras regiões ou padrões internacionais. A seleção de determinada lista de valores referenciais deve necessariamente considerar os cenários adotados para a sua elaboração.

Caso os resultados das análises realizadas indiquem valores superiores aos estabelecidos como limites para a área, pelo menos em um local indicado como suspeito, esta poderá ser classificada como uma área contaminada (CETESB, 2014).

5.9.2. INSTALAÇÃO DE POÇOS DE MONITORAMENTO

Após a realização das sondagens foram instalados os poços de monitoramento, seguindo-se as normas técnicas da ABNT, segundo Geocia (2013) com a instalação da coluna de revestimento composta por tubos geomecânicos lisos e ranhurados, aplicação do selo de bentonita, onde foi efetuado o selamento final com calda de cimento e posterior instalação da câmara e tampa metálica.

De acordo com CETESB (1999), a implantação de poços de monitoramento, para pontos de amostragem é função do conhecimento existente sobre a hipótese de distribuição dos contaminantes na área. De uma forma geral, a partir de fontes de contaminação pontual, existe uma tendência de distribuição dos contaminantes pela área de forma heterogênea, considerando-se o plano horizontal.

Assim, torna-se importante o mapeamento de possíveis áreas contaminadas para subsidiar as ações do órgão gerenciador ou órgão de controle ambiental.

As principais características construtivas dos poços podem ser visualizadas no Quadro 5.4.

Quadro 5.4: Principais características construtivas dos poços de monitoramento instalados.

Poço	Data de Instalação		Prof. Do Poço (m)	Comprim. do Filtro (m)	Topo do Filtro (m)	Nível D'água (m)
	Início	Fim				
SPM- 01	19/08/2013	20/08/2013	17,80	3,00	14,80	16,30
SPM -02	20/08/2013	21/08/2013	17,90	3,00	14,90	15,90
SPM- 03	20/08/2013	22/08/2013	18,00	3,00	15,00	16,10
SPM -04	20/08/2013	22/08/2013	18,10	3,00	15,10	16,10
SPM-04A	04/09/2013	05/09/2013	18,20	3,00	15,20	16,20
SPM- 05	20/08/2013	28/08/2013	18,30	3,00	15,30	16,25

5.9.3. AMOSTRAGEM DE ÁGUA SUBTERRÂNEA

Foram realizadas 3 campanhas de amostragem de água subterrânea sendo a primeira campanha realizada em setembro de 2013, a segunda campanha realizada em outubro de 2013 e a terceira campanha realizada novembro de 2013.

As amostragens de água subterrânea ocorreram por meio da técnica de micro-purga², com baixa vazão controlada, com controle dos parâmetros físico-químicos: temperatura, condutividade elétrica, oxigênio dissolvido, e turbidez.

Foram realizadas análises químicas para os parâmetros: Cor Aparente, Sulfatos, Fosfatos, Cloretos, Série Nitrogenada (Nitrogênio Nítrico, Nitrogênio Nitroso, Nitrogênio Amoniacal, Nitrogênio Kjeldahl, Nitrogênio Orgânico, Nitrogênio Albuminoide, Nitrogênio Total), Contagem de Bactérias Heterotróficas, Coliformes Totais, Coliformes Termotolerantes, *Clostridium perfringens*, Condutividade Elétrica, Temperatura, ORP, Turbidez e Oxigênio Dissolvido. Parâmetros definidos pela CETESB (2005), assim como para amostras de solos.

O Quadro 5.5 apresenta um resumo dos parâmetros analisados em água subterrânea incluindo a data e hora da coleta das amostras.

² A técnica conhecida como “micro-purga” ou “*Low flow*” tem por objetivo eliminar a água estagnada no interior do poço, que é considerada não representativa do aquífero, sem, no entanto, causar distúrbios no fluxo de água no interior do mesmo que possam alterar seu equilíbrio dinâmico e físico químico.

Quadro 5.5: Parâmetros analisados em água subterrânea.

Poços e Amostras	Data	Hora	Parâmetros
SPM-1	07/11/2013	09:00	Cor Aparente, Sulfatos, Fosfatos, Cloretos, Série Nitrogenada (Nitrogênio Nítrico, Nitrogênio Nitroso, Nitrogênio Amoniacal, Nitrogênio Kjeldahl, Nitrogênio Orgânico, Nitrogênio Albuminoide, Nitrogênio Total), Contagem de Bactérias Heterotróficas, Coliformes Totais, Coliformes Termotolerantes, <i>Clostridium perfringens</i> , Condutividade Elétrica, Temperatura, ORP, Turbidez e Oxigênio Dissolvido.
SPM 2	01/11/2013	16:28	
SPM-3	01/11/2013	12:10	
SPM-4A	01/11/2013	10:48	
SPM-5	01/11/2013	09:21	

6. INTERPRETAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

6.1. RESULTADOS ANALÍTICOS

Os procedimentos para coleta de amostras de solo e água subterrânea no cemitério estão descritos no capítulo 5. Cabe ressaltar que muitos parâmetros analisados não possuem valores de referência definidos pelos órgãos ambientais competentes como a CETESB e Ministério da Saúde. Portanto, os laboratórios disponibilizam os resultados, baseados no Limite de Quantificação, parâmetro de calibração definido por análises estatísticas, e as interpretações sobre possível contaminação, devem estar associadas conjuntamente a outros estudos. Dessa forma, a empresa Geocia, disponibilizou os anexos dos laudos laboratoriais e tabelas dos resultados analíticos, que foram utilizados com fidelidade neste trabalho sem modificações. Assim, os únicos valores fornecidos tanto pelos laboratórios, quanto pela empresa realizadora da investigação confirmatória, foram os exibidos nas tabelas 6.1, 6.2 e 6.3.

Valores orientadores de solo e água, de acordo com as decisões de diretoria nº045 CETESB (2014) e nº195 CETESB (2005), são concentrações de substâncias químicas que fornecem orientação sobre a condição de qualidade de solo e de água subterrânea e são utilizados como instrumentos para prevenção e controle da contaminação e gerenciamento de áreas contaminadas sob investigação. A área será classificada como contaminada, se houver constatação da presença de contaminantes no solo ou na água subterrânea acima dos chamados “Valores de Intervenção” - VI. Tais valores representam a concentração de determinada substância no solo ou na água subterrânea acima da qual existem riscos potenciais, diretos ou indiretos, à saúde humana considerada um cenário de exposição genérico.

Porém, a CETESB e o Ministério da Saúde, não possuem Valores de Intervenção para todos os parâmetros analisados, e os laboratórios utilizam o referido Limite de Quantificação.

6.2.RESULTADOS ANALÍTICOS DE SOLO

Os resultados analíticos para solos no cemitério (tabelas 6.1 e 6.2) de acordo com investigação confirmatória indicaram a presença em todas as amostras, de valores alterados para Nitrogênio orgânico, Nitrogênio Total pelo método Kjeldahl e Nitrogênio Total.

Sabe-se que, durante o processo de decomposição orgânica dos corpos, além dos líquidos liberados, há também a emissão de gases, principalmente os característicos da decomposição anaeróbica, como a amônia, ou nitrogênio amoniacal. As substâncias nitrogenadas orgânicas sofrem decomposição até o nitrato, passando pela amônia. Dessa forma, a presença desta é indicativa de contaminação recente (MATOS, 2001).

O Nitrogênio Amoniacal foi encontrado nas amostras dos poços SPM1, SPM2 e SPM3. De acordo com CETESB (2005), o nitrogênio pode ser encontrado nas formas de nitrogênio orgânico, amoniacal, nitrito e nitrato. As duas primeiras são formas reduzidas e as duas últimas, oxidadas. Podem-se associar as etapas de contaminação orgânica do meio por meio da relação entre as formas de nitrogênio.

CETESB (1999) define que, em zonas de autodepuração natural, o nitrogênio orgânico é encontrado principalmente na zona de degradação, ou seja, na região onde ocorre possível contaminação; o nitrogênio amoniacal ocorre na zona de decomposição ativa; o nitrito, na zona de recuperação e o nitrato, em locais considerados limpos.

Segundo Matos (2001), a presença de necrochorume provoca um acréscimo na quantidade de sais minerais, que, além de aumentar a condutividade elétrica do meio, leva a um aumento da concentração de íons como cloretos, e compostos nitrogenados.

Migliorini (1994) no cemitério Vila Formosa na Grande São Paulo e Almeida & Macêdo (2005) em cinco cemitérios na cidade de Juiz de Fora - MG constataram aumento da condutividade elétrica no lençol freático através de altas concentrações de íons maiores, principalmente o cloreto e compostos nitrogenados.

De acordo com Matos (2001), não se sabe muito sobre a composição do necrochorume em relação à carga microbiológica. Devido a sua composição química, é provável de se encontrar números elevados de bactérias degradadoras de matéria orgânica (bactérias heterotróficas), de proteínas (bactérias proteolíticas) e lipídios (bactérias lipolíticas). Provavelmente há de se encontrar bactérias que são normalmente excretadas por humanos (e

animais), como *Escherichia coli*, *Enterobacter*, *Klebsiella* e *Citrobacter* (as quatro formam o grupo coliforme total), *Streptococcus faecalis*; alguns clostrídios como *Clostridium perfringens* e *Clostridium welchii*, entre outros.

Os resultados analíticos de indicadores microbiológicos demonstraram a presença, principalmente, de bactérias heterotróficas em todos os poços do cemitério. No poço SPM1, o valor encontrado foi de 140.000 UFC/gST; no poço SPM2/2m, o valor foi de 39.730 UFC/gST; no SPM2/16m, o valor foi de 13.847.900 UFC/gST; no SPM3/2m, o valor foi de 30.011 UFC/gST; no poço SPM4/2m, o valor foi de 15.005.568 UFC/gST; no SPM5/2m, foi de 15.410.200 UFC/gST e no SPM5/16m, o valor encontrado foi de 17.065 UFC/gST. Porém, o número de bactérias heterotróficas não deve ultrapassar 500 UFC/gST, tanto para solos, quanto para água subterrânea de acordo com o MS (1990).

Os microorganismos anaeróbios começam a substituir os organismos aeróbios dentro de poucas horas de morte do ser humano, desde que a temperatura predominante seja superior a 5° C. Começam a se multiplicar, e, embora o intestino abrigue uma grande variedade de microorganismos, só relativamente poucos grupos têm sido computados como importantes colonizadores de cadáveres humanos durante a putrefação (durante os primeiros dias após a morte), que são *Clostridium Perfringens*, *Streptococcus* e enterobactérias (UCISIK & RUSHBROOK, 1998).

Para a variável *Clostridium Perfringens*, os resultados analíticos demonstraram sua presença no meio poroso do solo nos poços SPM2, SPM4 e SPM5, com valores acima de 18NMP/g, ou, Número Mais Próximo por grama, valor usado pelo Limite de quantificação como referência. A Portaria nº 36 do Ministério da saúde, não faz menção aos outros parâmetros analisados neste estudo.

O poço SPM1/16m, foi utilizado como valor de fundo ou de *background*, devido à sua localização (a montante do fluxo subsuperficial). Porém, foram encontradas concentrações alteradas para compostos nitrogenados, e bacteriológicos para bactérias heterotróficas.

Para o poço SPM2/2m, localizado próximo à seção geométrica IE2, local onde acredita-se ocorrerem alterações do meio físico, foram verificadas alterações químicas e bacteriológicas, principalmente para os parâmetros bactérias heterotróficas e *Clostridium Perfringens* e compostos nitrogenados (Nitrogênio Amoniacal, orgânico, Kjeldahl e Total).

As amostras coletadas do poço SPM4/2m, apresentaram valores alterados para compostos nitrogenados e bactérias heterotróficas em nível muito acima do Limite de Quantificação. Para as amostras coletadas no mesmo poço, porém a uma profundidade de

16metros, foi identificado o composto Nitrato, o que permite concluir que se trata de uma região em estado de depuração natural do meio, mesmo com a presença de compostos nitrogenados, a baixa contagem de bactérias heterotróficas e *Clostridium Perfringens*.

Tabela 6.1: Parâmetros Analíticos de solos, com destaque para valores acima do LQ.

Parâmetro	Unidade	SPM1/16m		SPM2/2m		SPM2/16m		SPM3/2m		SPM3/16m	
		LQ	Result	LQ	Result.	LQ	Result	LQ	Result	LQ	Result.
Nitrato (N)	mg/kg	0,173	<0,173	0,167	<0,167	0,17	0,858	0,168	<0,168	5	72,83
Nitrito (N)	mg/kg	0,173	<0,173	0,167	<0,167	0,17	<0,17	0,168	<0,168	1	<1
Nitrogênio Amoniacal	mg/kg	0,694	2,75	0,668	3,16	0,681	<0,681	0,672	3,17	12,6	<12,6
Nitrogênio Orgânico	mg/kg	0,694	77,95	0,668	222,44	0,681	56,5	0,672	129,83	10,5	163,8
Nitrogênio Total Kjeldahl	mg/kg	34,7	80,7	33,4	225,6	34,1	56,5	33,6	133	17,5	163,8
Nitrogênio Total	mg/kg	0,173	80,7	0,167	225,6	0,17	57,4	0,168	133	18,9	180,4
Sulfato	mg/kg	5,3	<5,3	5	<5	5,2	<5,2	5,1	<5,1	5,1	<5,1
Fosfato (P)	mg/kg	0,347	<0,347	0,334	0,45	0,341	0,36	0,336	0,392	0,2	<0,2
Cloreto	mg/kg	5,3	<5,3	5	<5	5,2	<5,2	5,1	<5,1	5,1	<5,1
Bactérias Heterotróficas	UFC/gST	85714	140000	863	39730	851305	13847900	849	30011	9	<9
Coliformes Termotolerantes (<i>e.coli</i>)	NMP/gST	0,3	<0,3	0,3	<0,3	0,3	<0,3	0,3	<0,3	0,3	<0,3
Coliformes Totais	NMP/gST	0,3	<0,3	0,3	<0,3	0,3	<0,3	0,3	<0,3	0,3	<0,3
<i>C. Perfringens</i>	NMP/g	--	<18	--	330	--	<18	--	<18	--	<18

Tabela 6.2: Parâmetros Analíticos de solos

	Unidade	SPM4/2m		SPM4/16m		SPM5/2m		SPM5/16m	
		LQ	Result	LQ	Result.	LQ	Result	LQ	Result
Nitrato (N)	mg/kg	0,167	<0,167	5	11,805	0,167	<0,167	0,173	5,27
Nitrito (N)	mg/kg	0,167	<0,167	1	<1	0,167	<0,167	0,173	<0,173
Nitrogênio Amoniacal	mg/kg	0,667	<0,667	12,6	<12,6	0,669	<0,669	0,694	<0,694
Nitrogênio Orgânico	mg/kg	0,667	107,4	10,5	61,1	0,669	130,3	0,694	76,2
Nitrogênio Total Kjeldahl	mg/kg	33,3	107,4	17,5	61,1	33,4	130,3	34,7	76,2
Nitrogênio Total	mg/kg	0,167	107,4	18,9	63,8	0,167	130,3	0,173	81,5
Sulfato	mg/kg	5	<5	5	40	5	<5	5,1	<5,1
Fosfato (P)	mg/kg	0,333	0,415	0,2	<0,2	0,334	0,346	0,347	0,372
Cloreto	mg/kg	5	<5	5	<5	5	<5	5,1	<5,1
Bactérias Heterotróficas	UFC/gST	835189	15005568	8	28	831486	15410200	853	17065
Coliformes Termotolerantes (<i>e.coli</i>)	NMP/gST	0,3	<0,3	0,3	<0,3	0,3	<0,3	0,3	<0,3
Coliformes Totais	NMP/gST	0,3	<0,3	0,3	<0,3	0,3	8	0,3	<0,3
<i>C. Perfringens</i>	NMP/g	--	<18	--	78	--	130	--	<18

LQ: Limite de Quantificação: é a menor concentração do analito que pode ser determinada com um nível aceitável de precisão e veracidade. Também conhecido como Limite de Determinação, que corresponde ao padrão de calibração.

6.3.RESULTADOS ANALÍTICOS DE ÁGUA SUBTERRÂNEA

Os resultados analíticos da campanha de amostragem realizada no período de 01 a 07 de novembro de 2013 são resumidamente apresentados na Tabela 5.8 (GEOCIA, 2013).

De acordo com a CETESB(2014), nas zonas de autodepuração natural em rios, distinguem-se as presenças de nitrogênio orgânico na zona de degradação, amoniacal na zona de decomposição ativa, nitrito na zona de recuperação e nitrato na zona de águas limpas. Ou seja, se for coletada uma amostra de água de local poluído e as análises demonstrarem predominância das formas reduzidas, ou seja, nitrogênio orgânico e/ou amoniacal significa que o foco de poluição se encontra próximo; se prevalecerem o nitrito e o nitrato denota que as descargas de resíduos se encontram distantes. Além disso, a amônia provoca consumo de oxigênio dissolvido das águas naturais ao ser oxidado biologicamente, a chamada DBO de segundo estágio. Logo, se o amoniacal utiliza oxigênio disponível para seu processo de oxidação, ocorre uma diminuição do oxigênio dissolvido no meio.

Por estes motivos, a concentração de nitrogênio amoniacal é um importante parâmetro de classificação das águas naturais e é normalmente utilizado na constituição de índices de qualidade das águas.

De acordo com a Agência Nacional de Águas – ANA, os nitratos são tóxicos, podendo causar uma doença chamada metahemoglobinemia infantil, que é letal para crianças (o nitrato reduz-se a nitrito na corrente sanguínea, competindo com o oxigênio livre, tornando o sangue azul). Por isso, o nitrato é padrão de potabilidade, sendo 10 mg/L o valor máximo permitido pela Portaria 2.914/2011 do Ministério da Saúde.

Entre os parâmetros analisados em água subterrânea no cemitério, apenas o Nitrato (como N) apresenta valor de intervenção (VI) estabelecidos pela CETESB (2005), sendo este, de 10 mg/L. Desta forma, os poços SPM2 e SPM3, locais de alterações do meio físico, apresentaram concentrações acima do VI, sendo as mesmas de 18,723 mg/L e 13,569 mg/L, respectivamente.

Os resultados obtidos apontam também uma grande atividade biológica na área, sendo esta constatada diretamente através dos parâmetros “Contagem de Bactérias Heterotróficas” e indiretamente através dos parâmetros “Concentração de Oxigênio Dissolvido” e pH. Na contagem de bactérias heterotróficas, os resultados nos poços SPM2 a SPM5 apareceram maiores que o limite máximo de quantificação (>5700 UFC/100ml), indicando assim presença destes micro-organismos no meio.

Foi observado também, o aumento da concentração de íons H^+ que se reflete na redução do pH, logo acidificação do meio. Esta redução pode ser observada nos poços SPM2 a SPM5 quando comparados com o SPM1, localizado a montante do fluxo subterrâneo e área externa ao cemitério, sendo o menor pH, o SPM4, com valor de 2,58 no local onde acredita-se ocorrer alteração do meio pela ocupação mais antiga do cemitério.

As concentrações de Nitrogênio Nítrico mais elevadas nos poços SPM2 a SPM4, locais de alterações do meio físico detectado pelos ensaios geofísicos, também coincidem com os pHs mais baixos nestes poços, sendo outro indicativo de acidez do meio. Além disso, as concentrações de Oxigênio Dissolvido nas amostras de água coletadas são favoráveis à atividade microbiológica de nitrificação.

Pequeno Marinho (1998) encontrou produtos nitrogenados nas águas subterrâneas do cemitério São João Batista, em Fortaleza.

Migliorini (1994) também encontrou concentrações elevadas de NH_4^+ (nitrito) e NO_3 (nitrato) no cemitério de Vila Formosa em São Paulo que, segundo o autor, provêm do processo de decomposição dos corpos que produz diaminas, como a cadaverina ($C_5H_{14}N_2$) e a putrescina ($C_4H_{12}N_2$), e podem ser degradadas, gerando NH_4^+ . É possível que Migliorini (1994) tenha encontrado quantidades elevadas de NH_4^+ no cemitério de Vila Formosa, devido à escassez de oxigênio imposta pelo alto consumo deste pelas bactérias e reações de oxidação. No cemitério de Vila Nova Cachoeirinha, o autor concluiu que as águas mais próximas da superfície apresentam menor quantidade de oxigênio dissolvido do que as águas mais profundas que possuem. Naquele ambiente redutor, nitrogênio orgânico e amônio são mais estáveis, como foi observado em efluente de fossa séptica no Parque Ecológico do Tietê em São Paulo (VARNIER & HIRATA, 2000).

Em conformidade com os pressupostos da CETESB, Matos (2001) encontrou em locais mais distantes da fonte de contaminação no cemitério, o nitrogênio na sua forma mais oxidada (NO_3), ou seja, nitrato, corroborando com a hipótese de que locais onde ocorre este composto, seja lugar de depuração natural, ou seja, área de recuperação.

Tabela 6.3: Parâmetros analíticos de água subterrânea

Parâmetro	Unidade	VI	Banco de Campo		Banco de Equipamento		SPM-01		SPM-02		SPM-03		SPM-04		SPM-05	
			LQ	Result.	LQ	Result.	LQ	Result.	LQ	Result.	LQ	Result.	LQ	Result.	LQ	Result.
Cor aparente	UC	-	NA	< LQ	NA	< LQ	NA	13	NA	3767	NA	44952	NA	2389	NA	1048
Sulfato	mg/L	-	NA	< LQ	NA	< LQ	NA	< LQ	NA	< LQ	NA	< LQ	NA	< LQ	NA	< LQ
Fosfato	mg/L	-	NA	< LQ	NA	< LQ	NA	< LQ	NA	< LQ	NA	< LQ	NA	< LQ	NA	< LQ
Cloreto	mg/L	-	NA	< LQ	NA	< LQ	NA	0,557	NA	1,307	NA	< LQ	NA	< LQ	NA	5,182
Condutividade Elétrica	mS/m	-	1,7	2,7	1,7	2,9	1	22	1	199	1	143	1	108	1	78
Temperatura	°C	-	-	-	-	-	0,1	23,24	0,1	30	0,1	29,88	0,1	27,2	0,1	25,9
Ph		-	-	-	-	-	-	4,61	-	3,74	-	3,68	-	2,58	-	4,03
ORP	ηV	-	-	-	-	-	-	162,1	-	14,6	-	3	-	69,5	-	15,8
Turbidez	NTU	-	-	-	-	-	0,1	10,1	0,1	660	0,1	872	0,1	330	0,1	631
Oxigênio Dissolvido	mgOD/L	-	-	-	-	-	0,1	1,01	0,1	7,78	0,1	6,42	0,1	6,26	0,1	6,26
Parâmetro - Série Nitrogenada	Unidade	VI														
Nitrogênio Nítrico	mg/L	10	NA	< LQ	NA	< LQ	NA	1,536	NA	18,723	NA	13,569	NA	9,42	NA	1,71
Nitrogênio Nitroso	mg/L	-	NA	< LQ	NA	< LQ	NA	< LQ	NA	< LQ	NA	< LQ	NA	< LQ	NA	< LQ
Nitrogênio Amoniacal	mg NH3-N/L	-	NA	< LQ	NA	< LQ	NA	< LQ	NA	< LQ	NA	< LQ	NA	< LQ	NA	0,063
Nitrogênio Kjeldahl	mg NH3-N/L	-	NA	< LQ	NA	< LQ	NA	< LQ	NA	< LQ	NA	1,4	NA	< LQ	NA	18,5
Nitrônio Orgânico	mg NH3-N/L	-	NA	< LQ	NA	< LQ	NA	< LQ	NA	< LQ	NA	0,14	NA	< LQ	NA	18,5
Nitrogênio Albuminoide	mg NH3-N/L	-	NA	< LQ	NA	< LQ	NA	0,08	NA	0,24	NA	0,49	NA	0,46	NA	0,3
Nitrogênio Total	mg/L	-	NA	< LQ	NA	< LQ	NA	1,5	NA	18,7	NA	15	NA	9,4	NA	20,2
Parâmetros Microbiológicos	Unidade	VI														
Contagem de Bactérias Heterotróficas	UFC/MI	-	NA	< LQ	NA	< LQ	NA	260	NA	>5.700	NA	>5.700	NA	>5.700	NA	>5.700
Coliformes Totais, Quantitativo - M.F.	UFC/100mL	-	NA	< LQ	NA	< LQ	NA	1.200	NA	4	NA	20	NA	< LQ	NA	1
Colifórmes Termotolerantes, Quantitativo - M.F.	UFC/100mL	-	NA	< LQ	NA	< LQ	NA	7	NA	< LQ	NA	< LQ	NA	< LQ	NA	< LQ
Clostridium Perfringens, Quantitativo - M.F.	UFC/100mL	-	NA	< LQ	NA	< LQ	NA	< LQ	NA	< LQ	NA	< LQ	NA	< LQ	NA	< LQ

NA: Não avaliado

LQ: Limite de Quantificação

6.4. ENSAIOS GEOFÍSICOS

Os procedimentos realizados para coleta, processamento e interpretação dos dados discutidos a seguir, estão descritos no capítulo 5.

Após a realização dos ensaios geofísicos no cemitério, e com base no tratamento, processamento e interpretação dos dados geoeletricos, procurou-se definir os melhores modelos que se ajustam às realidades geológicas, uma vez que é sabido que na área ocorrem rochas da Formação Rio Claro e Corumbataí, definidas por Zaine (1994) e Zaine (2000).

6.5. SONDAGEM ELÉTRICA VERTICAL - SEV

Os locais de execução das SEVs foram escolhidos de maneira a distribuí-las uniformemente em toda a área estudada, dentro dos 80.000 m², respeitando as localizações dos túmulos, sepulturas e monumentos.

O espaçamento máximo do AB/2 para as SEVs foi de 200 metros, permitindo investigar uma profundidade teórica de 100 metros; o espaçamento mínimo foi de 40 metros, para a SEV25, realizada fora do cemitério, conforme os dados apresentados na Tabela 6.4 e Figura 6.1.

Tabela 6.4: Localização Geográfica e aberturas máximas das SEVs no cemitério São João Batista.

SEVs Arranjo Schlumberger	Espaçamento AB/2	(X) UTM (m)	(Y) UTM (m)	SEVs Arranjo Schlumberger	Espaçamento AB/2	(X) UTM (m)	(Y) UTM (m)
1	100	235497,4	7518210,8	15	80	235544,7	7518126,5
2	200	235415,1	7518178,0	16	150	235425,3	7518078,1
3	80	235504,9	7518191,7	17	60	235609,1	7518126,4
4	100	235483,9	7518183,4	18	150	235480,9	7518075,3
5	150	235423,3	7518158,6	19	100	235370,7	7518030,1
6	100	235371,9	7518137,4	20	100	235552,2	7518080,5
7	60	235307,3	7518110,7	21	100	235396,4	7518016,3
8	60	235578,4	7518195,2	23	150	235546,6	7518036,8
9	100	235342,0	7518101,7	24	60	235432,0	7517989,5
10	80	235525,1	7518144,1	25	40	235355,0	7518179,3
11	80	235481,1	7518135,8	26	100	235465,9	7518225,4
12	100	235442,6	7518112,1	27	100	235497,4	7518210,8
13	80	235354,9	7518075,7	28	100	235415,1	7518178,0
14	60	235304,1	7518073,1	29	100	235504,9	7518191,7

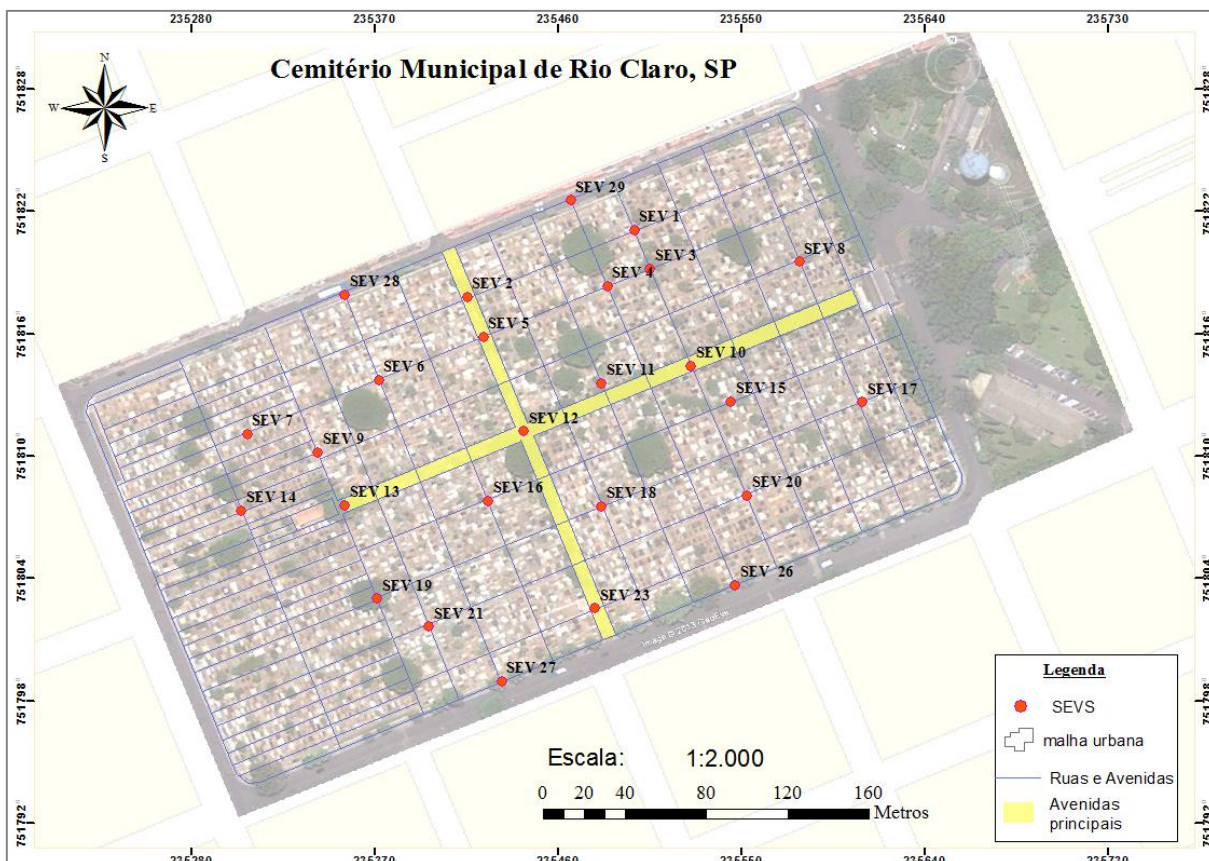


Figura 6-1: Mapa de localização das SEVs no Cemitério São João Batista, Rio Claro, SP.

Após a realização dos ensaios de campo, foram definidas as curvas de resistividades aparentes. A finalidade da interpretação de uma SEV é determinar a distribuição espacial dos parâmetros físicos no subsolo, partindo dos resultados preliminares das curvas de campo observadas, e buscar o significado geológico ou antrópico de tais parâmetros. As SEVs foram interpretadas primeiramente de forma qualitativa, baseando-se na identificação de domínios geoeletricos que representam as características comuns da geologia e hidrogeologia local.

Para tanto, procedeu-se da comparação de curvas baseado no método de Ébert, explicitado no item 5.2, objetivando buscar um modelo teórico inicial a partir da morfologia das curvas de campo.

As curvas de campo foram ajustadas com no mínimo 3 (três) e no máximo 6 (seis) camadas geoeletricas (Figura 6.2). A variedade de tipologias pode ser explicada em função das condições de permeabilização do cemitério, ruídos e demais questões relacionadas à dificuldade de realização dos ensaios na área. Sendo assim, não seguiu exatamente o modelo morfológico padrão de curvas de resistividades aparentes para a Formação Rio Claro e Formação Corumbataí, definidas em estudo realizado por Braga (1997), que de um modo geral são do tipo “KQ” (Figura 6.2) “QQ”, “AKQ” e “HK”, podendo apresentar as três

primeiras camadas da curva de campo do tipo “Q”. De acordo com o mesmo autor, curvas destes tipos são normalmente encontradas em ensaios geofísicos de SEVs realizados em áreas de ocorrência de rochas sedimentares, como no caso da área de estudo.

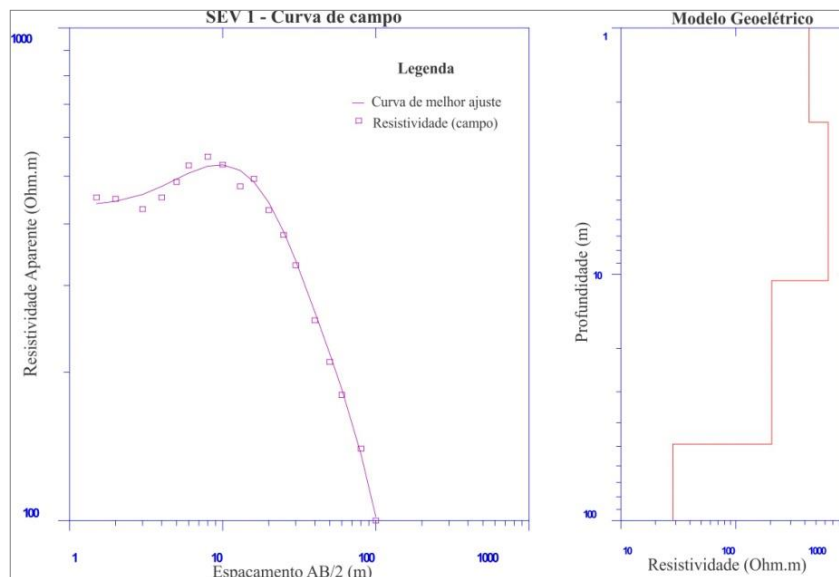


Figura 6-2: Exemplo de curva de campo típica de ensaios geofísicos em áreas de rochas sedimentares para as Formações Rio Claro e Corumbataí, do tipo “KQ”.

Os primeiros estratos geométricos encontrados nas curvas de campo do cemitério são diferenciados. As covas se encontram em uma profundidade de até 2 m e a Formação Rio Claro não é geologicamente homogênea, logo, os primeiros estratos ou camadas apresentam resistividades passíveis de variações geométricas. Torna-se difícil definir cada camada geométrica baseada em litotipos em função desta variação na geologia local. Dessa forma, o presente trabalho definiu os níveis geométricos baseados nas zonas de saturação.

De acordo com Davino (1970), os níveis geométricos, além de variarem com os litotipos, variam de acordo com a repartição de água no solo, ou seja, ocorre uma relação entre a variação da resistividade e as zonas de distribuição de água no solo. O autor definiu as zonas geométricas como sendo: zona de evapotranspiração, zona de retenção, zona capilar e zona de saturação (Figura 6.3).

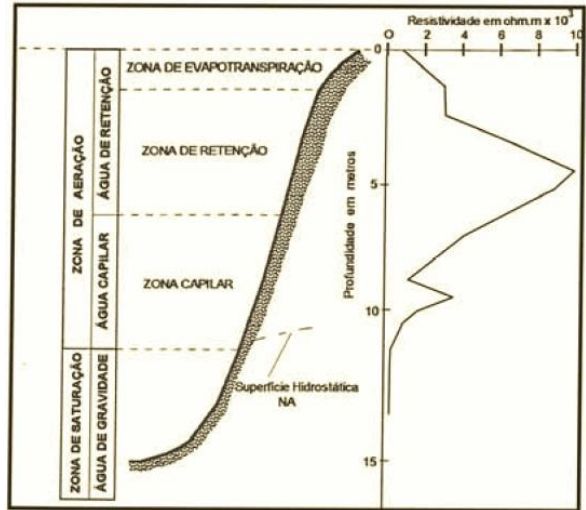


Figura 6-3: Variação da resistividade em função da distribuição da água no solo (DAVINO, 1970)

Assim, pode-se associar a seguinte padronização de curva de campo para a Formação Rio Claro e Corumbataí da área de estudo (Figura 6.4): 1ª camada (ρ_1) como zona de evapotranspiração e de retenção; 2ª camada (ρ_2) como zona capilar; 3ª camada (ρ_3) e 4ª camada (ρ_4) como zona de saturação sendo que, de acordo com os litotipos das referidas Formações: ρ_1 corresponde ao solo seco composto por sedimentos arenosos da Formação Rio Claro (FmRC) superficial; ρ_2 corresponde à mesma Formação, porém com influência da franja capilar; ρ_3 corresponde aos sedimentos predominantemente arenosos da mesma Formação, porém em estado de saturação; e ρ_4 corresponde aos sedimentos argilosos e siltosos da Formação Corumbataí (FmC).

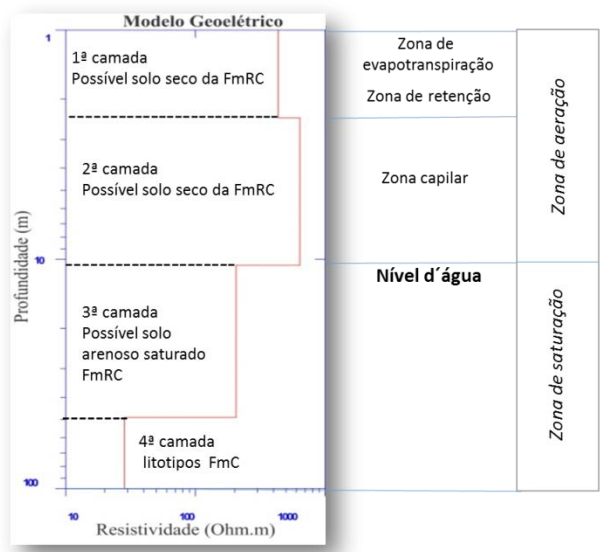


Figura 6-4: modelo geométrico interpretado para o cemitério.

Assim, a análise morfológica das curvas das SEVs obtidas em campo permitiu identificar duas eletrofácies principais, assim como também definido por Braga (1997), Oliva (2002) e Oliva (2006). Primeiramente, Braga (1997) definiu dois modelos geoeletricos distintos para cada litotipo principal encontrado no município de Rio Claro - Formação Rio Claro e Formação Corumbataí. Definiu classes de resistividades para cada Formação e, por fim, definiu um modelo geoeletrico geral que se ajustasse à geologia do município. Oliva (2002) e Oliva (2006) ensaiou no total 371 pontos de SEV em toda a área urbana do município e classificou dois estratos geoeletricos principais como Braga (1997):

- (1) valores de resistividade mais altos, típicos de sedimentos predominantemente arenosos, associados à Formação Rio claro;
- (2) valores de resistividade mais baixos, associados aos siltitos e argilitos da Formação Corumbataí.

O primeiro é representado por sedimentos inconsolidados, solo residual e/ou uma camada fina de solo e sedimentos superficiais inconsolidados, correspondentes à zona de evapotranspiração, zona de retenção e zona capilar.

Ainda que nos dois primeiros níveis geoeletricos das curvas de campo, as resistividades aparentes sejam relativamente baixas (Quadro 6.1), esses valores decrescem ainda mais em profundidade devido à geologia, que podem ser explicados pelo aumento de umidade e presença de siltitos e argilitos da Formação Corumbataí nos últimos níveis. Dessa forma, os níveis geoeletricos das primeiras camadas, mais resistivos, sugerem a presença de sedimentos arenosos, com umidade crescente, representando as zonas de evapotranspiração, retenção e capilar. Entretanto, as particularidades geológicas da Formação Rio Claro, e as peculiaridades pertinentes a um cemitério urbano, refletiram em uma variação nos valores de resistividades aparentes, bem como uma variedade de padrões de curvas, diferentes do padrão definido por Braga (1997), que usou uma escala muito maior para a realização de seu trabalho, ou Oliva (2006), que realizou um trabalho específico sobre eletrofácies. Isto justifica a variedade de tipos de curvas de campo (Anexo I).

Algumas curvas de campo não puderam ser ajustadas em modelos devido aos resultados considerados ruins, com grandes variações nos valores de resistividades, e com necessidade de muitos pontos excluídos, deixando a desejar a confiabilidade do dado.

Quadro 6.1: Resistividades calculadas por nível geométrico

SEV	NÍVEL1	NÍVEL2	NÍVEL3	NÍVEL4	NÍVEL5	NÍVEL6
	ρ (Ohm.m)	ρ (Ohm.m)	ρ (Ohm.m)	ρ (Ohm.m)	ρ (Ohm.m)	ρ (Ohm.m)
SEV1	435,7	637,3	205,4	28,4	*	*
SEV2	459,5	374,4	284,4	48,6	*	*
SEV3	496,7	150,8	43,8	30,2	*	*
SEV4	278,1	72,8	2281,9	5,3	*	*
SEV5	233,9	1482,5	374,7	*	*	*
SEV6	476	1722,4	175,7	2021,8	239,4	139,8
SEV7	157,9	511,9	3704,5	242,6	63,6	*
SEV8	366,8	154,8	793,6	68,5	1117,4	*
SEV9	538,3	892,3	3124,6	728,5	38,5	*
SEV10	381,5	74,5	3147	188,7	132,9	*
SEV11	345,5	194,3	89,7	*	*	*
SEV12	82,3	123,1	161,4	21,4	*	*
SEV13	241,1	1455,7	234,7	43	*	*
SEV14	457	1372,5	6313,2	209,7	*	*
SEV15	469,7	413,7	336,1	800,1	141,3	*
SEV16	442,1	367,5	1495,5	248,4	96	*
SEV17	225,1	613	133	3156,2	108,8	*
SEV18	304,3	622,9	276,4	932,1	477,5	93,4
SEV19	373,1	986,8	475,9	75,9	*	*
SEV20	481,3	2858,6	45,6	*	*	*
SEV21	93,5	475,2	726,5	47,5	*	*
SEV23	276,7	268,1	3872,6	937,4	54,2	*
SEV26	349,4	2151,8	448,9	*	*	*
SEV27	429,3	631,4	264,6	64	*	*
SEV28	180,9	436,7	538,4	52,6	*	*
SEV29	309,1	689,9	406,7	79,7	*	*
SEV24	1584,4	2594,1	5411,3	71,7	8,7	*
SEV25	423,5	1390,6	206	*	*	*

Obs: SEVs 24 e 25 - realizadas fora da área do cemitério.

A diversidade das curvas de campo deve-se às muitas interferências existentes no local, como o nível basal das covas, que podem chegar a 2 metros, mas variam de profundidade. É possível que o primeiro nível geométrico, ou seja, a zona de evapotranspiração e retenção não sejam representativas dadas às condições de impermeabilização do solo. As espessuras para o primeiro nível geométrico de todas as curvas (Anexo I), têm média de 2,7 metros, quase coincidente com o nível basal das covas, onde ocorre o início da percolação do necrochorume.

De acordo com levantamento de solos realizado por Zaine (1994) em Rio Claro, os solos derivados dos arenitos da Formação Rio Claro, são os chamados Latossolos Vermelho - Amarelos, que, por se tratarem de solos muito intemperizados, muito lixiviados e, portanto seu regolito é profundo e bem drenado, possuem como característica alta porosidade e permeabilidade. São solos geralmente ácidos, pobres em nutrientes e de granulometria variável entre arenoso, areno-argiloso, podendo ser argiloso. Com o processo de latossolização, processo este que dá origem aos Latossolos, as transformações físico-químicas de intemperismo que ocorrem neste meio, fazem com que ocorra formação de microagregados, apresentando estrutura granular fortemente cimentadas por argilas, e por óxidos de ferro e alumínio. Dessa forma, mesmo que o Latossolo contenha elevado índice de argila, pelo alto intemperismo, ainda sim pode se comportar como solo arenoso, com alta permeabilidade.

Já os solos derivados dos argilitos e siltitos da Formação Corumbataí são denominados Argissolos, e em Rio Claro predominam os do segundo nível categórico Vermelho- Amarelos. Os Argissolos possuem como principal característica a translocação de argila do horizonte mais superficial para o mais subsuperficial, ou seja, ocorre um acréscimo de argila do horizonte A, ou zona de evapotranspiração (quando se encontram expostos ou superficiais) para o horizonte B, zona de retenção. Por possuírem poros menores, além de tensão superficial entre as superfícies das argilas e as moléculas de água, as argilas possuem um poder maior de retenção da umidade, conseqüentemente, menor permeabilidade. Porém, no cemitério, a FmC ocorre em maiores profundidades, onde já não se encontra mais *solum*, e sim, rochas pertencentes à referida Formação. Ainda assim, igualmente, tais rochas sedimentares, possuem as mesmas características de retenção das argilas supracitadas, o que pode explicar um aumento de condutividade e diminuição de valores de resistividades em profundidade.

A transição da Formação Rio Claro para a Formação Corumbataí é discutível, visto que a variação da espessura das mesmas pode variar em todo o município. Oliva (2006) encontrou uma variação de 5 - 45 metros de espessura para a FmRC no geral. Dessa forma, ocorre também variação litológica para a FmC que pode ser identificada no cemitério, possivelmente pela diminuição dos valores de resistividades como descrito a seguir e demonstrados no Quadro 6.1:

- Nas SEVs 3, 11 e 20, é possível identificar uma mudança de resistividade no nível geoeletrico 3. Possivelmente, represente a Formação Corumbataí.

- Nas SEVs 1, 2, 4, 8, 12, 13, 19, 21, 24, 27, 28 e 29, ocorre um decréscimo considerável de resistividade no nível 4;
- As SEVs 7, 9, 15, 16, 23 e 24, apresentam valores de resistividade aparente baixos no nível 5, em relação aos primeiros níveis geoeletricos; e a SEV 18, apresenta resistividade também baixa no nível 6.

Isso permite afirmar que, de um modo geral, todas as SEVs apresentam valores de resistividades que decrescem em profundidade, inferindo a presença de rochas da FmC.

Em relação à granulometria, durante a perfuração das sondagens para a implantação dos poços de monitoramento, foi verificada a presença de solo arenoso em todas as seções perfuradas. Nas sondagens SPM1, SPM2, SPM3 e SPM5 o perfil se inicia com um pacote de areia fina a muito fina, de coloração avermelhada, passando para um pacote de areia muito fina a argilosa de coloração também avermelhada. A mudança litológica ocorreu entre 12,70m (SPM2) e 16,50m (SPM1). Tais mudanças litológicas, ainda representam litotipos pertencentes à Formação Rio Claro, não expressando ainda características da Formação Corumbataí.

Na SPM2 (Figura 6.5) a mudança litológica ocorreu em 12,70 metros de profundidade e o NA foi atingido em 15,20 metros. Na interpretação da SEV3 (Figura 6.7), a mais próxima do poço, o NA encontrado foi em 10,60 metros. Isso pode ser explicado pela sazonalidade. Porém, os valores de resistividade encontrados na interpretação da SEV3, foram relativamente baixos com um decréscimo de resistividade em profundidade de 496,7 no primeiro nível geoeletrico a 30,2 Ωm no último nível geoeletrico (tabela 6.5), não atingindo, acredita-se, a Formação Corumbataí, dada a profundidade do topo do último nível geoeletrico.

Na SPM3 (Figura 6.6), a mudança litológica ocorreu em 14,90 metros de profundidade, e o NA, ocorreu em 16,10 metros de profundidade. A SEV mais próxima desta sondagem, foi a SEV15 (Figura 6.8), que acusou o NA a 10,4 metros, em período de chuvas em Rio Claro.

Dessa forma, a variação de areia fina a muito fina com matriz argilosa, ainda diz respeito à Formação Rio Claro na SPM3. Na SEV15, a variação de resistividade foi de 469,7 Ωm a 800,1 Ωm , (Tabela 6.6) até a profundidade aproximada de 17,4 metros. A partir daí, há um decréscimo de resistividade, provavelmente representada pelos siltitos e argilitos da Formação Corumbataí com resistividade de 141,3 Ωm no último nível geoeletrico.

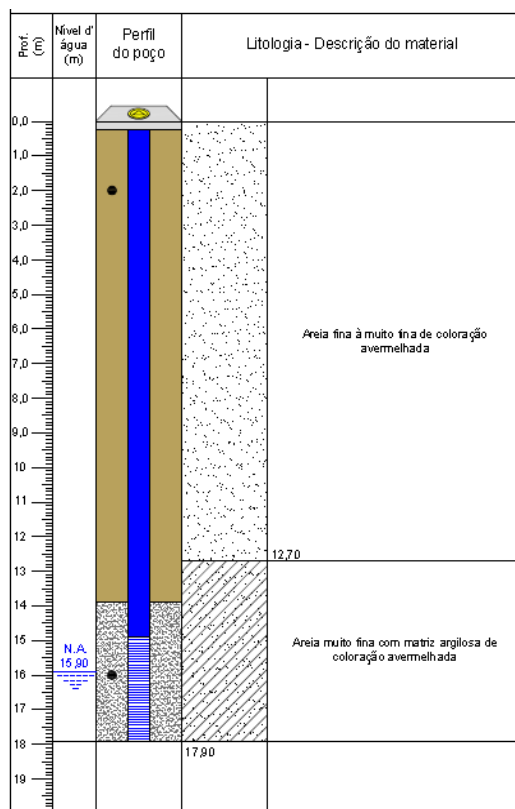


Figura 6-5: SPM2 (Av.2 com rua 6 - próxima da SEV3). Os pontos nas figuras representam os locais amostrados. Mudança litológica ocorreu em 12,70.

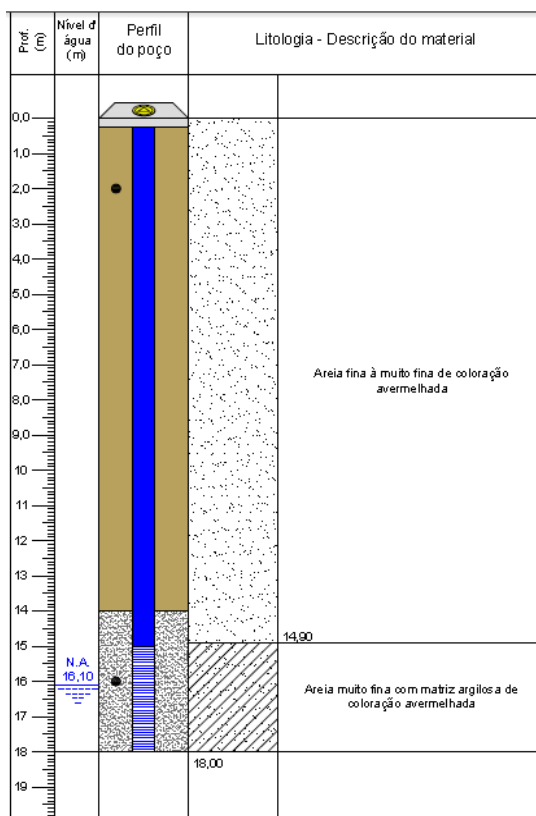


Figura 6-6: SPM3 (Av.3 com rua7 - próxima da SEV15). Os pontos nas figuras representam os locais amostrados. Mudança litológica ocorreu em 14,90 metros.

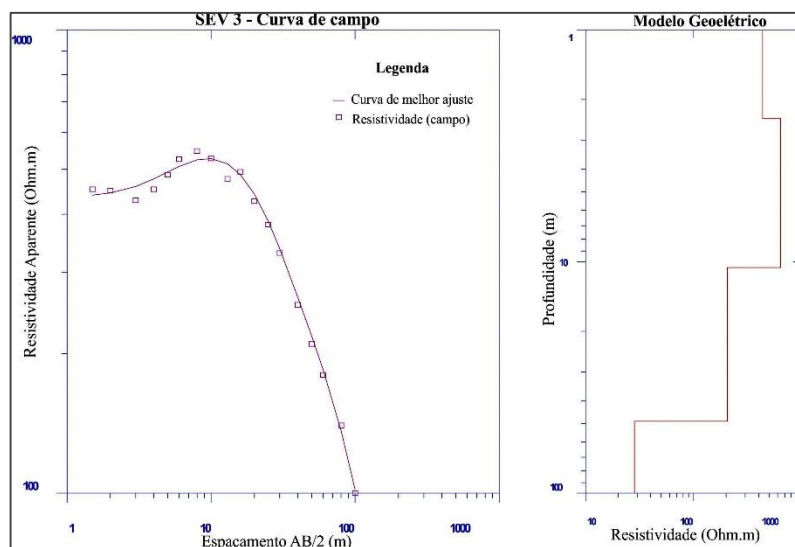


Figura 6-7: SEV3: curva de campo interpretada.

Tabela 6.5: Modelo geoeétrico de curva de campo interpretada

SEV03	Cota: 603,8 m				
Nível Geoeétrico	Resistividade (Ohm.m)	Espessura (m)	Profundidade (m)	Descrição dos materiais	
1	496,7	0,5	-	Areia fina a muito fina	Formação Rio Claro
2	150,8	2,0	0,5	Areia fina a muito fina	
3	43,8	8,1	2,5	Areia fina a muito fina	
4	30,2	--	10,6	Areia fina a muito fina com matriz argilosa	
Nível freático: 10,6m					

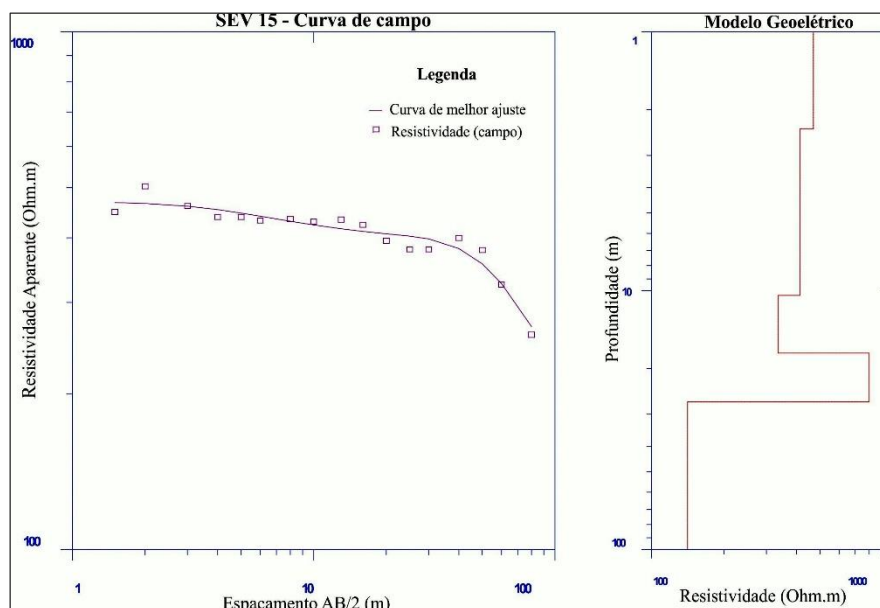


Figura 6-8: SEV15: curva de campo interpretada.

Tabela 6.6: Modelo geológico de curva de campo interpretada.

(*) referente à provável Formação Corumbataí

SEV15	Cota: 603,8 m				
Nível Geométrico	Resistividade (Ohm.m)	Espessura (m)	Profundidade (m)	Descrição dos materiais	
1	469,7	2,4	-	Areia fina a muito fina	Formação Rio Claro
2	413,7	8,1	2,4	Areia fina a muito fina	
3	336,1	7	10,4	Areia fina a muito fina	
4	800,1	9,5	17,4	Areia muito fina com matriz argilosa	
5	141,3*	---	26,9	Argilitos e siltitos	Formação Corumbataí
Nível freático: 10,4 m					

Na sondagem SPM4 (Figura 6.9) o perfil é iniciado com areia fina a muito fina de coloração avermelhada, e após o pacote arenoso, aproximadamente aos 13,50 m, a perfuração atinge um pacote de cascalho arredondado a subarredondado, com matriz arenosa, amarelo claro. Ressalta-se que durante a realização das sondagens, não foi verificada a presença de fase livre de necrochorume.

A curva de campo próxima à SPM4, SEV2 (Figura 6.10), define um modelo geológico coerente com a sondagem. Os 3 primeiros níveis apresentam coerência nos valores de resistividade aparente, evidenciando o que já foi supracitado sobre as zonas da Formação Rio Claro (Tabela 6.4). Na curva de campo e sua respectiva tabela, é possível identificar que até aproximadamente 12 metros de profundidade, ocorre uma homogeneidade nos valores de

resistividades (níveis geoeletricos 1, 2 e 3), e só após esta marca, ocorre um decréscimo abrupto na resistividade com valor de $48,6 \Omega m$ provavelmente referente à Formação Corumbataí.

O nível d'água verificado na curva, situa-se a cerca de 12,5 metros de profundidade. Nas sondagens realizadas para instalação dos poços, o NA foi atingido com 16 metros. Isto pode explicado, pela sazonalidade da realização dos ensaios. As SPMs foram realizadas em época de seca (entre julho e setembro), enquanto as SEVs foram realizadas em período chuvoso (entre outubro e março). Dessa forma, ocorre um rebaixamento do nível d'água, gerando variação da cota do topo.

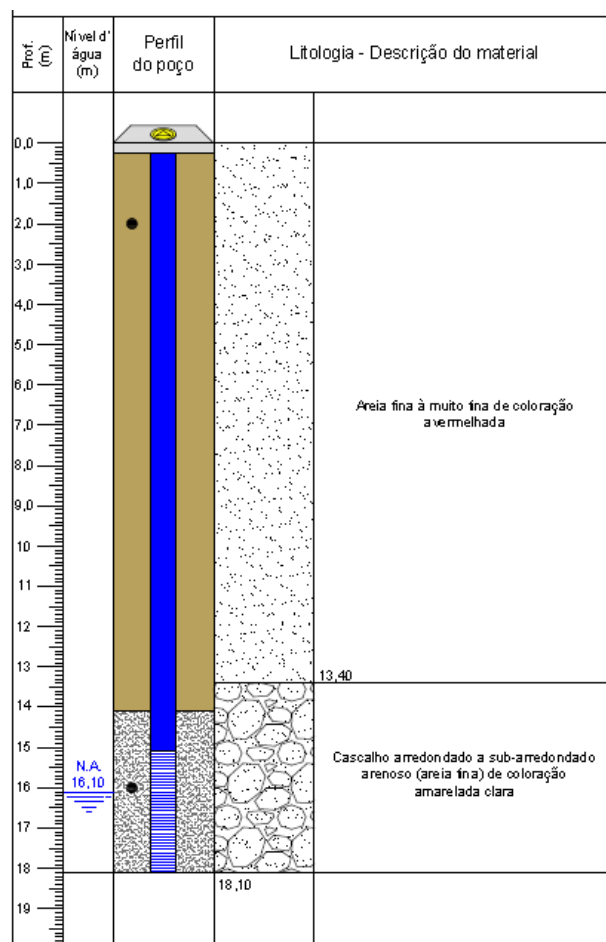


Figura 6-9: **SPM4** - localizada na avenida 4 com rua 10. Próxima à SEV2.

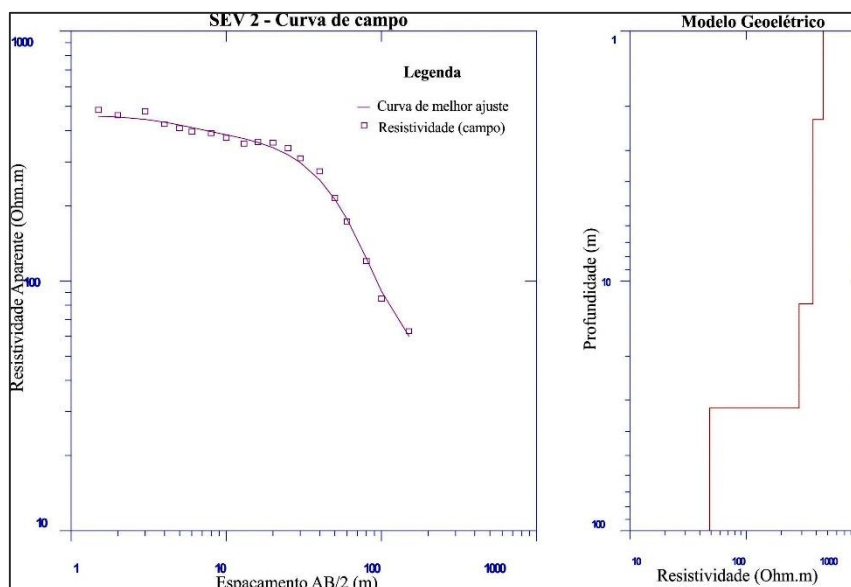


Figura 6-10: Curva de campo e modelo geoelétrico da SEV2.

Tabela 6.7: Modelo geoelétrico de curva de campo interpretada.
(*) referente à provável Formação Corumbataí.

SEV2	Cota: 603,8 m				
Nível Geoelétrico	Resistividade (Ohm.m)	Espessura (m)	Profundidade (m)	Descrição dos materiais	
1	459,5	2,3	-	Areia fina a muito fina	Formação Rio Claro
2	374,4	10,1	2,3	Areia fina a muito fina	
3	284,4	20,0	12,4	Cascalho arredondado arenoso e areia muito fina	
4	48,6*	---	32,3	Argilitos e siltitos	Formação Corumbataí

Nível freático: 12,4 m

As SPM1 e SPM5 seguiram os mesmos padrões litológicos das SPM2 e SPM3, com presença de areia fina a muito fina, e mudança litológica para areia muito fina com matriz argilosa. As principais diferenças ficaram por conta das pequenas variações de profundidade das mudanças de litotipos, e profundidade do NA. A SPM4 apresentou cascalhos arredondados e arenosos na mudança de litotipo, o que representou basicamente uma variação da Formação Rio Claro.

Sendo assim, a variação dos valores de resistividade e a não padronização dos níveis geoelétricos no cemitério podem ser justificadas pela variação na espessura das camadas da FmRC e da FmC, o que explicaria também, algumas curvas apresentarem somente 3 camadas, e outras, 6 camadas geoelétricas.

6.5.1. POTENCIOMETRIA

Conhecidas as profundidades do topo do nível d'água de cada SEV, sua localização, e cota topográfica por meio do levantamento com DGPS, foi possível determinar a superfície potenciométrica de cada ponto. Esta foi determinada subtraindo-se a profundidade do topo do NA medidos nos pontos de SEVs, da cota altimétrica do terreno, estipulada em 603,8 metros.

Tabela 6.8: Identificação da das cotas dos níveis d'água e potenciomtria da área do cemitério Municipal de Rio Claro, SP.

NOME	UTMX	UTMY	NA topo	Z COTA (m)	Potenciomtria
SEV 1	235497,4	7518210,8	10,6	603,8	593,2
SEV 2	235415,1	7518178,0	12,4	603,8	591,4
SEV 3	235504,9	7518191,7	10,6	603,8	593,2
SEV 4	235483,9	7518183,4	10,9	603,8	592,9
SEV 5	235423,3	7518158,6	12,3	603,8	591,5
SEV 6	235371,9	7518137,4	12,8	603,8	591,0
SEV 7	235307,3	7518110,7	14,4	603,8	589,4
SEV 8	235578,4	7518195,2	9,8	603,8	594,0
SEV 9	235342,0	7518101,7	14,3	603,8	589,5
SEV 10	235525,1	7518144,1	10,6	603,8	593,2
SEV 11	235481,1	7518135,8	11,4	603,8	592,4
SEV 12	235442,6	7518112,1	12,6	603,8	591,2
SEV 13	235354,9	7518075,7	14,3	603,8	589,5
SEV 14	235304,1	7518073,1	14,8	603,8	589,0
SEV 15	235544,7	7518126,5	10,4	603,8	593,4
SEV 16	235425,3	7518078,1	12,6	603,8	591,2
SEV 17	235609,1	7518126,4	9,8	603,8	594,0
SEV 18	235480,9	7518075,3	11,8	603,8	592,0
SEV 19	235370,7	7518030,1	14,4	603,8	589,4
SEV 20	235552,2	7518080,5	10,6	603,8	593,2
SEV 21	235396,4	7518016,3	14,2	603,8	589,6
SEV 23	235477,9	7518025,3	12	603,8	591,8
SEV 26	235546,6	7518036,8	11,3	603,8	592,5
SEV 27	235432,0	7517989,5	14,5	603,8	589,3
SEV 28	235355,0	7518179,3	13	603,8	590,8
SEV 29	235465,9	7518225,4	10,7	603,8	593,1

Dessa forma, foi possível a elaboração do mapa potenciométrico e a definição das orientações preferenciais do fluxo d'água (Figura 6.11). As profundidades do nível freático variaram aproximadamente entre 9 a 15 m. A área do cemitério situa-se em topografia plana (0 - 3%) de declividade, de acordo com classes de relevo definidas por EMBRAPA (1999).

Dessa forma, a superfície do NA, para a geração do mapa potenciométrico, variou entre 580m e 594m, (Tabela 6.8). As isolinhas traçadas definiram a superfície potenciométrica e o fluxo das águas subterrâneas, representadas pelas setas, que orientam das cotas altas (região Nordeste) para as cotas baixas (região Sudoeste), condizente com a tendência regional da área determinada por Oliva, (2006), e da porção de ocupação mais antiga do cemitério para a mais recente.

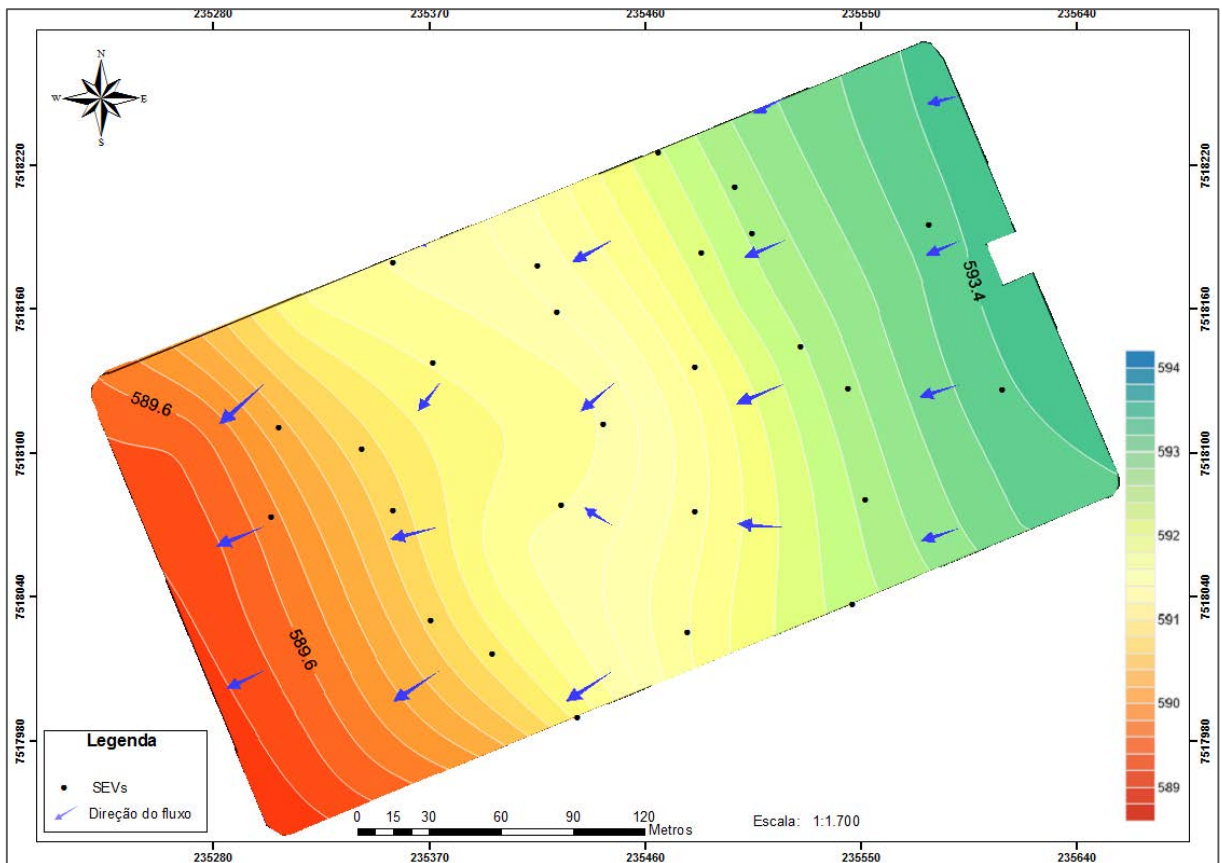


Figura 6-11: Mapa potenciométrico da área de estudo.

O cemitério está localizado em uma área de pequeno planalto onde a espessura da Formação Rio Claro, é considerável, de acordo com Oliva (2006), que descreveu que os altos potenciométricos recebem contribuições dos aquíferos suspensos, onde o fluxo de água infiltrada é bloqueado por níveis de materiais com baixa permeabilidade, no caso, Formação Corumbataí. Tais materiais podem ser descritos como camadas argilosas, comuns em ambientes fluviais. De acordo com a autora, estes ambientes coincidem, e estão aproximadamente paralelos aos limites da Formação Rio Claro, assim como a superfície potenciométrica. No caso do cemitério, a máxima pode ser válida, pois coincide com a referida superfície descrita por Oliva (2006).

Porém, a direção do fluxo subterrâneo para o sudoeste do mapa, é guiada para onde a Formação Rio Claro diminui conseqüentemente suas espessuras e encontra-se próxima ao contato com unidades subjacentes. Mais ao sul, o fluxo encontrará o Córrego da Servidão e Rio Corumbataí, portanto, um resultado condizente, indicando o afloramento da FmC.

6.6. IMAGEAMENTO ELÉTRICO – IE

A seguir, serão apresentados os resultados para os métodos do Imageamento elétrico nos arranjos dipolo - dipolo e gradiente. A descrição dos procedimentos realizados podem ser encontrados nos itens 5.5; 5.6 e 5.7.

6.6.1. SEÇÕES GEOELÉTRICAS – DIPOLO - DIPOLO

Com o objetivo de identificar bidimensionalmente as alterações geofísicas em subsuperfície na área em estudo, foram realizados ensaios de Imageamento Elétrico (IE). A localização das linhas de IE, foi baseada nos modelos geoeletricos interpretados por meio das SEVs realizadas, bem como o sentido do fluxo subterrâneo com o mapa de superfície potenciométrica e também influenciada por limitações operacionais.

Como descrito no item 5.5, foram realizadas treze (13) linhas de IE, sendo cinco (5) longitudinais no sentido frente - fundos nas avenidas de 400 metros, e oito (8) linhas transversais no sentido esquerda - direita, nas ruas de 200 metros cada. O espaçamento entre os foi de 10 metros e leitura a cada 5 metros (Figura 6.12):

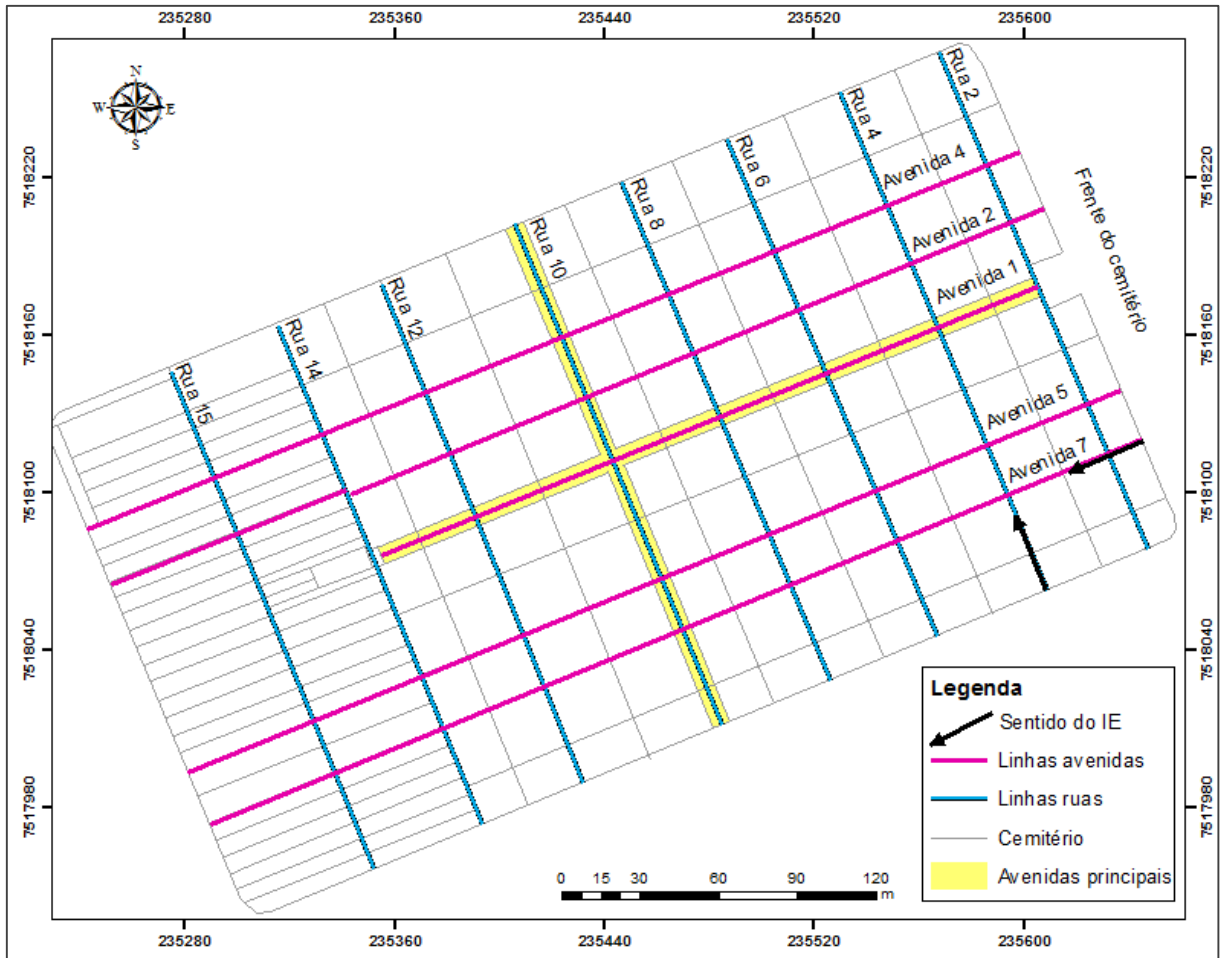


Figura 6-12: Localização das linhas de IE nas avenidas do cemitério São João Batista, Rio Claro, SP. Arranjo dipolo - dipolo.

O intervalo de valores de resistividade (ρ) definido, foi de $0,5 \Omega m$ a $2.000 \Omega m$, faixa determinada em função da existência de valores fortemente anômalos, que não representam a geologia do cemitério. Para não interferir na qualidade do modelo, foram excluídos os dados com valores mais altos que $2.000 \Omega m$. Nos casos das seções IE4 e IE5, foi impossível aproveitar os dados referentes aos níveis 7 e 8, (últimos níveis) que foram excluídos do processamento das seções, pela incerteza dos dados.

O conjunto de seções de IE a seguir é referente às avenidas que medem aproximadamente 400 metros.

Como descrito no item 6.5, relativo às SEVs, para o cemitério foram encontrados valores de resistividade no intervalo entre $43,8 - 6.313,3 \Omega m$, para os 3 (três) primeiros níveis geoeletricos, que podem ser considerados representativos dos arenitos da Formação Rio claro, com influência ou não da franja capilar.

Cabe ressaltar que o presente trabalho optou por não utilizar o conceito de “contaminação do meio” e sim alteração do meio físico uma vez que se trata de ensaios geofísicos, com investigação indireta e não invasiva, o que dá suporte para interpretações.

Sendo assim, para interpretação das seções de IE, foi utilizada como parâmetro aproximado, a média de $800 \Omega.m$, baseado no intervalo de valores para os três níveis geoeletricos identificados para a geologia local e a umidade, sendo definido que:

- Alterações **TIPO 1**: foi interpretado que regiões do cemitério com valores de resistividade $\rho \approx 300 \Omega.m$ são potenciais áreas anômalas, ou seja, possivelmente influenciadas pela possível presença de contaminante;
- Alterações **TIPO 2**: foi interpretado que áreas com valores intermediários entre $300 - 800 \Omega.m$ seriam consideradas zona potencialmente alteradas, ou zonas de transição; e,
- Feições **TIPO 3**: representam valores acima de $800 \Omega.m$ considerados qualitativamente como regiões sem alterações no meio físico, ou seja, representa teoricamente, as condições naturais do meio no cemitério.

As seções de IE1, IE2 e IE4 (Av.1, Av.2 e Av.4 respectivamente), (Figura 6.12), apresentaram alterações na primeira metade do cemitério, desde a entrada principal até a avenida central, cujos valores pouco resistivos foram de 30 a $300 \Omega.m$ para os primeiros níveis geoeletricos, até aproximadamente 10 metros de profundidade e portanto, considerados como alterações do meio físico, possivelmente associadas a sais dissolvidos, com diminuição da resistividade aparente.

Tais valores pouco resistivos, quando ocorrem nos últimos níveis geoeletricos, em maiores profundidades podem ser associados aos argilitos e siltitos da Formação Corumbataí, que também são representados por valores baixos de resistividades. Dessa forma, acredita-se, que as alterações pouco resistivas em maior profundidade relacionam-se ao início da Formação Corumbataí, como pode ser visto na seção de referência, ou *background* (Figura 6.13).

A seção geoeletrica realizada fora das dependências do cemitério, se encontra na rua 23 e dista aproximadamente $300m$ do local de estudo. Esta seção está à jusante do fluxo de água subterrâneo e serve como base para as interpretações das linhas executadas no cemitério (Figura 6.13).

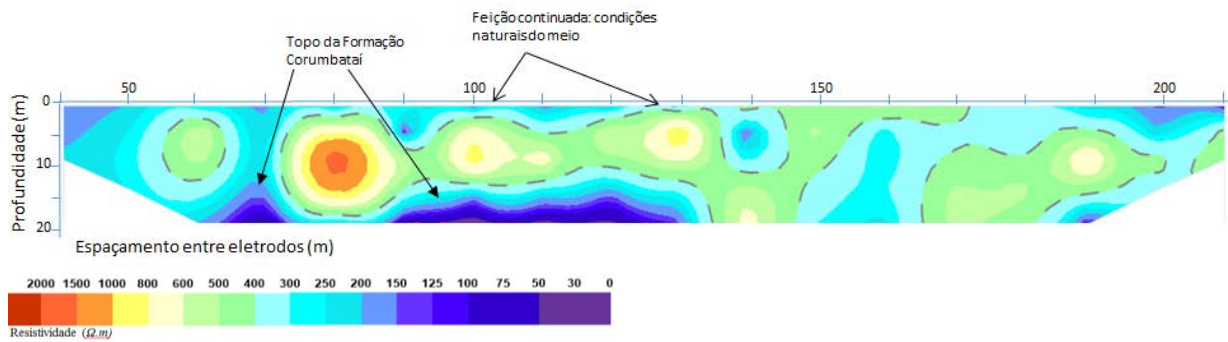


Figura 6-13: Seção de IE, localizada fora da área do cemitério. (Fonte: Camargo, Isadora Vilela, 2007).

Outra premissa da existência de alterações do meio nesta porção do cemitério, é que neste local foram realizados os primeiros sepultamentos, que datam do final do século XIX, de acordo com croquis de localização de túmulos disponibilizados pela administração do cemitério, além da presença de túmulos muito antigos, datados do ano de inauguração do cemitério como descrito por Pereira *et.al.* (1978), (fotos 6.1; 6.2 e 6.3).



Foto 6.1: Túmulos antigos do século XIX localizados na porção mais antiga do cemitério.
Foto 6.2: Primeiros túmulos construídos próximos à entrada principal.



Foto 6.3: Túmulos do início da construção do cemitério.

Desde então, passados mais de 130 anos, ocorreram muitos sepultamentos, com retiradas de ossadas, e substituições por novos cadáveres, que novamente contribuíram para a eventual contaminação local. Esse processo representa uma fonte pontual de contaminação, e mesmo que ocorra um processo de atenuação natural, são necessários de 2,5 a 3 anos para que o substrato volte a se renovar (PACHECO & MATOS, 2001), sem deposição de novos cadáveres, o que ainda não foi o caso, pois o cemitério continua ativo.

De acordo com informações concedidas pelos funcionários, existem mais de 12 mil túmulos no cemitério de Rio Claro, e mais de 200 mil pessoas enterradas. Ainda hoje, ocorrem em média, cerca de 90 enterros por mês, e em geral, existem muitos cadáveres nos túmulos familiares (Foto 6.4).



Foto 6.4: Em um mesmo túmulo, foram sepultadas dezenas de pessoas. Situação recorrente no cemitério de Rio Claro.

Para os IE5 e IE7, ocorre uma relativa padronização na distribuição dos valores de resistividade aparente. O intervalo permanece entre 200 e 300 Ωm até a metade do cemitério, no sentido frente - fundos, a partir de 2 metros de profundidade.

A partir do nível máximo basal das covas é que se tem início à eventual percolação do necrochorume. Portanto, onde os valores pouco resistivos são evidenciados a partir desta profundidade (2 metros aproximadamente), pode ser devido à presença de umidade no solo, inferindo presença do necrochorume que começa a interagir com o substrato, portanto, interpretadas como alterações do Tipo 1.

A primeira metade do cemitério (de frente para os fundos) foi a primeira a ser ocupada, dessa forma, a reposição de corpos nesta porção ocorre há muitos anos. Assim, em algumas seções, principalmente na primeira metade do cemitério, sentido frente - fundos, as plumas com valores de baixa resistividade se prolongam para maiores profundidades. O que pode ser explicado pela migração das plumas em subsuperfície, pelo tempo de contínua deposição de cadáveres em alguns túmulos e também pela infiltração de águas pluviais.

Nota-se pelas figuras das seções IE4 e IE5, uma crescente atenuação nos valores de resistividade em direção aos fundos do cemitério, ou seja, na altura de 345 metros aproximadamente. Ocorre que, esta porção, foi a última a ser ocupada no cemitério, e provavelmente grande parte do substrato subjacente ainda seja representada pela condição natural do terreno, sendo interpretada como condição do Tipo 3.

Em contraponto, nas primeiras camadas, ocorre uma diminuição de resistividade, até a profundidade de aproximadamente 5 metros, indicando uma alteração física na resposta elétrica do meio. Esta definição, vale também para as linhas IE1 e IE2.

Para a IE4, observa-se alteração do Tipo 1 também, na segunda metade do cemitério (de frente para os fundos), com baixos valores de resistividade, entre 30 e 200 Ωm .

A avenida 1 (Figura 6.14), apresentou altos valores de resistividades ao fim da seção, em aproximadamente 200 a 290 metros, local onde se encontra a capela do cemitério, porém, apresentou baixos valores de resistividade aparente, até 400 Ωm , acima e abaixo do nível d'água. Valores altos de resistividade aparente também foram identificados, representando possivelmente os litotipos da Formação Rio Claro.

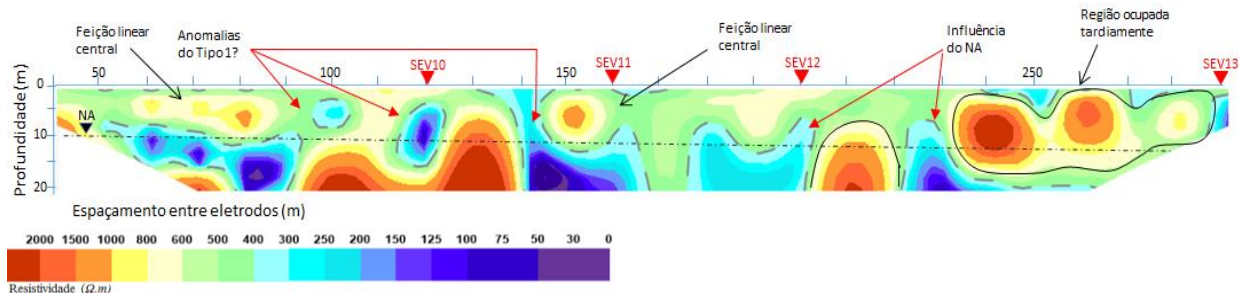


Figura 6-14: Seção geolétrica IE1.

Nas respostas geolétricas da seção IE2 (Figura 6.15), baixos valores de resistividade aparente identificados na primeira metade do cemitério, sentido frente - fundos, até aproximadamente 200 metros, foram interpretadas como alterações do Tipo 1, com possível presença de necrochorume para os primeiros metros de profundidade, até no máximo 10 metros aproximadamente. Esta porção do cemitério, foi a primeira a ser ocupada, e ainda se mantém ativa, como reposição de cadáveres até a contemporaneidade. No SPM2, instalado na altura de 120 metros, foram verificadas alterações químicas e bacteriológicas, principalmente para os parâmetros bactérias heterotróficas e *Clostridium Perfringens* e compostos nitrogenados (nitrogênio amoniacal, orgânico, Kjeldahl e total) como detalhado no item 6.2 e 6.3.

A partir de 250 metros em diante, inicia-se um aumento nos valores de resistividade do meio. Acredita-se estar associado às condições geológicas naturais da Formação Rio Claro, que possuem faixas de resistividades mais altas, de acordo com Braga (1997) em relação à FmC, por exemplo. Ocorre também, aproximadamente entre 190 e 240 metros, assim como nas seções IE 4, IE5 e IE7, valores resistivos na área central do cemitério, interpretados como possíveis artefatos construtivos.

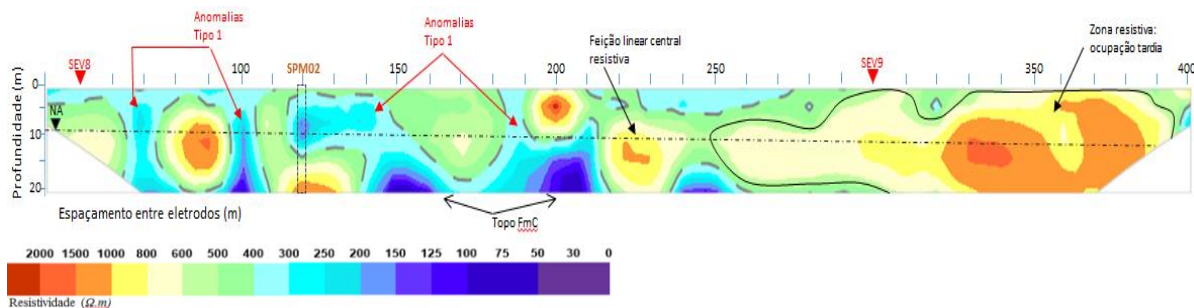


Figura 6-15: Seção geolétrica IE2, com presença do poço SPM02.

Alterações no meio também foram identificadas na IE4 (Figura 6.16), que apresentou valores resistivos entre 210 e 240 metros aproximadamente, já descritas anteriormente nas

áreas centrais, e na parte posterior do cemitério, na zona alta resistividade. As alterações físicas do meio, foram indicadas nas alturas entre 60 e 220 metros, onde as baixas resistividades aparentes ocorreram na faixa de 0 a 300 Ωm . Abaixo do NA, possível litotipos da Formação Rio claro foram identificados com resistividades aparentes acima 800 Ωm .

O SPM4 foi alocado na altura de 210 metros, mesmo ponto onde foi realizada a SEV5. Neste caso, as indicações para alterações do meio com baixos valores de resistividade descritos acima, podem ser considerados anomalias geofísicas do Tipo 1, uma vez que fogem do padrão da seção de referência (Figura 6.13). Nota-se uma continuidade do condutor, desde a superfície, o que pode indicar migração de possível contaminante. Os baixos valores de resistividade podem ser comparados aos resultados analíticos de solos do SPM4, que apresentou valores alterados para compostos nitrogenados (Nitrogênio orgânico, Kjeldahl e Total), Sulfato, Nitrato, Bactérias heterotróficas e *Clostridium Perfringens*, sendo este último, encontrado na profundidade de 16 metros. E também, sustentado pelos resultados analíticos de água, que indicaram acidez no meio pelo baixo valor de pH = 2,58, valores alterados para oxigênio dissolvido, nitrogênio Nítrico e contagem de bactérias heterotróficas.

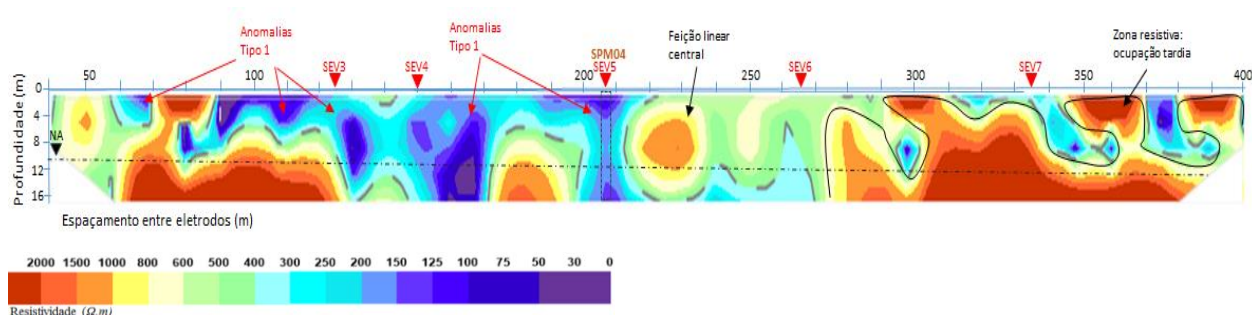


Figura 6-16: Seção geoeletrica IE4, com a presença do SPM04.

Nas respostas geofísicas da seção IE5 - avenida 5 (Figura 6.17), permanece a alteração central, possível artefato construtivo, assim como permanece também, a zona de alta resistividade na região posterior do cemitério (sentido frente - fundos). Foram identificadas alterações no meio com resistividades aparentes em torno de 200 a 500 Ωm , valores mais altos que na avenida 4 para a mesma localização, faixa aproximada entre 40 e 210 metros. Comparando com a seção de referência (Figura 6.13), nota-se que os valores de resistividade para os primeiros metros de profundidade, são coerentes, aproximadamente 300 Ωm , porém, no IE5, ocorre uma possível migração desta pluma do Tipo 1, em subsuperfície, interrompendo a continuidade de uma feição padronizada com resistividade mais alta, como pode ser visto na seção de referência.

Vale ressaltar, que o lado das avenidas ímpares estudadas no cemitério (avenidas 5 e 7), teve suas atividades de sepultamentos iniciadas tardiamente em relação ao lado das avenidas pares (2 e 4), sendo que a avenida 1, como avenida central, é a divisora dos lados. Dessa forma, nota-se uma homogeneidade de valores e padrões de resistividades aparentes nas seções IE5 e IE7, diferente dos padrões das seções IE2 e IE4.

O SPM5, foi instalado na altura de 380 metros na avenida 5, IE5, como forma de investigação à jusante do fluxo subsuperficial, e foram identificadas alterações referentes às análises de água e solo principalmente para os parâmetros Nitrogênio Total, bactérias heterotróficas e Nitrato. Assim, é possível, que, mesmo que a ocupação desta porção do cemitério tenha sido tardia, possa estar sendo influenciada pelo contaminante, sendo interpretada como alteração do Tipo 2, ou seja, zona potencialmente alterada ou zona de transição.

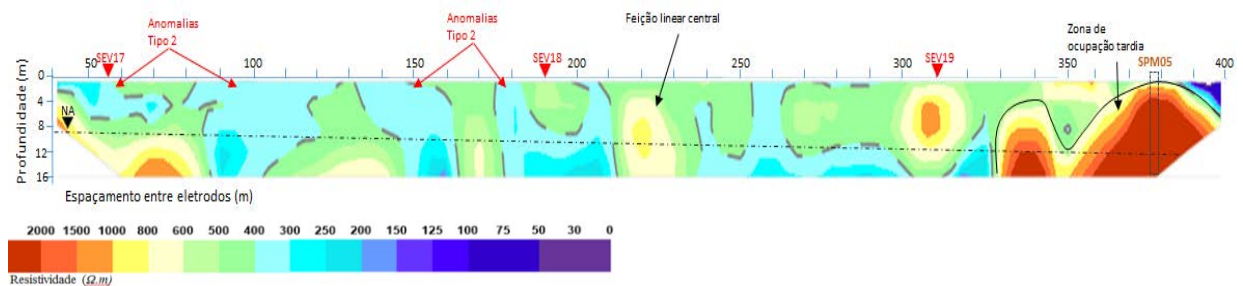


Figura 6-17: Seção geoeletrica IE5, com presença do poço SPM05.

Ocorre também na avenida 7 (Figura 6.18), a alteração central, interpretada como artefato construtivo, e um aumento dos valores de resistividade na região posterior do cemitério. As alterações geofísicas com baixos valores de resistividades aparentes aparecem principalmente nos primeiros 200 metros, nos primeiros 5 metros de profundidade e podem ser consideradas alterações recentes no meio físico do Tipo 1.

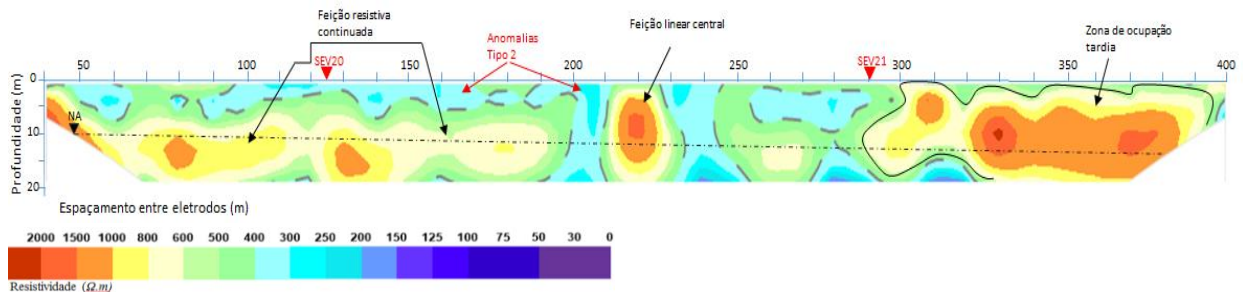


Figura 6-18: Seção geoeletrica IE7

O conjunto de seções mostradas na sequência representa as seções de IE transversais (200m), localizadas nas ruas 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14 e 15.

Na IEr2 (Imageamento Elétrico rua 2) (Figura 6.19), ocorre uma feição continuada, mais resistiva ao longo de toda a seção. As alterações ocorrem próximas à superfície, em até 5 metros de profundidade em quase toda a seção, sendo representadas por valores de resistividades de 250 a 300 Ωm , portanto, interpretadas com sendo do Tipo 1, ou, potencialmente contaminadas. O padrão pouco resistivo abaixo do NA, localizada com maior ênfase aos 150 metros, e a uma profundidade aproximada de 15 metros, possivelmente represente o topo dos litotipos da Formação Corumbataí.

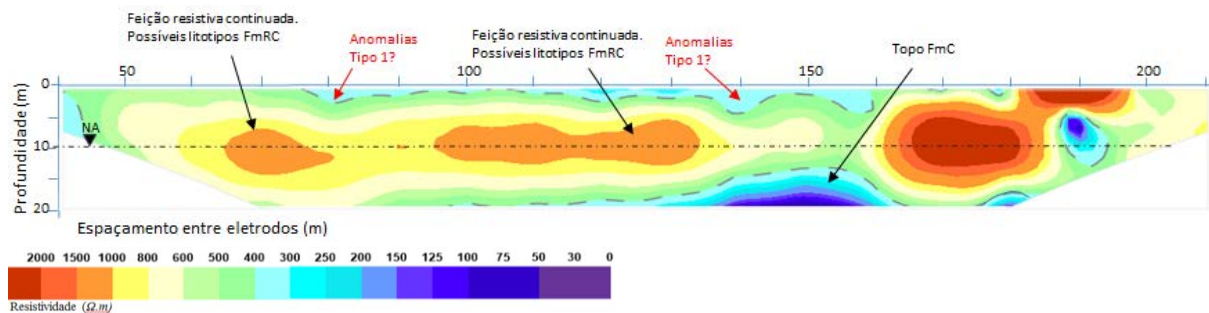


Figura 6-19: Seção geolétrica IEr2.

O padrão de resistividade apresentado nas seções das ruas 4, 6 e 8 (Figuras 6.20; 6.21 e 6.22), indicam uma feição central, interpretada como artefato construtivo, assim como aparecem também nas seções das avenidas. Abaixo do NA, as feições com baixos valores de resistividade - até 150 Ωm , podem representar o topo da Formação Corumbataí. Porém, alterações pouco resistivas também ocorrem nas primeiras camadas em subsuperfície nas três seções, com valores de resistividades na faixa dos 300 Ωm .

Na seção IEr4, acredita-se que a partir da altura de 150 metros, inicia-se uma zona de alteração do Tipo 1, por ser uma região com histórico de ocupação antiga do cemitério.

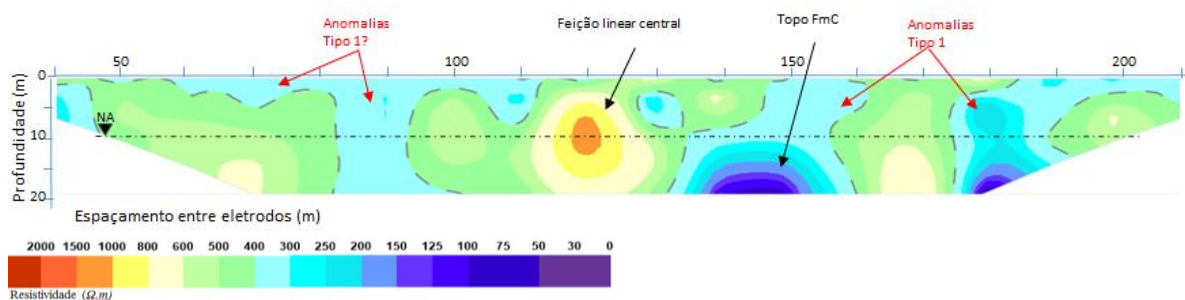


Figura 6-20: Seção geolétrica IEr4.

Na seção IEr6, foi instalado o SPM2 aos 150 metros, onde foi identificado o parâmetro Nitrogênio Amoniacal importante requisito na avaliação de possível contaminação do meio. Foram encontrados também, todos os outros compostos nitrogenados analisados, Nitrato, Fosfato, bactérias heterotróficas, Coliformes fecais, além de *Clostridium Perfringens*. Baseado

na presença desses parâmetros, acredita-se que na altura de aproximadamente 130 a 170 metros, se trate de uma anomalia que não condiz com a condição natural do meio, portanto classificada como alteração do Tipo 1. A partir dos 130 metros aproximadamente na seção, dá-se início à porção do cemitério que foi ocupada inicialmente. A padronização de valores de baixa resistividade na seção Ier6 na altura de aproximadamente 130 a 170 metros se equipara ao padrão de valores de baixa resistividade na seção Ier4 na altura de 140 a 170 metros.

Assim, pode-se concluir que na seção Ier4, estas alterações possivelmente representem anomalias do Tipo 1.

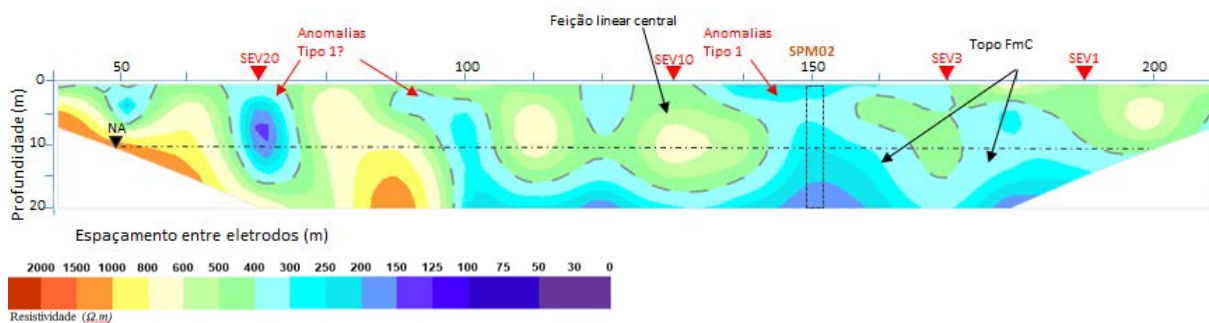


Figura 6-21: Seção geoeletrica Ier6, com presença do poço SPM02.

Na seção Ier8, o padrão de possíveis anomalias do Tipo 1 é mantida, da mesma forma que ocorre novamente a feição linear central. As plumas pouco resistivas mais superficiais, a cerca de 8 a 9 metros de profundidade, podem indicar anomalia do Tipo 1, com valores de até 300 Ωm nos primeiros 120 metros. E valores de resistividade até 400 Ωm , a partir dos 140 metros, representando possível área de transição com influência do contaminante.

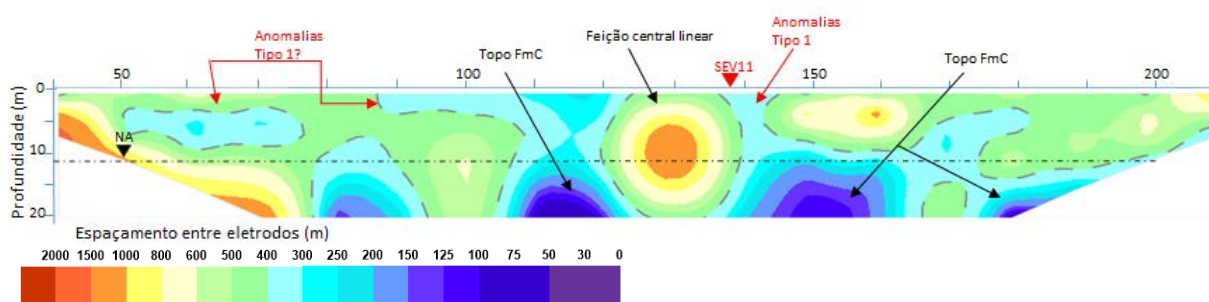


Figura 6-22: Seção geoeletrica Ier8.

No Ier10 (Figura 6.23), ocorre uma feição consideravelmente relevante representada por valores resistivos ao fim da seção, entre 130 metros e 200 metros. Acredita-se que sejam litotipos da Formação Rio Claro em condições naturais. Nesta porção, também ocorrem valores de baixa resistividade de até 300 Ωm . O SPM4 foi instalado aos 170 metros, onde se encontra a referida alteração, neste caso considerada como anomalia do Tipo 1, sustentada

pelos parâmetros detectados nos resultados analíticos descritos para o IE4 (Figura 6.20) com a presença de Nitrato, sulfato, *clostridium Perfringens* e bactérias heterotróficas.

O mesmo padrão central ocorre também para esta seção, aos 120 metros, aproximadamente.

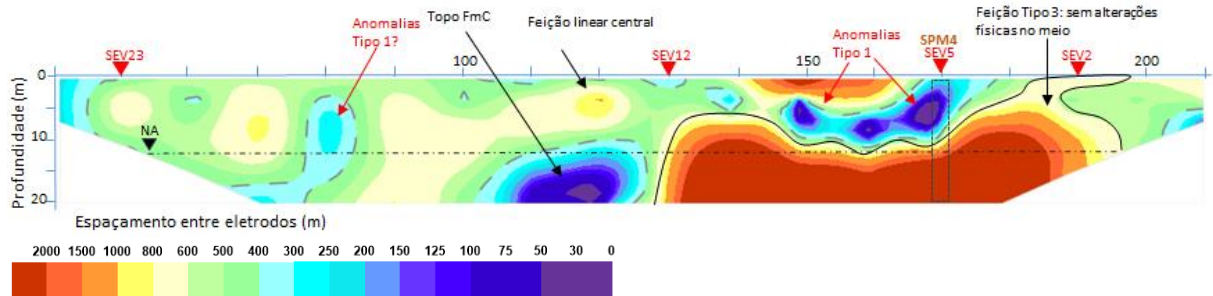


Figura 6-23: Seção geoeletrica IEr10.

Na IEr12 (Figura 6.24), ocorrem alterações com baixos valores de resistividade nos primeiros metros em subsuperfície, até 5 metros de profundidade aproximadamente, com valores entre $200 \Omega m$ e $300 \Omega m$, entre 80 e 200 metros. Ocorre uma feição continuada acima de $400 \Omega m$ ao longo de toda a seção, mas com aumento nos valores de resistividades, o que pode imprimir características de depuração natural do meio, ou um local que ainda represente as condições naturais do meio, porém com início de alguma atividade de alteração, por influência do contaminante. Assim, tal feição, foi interpretada como alteração do Tipo 2, ou zona de transição.

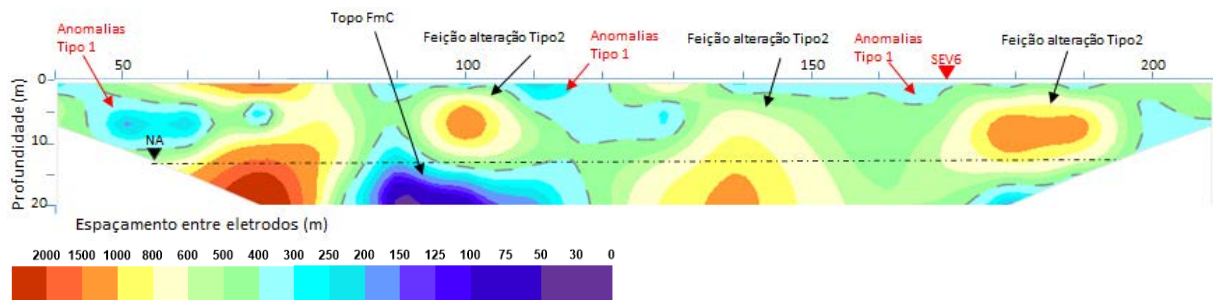


Figura 6-24: Seção geoeletrica IEr12.

Os IEr14 e IEr15 (Figuras 6.25 e 6.26), apresentam um padrão relativamente parecido quanto aos valores de resistividades aparentes. Ocorre uma faixa contínua em toda a seção, que possivelmente reflita a geologia com alguma possível influência de contaminante, portanto, alteração do Tipo 2. Ocorrem alterações geofísicas com baixos valores de resistividades nos primeiros metros de profundidade, mais representativas na seção IEr14, entre 90 e 200 metros, com valores até $300 \Omega m$ para até 5 metros de profundidade. Em função

da espessura máxima do nível basal dos jazigos ser de aproximadamente 2 metros, possivelmente tais alterações representem anomalias do Tipo 1, ou seja, possível percolação do necrochorume.

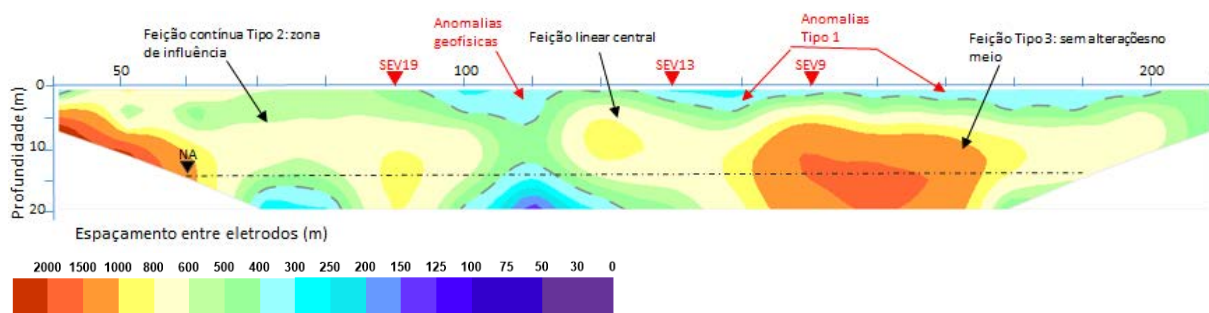


Figura 6-25: Seção geoeletrica IEr14.

Na seção IEr15 ocorre alteração parecida. A anomalia do Tipo 1 descrita acima, ocorre aqui, com valores um pouco mais altos de resistividade, entre 300 e 500 Ωm , em praticamente toda a extensão da seção, sustentando a hipótese de que, a ocupação tardia desta região posterior do cemitério (sentido frente - fundos), ainda não tenha cunhado as impressões características de possível contaminação. Nota-se, que em profundidade, os valores de resistividade aumentam, permitindo inferir que se trata de uma transição para uma feição continuada do Tipo 3, em toda a extensão da seção, que possivelmente reflete as condições naturais do meio geológico, sem alterações no meio físico.

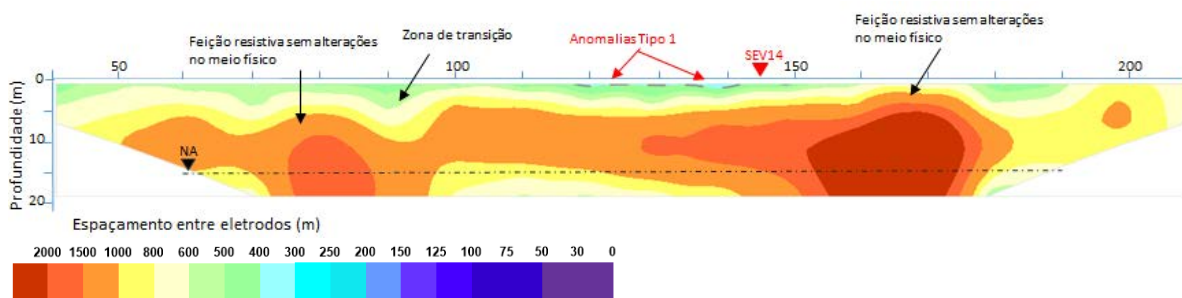


Figura 6-26: Seção geoeletrica IEr15.

6.6.2. MAPA PSEUDO 3D OU MAPA DE NÍVEL

Após a realização dos modelos geoeletricos em forma de seções, foram elaborados mapas de variação de resistividade elétrica para os seis níveis de investigação, através do método de interpolação de Krigagem dos dados. Vale ressaltar, que os sétimo e oitavo níveis, não foram possíveis de serem aproveitados, devido a não confiabilidade dos valores encontrados.

As figuras seguintes (6.27 e 6.28), representadas pelos mapas de nível 1 e de nível 2, correspondem a profundidades aproximadas de 2,5 e 5 metros, respectivamente.

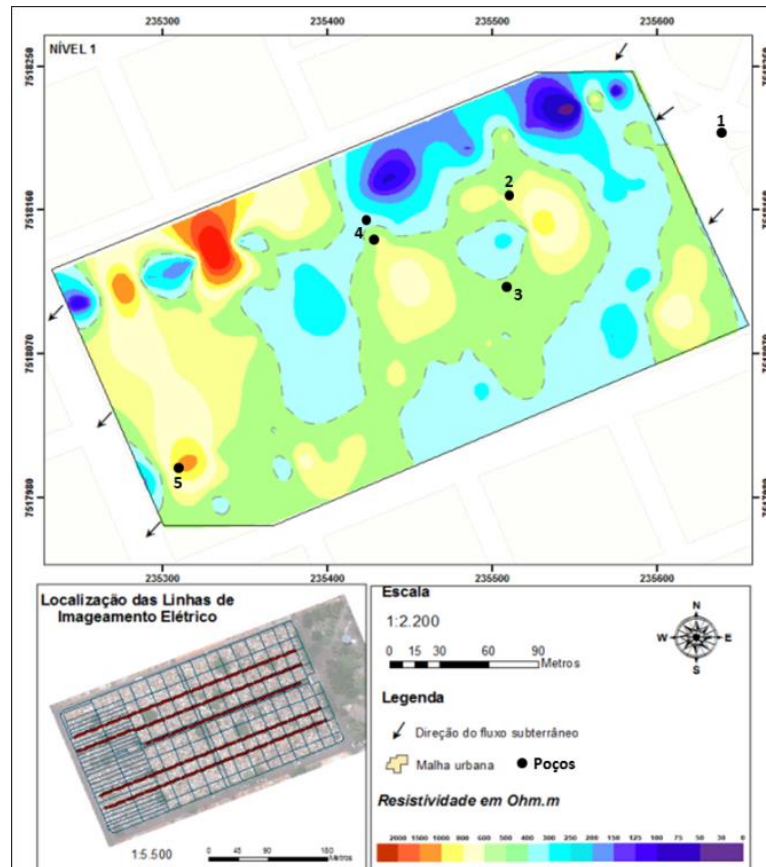


Figura 6-27: Mapa do nível 1. Profundidade aproximada: 2,5 m.

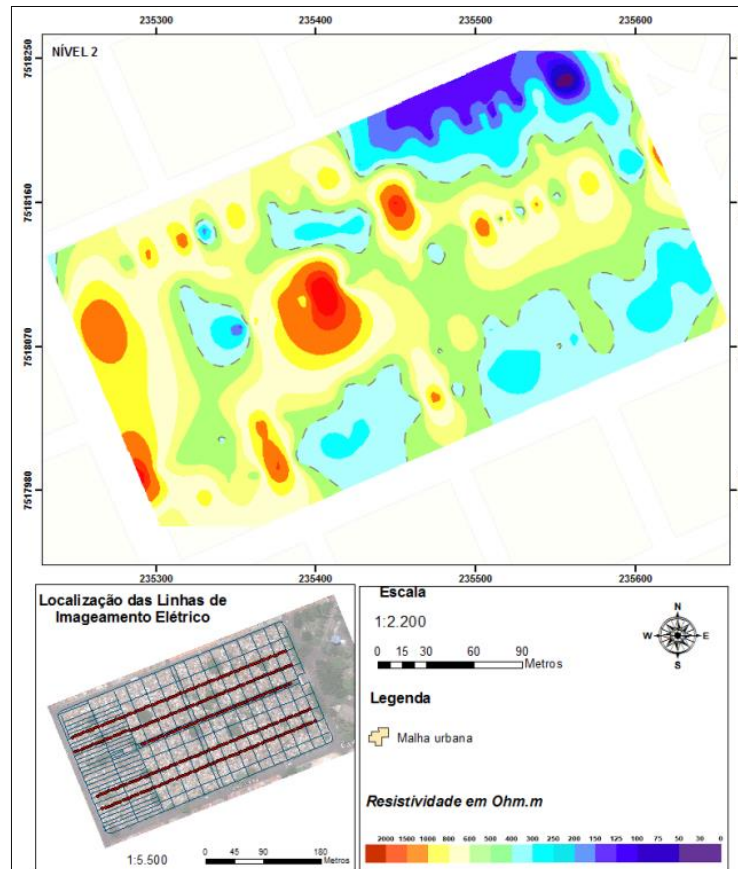


Figura 6-28: Mapa do nível 2. Profundidade aproximada: 5 m.

Nos mapas de primeiro e segundo níveis, a alteração é visível a nordeste, com valores de resistividades aparentes de até $400 \Omega m$. No mapa de segundo nível, observa-se uma região mais resistiva próxima ao centro do cemitério, local onde se encontram artefatos construtivos relativos à capela. Porém, ocorre alinhado a este artefato, um segmento linear continuado, que segue certo padrão que aparece da portaria do cemitério, em direção aos fundos. No mesmo mapa, é visível na região posterior do cemitério, uma região de altas resistividades, com valores acima de $800 \Omega m$. Nota-se que este padrão ocorre também no mapa de primeiro nível, porém com menor intensidade, com resistividade aparente predominantemente na faixa compreendida entre $800 \Omega m$ e $1000 \Omega m$.

Acredita-se que, como esta parte do cemitério tenha sido ocupada posteriormente, os sepultamentos ainda sejam recentes, o que implica em uma ocorrência de alteração geofísica na porção mais superficial do terreno, de até 5 metros de profundidade.

Os níveis 3 e 4, representam profundidade aproximada de 7,5 e 10 metros, respectivamente (Figuras 6.29 e 6.30).

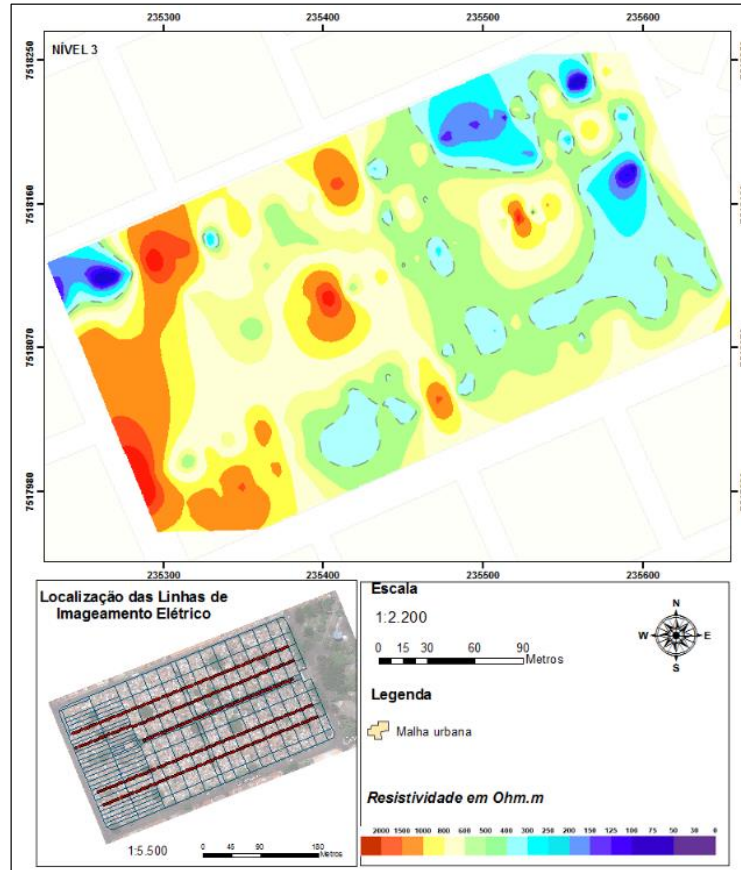


Figura 6-29: Mapa do nível 3. Profundidade aproximada: 7,5 m.

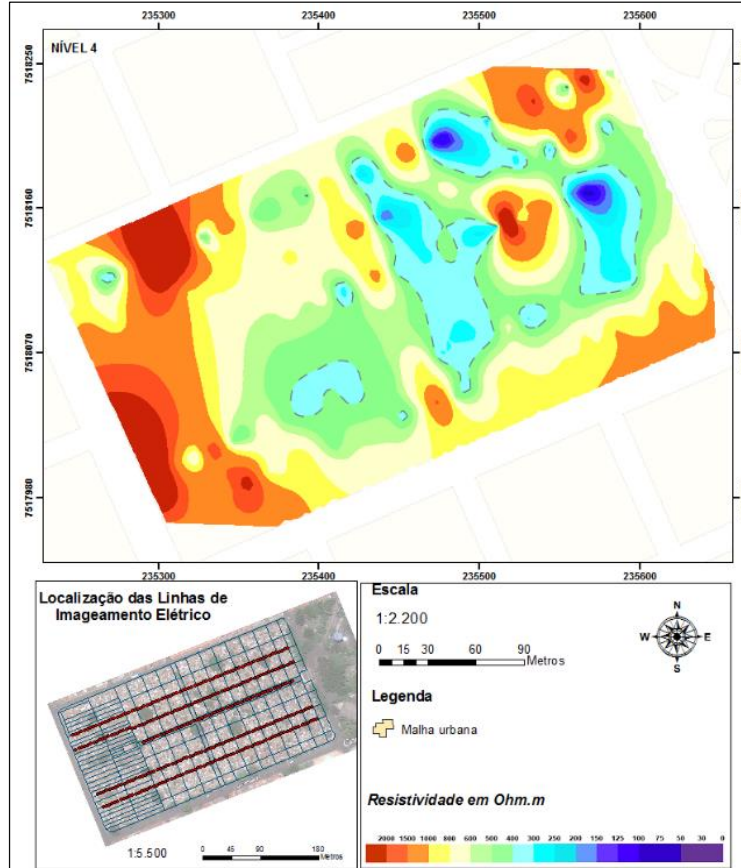


Figura 6-30: Mapa do nível 4. Profundidade aproximada: 10 m.

Nos mapas de terceiro e quarto níveis, observa-se um aumento da resistividade em a aproximadamente 7,5 metros de profundidade, com valores entre 500 Ωm e 600 Ωm . No mapa de quarto nível, ocorre uma interrupção do padrão linear central, por uma faixa lateral (perpendicular ao segmento linear) com valores considerados anômalos na faixa dos 300 Ωm . Esta região, a primeira metade do cemitério, direção NE-SO, foi a primeira porção a ser ocupada, com sepultamentos centenários. Desta forma, o cemitério ainda se encontra ativo nesta porção, e pelo tempo de reposição de cadáveres, acredita-se que, nesta profundidade (aproximadamente 10 metros), os referidos valores anômalos, sejam influência do necrochorume.

As profundidades aproximadas para os níveis 5 e 6 são de respectivamente 12,5 e 15 metros (Figuras 6.31 e 6.32).

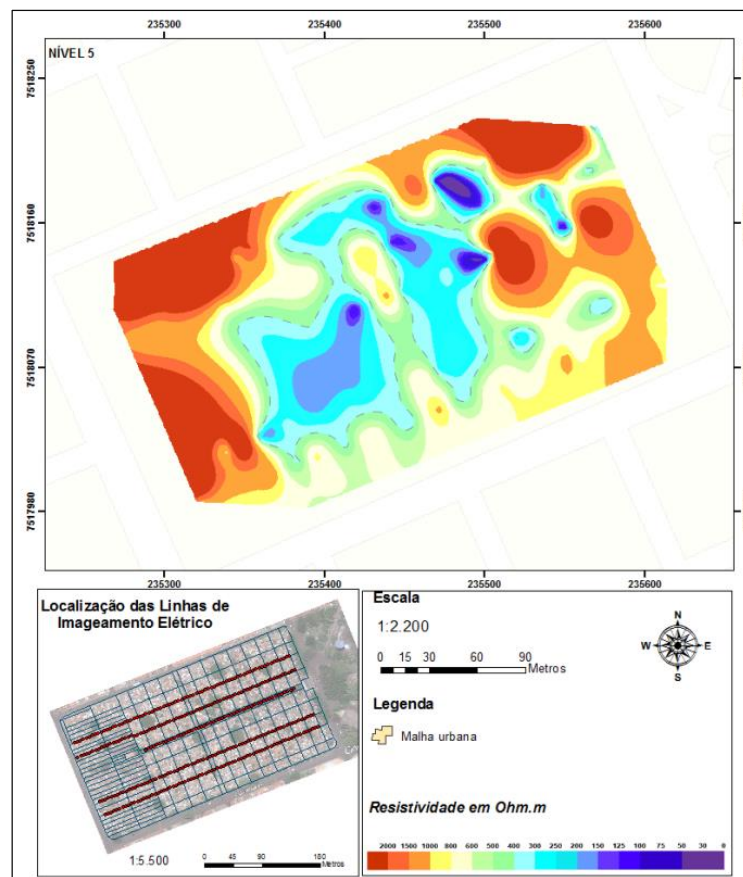


Figura 6-31: Mapa do nível 5. Profundidade aproximada: 12,5 m.

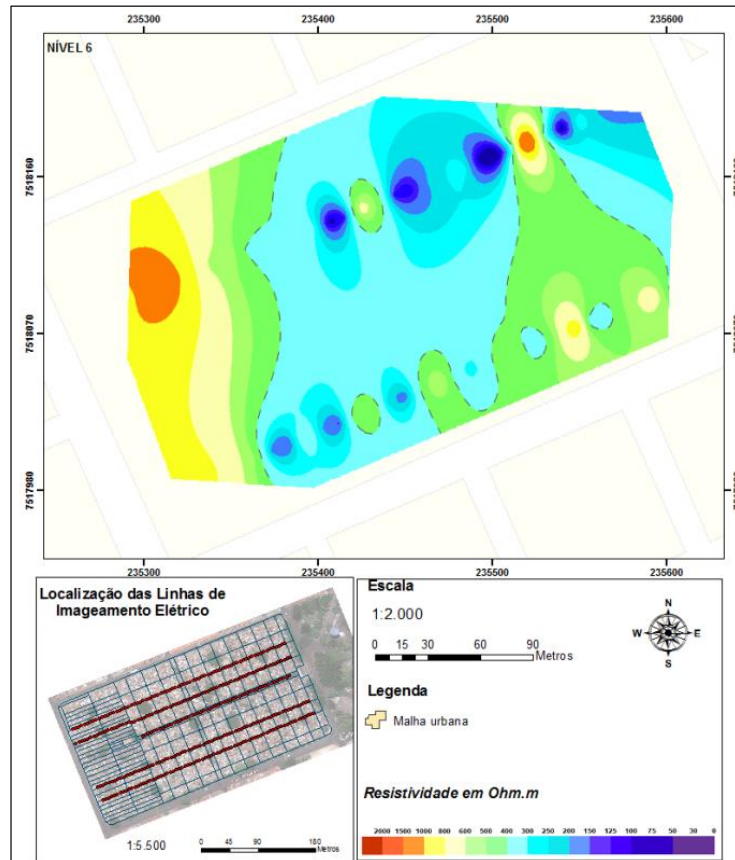


Figura 6-32: Mapa do nível 6. Profundidade aproximada: 15 m.

No mapa de nível 5, ocorre uma anomalia geofísica com baixos valores de resistividade aparente, na faixa dos $200 \Omega m$ a $400 \Omega m$, que pode ser influenciada pela presença do NA, em aproximadamente 12,5 metros de profundidade. São visíveis no mapa, áreas de altas resistividades, como nos fundos do cemitério e próximo à portaria. Tais áreas mais resistivas, podem ser interpretadas como litotipos da FmRC, com condições naturais do meio geológico, ou seja, sem influência do necrochorume.

No mapa de sexto nível, nota-se uma padronização bem diferente dos outros mapas de níveis, e acredita-se que as faixas pouco resistivas, sejam representativas dos argilitos e siltitos da Formação Corumbataí.

Na Figura 6.33, pode-se visualizar o mapa Pseudo 3D ou Multinível de resistividade elétrica realizado a partir do método de interpolação dos dados 2D, por meio da Krigagem com a formação de malha de pontos e isolinhas em cada nível. As variáveis para a confecção do mapa foram: x e y as coordenadas UTM; z , a profundidade de cada ponto de medida, e a variável g representando os valores de resistividade elétrica. Esse tipo de mapa permite uma melhor visualização da migração da provável pluma de contaminação.

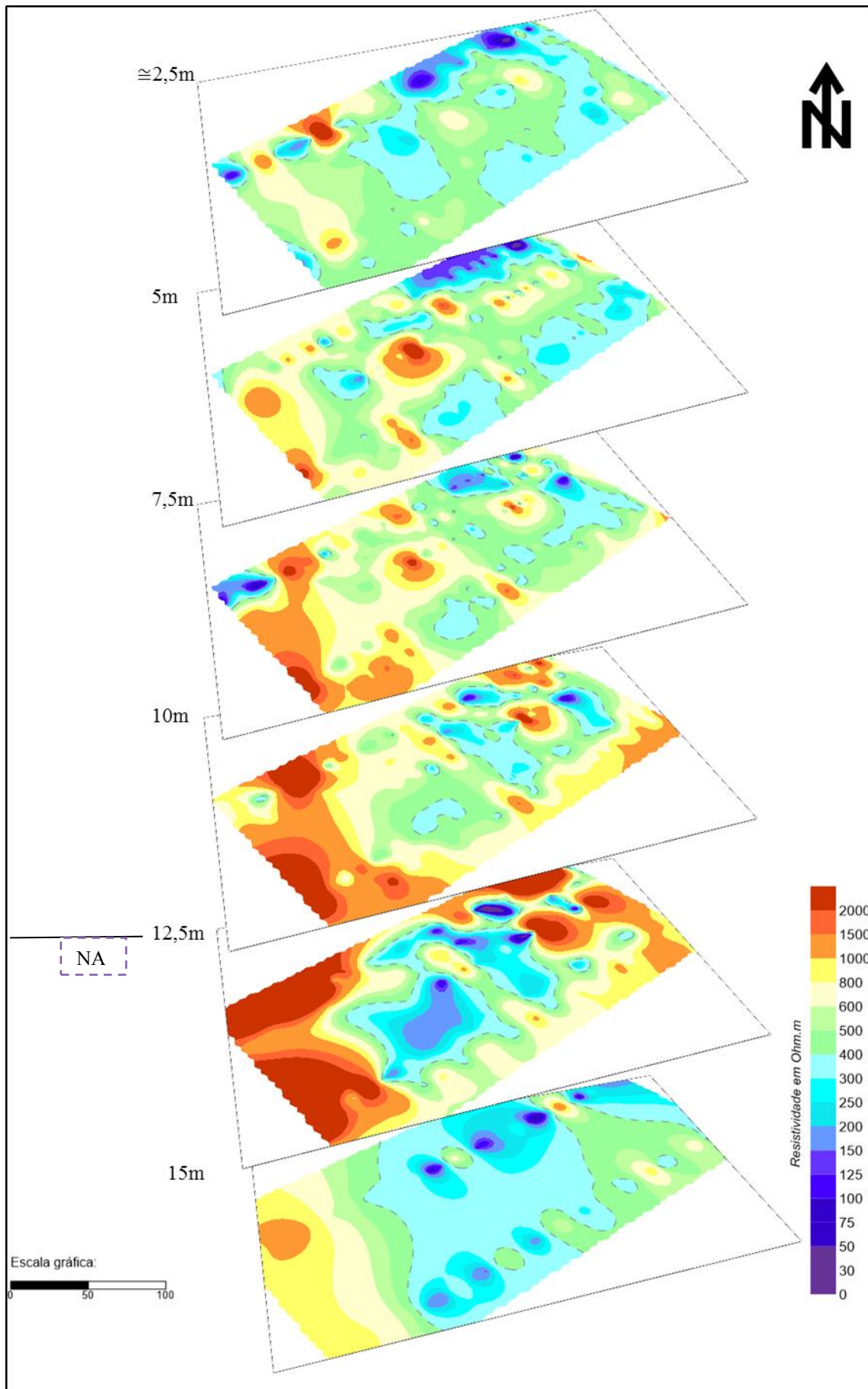


Figura 6-33: Mapa Pseudo 3D ou Multinível até o sexto nível geoeletrico.

Com a visualização do mapa Pseudo 3D, é possível notar, nos 4 primeiros níveis, até aproximadamente 10 metros de profundidade, o comportamento das feições de baixos valores de resistividade, que não seguem uma padronização aparente, mas pode-se perceber uma continuidade em profundidade.

Nota-se também, o aparecimento de feições resistivas em profundidade, principalmente na região posterior do cemitério (sentido frente – fundos), que podem representar no primeiro nível, uma zona de transição, com influência do necrochorume, e à medida que se aprofunda, têm-se, possivelmente, condições naturais geológicas da FmRC e influência do NA.

6.6.3. IMAGEAMENTO ELÉTRICO – IE ARRANJO GRADIENTE

Os detalhes acerca dos procedimentos realizados do ensaio gradiente se encontram no capítulo “Trabalhos Realizados”, no subitem 5.7.

Para a interpretação dos valores de resistividade aparente do arranjo Gradiente (Figura 6.34), foi considerada a mesma faixa de variação do arranjo dipolo - dipolo:

- 0 - 300 Ωm : alterações do Tipo 1, interpretado como possível presença do contaminante, com alterações no meio físico;
- 300 - 800 Ωm : zona de transição, com influência do contaminante, portanto alteração do Tipo 2;
- >800 Ωm : alterações do Tipo 3, ou, ausência de contaminante, representando as condições naturais do meio.

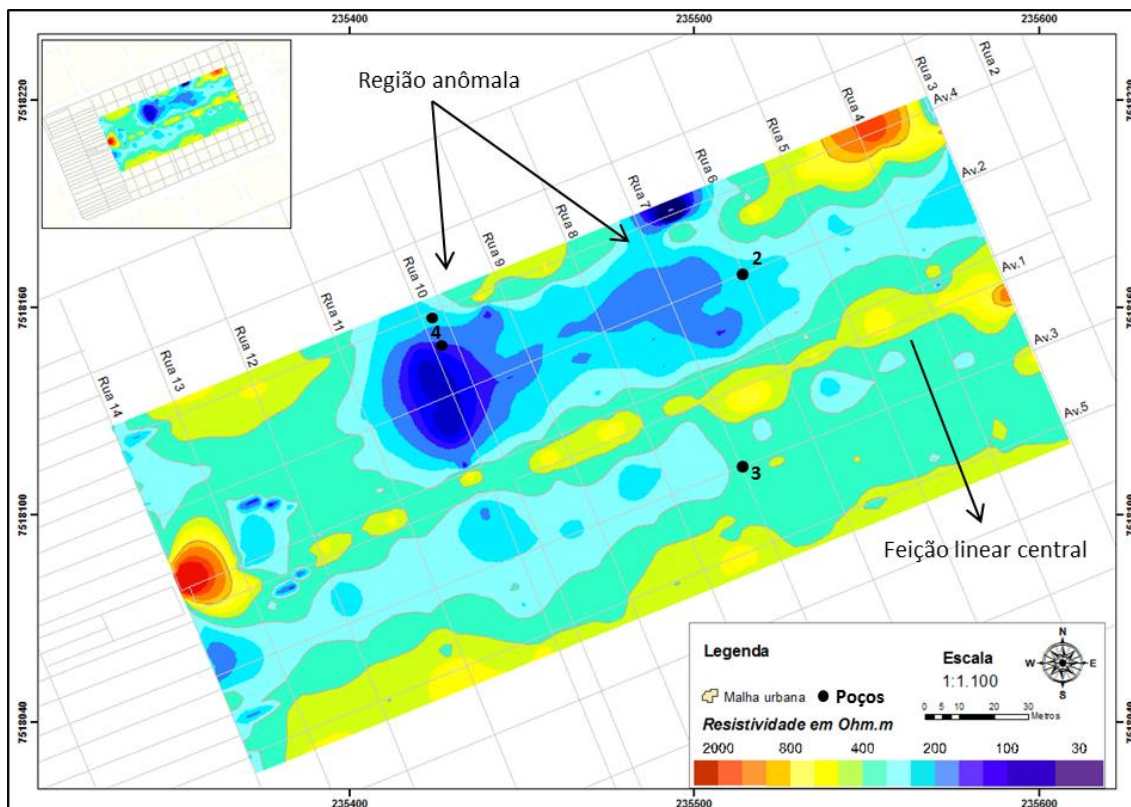


Figura 6-34: Arranjo Gradiente - mapa resistividade aparente - Cemitério Municipal de Rio Claro, SP.

Pelo mapa, observa-se que a variação de resistividade aparente encontrada no cemitério no contexto desta técnica, varia entre $30 \Omega m$ e $1500 \Omega m$. Observa-se no mapa duas alterações geofísicas principais, com baixos valores de resistividades de até $300 \Omega m$. Uma na porção do terreno com extensão aproximada 210 metros que se encontra da rua 3 até a Rua 11, entre as avenidas 1 e 4, englobando uma região com resistividades inferiores a $150 \Omega m$. A outra alteração se encontra da Rua 5 à rua 14, entre as avenidas 1 e 5, com extensão aproximada de 200 metros e resistividade variando entre 200 a $300 \Omega m$.

Presume-se que a anomalia de 210 metros esteja relacionada com o histórico de ocupação do cemitério, pois se localiza na porção mais antiga do mesmo, onde ocorreu um maior número de sepultamentos ao longo dos anos, desde o início da ocupação. Esta afirmação justifica-se pela antiguidade dos túmulos localizados na referida porção, constando as datas que ocorreram ali sepultamentos.

Aparece na área central do cemitério, uma feição linear contínua que se estende da rua 3 até a rua 14, que foi interpretada como sendo efeito de artefato construtivo ou como presença de encanamentos com possíveis vazamentos, etc. Esta feição também foi identificada no arranjo dipolo - dipolo (Figuras 6.33), com valores intermediários de resistividades.

É pela avenida central (Fotos 6.5 e 6.6) que entram as pessoas que seguem os enterros, os carros que levam os corpos, e por onde também coletam água em torneiras que se encontram junto aos canteiros laterais. Portanto se trata de uma avenida mais larga e bem estruturada, com arborização e reformada há pouco tempo e deve conter uma concretagem mais representativa, pois houve dificuldade na inserção dos eletrodos de corrente no piso.



Foto 6.5: Avenida central.



Foto 6.6: Avenida principal central do cemitério.

Um fator que deve ser ressaltado é que a realização dos trabalhos de campo desta técnica ocorreu no período de estiagem (Agosto/2011). Portanto, é provável a umidade do solo fosse baixa. Assim, os valores baixos de resistividade podem se relacionar com a

presença de possíveis contaminantes. A profundidade máxima de investigação para o arranjo Gradiente foi de 25 metros.

Nota-se, pela localização dos poços, que o SPM4, encontra-se exatamente alocado em cima de uma anomalia pouco resistiva. O que corrobora com a hipótese de que tal feição, seja representativa de contaminação, subsidiada pelos resultados analíticos descritos no item 6.2, e 6.3, onde considerações sobre o referido poço foram feitas. As amostras coletadas neste poço acusaram a presença de compostos nitrogenados, bactérias heterotróficas e *Clostridium Perfringens*.

O SPM2, também está situado em área com baixos valores de resistividade aparente. Foram encontrados nas amostras coletadas neste poço compostos nitrogenados, sobretudo Nitrogênio Amoniacal, que indica proximidade com a fonte poluidora. Durante o processo de decomposição orgânica de cadáveres, além dos líquidos liberados, há a emissão de gases, principalmente os característicos da decomposição anaeróbia, como a amônia (NH_3) (CETESB, 1999). Assim, tais anomalias podem ser consideradas do Tipo 1, ou seja, alterada pela presença de compostos derivados do necrochorume.

Os resultados geofísicos para este arranjo estão em conformidade com as demais técnicas e arranjos utilizados, visto que os resultados das alterações geofísicas ocorreram nas mesmas localizações e foram coerentes em relação aos valores de resistividades aparentes, principalmente coerentes com os primeiros níveis do dipolo-dipolo.

6.7. IMAGEAMENTO ELETROMAGNÉTICO - EM

O método EM de investigação possui características distintas dos métodos de eletrorresistividade (ERR). O EM, possui resolução de imagem menor que o ERR, devido a interpolação de menos níveis de investigação, portanto menos dados, ao passo que, na técnica dipolo - dipolo por exemplo, têm-se a interpolação de 8 níveis de investigação. Assim, o método EM, é mais abrangente e apresenta menor nível de detalhes em relação às outras técnicas realizadas neste trabalho.

Os resultados do Imageamento Eletromagnético (EM) mostrados no mapa de isovalores para profundidade máxima de 7,5 metros (Figura 6.35) indicam algumas feições condutivas na porção nordeste do mapa.

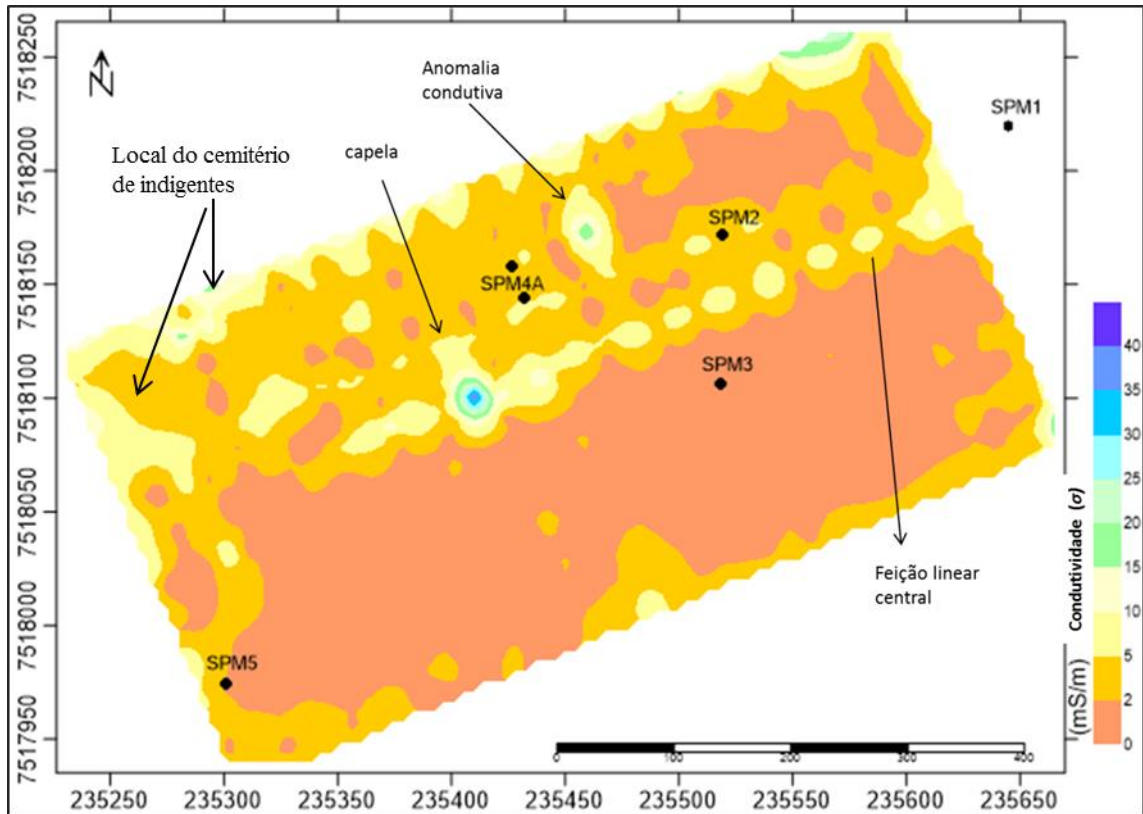


Figura 6-35: Mapa de isocondutividade aparente, profundidade máxima de 7,5 metros.

Verifica-se uma feição condutiva especificamente próxima ao centro do mapa, com valores mais altos de condutividade aparente, entre 15 mS/m e 40 mS/m como pode ser visto também, nas outras técnicas utilizadas (Figuras 6.36 e Figura 6.37) e isso pode ser explicado, pela presença de estruturas construtivas e encanamentos pertencentes à capela do cemitério nesta localização que imprimem característica ruidosa às respostas eletromagnéticas (Fotos 6.7 e 6.8).



Foto 6.7: Capela do cemitério



Foto 6.8: visão lateral da capela.

A ocupação tardia da segunda metade do cemitério (sentido frente - fundos) permite perceber, a partir do estilo dos túmulos, mais modernos e com adereços menores (Fotos 6.9 e 6.10) que construções recentes são realizadas diariamente em virtude da existência de vagas para sepultamentos. Foram construídos banheiros, e instalou-se uma sequência de postes de iluminação, dentre outras construções que julgaram necessárias. Sendo assim, acredita-se que as obras realizadas desde a capela em direção aos fundos (porção posterior da capela à esquerda), com instalações de artefatos construtivos, influenciaram a resposta eletromagnética.



Foto 6.9: Túmulos menores na porção posterior do cemitério.



Foto 6.10: Túmulos localizados na região posterior do cemitério, atrás da capela, corroborando com hipóteses do histórico de ocupação.

Pode-se notar também, que esse ponto anômalo localizado na área da capela, vem de uma sequência linear central desde a portaria. Existe uma sequência de árvores na avenida central (Fotos 6.11 e 6.12), que através de suas raízes pode contribuir para situações ruidosas além da influência causada pela absorção de umidade pelas mesmas, o que leva ao aumento da condutividade, alterando o valor de σ próximo da superfície.



Foto 6.11: Árvores de grande porte e raízes expostas.

Foto 6.12: *Idem*

Ocorrem também, encanamentos com torneiras, pias e postes ao longo da avenida (Fotos 6.13; 6.14 e 6.15) Esta feição linear, coincide com a feição linear do mapa gradiente (Figura 6.37) e com as feições lineares dos mapas pseudo 3D, nos 3 primeiros níveis de investigação, até aproximadamente 10 metros de profundidade (Figura 6.36).



Foto 6.13: Torneiras ao longo da avenida principal.

Foto 6.14: *Idem*

Foto 6.15: *Idem*

Na porção sul do cemitério, não houve grande variação nos valores de condutividade.

A feição mais condutiva ao norte do mapa, próxima da anomalia central, por outro lado, já são passíveis de representarem algum tipo de contaminação dados os valores mais condutivos observados com valores na faixa de 5 mS/m a 25 mS/m. Esta hipótese é sustentada, pelos resultados analíticos dos poços SPM4 e SPM2, localizados próximos da alteração e que acusaram a presença de compostos nitrogenados, e microbacteriológicos, além de coincidir com anomalias do Tipo 1, detectadas nos arranjos dipolo - dipolo e gradiente (Figuras 6.36 e 6.37 respectivamente).

Assim, esta faixa de valores condutivos, pode ser considerada uma assinatura eletromagnética para anomalia possivelmente derivada da presença de necrochorume.

Os valores mais condutivos que coincidem com os limites do cemitério, ou seja, com os muros ao norte, com valores na faixa de 5 mS/m a 25 mS/m, podem ser causados por influência de postes de iluminação na rua paralela ao muro em questão e as cercas elétricas que permeiam os muros do cemitério (Fotos 6.16), ou podem ter sofrido alguma influência de materiais condutivos pela presença de cadáveres dispostos no cemitério de indigentes, construído paralelo ao muro (Foto 6.17).



Fotos 6.16: muro com cerca elétrica e postes de iluminação do lado de fora, paralelos ao muro do cemitério.



Foto 6.17: Cemitério de indigente

Outros pressupostos, estão relacionados a um possível efeito de borda causado pela interpolação da falta de dados fora dos limites da área de estudo, ou ainda a presença de encanamentos e torneiras, com possíveis vazamentos em todos os muros limítrofes do cemitério (Fotos 6.18 e 6.19).



Foto 6.18: Torneiras localizadas ao longo dos muros limítrofes do cemitério
Foto 6.19: *Idem*

Em um cemitério urbano, existem fatores que podem interferir na aquisição dos valores de condutividade. Pode-se afirmar que a forte presença de objetos metálicos influi sobremaneira na obtenção de resultados com qualidade satisfatória. Especificamente, interferências relacionadas à presença de cercas de arame, redes de energia, raízes de árvores, dentre outras.

No cemitério Municipal de Rio Claro, são observadas muitas estruturas metálicas (Sequência de fotos 6.20; 6.21 e 6.22) que influenciam na resposta eletromagnética e alteram o valor de condutividade.





Foto 6.20: Sequência de fotos de estruturas metálicas ocorrentes no cemitério: vasos, enfeites, adereços dos túmulos.



Foto 6.21: Estátuas de bronze e cobre com mais de um metro de altura.

Foto 6.22: *Idem*

Tais estruturas imprimem características ruidosas nas respostas condutivas e dessa forma, interferem na qualidade dos dados. Em todo o cemitério, são encontradas estruturas metálicas, sejam decorativas, construtivas, estruturais (Fotos 6.23; 6.24 e 6.25).



Foto 6.23: Estruturas diversas, artefatos metálicos, decorativos dentre outros.

Foto 6.24: Cerca de arame, pequenas construções.



Foto 6.25: Estruturas metálicas, muito comuns no cemitério.

A detecção da anomalia mais condutiva no mapa para até 7,5 metros de profundidade, foi possível, devido à possível presença de compostos orgânicos derivados do necrochorume, especificamente na feição detectada ao norte do mapa, e cujo produto possui condutividade elétrica maior que o meio geológico. Nobes (1996) relata que a presença de contaminantes deste tipo altera a condutância do meio, resultando em contraste com o meio não alterado ao redor.

A análise do mapa de condutividade aparente para 15 metros, indica que a anomalia pontual na avenida 1, relativo à capela do cemitério, desaparece. Porém, a feição linear central se mantém presente (Figura 6.36).

A principal anomalia condutiva ao norte do mapa de condutividade para 7,5 metros, também desaparece para esta profundidade de 15 metros. A redução gradual nos valores de condutividade aparente pode estar associada à redução nos teores de provável compostos eletricamente condutores provenientes do necrochorume para esse intervalo de profundidade. Isso pode ser causado, tanto pela depuração natural do contaminante em profundidade, ou pela mudança litológica em subsuperfície. Porém a condutividade se mantém mais alta ao longo da avenida 1 em direção à portaria (SE – SW) com valores de condutividade entre 10 mS/m a 20 mS/m, coincidindo com a feição linear do mapa para 7,5 metros, além de coincidir também, com o mapa gradiente (Figura 6.34). Assim sendo, a esta profundidade, não é possível afirmar que se trata de estrutura construtiva como tubulações feitas com utilização de

materiais metálicos, e sim, ruídos superficiais fortemente influenciados principalmente pelas árvores e retenção de umidade por suas raízes, além de prováveis vazamentos de água ao longo dos encanamentos e torneiras localizadas em toda a avenida (fotos 6.13; 6.14 e 6.15).

Além disso, funcionários do cemitério relataram que não existe nada construtivo abaixo do piso da avenida central, somente uma estrutura simples cimentada para a colocação das “pedras portuguesas”.

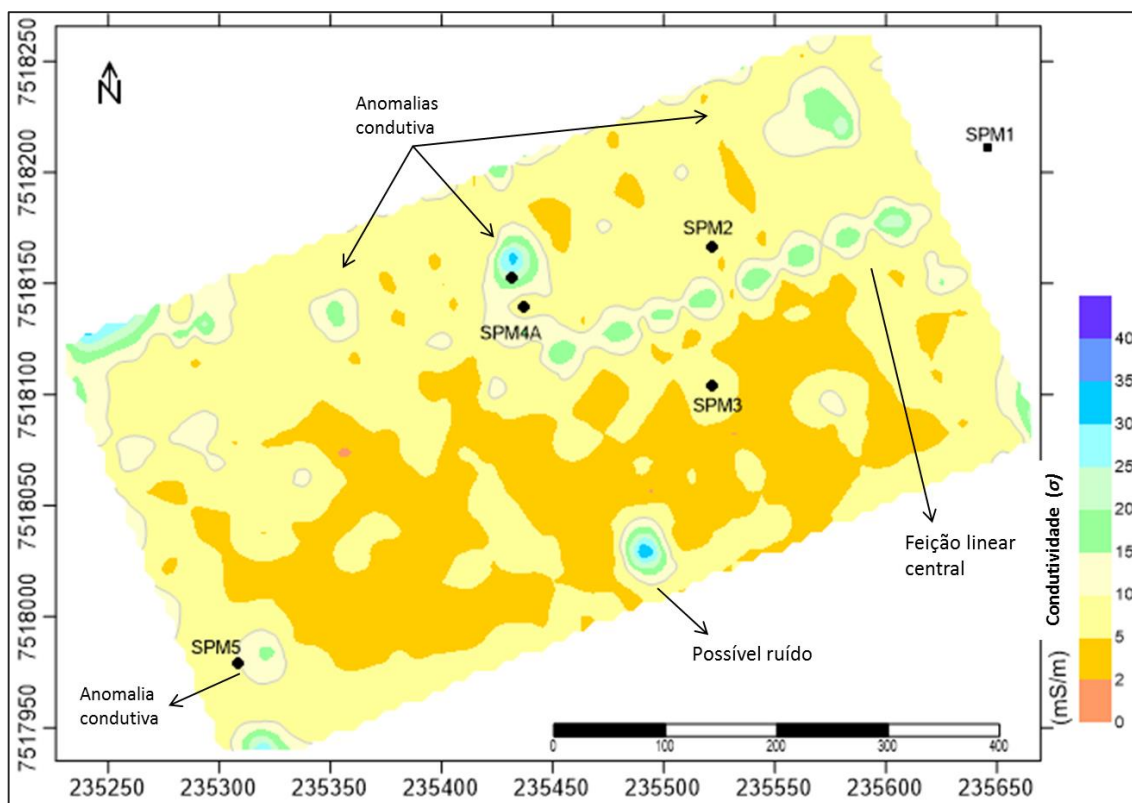


Figura 6-36: Mapa de isocondutividade aparente, profundidade máxima de 15 metros.

Porém, as anomalias condutivas, no intervalo entre 5 mS/m e 30 mS/m observadas na porção central/norte da área, a exemplo do que foi visto nas outras técnicas, podem representar alterações por possível contaminação, uma vez que no referido local, se iniciaram as atividades de sepultamentos, a partir do final do século XIX.

Somado a isto, o SPM4 está localizado exatamente onde é possível visualizar a referida feição condutiva, e a hipótese de que esta represente uma anomalia por possível contaminação, está calcada nos resultados analíticos para solo e água. As amostras coletadas no referido poço a uma profundidade de 16 metros, apontou presença de compostos nitrogenados como nitrogênio orgânico, Total, Nitrato, Sulfato, além de bactérias heterotróficas e *Clostridium Perfringens*. Assim, esta alteração condutiva, foi interpretada

como anomalia localizada em área possivelmente contaminada. A detecção dessa anomalia no ensaio de 15 metros corrobora com a hipótese de possível migração do contaminante a profundidades maiores que 7,5 metros devido à sua densidade e tempo de atividade do cemitério.

Da mesma forma, ocorreu na região posterior do cemitério, onde está localizado o SPM5, uma feição condutiva, à jusante do fluxo de água subterrânea. Foi interpretado como anomalia, subsidiado pelos resultados analíticos do referido poço. Também foram encontrados nas amostras coletadas a uma profundidade de 16 metros, compostos nitrogenados e bactérias heterotróficas.

A feição condutiva pontual ao centro/sul do mapa pode representar situação ruidosa, visto que neste local, existem portões na lateral do cemitério, por onde entram carros e pequenos caminhões para fins de obras, além de banheiros ali instalados (Fotos 6.26 e 6.27).



Foto 6.26: Portão lateral do cemitério.



Foto 6.27: Banheiro (branco) e cemitério de indigentes (verde), próximos ao portão lateral.

Acredita-se que esta feição condutiva, não represente algum tipo de alteração causada por presença de compostos pertencentes ao necrochorume, principalmente por estar localizada

em uma área, onde a mudança de valores de condutividade ao redor da feição não é gradual. Acredita-se tratar de algum tipo de ruído.

7. CONCLUSÕES

De acordo com os objetivos propostos para o presente trabalho, pôde-se concluir que os métodos geofísicos geoeletricos indicaram bons resultados na investigação e análise de alterações físicas no meio subsuperficial no cemitério municipal de Rio Claro, SP. Sua utilização se mostrou eficiente na adequação/adaptação dos ensaios no cemitério urbano, podendo ser ajustado quanto ao espaçamento e níveis de investigação, além de apresentarem diversas vantagens no estudo investigativo indireto e não invasivo.

Os resultados observados nos ensaios das SEVs possibilitaram definir o topo das camadas geoeletricas, bem como suas espessuras, e também as profundidades do NA. A partir das interpretações das curvas de campo, foi possível elaborar o mapa potenciométrico, que serviu para determinar o fluxo da água subterrânea, definido pela direção NE-SW e com profundidades entre 9,1 e 14,5 metros, em período de estiagem.

Foram encontradas dificuldades operacionais para realização dos ensaios de SEVs em função do *layout* do cemitério, o que, acredita-se, pode ter gerado distorções nas curvas de resistividade aparente, e, portanto, os modelos de algumas curvas de campo não seguiram o padrão esperado para a geologia local. Porém, foi possível estabelecer os principais estratos geoeletricos para a Formação Rio Claro e Formação Corumbataí.

Em relação ao Imageamento Elétrico, os resultados obtidos foram considerados satisfatórios, pois na modalidade 2D, pôde-se visualizar anomalias que possivelmente ocorrem pela presença de necrochorume. Esta hipótese foi sustentada em muitos casos pelos resultados analíticos dos poços de monitoramento instalados, em locais previamente determinados em função do histórico de ocupação do cemitério, e das respostas dos ensaios geofísicos. Assim, os resultados foram amplamente aproveitados, para investigação lateral, tanto no sentido longitudinal, como também no sentido latitudinal em 8 níveis de investigação, permitindo uma boa resolução de imagem a partir dos dados coletados.

A partir do referido arranjo, foi possível também, estabelecer um mapa pseudo 3D, ou multinível, o que permitiu visualizar em cortes o comportamento das plumas, possíveis migrações, fluxo e mudanças litológicas em profundidade.

Os resultados do arranjo gradiente foram coerentes com as demais técnicas de investigação, corroborando com a hipótese da possível presença de anomalias geofísicas nas regiões mais antigas do cemitério, além de boa correlação com as quantificações dos poços.

Para o método eletromagnético, os resultados foram satisfatórios para identificação de anomalias condutivas no cemitério, como estátuas metálicas, cercas elétricas, dentre outros. Optou-se por utilizar este método, com a intenção de testar sua aplicabilidade em um cemitério urbano. Apesar do método EM possuir alta sensibilidade à ruídos em áreas urbanas, como mostrado no acervo fotográfico de ruídos, seus resultados foram coerentes com o método de eletrorresistividade, além de coincidir também, com os resultados dos poços de monitoramento

Dessa forma, acredita-se que o método Eletromagnético contribuiu para a discussão acerca da identificação de possível contaminação por necrochorume, ressaltando suas características limitantes no que diz respeito à utilização em áreas urbanas. Concluiu-se que, os mapas de condutividade aparente apresentaram valores meramente qualitativos, sendo aconselhável a realização de outros ensaios para a identificação de contaminantes possivelmente existentes em uma área de estudo urbana, como no caso do objeto de estudo.

Por identificar grandes contrastes nas imagens, o método EM pode ser considerado mais abrangente, pois interpola poucos dados em profundidade através da média. Assim, o método apresenta certa dificuldade de definir pequenos contrastes, apresentando menor resolução em relação ao método ERR, que por ser realizado em vários níveis, possui maior quantidade de dados, e, portanto o procedimento de interpolação permite maior resolução com maior nível de detalhes, diferentemente do EM, que interpola menor quantidade de dados em profundidade. Em contaponto, o método EM permite a realização de ensaios mais rápidos, expeditos, práticos e seus resultados permitem planejar futuras malhas de ERR.

Para os resultados analíticos de solo, os indicadores químicos mostraram que as amostras de solo coletadas mais próximas da superfície, a 2 metros de profundidade, possuem no geral, maior quantidade de alterações, com presença mais intensa dos parâmetros analisados. Assim, observou-se que, todos os poços alocados dentro do cemitério, apresentaram alterações em suas amostras coletadas, seja a 2 metros, ou a 16 metros. Dessa forma, a realização de sondagens, instalação dos poços dentro dos limites do cemitério, e análises das amostras, foram de extrema importância, como subsídio na análise dos dados geofísicos.

No que diz respeito aos resultados analíticos de água, poucos resultados foram observados, assim, serviram para agregar considerações aos resultados analíticos de solo, sendo estes, os mais significativos para este estudo. Na profundidade do NA determinado pelas sondagens mecânicas, as chances de haver contaminação existem, mas são baixas devido à eventual atenuação natural, portanto, os resultados analíticos de solos contribuíram de sobremaneira a esta pesquisa.

Valores de resistividades aparentes mais altos observados na região posterior do cemitério, sentido frente - fundos, permitiu constatar, que ainda exista condição geológica natural do meio, pois possíveis presenças de necrochorume ainda não foram capazes de alterá-lo em profundidades acima de 5 metros. Levando em consideração o nível basal máximo dos jazigos, de 2 metros, conclui-se que as anomalias pouco resistivas superficiais na região posterior do cemitério sejam influência do contaminante.

Em conformidade com esta teoria, a região anterior do cemitério, ou seja, a primeira metade desde a portaria, região esta primeiramente ocupada, apresentou coerência em relação à presença de anomalias pouco resistivas, e condutivas. O que permite inferir que a região mais antiga do cemitério possui maior alteração no meio físico do que a região tardiamente ocupada, ou apresente influência de águas pluviais em jazigos com problemas estruturais mais antigos.

Considerando que grande maioria dos trabalhos sobre investigação subsuperficial em cemitérios obtiveram resultados positivos para contaminação subsuperficial, conclui-se que a presente pesquisa demonstrou bons resultados, coerentes com a maioria das referências, e que os métodos geofísicos utilizados neste trabalho foram considerados eficientes para os objetivos propostos.

A falta de conhecimento sobre a temática investigativa em cemitério, e o preconceito que envolve tais pesquisas, retardam a resolução de problemas ambientais, e dificultam processos de planejamento do meio físico para empreendimentos. A dificuldade de investigação desse tipo ocorre em função do impedimento, muitas vezes pelos próprios administradores do local investigado, que se opõem por medo da obrigatoriedade de adequação à legislação ambiental vigente.

Assim, conclui-se que, cemitérios devem ser planejados como um tipo especial de aterro sanitário, no qual sua implantação, manutenção e fechamento, devem estar sujeitos ao atendimento dos critérios legais, através de processo de Licenciamento Ambiental.

Conclui-se que as condições geológicas da área de estudo, são favoráveis à depuração natural do contaminante, pela textura arenosa, NA profundo e solo espesso.

Acredita-se que o presente trabalho representou uma contribuição metodológica para subsidiar pesquisas futuras, e contribuir para a minimização de impactos ambientais através de ferramentas geofísicas.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. Normas Técnicas. Disponível em <http://www.abntcatalogo.com.br/normagrid.aspx>. Acessado em Fev 2011;

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. Construção de poços de monitoramento e amostragem - (NBR 13895). Rio de Janeiro, ABNT. 21 p. 1997;

ALMEIDA A.M. da & MACÊDO J.A.B. de. **Parâmetros físico-químicos de caracterização da contaminação do lençol freático por necrochorume.** In: Seminário de gestão Ambiental. Juiz de Fora. Anais... Juiz de Fora: Instituto Viana Junior, 2005;

ALMEIDA, F. R. D.; ESPÍNDULA, J. C.; VASCONCELOS, U.; CALAZANS, G.M.T. Avaliação da ocorrência de contaminação microbiológica no aquífero freático localizado sob o cemitério da Várzea em Recife – PE. **Revista Água Subterrânea**, v.20, n.2, p. 19 - 26, 2006;

ANDRIOTTI, J. L. S. Introdução à Geoestatística. Estudos Tecnológicos - **Acta Geológica Leopoldense**, São Leopoldo, RS. V.11, nº 27, p.5-81, 1988;

AQUINO WF. **Métodos Geofísicos Eletromagnéticos aplicados ao diagnóstico da contaminação de Solo e das Águas Subterrâneas em área de Infiltração de Resíduos Industriais.** Dissertação (Mestrado em Geociências). Instituto de Geociências. Universidade de São Paulo. 121 f. 2000;

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS - ABAS. Cemitérios: Risco Potencial às Águas Subterrâneas. Boletim Informativo, n. 111, fev. 2001;

ASTIER, J.L. **Geofísica Aplicada a la Hidrogeologia.** Paraninfo, Madrid, Espanha, 344p. 1975;

AULER, M. E. do A. **Investigação da pluma de contaminação por necrochorume no cemitério municipal São João Batista, Rio Claro-SP.** (Trabalho de Conclusão de Curso). 2011.

Bhattacharya, P.K. & Patra H. P. Direct Current Geoelectric Sounding (Methods in Geochemistry and Geophysics, 9): Principles and interpretations, **Elsevier**, New York, Amsterdam, London. 135p. 1968;

- BAYARD, J.P. **Le sens caché des rites mortuaires**. France, Dangle, 330 p. 1993;
- BERGAMO, H. **Os Cemitérios – Um problema de engenharia sanitária**. In: Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária, IV. São Paulo, Anais. São Paulo, AIES, p.333-339. 1954;
- BOMFIM L.F.C. **Mapa de domínios/subdomínios hidrogeológicos do Brasil em ambiente SIG: concepção e metodologia**. In: Cong. Bras. Águas Subterrâneas, 16, Resumos, p. 16, 2010;
- BORGES, W.R. **Caracterização geofísica de alvos rasos com aplicações no planejamento urbano e meio ambiente: estudo sobre o sítio controlado do IAG/USP**. Tese de Doutorado. Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas da USP, São Paulo, SP. 256 p. 2007;
- BORTOLIN, J. R. M. **Monitoramento temporal da pluma de contaminação do aterro controlado de Rio Claro (SP) por meio do método da eletrorresistividade**. 170f. Dissertação (Mestrado em Geociências e Meio Ambiente) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2009;
- BRAGA, A. C. O. **Geofísica aplicada a Geologia de Engenharia, segmentos e métodos elétricos: sondagem elétrica vertical, caminhamento elétrico**. São Paulo: Instituto de pesquisas Tecnológicas – IPT, 81 p. (Material didático de aperfeiçoamento em Geologia de engenharia e Mineração), 1988;
- BRAGA, A. C. O. **Métodos Geoeletricos Aplicados na Caracterização Geológica e Geotécnica: Formações Rio Claro e Corumbataí, no município de Rio Claro – SP** – Tese de Doutorado, Instituto de Geociências e Ciências Exatas. UNESP 169p, 1997;
- BRAGA, A. C. O. **Métodos Geoeletricos Aplicados nos Estudos de Captação e Contaminação das Águas Subterrâneas**. Material didático de Geofísica Aplicada do curso de Geologia, Instituto de Geociências e Ciências Exatas – UNESP, Rio Claro (SP), 2007;
- CAMARGO, E. C. G. **Geoestatística: Fundamento e Aplicações**. In: CAMARA, G.; MEDEIROS, J. S. **Geoprocessamento em Projetos Ambientais**. 2ª ed. São José dos Campos: INPE, Cap 5, 36p. 1998;
- CARVALHO JUNIOR, M. A. F.; COSTA E SILVA, L. M. **SP e eletrorresistividade aplicados ao estudo hidrogeológico de um cemitério**. In: Congresso Internacional da Sociedade Brasileira De Geofísica, 5, São Paulo. **Resumo Expandido...** São Paulo: Sociedade Brasileira de Geofísica, v.1, p. 471-474. 1997;
- CARVALHO, R. E de & SILVA A.P.M.A. **Capacitor Cilíndrico Excêntrico**. **Rev. Bras. Ensino Fís.** vol.24 nº.3 São Paulo, Setembro. 2002;
- CASTRO, D. L. **Caracterização geofísica e hidrogeológica do cemitério Bom Jardim, Fortaleza - CE**. **Revista Brasileira de Geofísica**, v. 26, n. 3, p. 251-271, <http://dx.doi.org/10.1590/S0102-261X2008000300001>. 2008;

CEDERSTROM, D. J. **Água Subterrânea, Uma Introdução**. Centro de publicações técnicas aliança, Missão Norte-Americana de Cooperação Econômica e Técnica no Brasil - USAID: Rio de Janeiro, 1964;

CEPAGRI – Centro de Pesquisas Meteorológicas e Climáticas Aplicadas à Agricultura. **Clima dos municípios paulistas: Rio Claro**. Disponível em: <http://www.cpa.unicamp.br/outras-informacoes/clima_muni_494.html>. Acesso em março/2013;

CETESB – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. Implantação de Cemitérios: Norma Técnica L1. 040. São Paulo: CETESB; 1999;

CETESB – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. Manual de gerenciamento de áreas contaminadas [relatório na internet]. São Paulo: CETESB; Acesso em novembro de 2014. 2001; Disponível em: http://www.cetesb.sp.gov.br/Solo/areas_contaminadas/manual.asp.

CETESB – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. Coleta e preservação de amostras de água para consumo humano, em atendimento à Portaria 518-MS, de 25/03/2004. São Paulo: CETESB; v.1. 2005;

CETESB – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. Valores orientadores para solos e águas subterrâneas no Estado de São Paulo [relatório na internet]. São Paulo: CETESB; Acesso em novembro de 2014. Disponível em: http://www.cetesb.sp.gov.br/Solo/relatorios/tabela_valores_2005.pdf. 2005;

COSTA, W.D.; MENEGASSE, L.N. & FRANCO, R.D. **Contaminação da água subterrânea relacionada com os cemitérios da paz e da saudade no município de Belo Horizonte, Minas Gerais**. XII Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas. 14p. 2002;

COTTAS, L.R. **Estudos geoeletricos-geotécnicos aplicados ao planejamento urbano de Rio Claro – SP**. Tese de doutoramento, Instituto de Geociências – USP. São Paulo. 2 v. 1983;

CPRM - Serviço Geológico do Brasil. SIAGAS. Disponível em http://siagasweb.cprm.gov.br/layout/visualizar_mapa.php. Acessado em dez 2012. 2013;

CUNHA, L. F. J & LIMA, O. A. L. **Métodos Elétricos e Eletromagnéticos na Avaliação da Contaminação de Aquíferos**. XVII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Anais. 2007;

DAAE – DEPARTAMENTO AUTÔNOMO DE ÁGUA E ESGOTO DE RIO CLARO (SP). Sistema de tratamento de água. Rio Claro (SP): DAAE, [20--]. Disponível em: <<http://www.daaeriolclaro.sp.gov.br/trata-agua-sistema.php>>. Acesso em: agosto de 2013;

DAVINO, A. Importância do método de eletrorresistividade na determinação da natureza do manto de decomposição em rochas cristalinas. **Boletim da Sociedade Brasileira de Geologia**, São Paulo, n.19, p. 99-101, 1970;

DEGROOT-HEDLIN, C., & CONSTABLE, S., Occam's inversion to generate smooth, two-dimensional models from magnetotelluric data: **Geophysics**, **55**, 1613–1624. 1990;

DENT, B.B., 1995. **Hydrogeological Studies at Botany Cemetery**. Sydney, M.Sc. Proj. Rept.- University of Technology of Sydney, 1995;

DENT, B.B.; Knight, M.J. **A Watery Grave: The Role of Hydrogeology in Cemetery Practice**. *Am. Coll. Couns. Assoc.*, **2**, 19-22. 1995;

DENT BB, Knight MJ. **Cemeteries: a special kind of landfill. The context of their sustainable management**. In: Weaver TR, Lawrence CR (eds) Proc Int Groundwater Conf, 8–13th February, Melbourne. International Association of Hydrogeologists (Australian National Chapter), Indooroopilly, Australia, pp 451–456. 1998;

DENT, B.B., KNIGHT, M. J. **Cemeteries: a Special Kind of Landfill. The context of their sustainable management**. National Centre for Groundwater Management, University of Technology, Sydney Broadway, NSW 2007, Australia, 2007;

DNPM. DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL. Mineral Summary. DNPM. 116 p. 2000;

ELIS, V. R. **Avaliação da aplicabilidade de métodos elétricos de prospecção geofísica no estudo de áreas utilizadas para disposição de resíduos..** Tese (Doutorado em Geociências e Meio Ambiente) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 264 f. 1998;

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Classificação de Solos do Estado de São Paulo. 1999;

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema brasileiro de classificação de solos. Brasília, 412 p.1999;

EMSLEY, J. Químicos explicam visão de espectros em cemitérios. **Folha de São Paulo**, São Paulo, 26 de jul. 1993;

FÁVERO, F. **Medicina Legal**. 11. ed. Belo Horizonte: Itatiaia,. v.1 p. 500-566. 1980;

FÁVERO, F. **Medicina Legal**. 12^a ed. Belo Horizonte: Vila Rica Editoras Reunidas, 1991;

FELICIONI, F. ANDRADE, F. F. A. BORTOLOZZO, N. **A Ameaça dos Mortos**. 1^a ed. Editora Maxprint. Jundiaí, SP. 2007;

FORBES, G.B. **Human Body Composition; Growth, Aging, Nutrition, and Activity**. Springer- Verlag, New York, 380p. 1987;

FRANÇA, G. V. de. **Medicina Legal**. 2^a.ed. Rio de Janeiro: Guanabara, 402p. 1985;

GALLAS, J. D. F. **Principais métodos geoeletricos e suas aplicações em prospecção mineral, hidrogeologia, geologia de engenharia e geologia ambiental.** 174f. Tese (Doutorado em Geociências e Meio Ambiente) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro. 2000;

GALLAS, J.D.F.; TAIOLI, F.; MALAGUTTI FILHO, W.; PRADO, R.L. & DOURADO, J.C. **Métodos e técnicas geoeletricas rasas na delimitação de área afetada por ruptura em teto de túnel urbano.** Revista Brasileira de Geofísica. Vol.19. n.1. São Paulo, 2001;

GANDOLFO O.C.B. **Um Estudo do Imageamento Geoeletrico na Investigação Rasa.** Tese doutorado (Geociências)- Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 215p. 2007;

GEOTOMO SOFTWARE. **RES2DINV ver. 3.56 for Windows 98/Me/2000/NT/XP:** User's Manual. Penang, Malasya: Geotomo Software, 138p. 2007;

GLEICK, P. H, **Recursos de água** in Enciclopédia do Clima e Tempo, ed. Por Superlogo H. Schneider, Oxford University Press, Nova Iorque, vol. 2, pág. 817-823. 1996;

GOMES, E.; PESSOA, L.M.C.; JÚNIOR, L.B.S. **Medindo Imóveis Rurais com GPS.** Brasília: LK-Editora, 136p. 2001;

GOLDEN SOFTWARE. **Surfer v. 9.11.** Golden Software, Surface Mapping System. Colorado, USA, 2010;

GOMES, E; PESSOA, C. M. L.; JÚNIOR, S. B. L. **Medindo imóveis rurais com GPS.** Editora LK. 1ª ed. 139 f, 2001;

GREENHOUSE, J.P. & SLAINE, D.D. **Geophysical modelling and mapping of contaminated groundwater around three waste disposal sites in southern Ontario, Canadian.** Geotechnical Journal, Vol.23, p. 372-384. 1986;

GREENHOUSE, J.P. “**Aplicações de Metodologias Geofísicas em Estudos Ambientais e Geotécnicos**”. CEA/UNESP Rio Claro, 111pp. 1996;

GRIFFITHS D.H. & BARKER R.D., Two-dimensional resistivity imaging and modelling in areas of complex geology. **Journal of Applied Geophysics**, 29, 211-226. 1993;

GRIFFITHS, D.H. & BARKER R.D. Electrical imaging in Archaeology. **Journal of Archaeological Science**, 21, p. 153-158.1994;

HALLOF, P. G. **On the interpretation of resistivity and induced polarization measurements.** Tese (Doutorado) – Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, 1957;

IAKUBOVSKII, I.U.V.; LIAJOV, L.L. Exploración eléctrica. Espanha, **Editorial Reverté**, S.A., 421 p. 1980;

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA.. CENSO DEMOGRÁFICO 2010. Características da população e dos domicílios: resultados do universo. Rio de Janeiro: IBGE, 2011;

INSTITUTO DE PESQUISA TECNOLÓGICA – IPT. Mapa geológico do Estado de São Paulo. São Paulo,. 1 mapa, 68 cm x 98 cm. Escala 1:500.000. Nota explicativa. 126 p. 1981a;

INSTITUTO DE PESQUISA TECNOLÓGICA – IPT. Mapa geomorfológico do Estado de São Paulo. São Paulo, 1 mapa, 91 cm x 71 cm. Escala 1:1.000.000. Nota explicativa. 1981b;

INSTITUTO DE PESQUISA TECNOLÓGICA – IPT. Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo. São Paulo: IPT, 1 mapa. Escala 1:1.000.000. 1981;

INTERPEX LIMITED. IX1D v. 2.17: User´s Manual. Golden, Colorado: Interpex Limited, 2008;

INTERPEX LIMITED. IX1D v. 2.18. Interpex Limited, 2009;

JONKER, C. & OLIVIER, J. Mineral Contamination from Cemetery **Soils: Case Study of Zandfontein Cemetery, South Africa.** *Int. J. Environ. Res. Public Health*, n.9, p.511-520, 2012;

JUNIOR, M.F.C.; SILVA, L. M. C. SP e eletrorresistividade aplicados ao estudo hidrogeológico de um cemitério. Centro de Geociências, Universidade Federal do Pará. P.471-474. 1996;

KÖPPEN W. Climatologia. México: Fondo de Cultura Econômica. 478 p. 1948;

KÖFFLER NF. Diagnósticos do uso agrícola das terras da Bacia do Rio Corumbataí, SP. Report, IGCE, UNESP. 102 p. 1993;

KONEFES, J.L.; MC GEE, M.K. Old Cemeteries, Arsenic and Health Safety. Disponível em: <http://www.waterindustry.org/arsenic-3htm-19k> (Acessado em maio/2013);

KUNETZ , G. Principles of direct current resistivity prospecting. Berlin, Gebruder Borntraeger, [English translation form the French by Robert Van Nostrand]. Geoexploration Monographs, Series 1 - no 1, 103 p. 1966;

LANDIM PMB. Análise Estatística de Dados Geológicos. Ed. UNESP. 253 p. 1998;

LANDIM, P.M.B. STURARO, J.R. & MONTEIRO, R. C. Exemplos de aplicação da cokrigagem. DGA,IGCE,UNESP/Rio Claro, Lab. Geomatemática. Texto Didático 09, 17 pp. 2002. Acesso em julho de 2013. Disponível em:
<http://www.rc.unesp.br/igce/aplicada/DIDATICOS/LANDIM/tkrigagem.pdf>;

LANDIM, P.M.B., MONTEIRO, R. C.& CORSI, A.C. Introdução à confecção de mapas pelo software SURFER. DGA,IGCE,UNESP/Rio Claro, Lab. Geomatemática, Texto Didático. 2002. Acesso em março de 2013. Disponível em:
<<http://www.rc.unesp.br/igce/aplicada/textodi.html>>..

- LEFF, E. **Epistemologia Ambiental**. São Paulo. Cortez, 2001;
- LOKE, M.H. & BARKER, R.D. Practical techniques for 3D resistivity surveys and data inversion: **Geophysical Prospecting**, 44, 499–523. 1996;
- MALAGUTTI FILHO, W. **Utilização de técnicas geofísicas na caracterização de solos e rochas com aplicações na geologia de planejamento urbano**. (Tese de Doutorado), Rio Claro, Instituto de Geociências e Ciências Exatas - UNESP, 1990;
- MALAGUTTI FILHO, W.; MOREIRA, C. A. **Métodos Geométricos no estudo da contaminação na área do Cemitério Municipal de Rio Claro-SP**. Twelfth International Congress of the Brazilian Geophysical Society held in Rio de Janeiro, 15-18.08/2011;
- MARINHO A.M.C.P. **Contaminação de aquíferos por instalação de cemitérios. Estudo do caso do Cemitério São João Batista, Fortaleza - Ceará** [dissertação de mestrado]. Fortaleza: Centro de Ciências – Departamento de Geologia da Universidade Federal do Ceará; 1998;
- MATHERON, G. Principles of geostatistics. **Economic Geology**, Ottawa, v. 58, p. 1246-1266, 1963;
- MATHERON, G. **The theory of regionalized variables**. Paris: École Nationale Supérieure des Mines de Paris, 211 p. (Les Cahiers du Centre de Morphologie Mathématique de Fontainebleu, 5). 1971;
- MATOS, B. A. **Avaliação da ocorrência e do transporte de microorganismos no aquífero freático do cemitério de Vila Nova Cachoeirinha, município de São Paulo**. São Paulo, 115p. Tese de Doutorado – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 2001;
- MATOS, B.A.; PACHECO, A. **Ocorrência de microrganismos no aquífero freático do cemitério Vila Nova Cachoeirinha, São Paulo**. In: Congresso Mundial Integrado de Águas Subterrâneas, 1., Fortaleza, 2000. *Anais*. Fortaleza, ABAS. 1 CD-ROM. 2000;
- MATOS, B & PACHECO, A. **Avaliação da ocorrência e do transporte de Microrganismos no aquífero freático do cemitério de Vila nova cachoeirinha, município de São Paulo**. XII Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas – Anais/ ABAS, Florianópolis, SC. 2002;
- MCNEILL, J.D. **Electrical conductivity of Soils and Rocks**. Technical note TN-5. Geonics Limited, Ontário, Canada. 1980;
- MENDES, J. M. B. **Técnicas geofísicas aplicadas no mapeamento e monitoramento de poluição e contaminação de águas subterrâneas**. 196f. Tese (Doutorado em Geociências) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1987;
- MENDES, J. M. B.; PACHECO, A. ; HASSUDA, S. **Cemitérios e meio ambiente - a geofísica como método auxiliar na avaliação de sua influência nas águas subterrâneas**. Encontro Nacional de Estudos Sobre o Meio Ambiente, 2, Florianópolis-SC, 1989. *Anais*. Florianópolis, UFSC, v. 1, p. 50-57. 1989;

MIGLIORINI, R. B. **Cemitérios como Fontes de Poluição em Aquíferos. Estudo do Cemitério Vila Formosa na Bacia Sedimentar de São Paulo.** Dissertação de Mestrado do programa pós-graduação em Recursos Minerais e Hidrogeológicos do Instituto de Geociências da USP, 74 p., 1994;

MIGLIORINI, R. B. **Cemitérios Contaminam o Meio Ambiente? Um Estudo de Caso.** Cuiabá, EdUFMT, 50p. 2002;

MIGLIORINI, R. B.; LIMA, Z. M. de; ZEILHOFER, L. V. A. C. **Qualidade das águas subterrâneas em áreas de cemitérios. Região de Cuiabá – MT.** Revista Águas Subterrâneas, v.20, n.1. p. 15 – 28, 2006;

MINISTÉRIO DA SAÚDE - Portaria no. 36, de 19 de janeiro de 1990. Aprova novas normas e padrões de potabilidade da água a serem observados em todo território nacional. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 23 jan. 1990;

MINISTÉRIO DA SAÚDE - Portaria no. 1.469, de 29 de dezembro de 2000. Estabelece os procedimentos e responsabilidades relativos ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade, e dá outras providências. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 19 jan. 22 p. 2001;

MMA – MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. Resolução nº 335, de 03.04.2003. Dispõe sobre o licenciamento ambiental de cemitérios [resolução na internet]. [acesso em jul. 2014]. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res03/res33503.xml>.

MINOZZO, M. **Métodos Geofísicos Aplicados na Avaliação Ambiental em uma Indústria Química na cidade de São Paulo – SP .** (Dissertação Mestrado) Programa de Pós-Graduação em Geofísica. Área de Concentração: Geofísica Aplicada – Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas da Universidade de São Paulo. São Paulo, 114 p. 2009;

MIOOTTO, S. L. **Aspectos geológico-geotécnicos da determinação da adequabilidade de áreas para implantação de cemitérios.** 1990. 116 f. Dissertação (Mestrado em Geociências) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 1990;

MOREIRA, C.A.; DOURADO J.C. & BRAGA, A.C.O. Aplicação da técnica de caminhamento elétrico em área contaminada por derivados de petróleo. **Revista Brasileira de Geofísica**, São Paulo, Vol. 24 (3): 383-392. 2006;

MOREIRA, C. A.; AQUINO, W. F.; DOURADO, J. C. Aplicação do método eletromagnético indutivo (EM) no monitoramento de contaminantes em subsuperfície. **Revista Brasileira de Geofísica**, Rio de Janeiro, v. 25, n. 4, p. 413-420, 2007;

MOREIRA, C. A. **Geofísica aplicada no monitoramento de área de disposição de resíduos sólidos domiciliares.** 2009. 159f. Tese (Doutorado em Geociências) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, São Paulo, 2009;

NASCIMENTO, W.G. **Investigação geofísica ambiental e forense nos cemitérios do Bengui e do Tapanã (Belém – PA)**. Dissertação (Mestrado em Geofísica), Instituto de Geociências, UFPA. Belém 153 f, 2009;

NOBES, D.C. “Troubled Waters: Environmental Applications of Electrical e Eletromagnetic Methods”. **Surveys in Geophysics** (17). 393-454 pp. 1996;

OLIVA, A.; CHANG, H. K.; CAETANO-CHANG, M. R. Determinação da condutividade hidráulica da Formação Rio Claro: análise comparativa através de análise granulométrica e ensaios com permeâmetro Guelph e testes de Slug. **Revista Águas Subterrâneas**, v. 19, n. 2, p. 1-17, 2005;

OLIVA, A. Estudo Hidrogeológico da Formação Rio Claro no Município de Rio Claro – SP. Dissertação de Mestrado - Instituto de Geociências e Ciências Exatas /Unesp- Rio Claro, 71 pp. 2002;

OLIVA, A. **Estudo hidrofaciológico do aquífero Rio Claro no município de Rio Claro – SP**; Tese (doutorado) – Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciências Exatas – Rio Claro. 196 f. 2006;

OLIVEIRA, M.R.B; CAVALCANTE, I. N; GOMES, M. C. R; MATTA, M. A. S; MAIA, J. T. V. **Caracterização da vulnerabilidade dos aquíferos livres na área dos cemitérios Bom Jardim e São João Batista – Fortaleza/CE**. **Anais... XVI Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas e XVII Encontro Nacional de Perfuradores de Poços**. 2010;

ORELLANA 1972 ORELLANA, E. **Prospeccion Geoelectrica en Corriente Continua**. Biblioteca Tecnica Philips, Madrid, España: Paraninfo, 523p. 1972;

ORELLANA, E. **Prospeccion geoelectrica por campos variables**. Madrid, Ed. Paraninfo, Biblioteca Tecnica Philips, 571 p. 1974;

OTTMANN, F. **Créer ou aménager um cimitière**. Paris, Éditions Du Moniteur, 161p. 1987;

PACHECO, A. **Os cemitérios como risco potencial para águas de abastecimento**. Revista do Sistema de Planejamento e de Administração Metropolitana. São Paulo, ano IV, n.17, p.25-37. 1986;

PACHECO, A.; MENDES, J.M.B.; MARTINS, M.T.; HASSUDA, S.; SILVA, A.A.K. **Cemeteries – A potential risk to groundwater**. Revista “Water Science and Technology”. Great Britain, v.24. n.11. p.97-104. 1991;

PACHECO C.E.M, MARINHOS L.W, STRACERI L.Y.A, SHATKOVSKY M, Iriya A.S, COLUCCI R, KINOSHITA R.K. **Programa de minimização da contaminação das águas subterrâneas causada por cemitérios** [trabalho de curso de especialização]. São Paulo: Faculdade de Saúde Pública da USP; 1993;

PACHECO, A. **Cemitério e Meio Ambiente**. Universidade de São Paulo – Instituto de Geociências. (Tema de Livre docência). USP, Dedalus, 102p. 2000;

PACHECO A, BATELLO E. A influência dos fatores ambientais nos fenômenos transformativos em cemitérios. **Rev Engenharia & Arquitetura**. 2:32-39. 2000;

PARASNIS, D.S. Eletromagnetic Prospecting - CW. **Technics. Geoexploration**. 4 (4): 177 – 208. 1966;

PARASNIS D.S. Principles of Applied Geophysics. 4th edition. **Chapman & Hall LTD**. London, UK. 172p 1986;

PEQUENO MARINHO, A.M.C. **Contaminação de aquíferos por instalação de cemitérios. Estudo de caso do Cemitério São João Batista, Fortaleza**, Dissertação (Mestrado) Centro de Ciências, Universidade Federal do Ceará. 88 p. 1998;

PEREIRA et.al. Rio Claro Sesquicentenário - Diversos colaboradores Edição do Museu Histórico e Pedagógico Amadeu Bueno da Veiga. Rio Claro, 369 p.1978;

PINTO, N. L. de S. HOLTZ, A. C. T; MARTINS, J. A.; GOMIDE, F. L. S. **Hidrologia básica**. Editora Edgard Blücher. São Paulo, p.67-91. 1976;

PORTO-GONÇALVES, C.W. **A globalização da natureza e a natureza da globalização**. Rio de Janeiro: Civilização Brasileira, 2006;

POUNDER, D. J. **Postmortem changes and time of death**. 1995; Disponível em <http://www.dundee.ac.uk/forensicmedicine/llb/timedead.htm>. Acesso em maio/2013;

PREFEITURA MUNICIPAL DE RIO CLARO. **Investigação Ambiental Confirmatória Cemitério São João Batista. Prefeitura Municipal de Rio Claro. RELATÓRIO TÉCNICO - GEOCIA**.63p. Rio Claro, 2013;

RESOLUÇÃO CONAMA nº 335, de 3 de abril de 2003. Publicada no DOU no 101, de 28 de maio de 2003, Seção 1, páginas 98-99;

REZENDE, E.C.M. **Metrópole da morte: necrópole da vida**. São Paulo, Carthago. 108 p. 2000;

REZENDE E.C.M. **Necrochorume. Salve o Planeta Terra**. Periódico online. Acesso em agosto de 2013. Disponível em <http://salveomundo.blogspot.com/>; 2005;

REYNOLDS JM. **Introduction to applied and environmental geophysics**. Chichester: John Wiley & Sons: 682-745.1997;

ROMERO, J.C. The movement of bacteria and viruses through porous media. **Ground Water**, v. 8, n. 2, p. 37-48. 1970;

SASAKI, Y. Resolution of resistivity tomography inferred from numerical simulation: **Geophysical Prospecting**, **40**, 453–464. 1992;

SILVA, L. M. **Os Cemitérios na Problemática Ambiental**. I Seminário Nacional “Cemitérios e Meio Ambiente”, SINCESP e ACEMBRA. São Paulo, 1995;

SILVA, L. M. **Cemitérios: Fonte Potencial de Contaminação dos Aquíferos Livres**. 4º Congresso Latino-Americano de Hidrologia Subterrânea. Montevideo, Uruguai – ALHSUD - 1998;

SILVA L.M. **A influência dos cemitérios no meio ambiente**. In: I Fórum SINCEPAR “Cemitérios - Impacto Ambiental”; 1999; Curitiba, BR. Curitiba; 1999;

SILVA, L. M. Cemitérios: fonte potencial de contaminação dos aquíferos livres. **Saneamento Ambiental**. 71, 41-45. 2000;

SILVA L.M. **Crítérios para a implantação e a operação de cemitérios e de crematórios. São Paulo**. CTAF; 2001;

SILVA, R.W. da C. **Aplicação do método da eletrorresistividade na investigação e mapeamento da contaminação por cemitérios – o exemplo do cemitério de Vila Rezende, Piracicaba/SP**. (Dissertação de Mestrado). UNESP/IGCE/Rio Claro : [s.n.], 156 f. 2008;

SILVA, R.W.C & MALAGUTTI FILHO, W. Cemitérios: Fonte de Contaminação. **Revista Ciência Hoje**. Vol.44, nº 263. p. 24-29. 2009;

SILVA, R. W. C.; MALAGUTTI FILHO, W. MOREIRA, C. A. Emprego do método da eletrorresistividade no estudo da contaminação subterrânea do cemitério municipal de Vila Rezende, Piracicaba - SP. **Revista Brasileira de Geofísica**, Rio de Janeiro, v. 27, n. 3, p. 389- 399. 2009;

SILVA, R. W. da C. Aplicação do método da eletrorresistividade na investigação e mapeamento da contaminação por cemitérios - o exemplo do cemitério de vila Rezende, Piracicaba/SP. **Revista Brasileira de Geofísica**, v. 27, n. 1, 2009;

SILVA R.W.da C. & MALAGUTTI FILHO, W. **Emprego do Imageamento Elétrico no Estudo da Contaminação por Cemitérios**. Revista Geociências – UNESP, v.29, n.3, São Paulo, 2010;

SHERIFF E.R. **Geophysical methods**, Prentice Hall, chapter 9, Electrical and Electromagnetic methods, p. 192-200. 1989;

SPONGBERG, A. L & BECKS, P. M. **Inorganic soil contamination from cemetery leachate**. **Journal “Water, air and soil pollution”** vol. 117, nº1-4, pp. 313-327. 2000;

SWIFT, C.M. Fundamentals of Electromagnetic Method, in: **Electromagnetic Methods in Applied Geophysics**: M.N. Nabighian, Ed. SEG **Investigations in Geophysics** nº3. 1987;

TELFORD, W.M; GELDART, L.P.; SHERIFF, R.E; KEYS, D.A. **Applied Geophysics**. Cambridge University Press. Cambridge,. 860 p. 1972;

TELFORD, W. M.; GELDART, L. P.; SHERIFF, R. E. **Applied Geophysics**. 2.ed. Cambridge: Cambridge University Press, 744p. 1990;

TRIMBLE NAVIGATION LIMITED. **GPS Pathfinder Office v. 3.10**. Trimble Navigation Limited, 2005;

ÜÇISIK A.S, RUSHBROOK P. **The impact of cemeteries on the environment and public health: an introductory briefing.** Denmark: WHO; Acesso em set. 2012. Disponível em <http://www.who.int/en/>.1998;

VARNIER, C.; HIRATA, R. **Contaminação da água subterrânea por nitrato no Parque Ecológico do Tietê - São Paulo**, Brasil. In: CONGRESSO MUNDIAL INTEGRADO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 1.Fortaleza. *Anais*. Fortaleza, ABAS. 1 CD-ROM. 2000;

ZAINE, J. E. **Geologia da Formação Rio Claro da folha de Rio Claro (SP)**.134 f. Dissertação (Mestrado em Geociências). Instituto de Geociências e Ciências Exatas. Universidade Estadual Paulista. 1994;

ZAINE, J. E. **Mapeamento geológico-geotécnico por meio do método de detalhamento progressivo: ensaio de aplicação na área urbana do município de Rio Claro (SP)**. Tese (Doutorado em Geociências) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, 128 f. 2000;

ZALÁN, P.V.; WOLFF, S.; ASTOLFI, M.A.M.; VIEIRA, I.S.; CONCEIÇÃO, J.C.J.; APPI, V.T.; NETO, E.V.S; CERQUEIRA, J.R.; MARQUES, A. The Paraná Basin, Brazil. In: Interior Cratonic Basins. **Bulletin of the American Association of Petroleum Geologists**, Memoir 5 l, p.681-707. 1990a;

ZALÁN, P.V.; WOLFF, S.; CONCEIÇÃO, J.C.; MARQUES, A.; ASTOLFI, M.A.M; VIEIRA, I.S.; APPI, V.T.. Bacia do Paraná. In: **Origem e evolução de Bacias Sedimentares. Petrobrás**, Rio de Janeiro, p. 135-164. 1990b;

WARD, S.H. **Resistivity and induced polarization methods.** USA. Investigations in Geophysics, no 5. Geotechnical and Environmental Geophysics. Society of Exploration Geophysicists, Ed.Stanley H. Ward, v. I, p. 147-189. 1990;

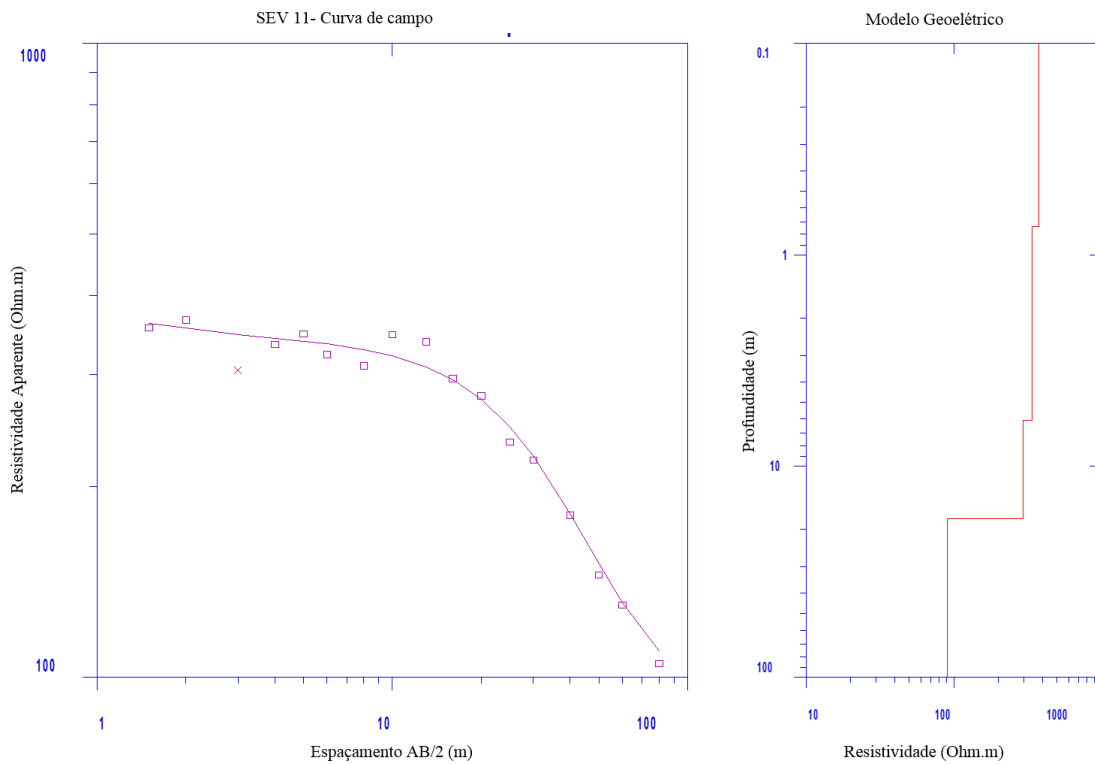
WCED - World Comission on Environment and Development. Our Commom Future. Oxford and New York: Oxford University Press, 1987;

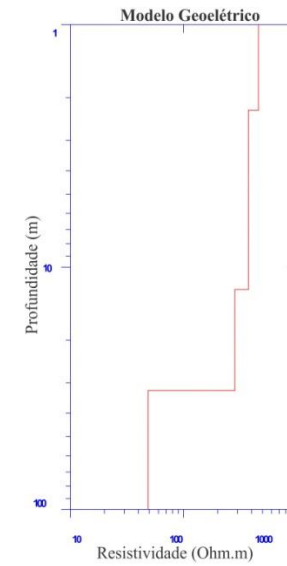
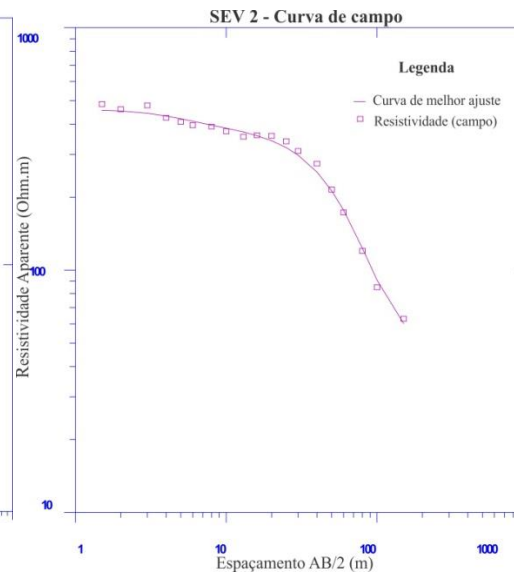
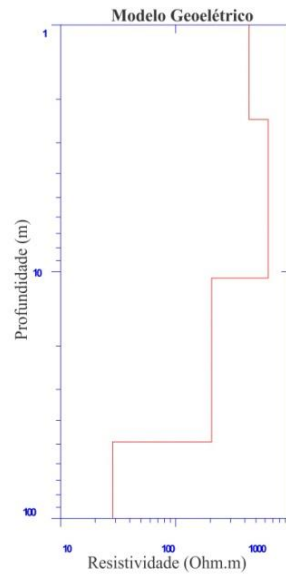
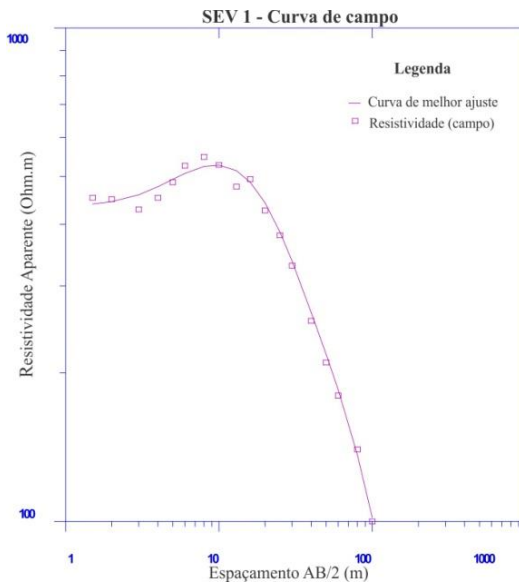
WORLD HEALTH ORGANIZATION – WHO. **The impact of cemeteries on the environment and public health. An introductory briefing.** Copenhagen, Denmark, WHO Regional Office for Europe. 11 p. (Rept. EUR/ICP/EHNA 01 04 01 (A)). 1998;

WORLD HEALTH ORGANIZATION – WHO. Regional Office for Europe, European Centre for Environment and Health, Nancy Project Office. **The Impact of Cemeteries on the Environment and Public Health - TARGET 23:** Waste Management and Soil Pollution; WHO Regional Office for Europe, European Centre for Environment and Health, Nancy Project Office: Copenhagen, Denmark, 2000;

ANEXO I

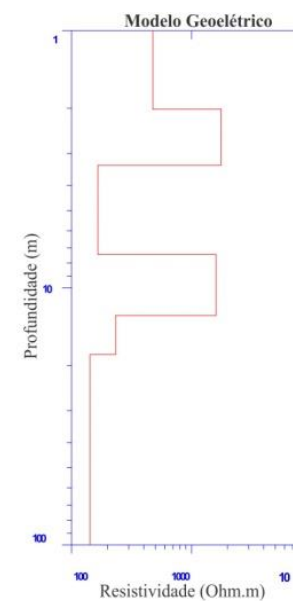
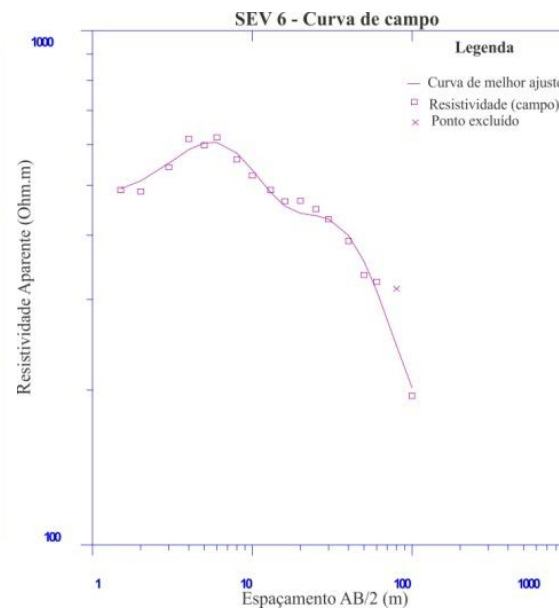
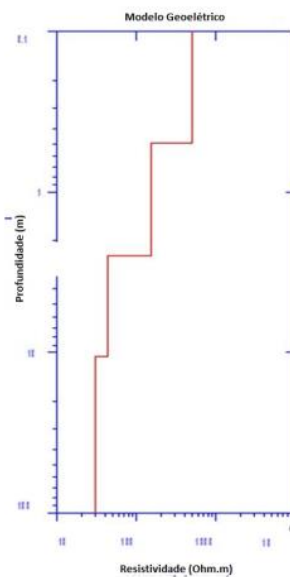
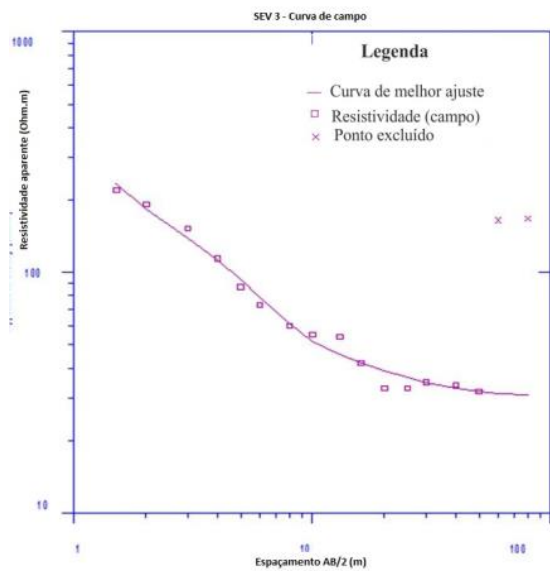
CURVAS AJUSTADAS E RESPECTIVOS MODELOS GEOELÉTRICOS





SEV1			
Cota: 603,8 m			
Nível Geométrico	Resistividade (Ohm.m)	Espessura (m)	Profundidade (m)
1	435,7	2,4	-
2	637,3	8,2	2,4
3	205,4	38,3	10,6
4	28,4	---	48,9
Nível freático: 10,6 m			

SEV2			
Cota: 603,8 m			
Nível Geométrico	Resistividade (Ohm.m)	Espessura (m)	Profundidade (m)
1	459,5	2,3	-
2	374,4	10,1	2,3
3	284,4	20,0	12,4
4	48,6	---	32,3
Nível freático: 12,4 m			

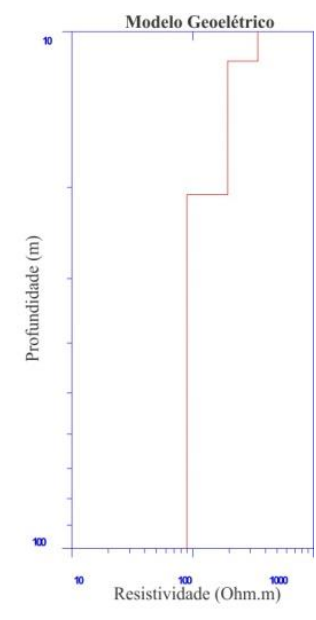
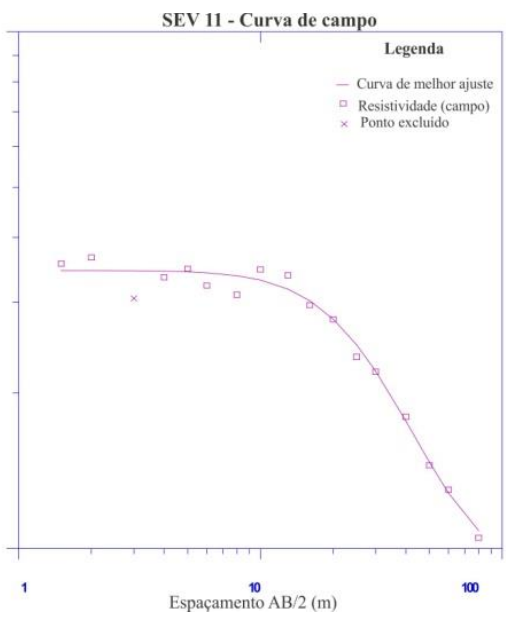
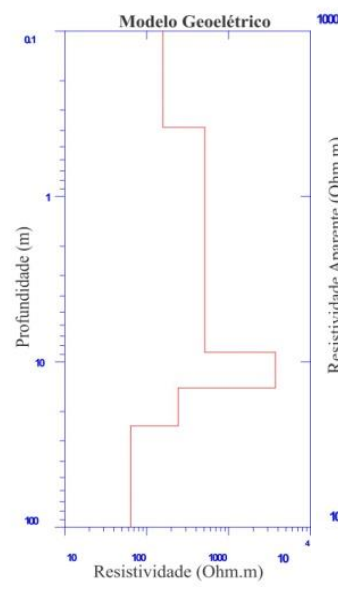
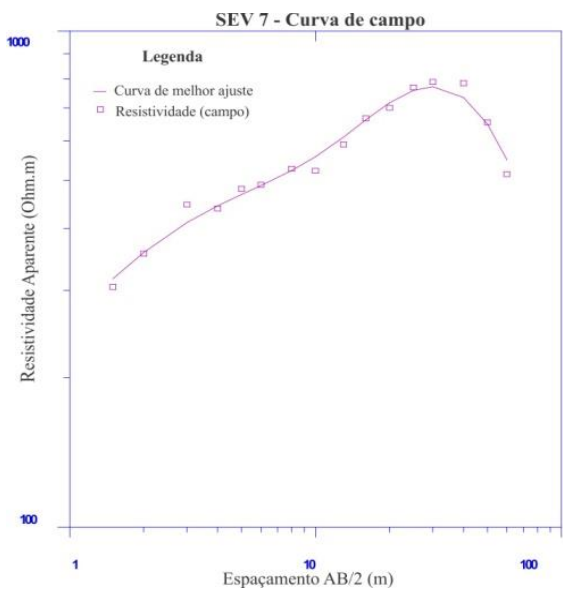


SEV3	Cota: 603,8 m		
Nível Geoeletrico	Resistividade (Ohm.m)	Espessura (m)	Profundidade (m)
1	496,7	0,5	-
2	150,8	2,0	0,5
3	43,8	8,1	2,5
4	30,2	---	10,6

Nível freático: 10,6 m

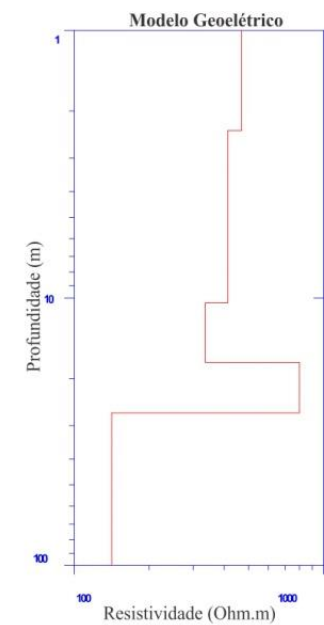
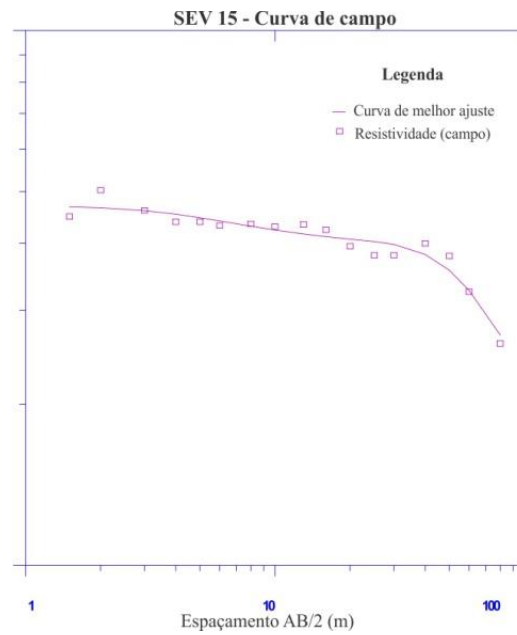
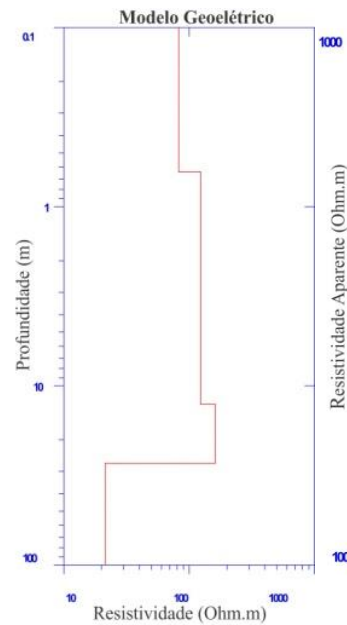
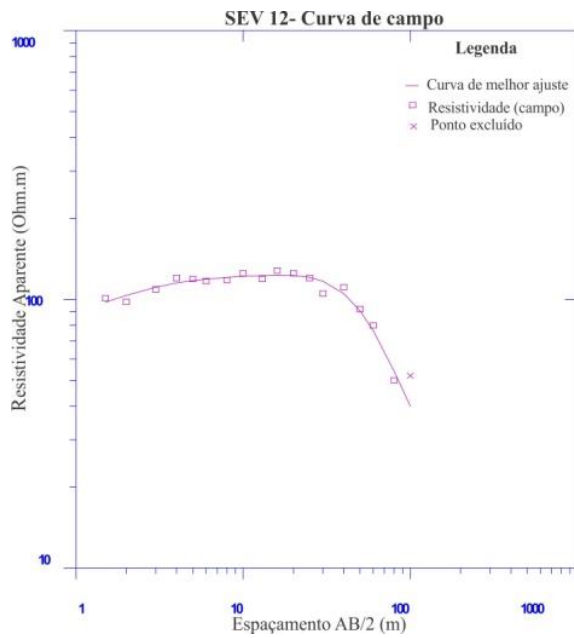
SEV6	Cota: 603,8 m		
Nível Geoeletrico	Resistividade (Ohm.m)	Espessura (m)	Profundidade (m)
1	476	1,9	-
2	1722,4	1,3	1,9
3	175,7	3,8	3,2
4	2021,8	3,9	7
5	239,4	6,9	10,9
6	139,8	---	17,8

Nível freático: 10,9



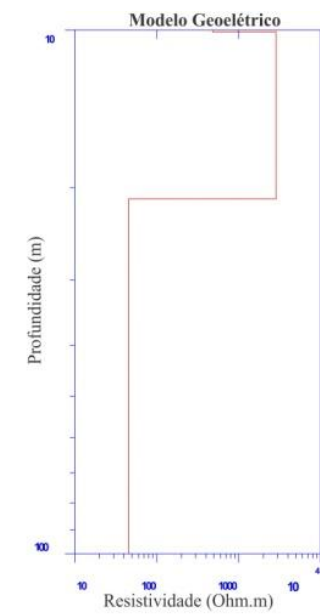
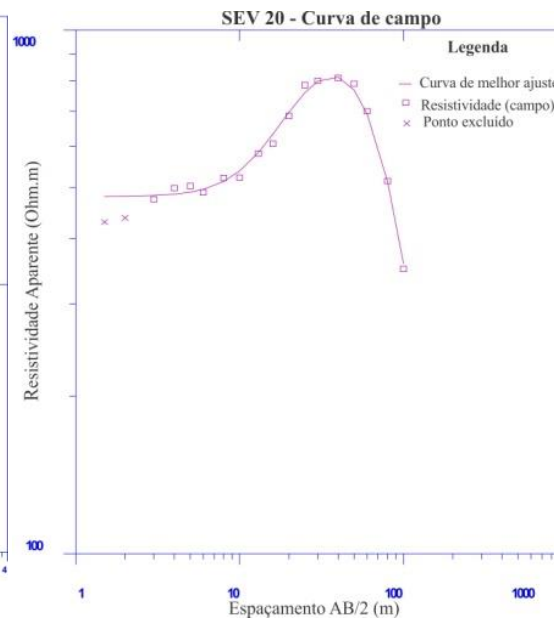
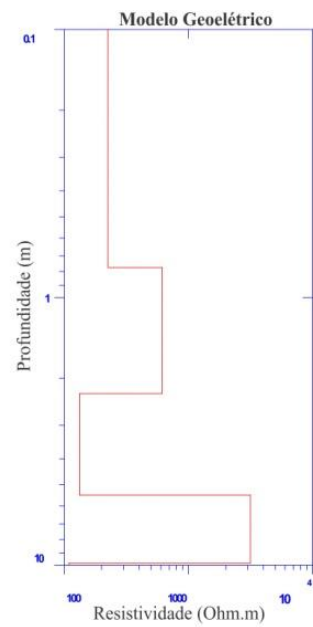
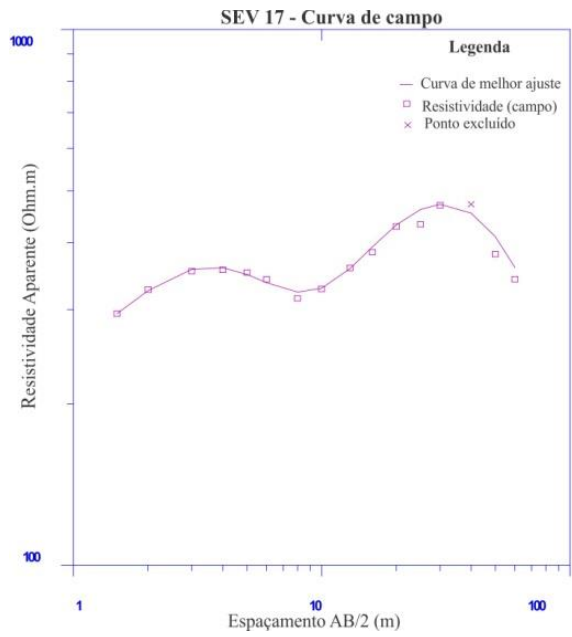
SEV7			
Cota: 603,8 m			
Nível Geométrico	Resistividade (Ohm.m)	Espessura (m)	Profundidade (m)
1	157,9	0,4	
2	511,9	8,4	0,4
3	3704,5	5,6	8,7
4	242,6	10	14,4
5	63,6	-	24,4
Nível freático: 14,4 m			

SEV11			
Cota: 603,8 m			
Nível Geométrico	Resistividade (Ohm.m)	Espessura (m)	Profundidade (m)
1	345,5	11,4	
2	194,3	9,3	11,4
3	89,7	-	20,7
Nível freático: 11,4 m			



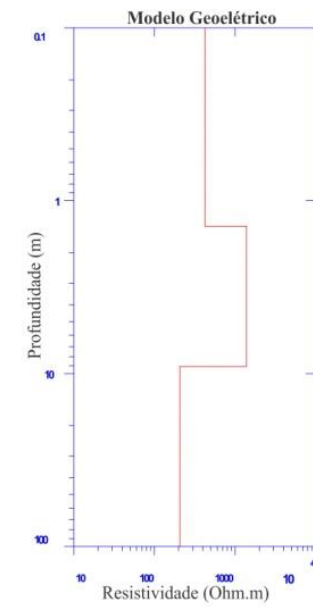
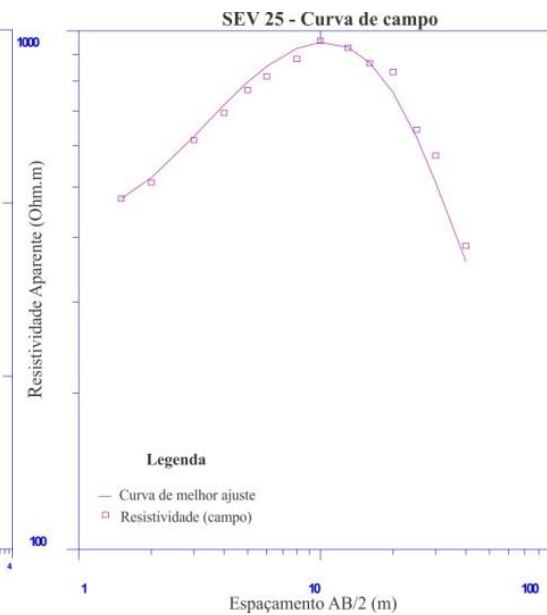
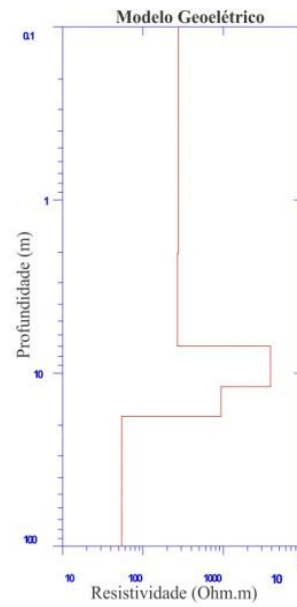
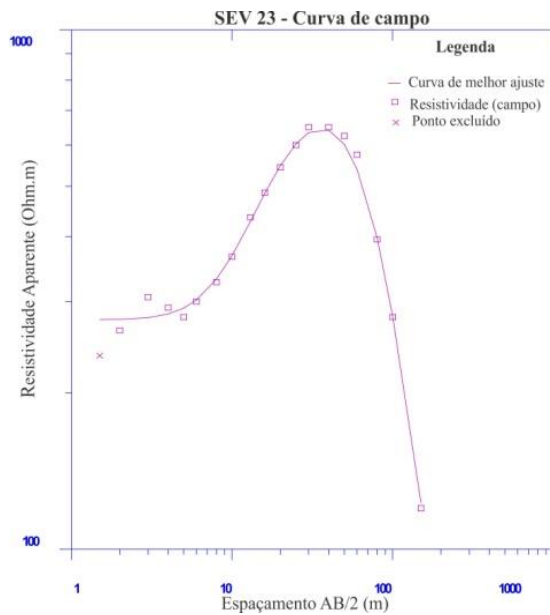
SEV12			
Cota: 603,8 m			
Nível Geométrico	Resistividade (Ohm.m)	Espessura (m)	Profundidade (m)
1	82,3	0,6	
2	123,1	12	0,6
3	161,4	14,4	12,6
4	21,4	-	27
Nível freático: 12,6 m			

SEV15			
Cota: 603,8 m			
Nível Geométrico	Resistividade (Ohm.m)	Espessura (m)	Profundidade (m)
1	469,7	2,4	
2	413,7	8,1	2,4
3	336,1	7	10,4
4	800,1	9,5	17,4
5	141,3	-	26,9
Nível freático: 10,4 m			



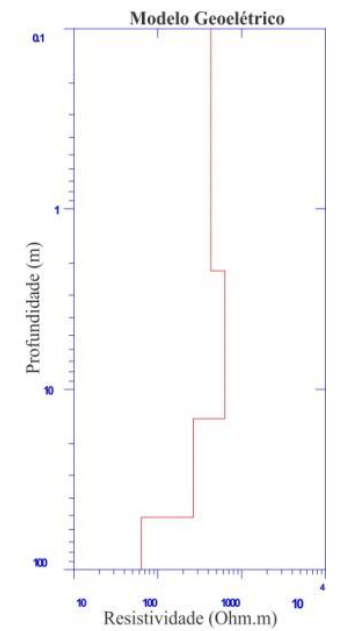
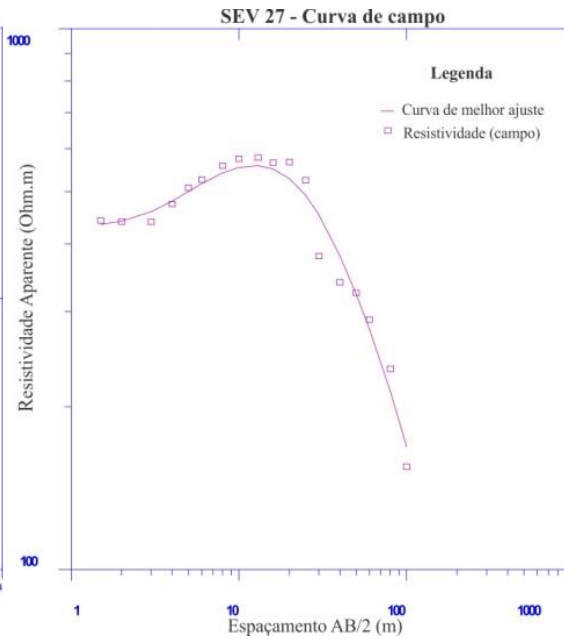
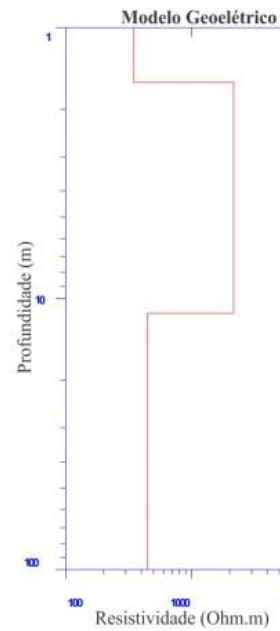
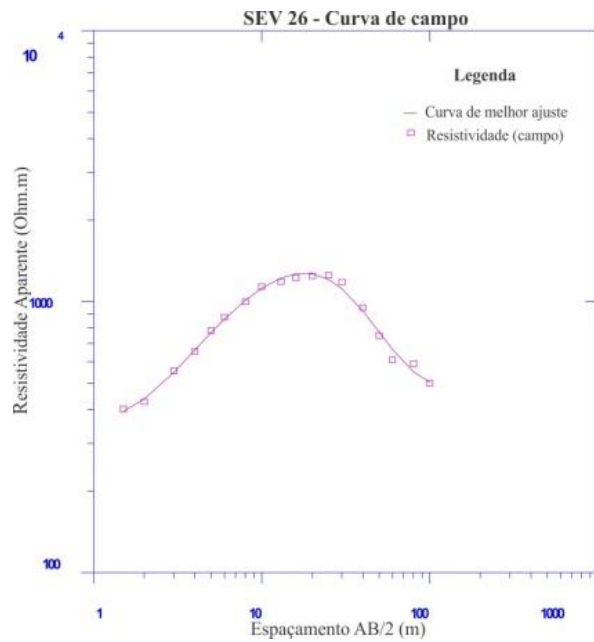
SEV17		Cota: 603,8 m	
Nível Geométrico	Resistividade (Ohm.m)	Espessura (m)	Profundidade (m)
1	225,1	0,8	
2	613	1,5	0,8
3	133	3,2	2,3
4	3156,2	4,3	5,5
5	108,8	-	9,8
Nível freático: 9,8 m			

SEV20		Cota: 603,8 m	
Nível Geométrico	Resistividade (Ohm.m)	Espessura (m)	Profundidade (m)
1	481,3	10,1	
2	2858,6	10,9	10,1
3	45,6	-	21
Nível freático: 10,1 m			



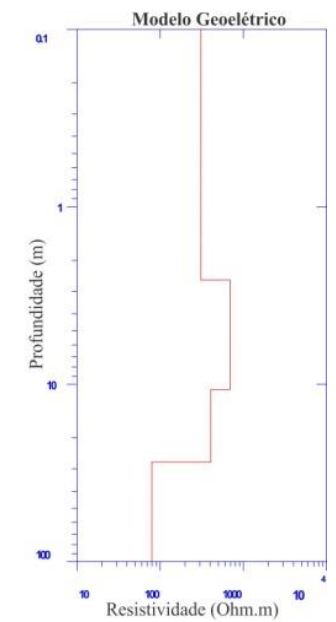
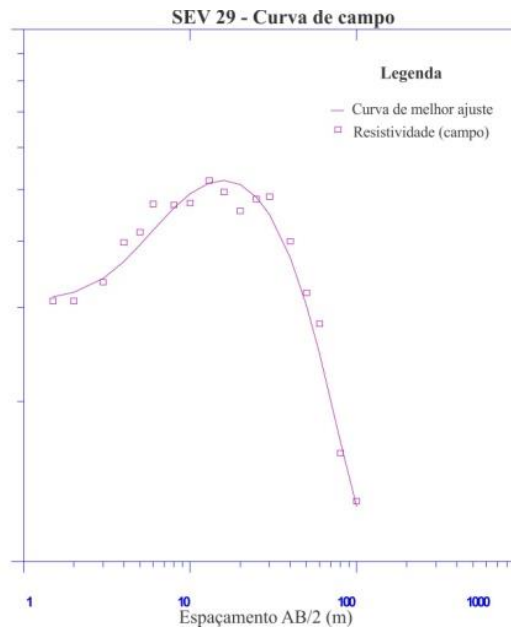
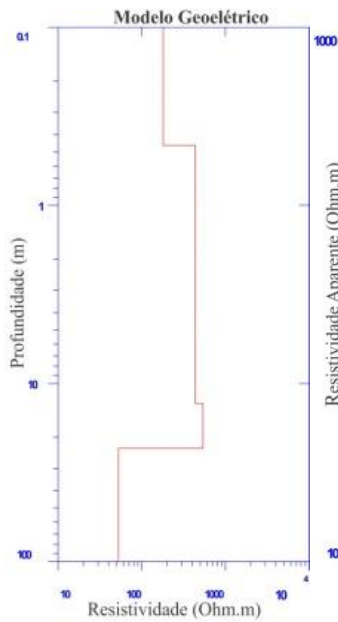
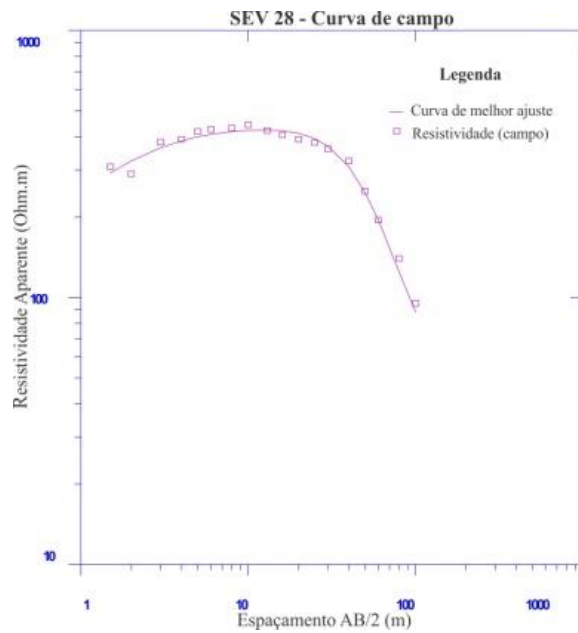
SEV23			
Cota: 603,8 m			
Nível Geométrico	Resistividade (Ohm.m)	Espessura (m)	Profundidade (m)
1	276,7	2	
2	268,1	5	2
3	3872,6	5	7
4	937,4	5,8	12
5	54,2	-	17,8
Nível freático: 12 m			

SEV25			
Cota: 603,8 m			
Nível Geométrico	Resistividade (Ohm.m)	Espessura (m)	Profundidade (m)
1	423,5	1,4	
2	1390,6	7,7	1,4
3	206		9,1
Nível freático: 9,1 m			



SEV26			
Cota: 603,8 m			
Nível Geométrico	Resistividade (Ohm.m)	Espessura (m)	Profundidade (m)
1	349,4	1,6	
2	2151,8	9,7	1,6
3	448,9		11,3
Nível freático: 11,3 m			

SEV27			
Cota: 603,8 m			
Nível Geométrico	Resistividade (Ohm.m)	Espessura (m)	Profundidade (m)
1	429,3	2,2	
2	631,4	12,3	2,2
3	264,6	36,7	14,5
4	64		51,2
Nível freático: 14,5 m			



SEV28			
Cota: 603,8 m			
Nível Geométrico	Resistividade (Ohm.m)	Espessura (m)	Profundidade (m)
1	180,9	0,5	
2	436,7	12,5	0,5
3	538,4	10,2	13
4	52,6		23,1
Nível freático: 13 m			

SEV29			
Cota: 603,8 m			
Nível Geométrico	Resistividade (Ohm.m)	Espessura (m)	Profundidade (m)
1	309,1	2,6	
2	689,9	8,1	2,6
3	406,7	16,7	10,7
4	79,7	-	27,4
Nível freático: 10,7 m			