

Júlio César Gomes Marques

DIAGNÓSTICO AMBIENTAL DE SOLO, ÁGUA
SUBTERRÂNEA E SUPERFICIAL NO
ENTORNO DO CEMITÉRIO MUNICIPAL
PARQUE CACHOEIRA EM BETIM-MG

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais –
IFMG
BAMBUÍ-MG
Maio/2017

Júlio César Gomes Marques

DIAGNÓSTICO AMBIENTAL DE SOLO, ÁGUA
SUBTERRÂNEA E SUPERFICIAL NO
ENTORNO DO CEMITÉRIO MUNICIPAL
PARQUE CACHOEIRA EM BETIM-MG

Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Sustentabilidade e Tecnologia Ambiental do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais - IFMG, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Sustentabilidade e Tecnologia Ambiental.

Área de concentração: Ciências Ambientais
Linha de Pesquisa: Tecnologias Ambientais
Orientadora: Prof.^a Dr.^a. Ariana C. S. Almeida
Coorientador: Prof. Dr. Neimar de Freitas Duarte



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
DE MINAS GERAIS

Avenida Professor Mário Werneck, nº. 2590, Bairro Buritis, Belo Horizonte, CEP 30575-180,
Estado de Minas Gerais



FICHA DE APROVAÇÃO

Dissertação de Mestrado, intitulada “**Diagnóstico Ambiental de Solo, Água Subterrânea e Superficial no Entorno do Cemitério Municipal Parque Cachoeira em Betim - MG**”, de autoria do mestrando em Sustentabilidade e Tecnologia Ambiental Júlio César Gomes Marques, aprovada pela Banca Examinadora de Defesa, em 12/05/2017, com a média de pontuação de 300,0.

Profª. Dra. Ariana Cristina Santos Almeida (IFMG-Ouro Preto) - Orientadora

Profº. Dr. Neimar de Freitas Duarte (IFMG-Santa Luzia) - Coorientador

Profº. Dr. Ricardo Sousa Cavalcanti (IFMG-BambuÍ)

Profº. Dr. Romeu Faria Thomé da Silva (E.S.Dom Hélder Câmara-BH)–Membro Externo

Prof. Dr. Gustavo Augusto Lacorte

Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Sustentabilidade e Tecnologia Ambiental
do IFMG

M357d Marques, Júlio César Gomes.
Diagnóstico ambiental de solo, água subterrânea e superficial no
entorno do cemitério municipal parque cachoeira em Betim-MG. / Júlio
César Gomes Marques. – 2017.
197 f.: il.

Orientador: Prof^a. Dra. Ariana Cristina Santos Almeida .
Dissertação de mestrado (Pós-graduação) – Instituto Federal de
Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais – Campus Bambuí,
MG, Mestrado Profissional em Sustentabilidade e Tecnologia Ambiental,
2017.

1. Análises ambientais. 2. Putrescina. 3. Cadaverina. 4. Necrochorume.
I. Almeida, Ariana Cristina Santos. II. Título.

CDD 631.4

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho àqueles que, incondicionalmente, me apoiaram a concretizá-lo; aos meus pais, Maria e Vicente, que, mesmo doentes, se esforçaram, me dando suporte, conselhos e conforto espiritual por meio de orações; ao meu irmão Carlos, pelo suporte em informática; à minha tia Lourdes, pelas incansáveis orações; à Lorena, por me salvar várias vezes com transporte; aos meus alunos, que nunca deixaram de me apoiar; à minha orientadora, Ariana Almeida, e ao meu coorientador, Neimar Duarte, pelo apoio e suporte técnico; e ao meu companheiro Jefferson, pela inesgotável disposição em me acompanhar, ajudar, aconselhar e minimizar o peso do fardo deste trabalho.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus e à minha família, Maria Marques, Vicente Marques, Carlos Marques, Leandro Marques e Lourdes de Fátima, pela motivação e realização deste trabalho.

Agradeço ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais – IFMG pela oportunidade de ofertar o programa e a linha de pesquisa desenvolvida, de tecnologias ambientais; aos professores tão especiais do programa, em especial à Professora Doutora orientadora Ariana Almeida e ao Professor Doutor coorientador Neimar de Freitas Duarte, pelo suporte técnico, orientações, incentivos e por terem acreditado neste projeto que significou muito para mim. Ao secretário do programa do mestrado do IFMG, Ronaldo dos Reis Barbosa, pelo profissionalismo, carinho e pelo incansável apoio. Aos professores Ricardo Cavalcanti e Gustavo Lacorte pela confiança.

Agradeço à Secretaria de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável da Prefeitura Municipal de Betim por me apoiar neste projeto, em especial, ao Doutor Rodrigo José Gonçalves, Ednard Barbosa, Jaqueline Santana, Vitor Coelho, Thaís Martins e Elaine Andrade. Agradeço às minhas amigas, Amanda França, Karen Vieira, Andria Almeida, Nívia Abelha, Sarita Pimenta e Lorena Marinho, pela força e apoio nos momentos de tensão, e ao meu amigo Paulo Taveira pela força e empréstimos de bibliografias essenciais. Agradeço à minha estagiária Luciane Matos pelo apoio neste projeto.

Aos meus amigos Tiago Borges, Aline Silva, Soraia Costa e aos meus queridos alunos do curso de Engenharia Ambiental da Faculdade Pitágoras da unidade de Betim-MG pelo apoio, força e compreensão.

Aos meus colegas do curso do Mestrado Profissional em Sustentabilidade e Tecnologia Ambiental, turma de 2015, nunca me esquecerei de vocês, foi a melhor turma da minha vida; em especial aos meus amigos Leonardo Lara e Karine Palhares, pelas várias e longas viagens para o cumprimento dos créditos das disciplinas do programa e pelo apoio. Agradeço à Monica Igarashi, do Laboratório Eurofins/Innolab do Rio de Janeiro/RJ, que executou com profissionalismo todas as demandas necessárias em todas as campanhas de amostragem.

Agradeço à minha grande amiga Fernanda Raggi, que me salvou inúmeras vezes, tendo um papel fundamental para a motivação, principalmente quando precisei de um ombro amigo para dividir o desespero e a ansiedade.

Agradeço, em especial, ao meu companheiro Jefferson Marques pela parceria sem medições de esforços neste projeto; você é o melhor do mundo!

*A alegria está na luta, na tentativa,
no sofrimento envolvido e não na
vitória propriamente dita.*

Mahatma Gandhi

RESUMO

Cemitérios são fontes potenciais de contaminação para o solo, água subterrânea e superficial, devido à geração de necrochorume no processo de decomposição de corpos. Neste contexto, o objetivo geral deste trabalho foi realizar um diagnóstico ambiental para verificar possíveis alterações da qualidade do solo, de aquíferos livres e das águas superficiais por necrochorume em uma área que abrange um raio de 400 m a partir do perímetro do Cemitério Municipal Parque Cachoeira, em Betim/MG, por meio de duas campanhas de amostragens principais, realizadas em duas estações distintas: a primeira em maio de 2016, representando o fim da estação chuvosa, e a segunda, em setembro de 2016, fim do período de estiagem. O diagnóstico consistiu em uma avaliação qualitativa, quantitativa, descritiva e explicativa por meio de estudo de caso. Os parâmetros definidos para água subterrânea e superficial foram: cadaverina, putrescina, clostrídios sulfito- redutores, coliformes termotolerantes, coliformes totais, dureza total, alcalinidade total, nitrogênio amoniacal, metais totais, mercúrio total, pH, temperatura, condutividade elétrica, oxigênio dissolvido, enxofre total, fósforo, sulfato, nitrato e nitrito, sendo estes cinco últimos avaliados somente para água subterrânea. A caracterização do solo consistiu na análise dos parâmetros: granulometria, fósforo, matéria orgânica, capacidade de troca catiônica, pH, permeabilidade e metais totais com a inclusão de mercúrio total. Para a realização do diagnóstico, delimitou-se a área na distância de 400 m do perímetro do cemitério. De acordo com as análises de solo, no interior do cemitério, a granulometria se mostrou com significativa porcentagem de grãos finos 48,9%, indicando potencial de retenção de microrganismos oriundos de necrochorume, e apresentou permeabilidade de $8,0 \times 10^{-5}$ cm/s, classificada como baixa, dentro da faixa aceitável de 10^{-5} a 10^{-7} cm/s. No interior do cemitério, o maior valor detectado foi de 6,64, indicando, provavelmente, que, nos processos transformativos, a fase de esqueletização influencia no aumento do pH nas áreas de sepultamento. Em relação às análises de metais, observou-se que a formação geológica da região influencia nas suas concentrações. Os resultados das amostras de água superficial apontaram reflexos negativos dos impactos ambientais devido ao uso e ocupação do solo na microbacia, e não pela operação do cemitério. A região do entorno não é impactada pela fase de coliquação, e a não interceptação com o nível do aquífero livre, no interior do cemitério, a granulometria predominante de silte, no fundo dos jazigos, e a baixa permeabilidade influenciam na retenção de diaminas, como Cadaverina e Putrescina. As atividades do cemitério não alteram a qualidade do solo e da água subterrânea e superficial do seu entorno, e as características hidrogeológicas observadas não influenciam no transporte de contaminantes das áreas interiores para as adjacentes ao cemitério.

PALAVRAS-CHAVE: Análises Ambientais; Putrescina; Cadaverina; Necrochorume.

ABSTRACT

Cemeteries are potential sources of contamination to soil, both groundwater and surface contaminations, due to the generation of necrochorume in the process of decomposition. The general objective of this work was carrying out an environmental diagnosis to verify possible changes in soil, free aquifers, and surface waters quality by necrochorume in an area that covers a radius of 400m from the perimeter of the Municipal Park Cachoeira Cemetery in Betim/MG. The study was performed with two main sampling campaigns, carried out in two distinct seasons: the first one being carried out in May 2016, representing the end of the rainy season; the second one in September 2016, at the end of the dry season. The diagnosis consisted of qualitative and quantitative, descriptive and explanatory assessment through a case study. The parameters defined for ground and superficial water were: cadaverine, putrescina, clostridium sulphite reducers, thermotolerant coliforms, total coliforms, total hardness, total alkalinity, ammoniacal nitrogen, total metals, total mercury, pH, temperature, electrical conductivity, dissolved oxygen, total sulfur, phosphorus, sulfate, nitrate and nitrite, the latter five being evaluated only for groundwater. The soil characterization consisted in analyzing the parameters: granulometry, phosphorus, organic matter, cation exchange capacity, pH, permeability and total metals with the inclusion of total mercury. In order to carry out the diagnosis, the area was delimited at a distance of 400 m from the perimeter of the cemetery. According to the soil analysis, the granulometry presented a significant percentage of fine grains in the graveyard- 48.9%, indicating a potential retention of microorganisms from necrochorume. It also presented a permeability of 8.0×10^{-5} cm/s, classified as low, within the acceptable range of 10^{-5} to 10^{-7} cm/s. Inside the cemetery, the highest value detected was 6,64, probably indicating that in the transformative processes, the skeletonization phase influences the increase of pH in the burial areas. In relation to the analysis of metals it was observed that the geological formation of the region influences the concentrations of metals. The results of surface water samples showed negative reflection in environment due to the use and occupation of the soil in the microbasin and not by the operation of the cemetery. The surrounding region is not impacted by the collapse phase; also the non-interception with the free aquifer level inside the graveyard, predominant silt granulometry at the bottom of the reservoirs as well as the low permeability can contribute to the retention of diamines such as Cadaverine and Putrescina. The activities of the cemetery did not alter the quality of the soil, groundwater and surface of its surroundings and the hydrogeological characteristics observed did not influence the transport of contaminants from the interior areas to those adjacent to the cemetery.

KEYWORDS: Environmental Analysis; Putrescina; Cadaverine; Necrochorume.

Lista de Figuras

Figura 2.1:	Modelo de risco à contaminação da água subterrânea.....	27
Figura 3.1:	Mapa com hidrografia regional – bacia do Rio Paraopeba.....	39
Figura 3.2:	Litologia Regional da microbacia do córrego Saraiva localizada em Betim-MG.....	43
Figura 3.3:	Pedologia Regional da microbacia do córrego Saraiva localizada em Betim-MG.....	45
Figura 3.4:	Domínio hidrogeológico da microbacia do córrego Saraiva localizada em Betim-MG.....	47
Figura 4.1:	Localização dos pontos de amostragem no interior e entorno do cemitério municipal Cachoeira localizado em Betim-MG.....	61
Figura 5.1:	Fachada principal do Cemitério Municipal Parque Cachoeira, Betim-MG.....	67
Figura 5.2:	Zoneamento municipal da área de estudo de acordo com o plano diretor de Betim-MG.....	68
Figura 5.3:	Vistas internas do cemitério Parque Cachoeira, Betim-MG (A e B).....	69
Figura 5.4:	Jazigo típico sem fundo impermeabilizado no cemitério Municipal Parque Cachoeira, Betim-MG.....	70
Figura 5.5:	Relevo da área do diagnóstico ambiental ao entorno do cemitério Parque Cachoeira, Betim-MG.....	73
Figura 5.6:	Mapa demográfico da área de estudo de acordo com o Sistema de Informações Geográficas – SisGeo da Prefeitura Municipal de Betim-MG.....	75
Figura 5.7:	Caracterização geral do interior e entorno do cemitério Cachoeira localizado em Betim-MG.....	76
Figura 5.8:	Exemplo de área de preservação permanente descaracterizada por pastagem localizada à nordeste em relação ao Cemitério Municipal Cachoeira em Betim, MG.....	81
Figura 5.9:	Precipitação acumulada no período de 18/02/2015 a 18/05/2015 – Mapa do dia 18/05/2015.....	83
Figura 5.10:	Precipitação acumulada no período de 28/06/2015 a 28/09/2015 – Mapa do dia 28/09/2015.....	83
Figura 5.11:	Precipitação acumulada no período de 18/02/2016 a 18/05/2016 – Mapa do dia 18/05/2016.....	84
Figura 5.12:	Precipitação acumulada no período de 28/06/2016 a 28/09/2016 – Mapa do dia 28/09/2015.....	84
Figura 5.13:	Fotografia de um perfil representativo de Neossolo Flúvico, córrego Saraiva, entorno do Cemitério Cachoeira, Betim (MG).....	86
Figura 5.14:	Fotografia de um perfil representativo de Latossolo Vermelho Amarelo em uma área adjacente ao Cemitério Cachoeira, Betim (MG).....	87
Figura 5.15:	Fotografia de um perfil representativo de Cambissolo nas proximidades do Cemitério Cachoeira, Betim (MG).....	89
Figura 5.16:	Fotografia de um perfil representativo de Cambissolo nas proximidades do Cemitério Cachoeira, Betim (MG).....	90

Figura 5.17:	Perfis de sondagens de simples reconhecimento executadas na área de estudo – SSR 1 e 2.....	92
Figura 5.18:	Perfis de sondagens de simples reconhecimento executadas na área de estudo – SSR 3 e 4.....	93
Figura 5.19:	Perfil de sondagem de simples reconhecimento executada na área de estudo – SSR 5.....	94
Figura 5.20:	Representação das porcentagens da granulometria obtidas dos perfis de solo da área de estudo – S1 a S4.....	96
Figura 5.21:	Representação das porcentagens da granulometria obtidas da amostra de solo do interior do cemitério – S5.....	97
Figura 5.22:	Valores de permeabilidade do solo.....	99
Figura 5.23:	Valores de pH no solo.....	99
Figura 5.24:	Valores de CTC no solo.....	100
Figura 5.25:	Valores de Fósforo no solo.....	100
Figura 5.26:	Valores de Matéria Orgânica no solo.....	100
Figura 5.27:	Modelamento para os valores de pH no solo.....	102
Figura 5.28:	Modelamento para os valores de matéria orgânica no solo.....	104
Figura 5.29:	Modelamento para os valores de capacidade de troca catiônica no solo.....	106
Figura 5.30:	Modelamento para os valores de cálcio no solo.....	111
Figura 5.31:	Hidrografia local – Microbacia do córrego Saraiva, Betim-MG.....	115
Figura 5.32:	Fotografia de uma porção do Córrego Saraiva (Vistas A e B), Betim (MG).....	116
Figura 5.33:	Fotografia do ponto de amostragem ASUP3 no Córrego Cachoeira, Betim (MG).....	116
Figura 5.34:	Fotografia do ponto de amostragem ASUP4 no Córrego Santa Fé, Betim (MG).....	117
Figura 5.35:	Valores de pH na água superficial.....	119
Figura 5.36:	Valores de temperatura da água superficial.....	119
Figura 5.37:	Valores de Condutividade elétrica na água superficial.....	120
Figura 5.38:	Concentração de Oxigênio dissolvido na água superficial.....	120
Figura 5.39:	Concentração de Cadaverina na água superficial.....	125
Figura 5.40:	Concentração de Putrescina na água superficial.....	125
Figura 5.41:	Concentração de Dureza Total na água superficial.....	127
Figura 5.42:	Concentração de Alcalinidade Total na água superficial.....	127
Figura 5.43:	Concentração de Nitrogênio Amoniacal na água superficial.....	128
Figura 5.44:	Clostrídios Sulfito-Redutores na água superficial.....	132
Figura 5.45:	Coliformes Termotolerantes na água superficial.....	132
Figura 5.46:	Coliformes Totais na água superficial.....	133
Figura 5.47:	Concentração de Alumínio na água superficial.....	137
Figura 5.48:	Concentração de Bário na água superficial.....	137
Figura 5.49:	Concentração de Cálcio na água superficial.....	137
Figura 5.50:	Concentração de Cobalto na água superficial.....	137
Figura 5.51:	Concentração de Cromo na água superficial.....	138
Figura 5.52:	Concentração de Estrôncio na água superficial.....	138
Figura 5.53:	Concentração de Ferro na água superficial.....	138
Figura 5.54:	Concentração de Lítio na água superficial.....	138

Figura 5.55:	Concentração de Magnésio na água superficial.....	139
Figura 5.56:	Concentração de Manganês na água superficial.....	139
Figura 5.57:	Concentração de Potássio na água superficial.....	139
Figura 5.58:	Concentração de Sódio na água superficial.....	139
Figura 5.59:	Mapa potenciométrico local elaborado para o entorno do cemitério Cachoeira, Betim (MG) em setembro de 2016.....	143
Figura 5.60:	Valores de pH na água subterrânea.....	145
Figura 5.61:	Valores de Temperatura da água subterrânea.....	145
Figura 5.62:	Valores de Condutividade elétrica na água subterrânea.....	146
Figura 5.63:	Concentração de Oxigênio dissolvido na água subterrânea.....	146
Figura 5.64:	Modelamento para pH na água subterrânea.....	148
Figura 5.65:	Concentração de Dureza Total na água subterrânea.....	155
Figura 5.66:	Concentração de Alcalinidade Total na água subterrânea.....	155
Figura 5.67:	Concentração de Enxofre Total na água subterrânea.....	155
Figura 5.68:	Concentração de Fósforo na água subterrânea.....	155
Figura 5.69:	Concentração de Sulfato na água subterrânea.....	156
Figura 5.70:	Concentração de Nitrato na água subterrânea.....	156
Figura 5.71:	Concentração de Nitrito na água subterrânea.....	156
Figura 5.72:	Concentração de Nitrogênio Amoniacal na água subterrânea.....	156
Figura 5.73:	Modelamento para concentrações de alcalinidade na água subterrânea.....	158
Figura 5.74:	Modelamento para concentrações de nitrogênio amoniacal na água subterrânea.....	162
Figura 5.75:	Clostrídios Sulfito-Redutores na água subterrânea.....	164
Figura 5.76:	Coliformes Termotolerantes na água subterrânea.....	164
Figura 5.77:	Concentração de Coliformes Totais na água subterrânea.....	165
Figura 5.78:	Concentração de Alumínio na água subterrânea.....	169
Figura 5.79:	Concentração de Arsênio na água subterrânea.....	169
Figura 5.80:	Concentração de Bário na água subterrânea.....	169
Figura 5.81:	Concentração de Cádmio na água subterrânea.....	169
Figura 5.82:	Concentração de Cálcio na água subterrânea.....	170
Figura 5.83:	Concentração de Chumbo na água subterrânea.....	170
Figura 5.84:	Concentração de Cobalto na água subterrânea.....	170
Figura 5.85:	Concentração de Cobre na água subterrânea.....	170
Figura 5.86:	Concentração de Cromo na água subterrânea.....	171
Figura 5.87:	Concentração de Estanho na água subterrânea.....	171
Figura 5.88:	Concentração de Estrôncio na água subterrânea.....	171
Figura 5.89:	Concentração de Ferro na água subterrânea.....	171
Figura 5.90:	Concentração de Lítio na água subterrânea.....	172
Figura 5.91:	Concentração de Magnésio na água subterrânea.....	172
Figura 5.92:	Concentração de Manganês na água subterrânea.....	172
Figura 5.93:	Concentração de Mercúrio na água subterrânea.....	172
Figura 5.94:	Concentração de Níquel na água subterrânea.....	173
Figura 5.95:	Concentração de Potássio na água subterrânea.....	173
Figura 5.96:	Concentração de Sódio na água subterrânea.....	173
Figura 5.97:	Concentração de Zinco na água subterrânea.....	173

Lista de Tabelas

Tabela 4.1:	Comparação dos parâmetros analisados nos estudos dos artigos selecionados.....	50
Tabela 4.2:	Plano de amostragem definido para a área em estudo.....	55
Tabela 4.3:	Metodologias de amostragem e ensaios laboratoriais para solo e água.....	56
Tabela 4.4:	Coordenadas e altimetria dos pontos de amostragem de solo na área do diagnóstico ambiental em Betim, MG.....	57
Tabela 4.5:	Coordenadas e altimetria dos pontos de amostragem de água subterrânea na área do diagnóstico ambiental em Betim, MG.....	59
Tabela 4.6:	Coordenadas e altimetria dos pontos de amostragem de água superficial no entorno do Cemitério Cachoeira em Betim, MG.....	60
Tabela 4.7:	Legislações consultadas para realização da discussão dos resultados.....	66
Tabela 5.1:	Quadras do cemitério Cachoeira localizado em Betim-MG e regime de operação.....	69
Tabela 5.2:	Avaliação quanto ao atendimento às Resoluções CONAMA nº 335/2003, nº 386/2006 e nº 402/2008.....	71
Tabela 5.3:	Descrição morfológica dos horizontes dos perfis amostrados no entorno do Cemitério Municipal Cachoeira em Betim, MG.....	85
Tabela 5.4:	Objetivos das sondagens de simples reconhecimento executadas na área do diagnóstico ambiental em Betim, MG.....	91
Tabela 5.5:	Resultados das análises granulométricas do solo dos horizontes A (S1) e B (S2 a S4) – 1ª Campanha – maio/16.....	96
Tabela 5.5A:	Resultados das análises granulométricas do solo do horizonte B (S5) – 2ª Campanha – setembro/16.....	97
Tabela 5.6:	Resultados das análises físico-químicas do solo dos horizontes A (S1) e B (S2 a S4) – 1ª Campanha (maio/16) e 2ª Campanha (setembro/16).....	99
Tabela 5.7:	Resultados das análises de metais nas amostras do solo dos horizontes A (S1) e B (S2 a S7) – 2ª Campanha (setembro/16) e 3ª (novembro/16).....	108
Tabela 5.8:	Resultados das análises físico-químicas nas amostras de água superficial – 1ª Campanha (maio/16) e 2ª Campanha (set./16).....	119
Tabela 5.9:	Resultados das análises de amins nas amostras de água superficial – 1ª Campanha (maio/16) e 2ª Campanha (set./16).....	125
Tabela 5.10:	Resultados das análises de Dureza Total, Alcalinidade Total e Nitrogênio Amoniacal na água superficial – 1ª Campanha (maio/16) e 2ª Campanha set./16).....	127
Tabela 5.11:	Resultados das análises microbiológicas nas amostras de água superficial – 1ª Campanha (maio/16) e 2ª Campanha (set./16).....	132
Tabela 5.12:	Resultados das análises de metais totais nas amostras de água superficial – 1ª Campanha (maio/16) e 2ª Campanha (set./16).....	136
Tabela 5.13:	Determinação de cargas hidráulicas dos poços e sondagens de simples reconhecimento do entorno do cemitério Cachoeira, Betim (MG).....	142

Tabela 5.14:	Resultados das análises físico-químicas nas amostras de água subterrânea – 1ª Campanha (maio/16) e 2ª Campanha (set./16).....	145
Tabela 5.15:	Resultados das análises de amins nas amostras de água subterrânea – 1ª Campanha (maio/16) e 2ª Campanha (set./16).....	152
Tabela 5.16:	Resultados das análises de Dureza total, Alcalinidade total, Enxofre total, Fósforo, Sulfato, Nitrato, Nitrito e Nitrogênio amoniacal nas amostras de água subterrânea – 1ª Campanha (maio/16) e 2ª Campanha (set./16).....	154
Tabela 5.17:	Resultados das análises microbiológicas nas amostras de água subterrânea – 1ª Campanha (maio/16) e 2ª Campanha (set./16).....	164
Tabela 5.18:	Resultados das análises de metais totais nas amostras de água subterrânea – 1ª Campanha (maio/16) e 2ª Campanha (set./16).....	168

Lista de Abreviaturas e Siglas

APHA	<i>American Public Health Association</i>
ASUB-X	Ponto de amostragem de água subterrânea
ASUP-X	Ponto de amostragem de água superficial
AWWA	<i>American Water Works Association</i>
CAPES	Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
CE	Ceará
CERH	Conselho Estadual de Recursos Hídricos
CETESB	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
COPAM	Conselho Estadual de Política Ambiental
CTC	Capacidade de Troca Catiônica
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
DF	Distrito Federal
DQO	Demanda Química de Oxigênio
E	Leste
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
ES	Espírito Santo
GO	Goiás
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
LD	Limite de detecção reportado
LQ	Limite de quantificação reportado
MEC	Ministério da Educação
MG	Minas Gerais
MIF	<i>Merthiolate-Iodo-Formol</i>
N	Norte
Na	Não analisado
NA	Não aplicável
NBR	Norma Brasileira Regulamentadora
Nd	Não detectado
NE	Não especificado
pH	Potencial hidrogeniônico
RJ	Rio de Janeiro
S	Sul
SMEWW	<i>Standard Methods For The Examination Of Water And Wastewater</i>
SPT	<i>Standard Penetration Test</i>
S-X	Ponto de amostragem de solo
TDS	Total de Sais Dissolvidos
Un	Unidade
UTM	Universal Transversa de Mercator
VMP	Valor máximo permitido
W	Oeste

Lista de Símbolos

°C	Graus Celsius
Cm	Centímetros
cm/h	Centímetro por hora
cm/s	Centímetro por segundo
Cr	Cromo
Cu	Cobre
Fe	Ferro
g	Gramas
g/cm ³	Grama por centímetro cúbico
h	Hora
i	Intervalo
K	Quilômetro
Kg	Quilograma
L	Litro
m	Metro
mg	Miligramas
mg/L	Miligrama por litro
mL	Mililitros
mmol	Minimol
Pb	Chumbo
mm	milímetros
%	Porcentagem
Zn	Zinco
µS/cm	Micro Siemens por cm
H ₂ SO ₄	Ácido sulfúrico
HNO ₃	Ácido nítrico
mg/Kg	Miligramas por quilo
NMP/100 mL	Número mais provável por cem mililitros
O ₂	Oxigênio
OD	Oxigênio dissolvido
OH	Hidróxidos
HCO ⁻³	Bicarbonatos
CO ₃ ²⁻	Carbonatos
Ca ²⁺	Cálcio ionizado
CaMg ²⁺	Cálcio de magnésio
µg	Microgramas
µS	Microsiemens
Δx	Distância horizontal em cm
Δy	Distância vertical

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	19
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	22
	2.1 Cemitérios	22
	2.2 Fenômenos transformativos	24
	2.3 Necrochorume e os impactos ambientais relacionados à operação de cemitérios.....	26
	2.4 Disponibilização de metais pesados por operação de cemitérios	29
	2.5 A importância do solo na retenção de microrganismos patogênicos	30
	2.6 Legislações ambientais aplicáveis para a regularização de cemitérios.....	32
	2.7 Parâmetros indicadores de qualidade da água subterrânea em cemitérios.....	34
3	CARACTERIZAÇÃO REGIONAL	37
	3.1 Relevô	37
	3.1.1 Rampas de colúvio	37
	3.1.2 Planícies fluviais	37
	3.2 Clima	38
	3.3 Hidrografia	38
	3.4 Vegetação	40
	3.5 Geologia.....	40
	3.5.1 Litologia.....	42
	3.5.2 Pedologia.....	44
	3.6 Hidrogeologia.....	46
4	MATERIAIS E MÉTODOS	48
	4.1 Determinação do tipo de pesquisa	48
	4.2 Determinação dos parâmetros para amostragem de solo, água subterrânea e superficial.....	48
	4.3 Delimitação da área de abrangência do diagnóstico ambiental.....	53
	4.4 Plano de amostragem de solo, água subterrânea e superficial.....	53
	4.5 Determinação dos pontos de amostragem.....	57
	4.5.1 Solo	57
	4.5.2 Água subterrânea.....	58
	4.5.3 Água superficial	59
	4.5.4 Localização georreferenciada dos pontos de amostragem determinados para solo, água subterrânea e superficial.....	60
	4.6 Metodologia para caracterização do cemitério, entorno e obtenção de dados de precipitação pluviométrica.....	62
	4.7 Elaboração de mapas temáticos.....	63
	4.8 Legislações ambientais consultadas.....	66
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	67
	5.1 Caracterização do Cemitério Municipal Parque Cachoeira	67
	5.1.1 Avaliação das condições ambientais gerais do cemitério segundo os requisitos estabelecidos pelas Resoluções CONAMA nº 335/2003, nº 386/2006 e nº 402/2008.....	70
	5.2 Caracterização do entorno do Cemitério Municipal Parque Cachoeira.....	72
	5.2.1 Relevô da área do diagnóstico ambiental	72
	5.2.2 Uso e ocupação do solo no entorno do Cemitério Municipal Cachoeira em Betim-MG74	

5.2.3 Pluviometria da área de estudo.....	82
5.3 Resultados para solo.....	85
5.3.1 Avaliação de perfis de solo identificados.....	85
5.3.1.1 Neossolo flúvico.....	85
5.3.1.2 Latossolo Vermelho Amarelo	87
5.3.1.3 Cambissolo.....	88
5.3.2 Realização de sondagem de simples reconhecimento conforme NBR 6484.....	90
5.3.3 Discussão dos resultados para solo	95
5.3.3.1 Análises granulométricas	95
5.3.3.2 Análises físico-químicas	98
5.3.4.3 Análises de metais totais	107
5.4 Resultados para água superficial	114
5.4.1 Hidrografia identificada na área delimitada de estudo.....	114
5.4.2 Discussão dos resultados para a água superficial.....	117
5.4.2.1 Análises físico-químicas	118
5.4.2.2 Análises de diaminas.....	124
5.4.2.3 Análises de Dureza total, Alcalinidade total e Nitrogênio amoniacal.....	126
5.4.2.3 Análises microbiológicas	131
5.4.2.4 Análises de metais totais	135
5.5 Resultados para água subterrânea	141
5.5.1 Determinação do sentido do fluxo do aquífero livre na área do diagnóstico ambiental	141
5.5.2 Discussão dos resultados para a água subterrânea	144
5.5.2.1 Análises físico-químicas	144
5.5.2.2 Análises de diaminas.....	151
5.5.2.3 Análises de Dureza total, Alcalinidade total, Enxofre total, Fósforo, Sulfato, Nitrato, Nitrito e Nitrogênio amoniacal.....	153
5.5.2.4 Análises microbiológicas	163
5.5.2.5 Análises de metais totais	167
6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	185
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	190

1 INTRODUÇÃO

Os impactos ambientais são ocasionados pelas atividades potencialmente ou efetivamente poluidoras exercidas por empreendimentos que não realizam controle de seus aspectos, podendo liberar substâncias prejudiciais à saúde humana e ao meio ambiente.

Cemitérios são fontes potenciais de contaminação para o solo, água subterrânea e superficial devido à geração de necrochorume no processo de decomposição de corpos.

Considerando-se a vulnerabilidade à contaminação em áreas onde operam cemitérios, quando não se realiza o controle ambiental no processo de sepultamento de corpos, eles podem representar um grande risco ao meio ambiente e à saúde pública.

Os riscos ao meio ambiente são originados pela contaminação do solo e águas subterrâneas por substâncias e microrganismos que compõem o necrochorume no processo de percolação da zona não saturada do solo até o aquífero livre.

Quanto aos riscos à saúde pública, a água subterrânea e superficial com qualidade alterada, estas substâncias e microrganismos podem causar na população, que utilizam destes recursos, doenças de veiculação hídrica provocadas por vírus, bactérias e protozoários tais como gastroenterite, febre tifóide, hepatite, disenteria e diarreias.

Os fatores hidrogeológicos da região onde se insere um cemitério podem influenciar na retenção ou propagação destas substâncias e microrganismos, tais como distância do nível do aquífero livre em relação ao fundo de sepulturas, granulometria, condutividade hidráulica e coluna de zona não saturada do solo.

Neste contexto, o objetivo geral deste trabalho foi realizar um diagnóstico ambiental para verificar possíveis alterações da qualidade do solo, de aquíferos livres e das águas superficiais por necrochorume.

Os objetivos específicos deste diagnóstico foram:

- Realizar revisão sistemática para subsidiar a determinação dos parâmetros utilizados e dos laboratórios contratados para a execução do diagnóstico;
- Determinar o plano de amostragem;

- Realizar pesquisa bibliográfica e caracterização ambiental regional e local da área do diagnóstico;
- Avaliar as condições ambientais gerais do cemitério segundo os requisitos estabelecidos pelas Resoluções CONAMA nº 335/2003, nº 386/2006 e nº 402/2008;
- Verificar a ocorrência do nível do aquífero livre na área do cemitério e em áreas adjacentes a ele por meio de sondagens de simples reconhecimento e pesquisa de existência de pontos de captação de água subterrânea na área do cemitério e no seu entorno;
- Realizar amostragens de solo por meio de perfis e sondagens de simples reconhecimento;
- Realizar amostragens de água subterrânea por meio de sondagens de simples reconhecimento e pontos de captação de água subterrânea identificados na área de estudo;
- Realizar amostragens de água superficial por meio dos corpos hídricos localizados dentro da área de estudo;
- Realização de amostragem-testemunha (*background*) para solo, água subterrânea e superficial em pontos de monitoramento situados fora da área delimitada de estudo;
- Verificar as propriedades físicas e químicas do solo;
- Verificar a qualidade ambiental da água subterrânea e superficial por meio de análises físico-químicas e microbiológicas;
- Apresentar mapas temáticos das concentrações obtidas dos parâmetros detectados em solo e água subterrânea, quando aplicáveis;
- Realizar a discussão dos resultados com base na caracterização ambiental da área de estudo, trabalhos científicos publicados referentes a cemitérios e legislações ambientais vigentes que estabelecem padrões de potabilidade para água, qualidade para a água subterrânea, superficial e do solo.

Para este diagnóstico, levantaram-se duas principais hipóteses:

- Alteração da qualidade do solo e da água subterrânea e superficial para a área delimitada de estudo ocasionada pela operação do cemitério sem a adoção de medidas de controle ambiental no processo de sepultamento;
- Influências das características hidrogeológicas no transporte de contaminantes das áreas interiores para as adjacentes ao cemitério.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Cemitérios

Segundo Almeida & Macêdo (2005), a palavra cemitério (do grego *koumetérion*, de *kmão*, eu durmo), designava, a princípio, o lugar onde se dorme, quarto, dormitório. Foi sob a influência do cristianismo que o termo tomou o sentido de "campo de descanso após a morte". Tem como sinônimos: necrópole, carneiro, sepulcrário, campo santo, "cidade dos pés juntos" e "última moradia".

Campos (2007) classifica dois tipos de sepultamentos, a inumação e a tumulação. Inumação é o processo de enterrar o cadáver em cova aberta e aterrada a profundidades entre 1,10 a 1,50 metros, ou colocá-lo à superfície coberto por terra e pedras, ou, ainda, depositá-lo em cavidade ou caixa devidamente resguardada. Tumulação é o processo de sepultar o cadáver em carneiros, popularmente conhecidos por gavetas, construídas parcial ou totalmente subterrâneas, em alvenaria ou concreto e em formato de caixas retangulares, com profundidade máxima de cinco metros, as quais recebem os caixões e são lacradas.

Segundo Silva & Malagutti Filho (2008), durante a Idade Média, instaurou-se o costume de sepultar os mortos em igrejas e imediações, sendo que o processo de sepultamento predominante era por inumação, em que havia apenas recobrimento de solo em profundidades que variavam de 1,0 a 2,0 m. De acordo com Pacheco *et al.* (1988), em pesquisas realizadas em cemitérios de São Paulo e Santos, observou-se a predominância de sepultamento pelo método de inumação, ou seja, enterramento por cova simples.

Segundo Campos (2007), os tipos de cemitérios existentes no Brasil são:

- Cemitério tradicional: são necrópoles compostas por alamedas pavimentadas, que contêm túmulos semienterrados, mausoléus, capelas com altar, crucifixos e imagens, monumentos funerários revestidos de mármore e granitos, com pouca ou nenhuma arborização;
- Cemitério parque ou jardim: construído com carneiros, popularmente chamados de gavetas no solo, cobertos por gramados e árvores, isentos de

construções tumulares. As sepulturas são identificadas por uma lápide de pequenas dimensões, ao nível do chão;

- Cemitério vertical: construído de forma vertical, acima do nível do solo, sem contato com este, sendo os corpos sepultados separadamente em gavetas, um ao lado do outro, formando andares. A circulação de visitantes é feita por meio de escadas ou elevadores e corredores;
- Crematório: destina-se à incineração de cadáveres. É uma instalação composta por fornos com filtros para retenção de material particulado, que cremam corpos em compartimentos isolados. Após a cremação, as cinzas são entregues aos familiares em urna apropriada.

De acordo com Migliorini (1994), a localização de cemitérios ocorre, preferencialmente, em áreas afastadas dos centros urbanos. Porém, em municípios populosos, como São Paulo-SP, devido a um processo de intensa urbanização, é comum identificar cemitérios totalmente integrados à malha urbana. Para Silva & Malagutti Filho (2008), os cemitérios que se localizam distantes da população, atualmente, encontram-se no meio das cidades, em decorrência da urbanização acelerada e desordenada pelas quais estas passaram.

De acordo com Üçisik & Rushbrook (1998), a maioria dos cemitérios existentes foi implantada desconsiderando-se os riscos potenciais para o ambiente ou a comunidade local, sendo geralmente construídos próximos a assentamentos, devido a circunstâncias religiosas e culturais.

Para Silva & Malagutti Filho (2008), a partir do século XVIII, por razões de saúde pública, proibiu-se o sepultamento nos locais habituais, tornando-se costume os sepultamentos ao ar livre, o mais longe possível do perímetro urbano.

Segundo Migliorini (1994), os cemitérios são fontes potenciais de impactos ambientais, principalmente quanto ao risco de contaminação das águas subterrâneas e superficiais por bactérias e vírus que proliferam durante os processos de decomposição dos corpos, além de substâncias químicas liberadas.

De acordo com Silva & Malagutti Filho (2008), a principal causa da poluição ambiental pelos cemitérios é o líquido liberado intermitentemente pelos cadáveres em putrefação, denominado de necrochorume.

Para Pacheco *et al.* (1988), a falta de terrenos disponíveis nas áreas urbanas, o nível do aquífero, o tipo de solo, a topografia irregular e os projetos deficientes de localização e implantação de cemitérios são problemas que colocam essas construções como risco potencial para as águas de abastecimento.

2.2 Fenômenos transformativos

De acordo com Pacheco *et al.*, (2008), o cadáver, após o sepultamento, fica suscetível aos fenômenos transformativos, que podem ser destrutivos, quando expostos a condições ambientais favoráveis (tipo de solo, temperatura e umidade), ou conservativos, no caso de o local não possuir as condicionantes ambientais favoráveis, além de interferirem outros fatores intrínsecos ao cadáver.

Silva (1999) e Campos (2007) afirmam que algumas condições específicas são favoráveis e influenciam na decomposição de cadáveres, dentre elas: idade (recém-nascidos decompõem-se mais rápido que os adultos), constituição do corpo (indivíduos mais obesos transformam-se mais rapidamente) e *causa-mortis* (a putrefação é acelerada em corpos que sofreram mutilações, infecções ou estados gangrenosos).

Conforme Pacheco (1986), Pacheco & Batello (2000) e Campos (2007), os fenômenos destrutivos dos corpos obedecem à sequência natural de processos: mudança de coloração, gaseificação, coliquação e a esqueletização:

- Coloração: fenômeno natural de transformação cadavérica, iniciado por uma mancha verde, na parte inicial do intestino grosso, expandindo-se pelo abdômen, cabeça e membros - objeto da reação do gás sulfídrico com a hemoglobina, formando a sulfometemoglobina. Este período dura até sete dias após o óbito e depende de fatores intrínsecos e extrínsecos aos cadáveres;
- Gaseificação: fase em que os gases desenvolvidos no interior do cadáver espalham-se pelo corpo, conferindo-lhe aspecto inchado, onde ocorre a ruptura das paredes abdominais, durando em média três semanas, dependendo das condições do ambiente, com liberação dos gases sulfídrico, dióxido de carbono, amônia, fosfina, mercaptana e metano;

- Coliquação: fase em que ocorre a dissolução das partes moles dos cadáveres pela ação de bactérias e da fauna necrófaga, composta de germes putrefativos, larvas e insetos. Neste período, o cadáver perde o seu formato, formando-se o necrochorume, e pode durar até oito meses, em temperaturas variando de 18°C a 25°C;
- Esqueletização: ocorre após a completa decomposição da matéria orgânica, podendo durar de vários meses a alguns anos, dependendo principalmente das condições ambientais, como umidade e temperatura.

Para Pacheco *et al.*, (2008), os fenômenos de transformação conservativa compreendem mumificação e saponificação, ligados geralmente a fatores ambientais. De acordo com Campos (2007), a mumificação é a dessecação ou desidratação dos tecidos do cadáver, com conservação de seus caracteres morfológicos, e perda de 50 a 70% do peso pela desidratação e desengorduração, retração da pele e coloração escura.

Alcântara *et al.* (2010) consideram a mumificação como um fenômeno natural em que ocorre a desidratação rápida do corpo, facilitando a sua preservação durante muitos anos. Segundo Pacheco & Batello (2000) e Pacheco *et al.* (2008), a mumificação está relacionada à baixíssima “umidade relativa”, que inibe a proliferação dos compostos putrefativos.

Segundo Campos (2007), a saponificação, ou adipocera, caracteriza-se pela hidrólise da gordura, com a liberação de ácidos graxos (triglicerídios) presentes no tecido adiposo, que têm acidez e se unem a minerais do organismo, tais como cálcio e magnésio, formando sabão e inibindo a ação de bactérias putrefativas, o que retarda a decomposição do cadáver.

Para Alcântara *et al.* (2010), na saponificação ocorre a formação de adipocera (massa branca, mole e quebradiça formada nos tecidos e órgãos dos cadáveres), que surge quando o corpo é sepultado em ambiente úmido ou pantanoso. Pacheco *et al.* (2008) afirmam que o excesso de umidade inibe a atuação dos germes de decomposição da matéria orgânica.

2.3 Necrochorume e os impactos ambientais relacionados à operação de cemitérios

Segundo Neira *et al.* (2008), alguns impactos ambientais relacionados a águas subterrâneas podem ser provenientes de cemitérios, considerando-se que, na construção da maioria destas necrópoles, não são levados em conta estudos geológicos e hidrogeológicos, podendo representar alto risco de contaminação durante a decomposição dos corpos. Castro (2008) afirma que o produto desta decomposição gera gases e líquidos putrefeitos, conhecido genericamente por necrochorume.

Conforme Almeida & Macedo (2005), o necrochorume é um produto líquido viscoso, de cor castanho-acinzentado, com forte odor e de variado grau de patogenicidade, podendo esta substância proliferar em um raio superior a 400 metros de distância do cemitério. Esta proliferação dependerá da geologia da região e da relação entre o volume de necrochorume produzido e o peso do corpo humano, que, normalmente, é de cerca de 0,60 litros por um quilograma. Lopes (2000) e Carneiro (2009) também mencionam que essas substâncias podem se propagar em um raio superior a 400 metros de distância do cemitério, a depender da geologia da região.

De acordo com Üçisik & Rushbrook (1998), o corpo humano de um adulto de 70 kg contém aproximadamente: 16000 g de carbono, 1800 g de nitrogênio, 110 g de cálcio, 500 g de fósforo, 140 g de enxofre, 140 g de potássio, 100 g de sódio, 95 g de cloreto, 19 g de magnésio, 4,2 g de ferro e média de 65% do peso de água. Para Silva (2008), o necrochorume corresponde a um líquido viscoso mais denso que a água (1,23 g/cm³), rico em sais minerais e substâncias orgânicas degradáveis, elevada DBO, de coloração castanho-acinzentado, polimerizável e com grau variado de patogenicidade.

Segundo Almeida & Macedo (2005), Neira *et al.* (2008), a constituição do necrochorume é de 60% de água, 30% de sais minerais e 10% de substâncias orgânicas, duas delas altamente tóxicas - Cadaverina (C₅H₁₄N₂) e Putrescina (C₄H₁₂N₂) - que produzem, nos seus processos de decomposição, o íon amônio e também podem conter microrganismos patogênicos. Conforme Silva (1998) e Enetério (2009), essas substâncias correspondem a 10% do necrochorume. Cadaverina e Putrescina não são parâmetros comuns em avaliações ambientais de qualidade de água subterrânea e

superficial em estudos de cemitérios, e em legislações brasileiras e estaduais não existem valores máximos permitidos estabelecidos para elas.

Para Kemerich *et al.* (2012), o necrochorume gerado pela decomposição dos corpos humanos apresenta uma carga poluidora elevada e, em virtude do local onde se encontra, poderá atingir e contaminar o solo e os recursos hídricos superficiais e subterrâneos. Segundo Matos (2001), com o rompimento dos tecidos, o necrochorume pode atingir o aquífero, transportado pelas chuvas infiltradas nas covas ou pelo contato das substâncias decompostas dos corpos com a água subterrânea.

De acordo com Pacheco *et al.* (1988) e Enetério (2009), o aquífero livre pode ser contaminado na área interna de um cemitério, tornando-se um risco à saúde pública e estendendo-se para regiões próximas - resultado da localização e da operação inadequadas de cemitérios urbanos.

Hino (2015) apresenta um modelo, adaptado de Pacheco (1986), de quatro situações de sepultamento e seus respectivos riscos à contaminação da água subterrânea, pela pluma de contaminante, conforme o local de sepultamento e a relação dos materiais geológicos, profundidade do nível do aquífero e os aspectos ambientais externos ao meio físico, como rachaduras em jazigos, que são comuns em cemitérios.

A Figura 2.1 apresenta o modelo de risco de contaminação subterrânea em relação à condutividade hidráulica considerando diversos tipos de textura de solo (areia, argila e silte) e à profundidade do nível do aquífero em relação ao fundo do jazigo.

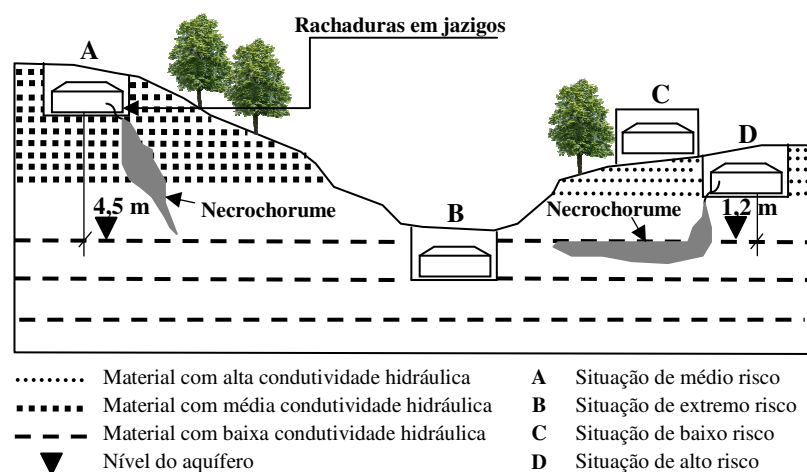


Figura 2.1: Modelo de risco à contaminação da água subterrânea (adaptado de Pacheco, 1986 e Hino, 2015)

De acordo com Hino (2015):

- Situação A: observa-se uma lenta condução do contaminante devido à média condutividade hidráulica do material geológico, aliado à profundidade do nível do aquífero favorável, onde o contaminante é interceptado na zona não saturada, sendo assim classificada como situação de médio risco à contaminação da água subterrânea;
- Situação B: o túmulo está situado sob o nível do aquífero livre, podendo ser inundado; considerando-se a situação de túmulos não impermeáveis, essa situação é classificada como de extremo risco;
- Situação C: a Resolução CONAMA nº 335 estabelece que o nível inferior ideal das sepulturas é de pelo menos um metro e meio acima do mais alto nível do lençol freático, medido no fim da estação das cheias, e que, nos terrenos onde esta condição prevista não puder ser atendida, os sepultamentos deverão ser feitos acima do nível natural do terreno, para diminuição do risco à contaminação da água subterrânea;
- Situação D: há um risco grave de condução do contaminante a profundidade maior, devida a sua alta condutividade hidráulica, aliada à baixa profundidade do nível do aquífero, sendo considerada, portanto, uma situação de alto risco.

Silva (1999) e Campos (2007) registram que, nos sepultamentos por tumulação, dependendo das condições de estanqueidade e confinamento, o necrochorume seca naturalmente, polimeriza-se, reduz-se a pó e não permeia para o solo circunvizinho. Portanto, se os jazigos estiverem mal construídos, pode tornar o ambiente insalubre, ocasionar infiltração nas paredes, produzir mau cheiro e atrair insetos. Conforme Silva (1995) e Hino (2015), a contaminação do subsolo inicia-se no processo de deterioração, se houver condições de vulnerabilidade no meio físico decorrendo das características geológicas, geotécnicas e hidrogeológicas.

Martins *et al.* (1991) consideram que a implantação de cemitérios, sem a observação dos critérios geológicos (características litológicas e estrutura do terreno) e hidrogeológicos (nível do lençol freático), constitui uma das causas de deterioração da

qualidade das águas subterrâneas, pois substâncias e microrganismos provenientes de decomposição de cadáveres podem ter acesso a elas, representando um risco do ponto de vista sanitário e higiênico.

Segundo Üçisik & Rushbrook (1998), para cemitérios que estejam situados em regiões de solos porosos e permeáveis, como areia ou pedregulho, o movimento do necrochorume pode ser rápido e se misturar com a água subterrânea, o que pode causar doenças de veiculação hídrica, se essa água for utilizada para abastecimento público. Para Campos (2007), essas doenças tais como gastroenterite, febre tifóide, hepatite, disenteria e diarreias.

Neira *et al.* (2008) ressaltam que a água é de extrema importância para os seres humanos, e os aquíferos têm despertado alto grau de interesse ambiental para sua preservação. Portanto, tem surgido a necessidade de monitoramento das águas subterrâneas, sendo que, até há pouco tempo, a preocupação era apenas com as águas superficiais.

De acordo com Silva & Malagutti Filho (2008) e Hino (2015), em uma pesquisa realizada em 600 cemitérios no Brasil, foi constatado que 75% dos casos de problemas de contaminação e de poluição verificados eram originados por cemitérios municipais, e 25%, por cemitérios particulares, com sérios problemas de locação e de aspectos construtivos e sem uma gestão ambiental. Além disso, verificou-se que os impactos ambientais são mais frequentes em cemitérios municipais.

2.4 Disponibilização de metais pesados por operação de cemitérios

De acordo com Oliveira & Costa (2004), o termo “metais pesados” refere-se aos elementos e suas formas iônicas que pertencem ao grupo de transição e não transição da tabela periódica, incluindo-se os metais, semimetais e não metais, a exemplo do Selênio (Se). Estes elementos normalmente são associados à poluição, à contaminação e à toxidez a seres vivos, porém alguns são essenciais aos seres vivos, quando em pequenas concentrações. O estudo dos metais pesados aborda a avaliação dos efeitos da acumulação desses elementos nos organismos nos diferentes ecossistemas, a transferência na cadeia alimentar e os meios alternativos de convivência com os problemas provenientes da sua forma de disponibilização no

ambiente. Os graus de mobilidade, atividade e biodisponibilidade dos metais pesados dependem de vários fatores, tais como: pH, temperatura, potencial redox, CTC, competição com outros metais, ligação com ânions e composição e força iônica da solução do solo.

Segundo Kemerich *et al.* (2012), a toxicidade química do necrochorume diluído na água freática relaciona-se aos teores anômalos de compostos das cadeias do fósforo e do nitrogênio, metais pesados e aminas.

De acordo com Barros *et al.* (2008) e Spongberg & Becks, (2000), os caixões construídos com madeira não se apresentam como a principal fonte de contaminação do solo, a menos que conservantes da madeira, fontes de metais pesados, principalmente Cr, ou à base de organoclorados, como o pentaclorofenol, estejam presentes. Entretanto, madeiras não tratadas se decompõem rapidamente, permitindo uma rápida disseminação de líquidos humurosos. Caixões de metal, normalmente não utilizados em sepultamentos, podem causar contaminação do solo por Fe, Cu, Pb e Zn durante vários anos, especialmente em solos com baixo pH. Porém, constituem-se em fontes de contaminantes químicos o verniz e conservantes da madeira e as partes metálicas dos caixões, como alças e adereços, que podem liberar Pb, Zn, Cu, Cr e Ni e Fe.

Para Oliveira & Costa (2004), é consenso geral na literatura o fato de que os teores destes elementos no solo refletem, em maior ou menor grau, os teores no material de origem, logicamente com exceção dos casos de intensa deposição deles por uma fonte antrópica qualquer, podendo ser indicativo dos diferentes tipos de materiais de origem e até, em alguns casos, utilizados em estudos sistemáticos e pedogenéticos.

2.5 A importância do solo na retenção de microrganismos patogênicos

De acordo com Matos (2001), a decomposição do corpo pode durar de poucos meses até vários anos, dependendo da ação ambiental.

Segundo Silva (1998) e Campos (2007), ao longo de determinado tempo, no meio natural, o necrochorume, devido à capacidade de autodepuração do solo, decompõe-se e reduz-se a substâncias mais simples e inofensivas, em função do teor de argilas ativas,

processando-se uma filtração lenta dos percolados associada à oxidação. Essa condição depende diretamente do tipo de solo.

Segundo Pacheco (1988), o solo na zona não saturada desempenha um papel importante na retenção de microrganismos patogênicos por meio de um conjunto de fatores físicos e químicos ambientais, que afetam a infiltração e o movimento destes agentes.

De acordo com Castro (2008), a parte da camada de solo não saturada entre as covas e o nível do aquífero representa a primeira e mais importante barreira de contenção do necrochorume para a sua proteção, onde condições geoambientais são importantes para evitar o contato das sepulturas com o nível do aquífero, o que favorece a propagação do necrochorume pelo aquífero livre.

De acordo com Martins *et al.* (1991), diferenças geológicas e o nível do aquífero podem influenciar na qualidade bacteriológica, a exemplo de um solo arenoso estudado no cemitério de Areia Branca na região da Grande São Paulo, onde se observou que a maior permeabilidade e o nível raso do aquífero favoreceram a passagem de bactérias do solo e dos túmulos para as águas subterrâneas.

De acordo com Pacheco & Batello (2000) e Campos (2007), a atenuação e a capacidade de autodepuração ocorrem por processos biológicos e processos físico-químicos no subsolo. Estes processos se tornam favoráveis, dependendo de diversos fatores, tais como condutividade hidráulica, granulometria, composição mineralógica, CTC, permeabilidade, umidade, presença de nutrientes e condições de aeração. Se estes fatores forem desfavoráveis, podem inviabilizar a eliminação de microrganismos patogênicos e gerar condições oportunas de contaminação das águas subterrâneas. Em relação à vulnerabilidade à contaminação, há relação inversa da capacidade de retenção de microrganismos com a permeabilidade do solo, ou seja, ela é mais eficiente em solos argilosos do que em solos arenosos e cascalhos.

Segundo Pacheco (1986) e Hino (2015), a filtração mecânica e a absorção são os processos mais importantes na retenção de organismos. A eficácia na retenção das bactérias e dos vírus depende da litologia, da aeração, da redução de umidade, da presença de nutrientes etc. Em um estudo feito em um cemitério da Alemanha, localizado em terrenos de aluvião não consolidado, observou-se, pelas análises químico-bacteriológicas realizadas a cada 0,5 m, que a diminuição no número de bactérias

somente se inicia a partir de 3,00 m da base do túmulo, havendo uma redução de 97% do número de bactérias a 5,50 m, sendo praticamente nulo destas a 6,00 m.

2.6 Legislações ambientais aplicáveis para a regularização de cemitérios

Em 03 de abril de 2003, foi publicada pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) a primeira legislação que objetivou a regularização ambiental de cemitérios - Resolução CONAMA nº 335/2003 - que dispõe sobre o licenciamento ambiental de cemitérios. Neste contexto, Silva e Malagutti Filho (2008) afirmam que, com a promulgação dessa resolução, os órgãos ambientais estaduais passaram a ter a obrigação de licenciar e, portanto, fiscalizar a implantação de novos cemitérios.

Segundo BRASIL (2003), dentre os critérios estabelecidos pela Resolução nº 335/2003, alterados pela Resolução CONAMA nº 368/2006 (altera os arts. 3º e 5º, revoga o inciso III, do § 3º, do art. 3º) e pela Resolução CONAMA nº 402/2008, que altera os artigos 11 e 12 da Resolução CONAMA nº 335/2003 e revoga o art. 3º da Resolução CONAMA nº 368/06, estão:

I - o nível inferior das sepulturas deverá estar a uma distância de pelo menos um metro e meio acima do mais alto nível do lençol freático, medido no fim da estação das cheias;

II - nos terrenos onde a condição prevista no inciso anterior não puder ser atendida, os sepultamentos devem ser feitos acima do nível natural do terreno;

III - adotar-se-ão técnicas e práticas que permitam a troca gasosa, proporcionando, assim, as condições adequadas à decomposição dos corpos, exceto nos casos específicos previstos na legislação;

IV - a área de sepultamento deverá manter um recuo mínimo de cinco metros em relação ao perímetro do cemitério, recuo que deverá ser ampliado, caso necessário, em função da caracterização hidrogeológica da área;

V - documento comprobatório de averbação da Reserva Legal, prevista em Lei;

VI - estudos de fauna e flora para empreendimentos acima de 100 (cem) hectares.

§ 1o Para os cemitérios horizontais, em áreas de manancial para abastecimento humano, devido às características especiais dessas áreas,

deverão ser atendidas, além das exigências dos incisos de I a VI, as seguintes:

I - a área prevista para a implantação do cemitério deverá estar a uma distância segura de corpos de água, superficiais e subterrâneos, de forma a garantir sua qualidade, de acordo com estudos apresentados e a critério do órgão licenciador;

II - o perímetro e o interior do cemitério deverão ser providos de um sistema de drenagem adequado e eficiente, destinado a captar, encaminhar e dispor de maneira segura o escoamento das águas pluviais e evitar erosões, alagamentos e movimentos de terra;

III - o subsolo da área pretendida para o cemitério deverá ser constituído por materiais com coeficientes de permeabilidade entre 10^{-5} e 10^{-7} cm/s, na faixa compreendida entre o fundo das sepulturas e o nível do lençol freático, medido no fim da estação das cheias. Para permeabilidades maiores, é necessário que o nível inferior dos jazigos esteja dez metros acima do nível do lençol freático.

§ 2o A critério do órgão ambiental competente, poderão ser solicitadas informações e documentos complementares em consonância com exigências legais específicas de caráter local. ”

O grande desafio da maioria dos cemitérios que já estão implantados é adequar a rotina operacional desde a vigência da Resolução CONAMA nº 335, de 03 de abril de 2003, que possui somente quatorze anos de vigência, não considerando suas respectivas alterações posteriores, bem como estabelecer soluções ambientais viáveis para a recuperação de áreas atingidas por esta atividade, em especial os aquíferos livres e as águas superficiais contaminados por necrochorume.

A regularização ambiental de cemitérios em Minas Gerais é estabelecida pela Deliberação Normativa COPAM nº 74/2004, que classifica, segundo o porte e potencial poluidor, empreendimentos e atividades modificadoras do meio ambiente passíveis de autorização ou de licenciamento ambiental no nível estadual. Cemitérios se enquadram na listagem “F” desta norma, especificamente devido a modalidade de prestação de serviços. Conforme MINAS GERAIS (2004), os cemitérios são parametrizados segundo o código F-04-02-2 - “Parques cemitérios” - que considera o potencial poluidor degradador geral médio, sendo passível de licenciamento ambiental se possuir área superior a cinco hectares. O Cemitério Municipal Parque Cachoeira é dispensado de licenciamento ambiental por possuir 4,3 hectares, de acordo com o critério de classificação da Deliberação Normativa COPAM nº 74/2004.

Segundo BRASIL (2003), cemitérios existentes e licenciados, em desacordo com a Resolução CONAMA nº 335, tiveram o prazo inicial de dois anos para se adequar aos requisitos exigidos. Após a promulgação da Resolução CONAMA nº 402/2008, os órgãos estaduais e municipais de meio ambiente tiveram prazo até dezembro de 2010 para estabelecer critérios para adequação dos cemitérios existentes, bem como para instituir o plano de encerramento das atividades, incluindo, além do processo de licenciamento ambiental, a implantação de medidas de recuperação de áreas impactadas por esta atividade.

2.7 Parâmetros indicadores de qualidade da água subterrânea em cemitérios

Conforme Lei Federal nº 6.938, de 31 de agosto de 1981, que dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, os parâmetros indicadores foram estabelecidos conforme os objetivos da Lei no artigo nº 4:

“II - ao estabelecimento de critérios e padrões de qualidade ambiental e de normas relativas ao uso e manejo de recursos ambientais (BRASIL, 1981).”

No Brasil, os padrões de qualidade da água subterrânea estão estabelecidos pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) por meio da Resolução nº 396/2008, Resolução nº 420/2009 e pela Portaria do Ministério da Saúde nº 2914/2011, que dispõe sobre os padrões de potabilidade para consumo humano. No estado de Minas Gerais, os padrões de qualidade de solo e água subterrânea estão estabelecidos pela Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH nº 02/2010 e Deliberação Normativa COPAM nº 166/2011.

Para a qualidade da água superficial, em nível federal, os padrões estão estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 357/2005 e pela Portaria do Ministério da Saúde nº 2914/2011, e em nível estadual, pela Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH nº 01/2008.

De acordo com Macedo (2001) e Neira *et al.* (2008), dentre as diversas fontes de contaminação das águas subterrâneas por necrópoles, destacam-se as sepulturas com menos de um ano e localizadas nas cotas mais baixas, próximas ao nível freático, em

torno de quatro metros, ocasionando um grande consumo de oxigênio, acréscimo na quantidade de sais minerais, aumento da condutividade elétrica da água e da concentração de íons, como bicarbonato, cloreto, sódio e cálcio, e dos metais: ferro, alumínio, chumbo e zinco.

De acordo com BRASIL (2005), para a água superficial, o valor de oxigênio dissolvido deve estar acima de 6,0 mg/L, conforme a Resolução nº 357/2005 para padrão de qualidade de água para as classes destinadas ao abastecimento público. Migliorini (2006) constatou que cemitérios contribuem para o aumento da condutividade elétrica das águas subterrâneas, tendo sua origem mais provavelmente no necrochorume, evidenciado pelo aumento do teor de sais dissolvidos nas águas subterrâneas no estudo realizado.

De acordo com Sperling (2014), o fósforo pode possuir origem pela decomposição da matéria orgânica e não apresenta problemas sanitários nas águas de abastecimento.

De acordo com BRASIL (2005), o pH, os valores de padrão de qualidade de água doce permitidos variam entre 6,0 e 9,0 para todas as classes de corpos hídricos.

Neira *et al.* (2008) definem dureza como um índice que mede a concentração de íons cálcio e magnésio e associam a principal disponibilidade deste composto em cemitérios por meio da decomposição de ossos e adição de cal nas sepulturas. Porém, Sperling (2014) afirma que não há evidências de que a dureza cause problemas sanitários. O valor máximo permitido para o parâmetro dureza, segundo a Portaria nº 2914/2011, que estabelece os padrões de potabilidade de água para consumo humano, é de 500 mg/L.

De acordo com Sperling (2014), a alcalinidade é uma medição da capacidade da água de neutralizar os ácidos. Os principais constituintes da alcalinidade são os bicarbonatos (HCO^{-3}), carbonatos (CO_3^{2-}) e os hidróxidos (OH^-), e sua distribuição entre as três formas é em função do pH.

Neira *et al.* (2008) afirmam que a detecção de amônia em águas subterrâneas em regiões onde operam cemitérios pode indicar poluição recente, possivelmente oriunda da redução de nitrato por bactérias ou íons ferrosos presentes no solo. O valor máximo permitido para o parâmetro amônia, segundo a Portaria nº 2914/2011, que estabelece os padrões de potabilidade de água para consumo humano, é de 1,5 mg/L.

Segundo Silva & Araújo (2003), o nitrato é o produto final da estabilização aeróbia do nitrogênio orgânico, indicando contaminação antiga. O valor máximo permitido para o parâmetro nitrato, de acordo com a Portaria nº 2914/2011, que estabelece os padrões de potabilidade de água para consumo humano, é de 10 mg/L, e, para nitrito, 1,0 mg/L.

De acordo com Matos (2001), as concentrações de coliformes totais e fecais, estreptococos fecais, bactérias heterotróficas aeróbicas e anaeróbicas, bactérias proteolíticas e clostrídios sulfito-redutores serviram como indicadores microbiológicos para a detecção da pluma de contaminação da água subterrânea no cemitério Vila Nova Cachoeirinha, no município de São Paulo. Segundo a Portaria nº 2914/2011, que estabelece os padrões de potabilidade de água para consumo humano, o valor de coliformes termotolerantes e totais na água deverá ser ausente.

Para Sperling (2014), grande parte dos micropoluentes inorgânicos é tóxica. Entre estes, destacam-se os metais, e, dentre aqueles que dissolvem na água, estão o arsênio, cádmio, cromo, chumbo, mercúrio e prata, sendo que vários deles podem se concentrar na cadeia alimentar, resultando num grande perigo para os organismos vivos nos níveis superiores.

A Resolução CONAMA nº 420/2009, a Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH nº 02/2010 e a Deliberação Normativa COPAM nº 166/2011 estabelecem valores de qualidade de concentração de metais em solo e água subterrânea. Para a água superficial, os valores de qualidade são estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 357/2005, e, no estado de Minas Gerais, pela Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH nº 01/2008.

3 CARACTERIZAÇÃO REGIONAL

3.1 Relevo

Segundo Boaventura *et al.* (1985) *apud* Gonçalves Júnior *et al.* (2014), o município de Betim está inserido na compartimentação geomorfológica Depressão Sanfranciscana, constituída por uma ampla área de exposição do embasamento pré-cambriano, onde predominam as rochas granito-gnáissicas, sedimentos aluviais e as rochas calcárias (Grupo Bambuí), nas quais as ações erosivas originam o relevo de colinas.

De acordo com Gonçalves Júnior *et al.* (2014), a microbacia do córrego Saraiva apresenta um relevo aplainado nas margens dos cursos d'água, apresentando declividade em uma grande extensão da área - entre 0 e 11% - e o relevo da região formado sobre as rochas granito-gnáissicas do embasamento cristalino. Essas condições caracterizam uma morfologia de colinas de topos planos e vertentes convexas e rampas de colúvio, além de planícies fluviais ao longo dos cursos d'água.

3.1.1 Rampas de colúvio

Gonçalves Júnior *et al.* (2014) definem rampas de colúvio como superfícies inclinadas com declividades menores que 10% e perfis transversais variando de retilíneos a côncavos, abrangendo, em toda a extensão da bacia, a transição entre as colinas e as cristas e o fundo de vale, sendo que, sobre elas, ocorrem depósitos de encostas. Os sedimentos formadores das rampas de colúvio são de granulação fina, de caráter silto-argiloso. Bragança (2003) relaciona que a baixa declividade, a umidade e as propriedades edáficas, associadas a essa morfologia, tornaram as rampas de colúvio importantes áreas de agricultura e pastagens.

3.1.2 Planícies fluviais

Segundo EMATER (2006), na microbacia do córrego Saraiva, são observadas planícies fluviais, principalmente ao longo do curso desse córrego. Problemas ambientais relacionados à degradação da mata ciliar para este tipo de morfologia, na

região, foram identificados. Bragança (2003) define planícies fluviais como superfícies planas que ocupam áreas expressivas ao longo dos cursos d'água.

3.2 Clima

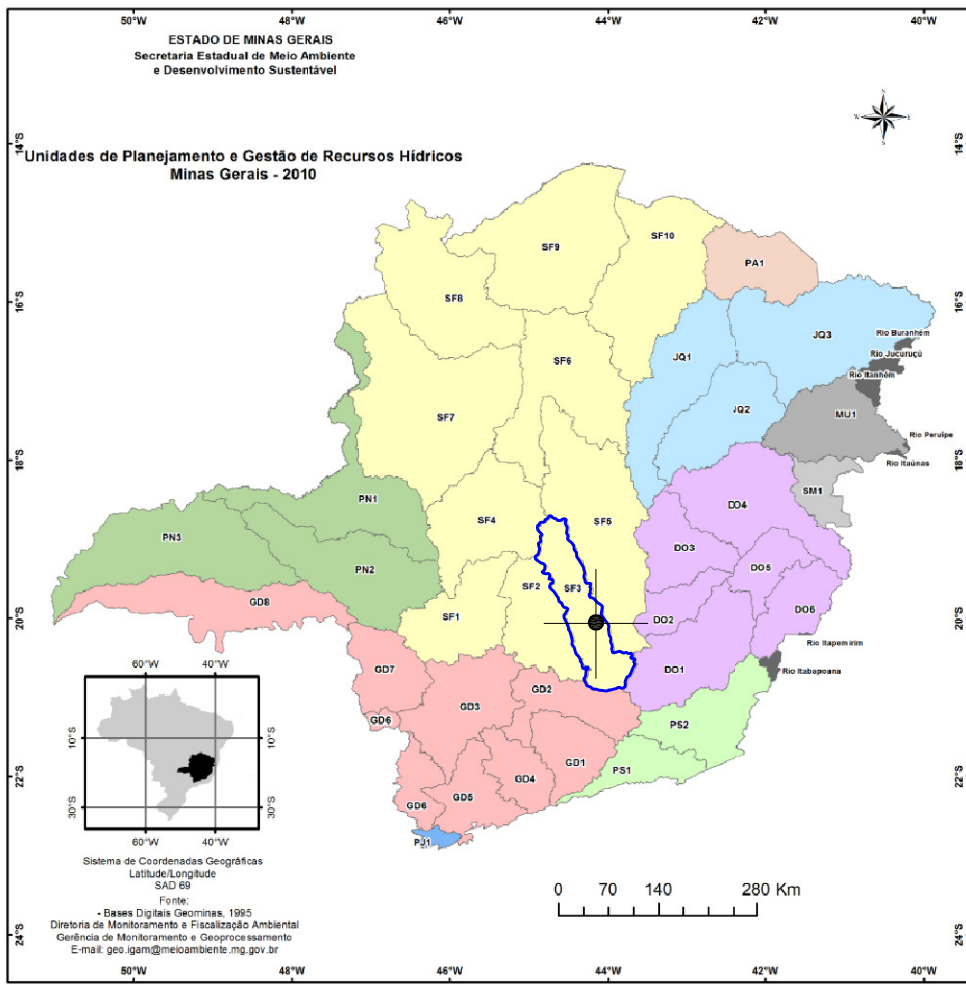
Segundo Gomes *et al.* (2014), a temperatura média anual do município de Betim é de 20°C. De acordo com EMATER (2006), o clima da região é definido como tropical de altitude ameno e seco, verão úmido, inverno seco com precipitação pluviométrica, em geral, variando anualmente entre 1.500 e 2.000 mm, com período de seca de 4 a 6 meses.

Conforme Gonçalves Júnior *et al.* (2014), a distribuição de chuvas em Betim segue os padrões da Região Sudeste do país, apresentando uma definição bem clara de duas estações - uma chuvosa e a outra de estiagem - sendo os meses de junho, julho e agosto os mais secos; e novembro, dezembro e janeiro, os mais chuvosos.

3.3 Hidrografia

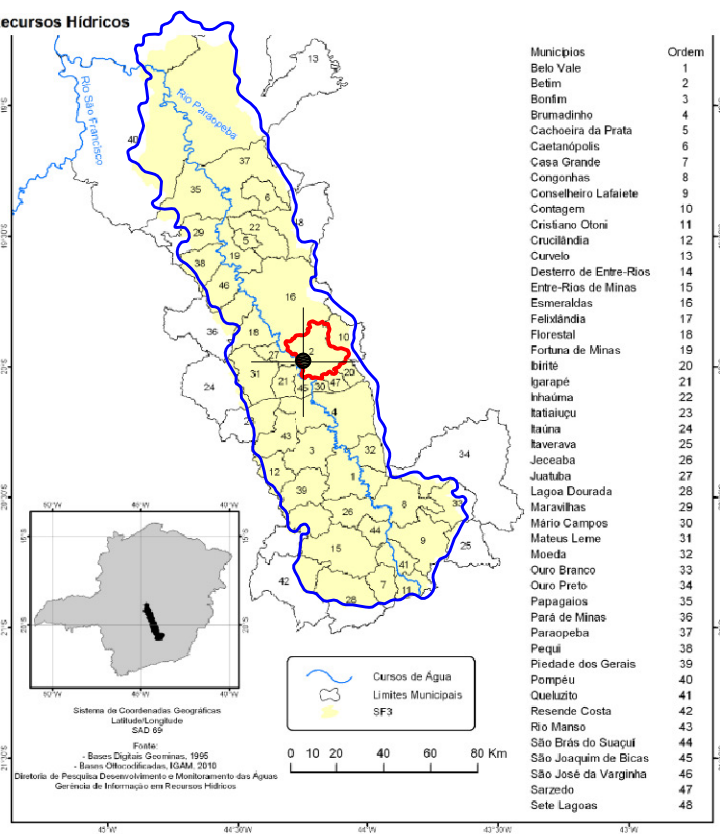
O município de Betim está situado na bacia do Rio Paraopeba, que, por sua vez, pertence à bacia hidrográfica do Rio São Francisco, na região fisiográfica do Alto Rio São Francisco – SF3 (Figura 3.1).

De acordo com Gonçalves Júnior *et al.* (2014), o rio Paraopeba é considerado de grande importância socioambiental, devido à alta biodiversidade aquática (91 espécies de peixes), à capacidade de autodepuração, à erodibilidade alta do solo e ao fornecimento de água a grandes usuários e para outros também. A bacia hidrográfica do rio Paraopeba é muito importante para o abastecimento público de água na região metropolitana de Belo Horizonte, pois se localizam, nesta bacia, diversos mananciais de captação de água para abastecimento público.



Unidades de Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos

- Bacia Hidrográfica do Rio Doce**
 - DO1 - Rio Piranga
 - DO2 - Rio Piracicaba
 - DO3 - Rio Santo Antônio
 - DO4 - Rio Suaçuí Grande
 - DO5 - Rio Caratinga
 - DO6 - Rio Manhuaçu
- Bacia Hidrográfica do Rio Grande**
 - GD1 - Alto Rio Grande
 - GD2 - Rio das Mortes
 - GD3 - Entorno do Reservatório de Furnas
 - GD4 - Rio Verde
 - GD5 - Rio Sapucaí
 - GD6 - Afluentes Mineiros dos Rios Mogi-Guaçu e P
 - GD7 - Médio Rio Grande
 - GD8 - Baixo Rio Grande
- Bacia Hidrográfica do Rio Jequitinhonha**
 - JQ1 - Alto Rio Jequitinhonha
 - JQ2 - Rio Araguaí
 - JQ3 - Médio e Baixo Rio Jequitinhonha
- Bacia Hidrográfica do Rio Paranaíba**
 - PN1 - Alto Rio Paranaíba
 - PN2 - Rio Araguaí
 - PN3 - Baixo Rio Paranaíba
- Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul**
 - PS1 - Rios Preto e Paraíba
 - PS2 - Rios Pomba e Muriaé
- Bacia Hidrográfica do Rio Pardo**
 - PA1 - Rio Pardo
- Bacia Hidrográfica dos Rios Piracicaba e Jaguari**
 - PJ1 - Rios Piracicaba e Jaguari
- Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco**
 - SF1 - Alto Rio São Francisco
 - SF2 - Rio Pará
 - SF3 - Rio Paraopeba
 - SF4 - Entorno da Represa de Três Marias
 - SF5 - Rio das Velhas
 - SF6 - Rios Jequitai e Pacuí
 - SF7 - Rio Paracatu
 - SF8 - Rio Urucuiá
 - SF9 - Rio Pantheiros
 - SF10 - Rio Verde Grande
- Bacias Hidrográficas dos Rios do Leste**
 - MU1 - Rio Mucuri
 - SM1 - Rio São Mateus



Municípios	Ordem
Belo Vale	1
Betim	2
Bonfim	3
Brumadinho	4
Cachoeira da Prata	5
Caetanópolis	6
Casa Grande	7
Congonhas	8
Conselheiro Lafaiete	9
Contagem	10
Cristiano Ottoni	11
Crucilândia	12
Curvelo	13
Desterro de Entre-Rios	14
Entre-Rios de Minas	15
Esmeraldas	16
Felixlândia	17
Florestal	18
Fortuna de Minas	19
birite	20
Igarapé	21
Inhaúma	22
Itabaiçu	23
Itauna	24
Javerava	25
Jeceaba	26
Juatuba	27
Lagoa Dourada	28
Maravilhas	29
Mário Campos	30
Mateus Leme	31
Moeda	32
Ouro Branco	33
Ouro Preto	34
Papaigais	35
Pará de Minas	36
Paraopeba	37
Pesqui	38
Piedade dos Gerais	39
Pompeu	40
Queluzito	41
Resende Costa	42
Rio Manso	43
São Brás do Suaçuí	44
São Joaquim de Bicas	45
São José da Varginha	46
Sarzedo	47
Sete Lagoas	48

Bacias hidrográficas que não constituem Unidades de Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos - UPGRH

- Bacias Hidrográficas dos Rios do Leste**
 - Rio Alcobaca ou Itanhém
 - Rio Buranhém
 - Rio Itabapoana
 - Rio Itapemirim
 - Rio Itaúnas
 - Rio Jusuruçu
 - Rio Peruibe

Projeção das coordenadas: Latitude/Longitude
Datum Horizontal SAD69 - Fuso 23S - Zona K
<http://www.igam.mg.gov.br/>

LEGENDA DOS ELEMENTOS GRÁFICOS:

- Delimitação da bacia do Rio São Francisco - SF3
- Delimitação do município de Betim/MG em relação a bacia do Rio São Francisco - SF3

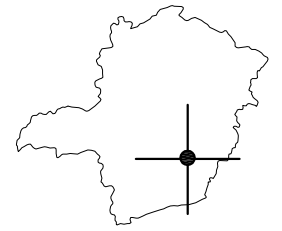


FIGURA 3.1: MAPA COM HIDROGRAFIA REGIONAL - BACIA DO RIO PARAPEBA

ELABORAÇÃO: Júlio C. G. Marques

3.4 Vegetação

Segundo Gomes *et al.* (2014), a vegetação original da região de Betim-MG é composta por fragmentos da mata atlântica. De acordo com Gonçalves Júnior *et al.* (2014), a microbacia do Córrego Saraiva pertence a uma área de transição entre dois ecossistemas: o cerrado e a mata atlântica.

Conforme BIODIVERSITAS (2016), parte da área do município de Betim (incluindo parte da região da microbacia do Córrego Saraiva), encontra-se inserida na área de importância biológica denominada Corredor do Espinhaço, que é formada pela Cadeia da Serra do Espinhaço, tendo Minas Gerais como a parte mais relevante de espécies de flora deste corredor.

De acordo com Gonçalves Júnior *et al.* (2014), dentre as espécies de flora catalogadas na região da microbacia do córrego Saraiva, destacam-se: aquela que é imune de corte e ameaçada de extinção - *Astronium fraxinifolium* (Gonçalo-alves), ameaçada de extinção - *Myracrodruon urundeuva* (Aroeira), e de preservação permanente e imunes de corte - *Caryocar brasiliense* (Pequizeiro) e *Handroanthus sp.* (Ipê).

3.5 Geologia

O município de Betim (MG) está inserido no Cráton do São Francisco, que compreende uma porção da crosta estabilizada a partir do ciclo Brasileiro, sendo que, no Paleoproterozóico, grande parte desse bloco pertencia ao Cráton Paramirim (Almeida, 1981).

Com relação ao embasamento litológico, o município de Betim encontra-se assentado sobre o Complexo Belo Horizonte, de idade Mesoarqueana, composto principalmente por gnaisses migmatíticos. Sobrepostas ao Complexo Belo Horizonte, estão as rochas dos grupos Nova Lima e Maquiné (Supergrupo Rio das Velhas), de idades Neoarqueanas, compostos principalmente por metassedimentos, como filitos e quartzitos, respectivamente.

O Grupo Sabará (Supergrupo Minas) é formado principalmente por quartzito, quartzito feldspático, rochas vulcanoclásticas, clorita-xisto, de idade Paleoproterozóica.

Encontram-se também, na região, rochas do Grupo Macaúbas (Supergrupo São Francisco), constituído por uma associação de diamictitos, arenitos e pelitos (Alkmin & Martins Neto, 2001).

Rochas sedimentares detríticas, tais como argilitos, arenitos e conglomerados, constituem a Formação Juatuba (Cenozóico) e, de acordo com o levantamento geológico CETEC (1994), esta unidade é pontual no Município de Betim. As coberturas terciárias-quadernárias estão presentes na área estudada.

Coberturas Detríticas

Nestas unidades, há a predominância de solos profundos e homogêneos, podendo ocorrer grãos de quartzo angulares ou arredondados. A cor avermelhada indica a presença de óxidos de ferro em ambientes de oxidação, o que revela um bom arejamento e, conseqüentemente, uma boa permeabilidade do solo. Este material, quando em ambiente plano e suavemente ondulado, reveste-se de importância na recarga de aquíferos freáticos.

Depósitos Aluvionares

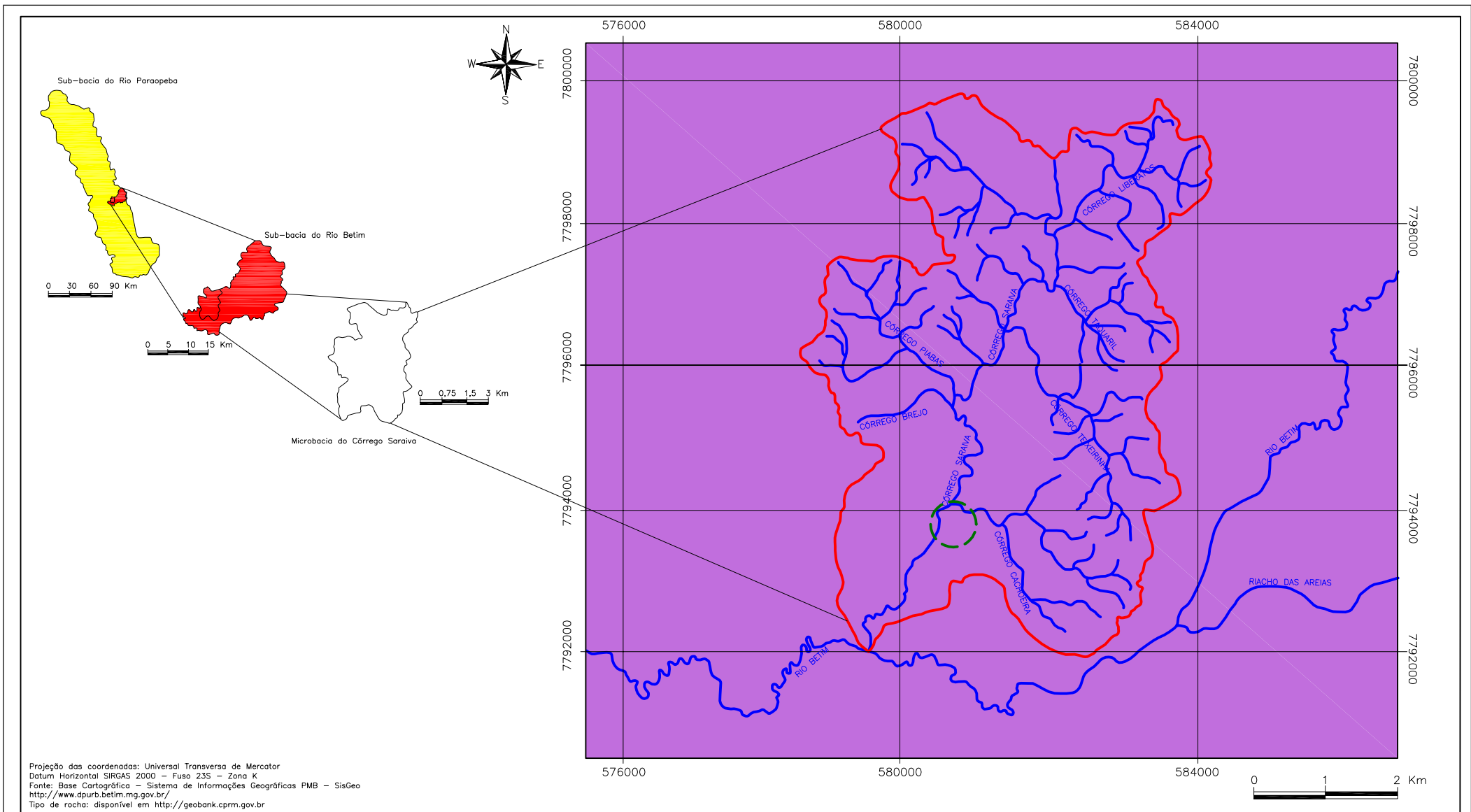
Os depósitos aluvionares são formados pela deposição de sedimentos (areia, silte e argila) e material mais grosseiro, como seixos, por ciclo de inundação e deposição. Portanto, localizam-se nas planícies fluviais (várzeas) e ao longo de cursos d'água mais desenvolvidos. Por esta razão, são muito variáveis em composição tanto no sentido vertical quanto horizontal. No município de Betim, os depósitos aluviais se distribuem ao longo dos principais cursos d'água em toda a sua área.

Rochas Intrusivas





As rochas intrusivas ocorrem na forma de diques estreitos, lineares, sendo as rochas predominantes os gabros e os anfibolitos. Quando transversais aos cursos d'água, propiciam à montante a abertura de extensas planícies e terraços fluviais.

3.5.1 Litologia

O município está inserido, em sua quase totalidade, em terrenos arqueanos, de cerca de 3,2 bilhões de anos, tendo como litotipos principais rochas gnáissicas, granudioríticas e migmatíticas. Na área estudada, observou-se a ocorrência de Gnaiss migmatítico, que constitui, juntamente com a areia, os principais recursos minerais extraídos na microbacia (Figura 3.2).



LEGENDA DOS ELEMENTOS GRÁFICOS:

- | | |
|--|--|
|  Corpos hídricos superficiais | Tipo de rocha |
|  Delimitação da microbacia do Córrego Saraiva |  Gnaiss |
|  Área delimitada do diagnóstico | |

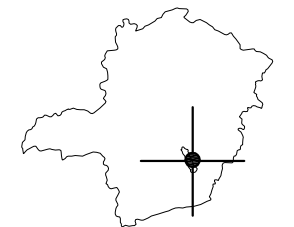


FIGURA 3.2: LITOLOGIA REGIONAL DA MICROBRACIA DO CÓRREGO SARAIVA LOCALIZADA EM BETIM-MG

ELABORAÇÃO: Júlio C. G. Marques

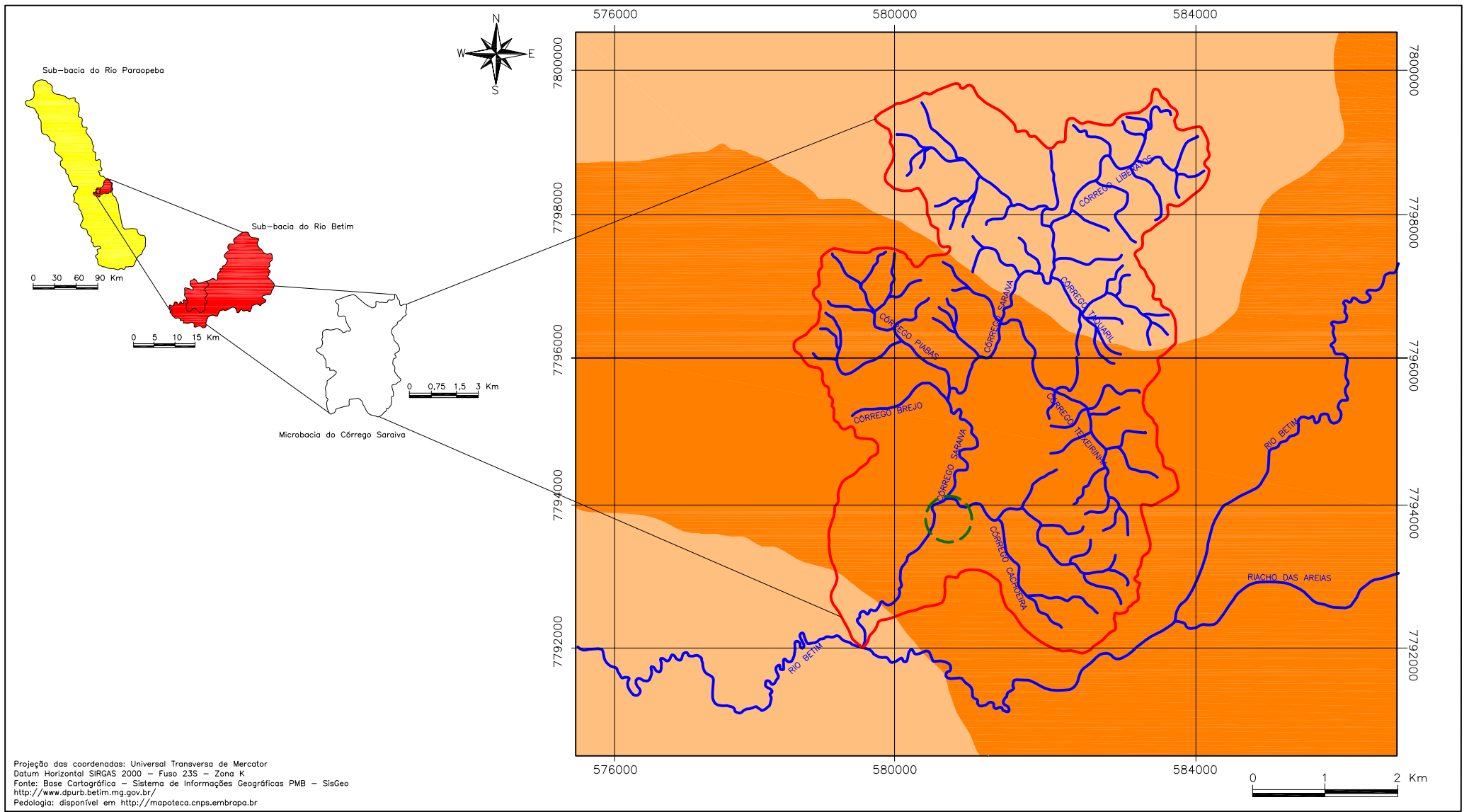
3.5.2 Pedologia

Segundo Gomes *et al.* (2014), o solo da microbacia do córrego Saraiva tem o predomínio da classe latossolo vermelho-amarelo e argissolo (Figura 3.3). Na área estudada, observou-se a ocorrência de cambissolo e neossolo flúvico.

De acordo com EMATER (2006), os latossolos são solos mais desenvolvidos, apresentando grande espessura do horizonte B, sendo, portanto, profundos. A textura granular torna-os permeáveis, têm capacidade de troca de cátions baixa e variam de fortemente a bem drenados. Conforme Gonçalves Júnior *et al.* (2014), apresentam horizonte B latossólico, ou seja, horizonte subsuperficial uniforme em cor, textura e estrutura, sofrendo severa ação dos agentes intempéricos; logo, são profundos e ocupam as superfícies mais velhas e estáveis da paisagem. Essa intemperização intensa dos constituintes minerais resulta na concentração de óxidos e hidróxidos de ferro e alumínio, denominados argilo-minerais.

Segundo EMBRAPA (2006), os argissolos são constituídos por material mineral, que apresenta um evidente teor de argila do horizonte superficial para o horizonte B. A profundidade desse solo é variável, desde forte a imperfeitamente drenados, de cor avermelhada ou amarelada. A textura varia de arenosa a argilosa, no horizonte A, e de média a muito argilosa, no horizonte B, havendo sempre aumento de argila. Além disso, são de forte a moderadamente ácidos.

De acordo com EMATER (2006), os cambissolos apresentam notória diversidade, sendo solos pouco desenvolvidos, com horizonte B em formação (B câmbico). A grande espessura do horizonte C, com a predominância da fração silte, torna-os altamente instáveis. Em geral, onde ocorrem voçorocas, predominam os Cambissolos. Os Neossolos Flúvicos são solos extremamente variados, tanto na horizontal quanto na vertical, apresentando horizonte A sobre camadas correspondentes ao ciclo de inundação e sedimentação. São considerados de grande potencialidade agrícola e são muito heterogêneos quanto à textura e às propriedades físicas e químicas.



LEGENDA DOS ELEMENTOS GRÁFICOS:

-  Corpos hídricos superficiais
 -  Delimitação da microbacia do Córrego Saraiva
 -  Área delimitada do diagnóstico
- Tipo de solo:
-  Argissolo
 -  Latossolo vermelho-amarelo

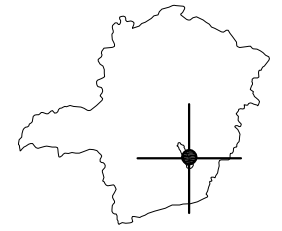


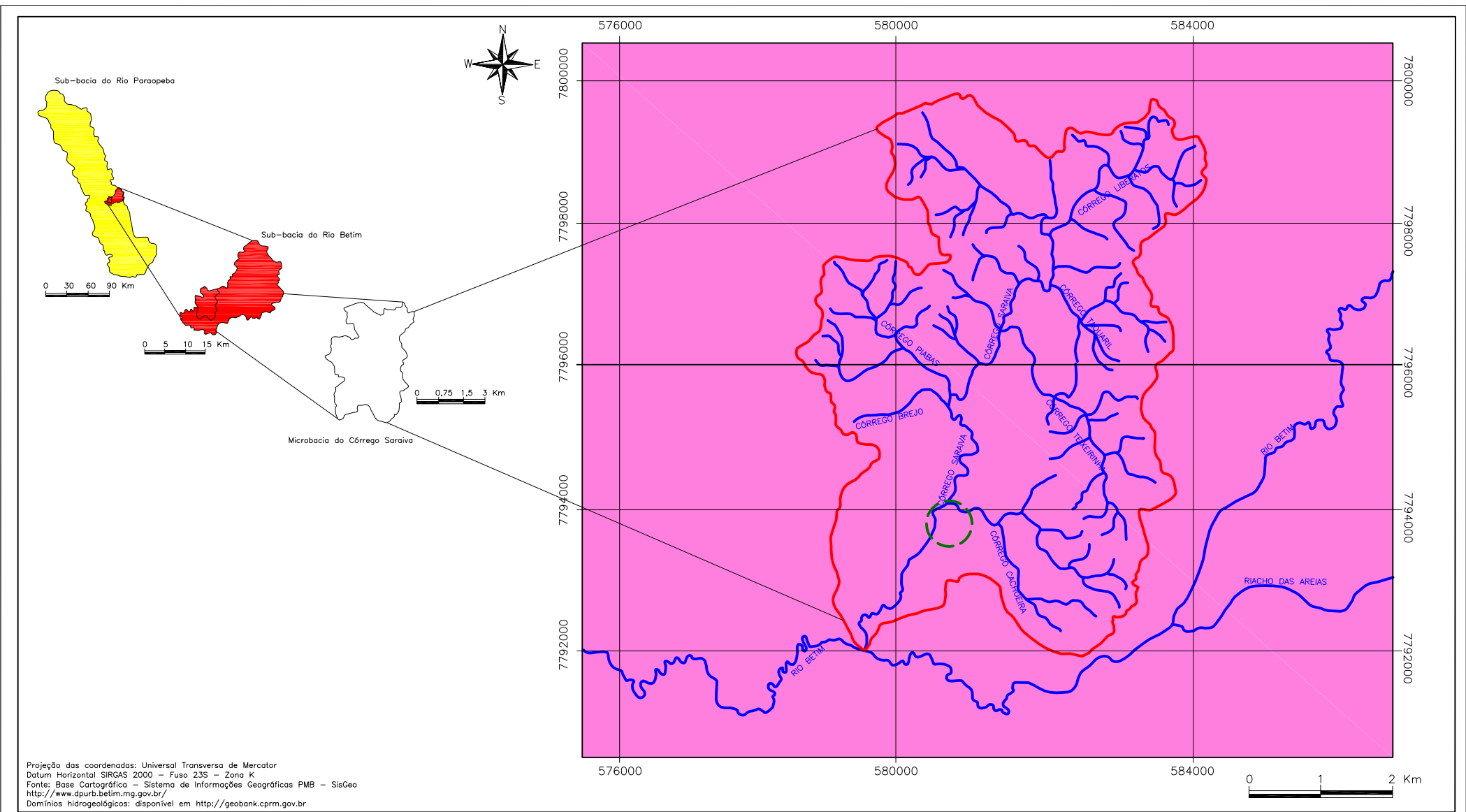
FIGURA 3.3: PEDOLOGIA REGIONAL DA MICROBRACIA DO CÓRREGO SARAIVA LOCALIZADA EM BETIM-MG

ELABORAÇÃO: Júlio C. G. Marques





3.6 Hidrogeologia

A microbacia do córrego Saraiva está totalmente inserida no Domínio Hidrogeológico Cristalino/Aquífero Fissural, conforme Figura 3.4.

De acordo com Gonçalves Júnior *et al.* (2014), o Domínio Cristalino caracteriza-se por porosidade secundária em meio fissural e, em termos de litologia, este tipo de aquífero ocorre normalmente em unidades cristalinas pré-cambrianas, como é o caso dos gnaisses. De todos os Domínios Hidrogeológicos do Brasil, o Cristalino é o de menor potencialidade relativa como aquífero, ou seja, a sua disponibilidade hídrica subterrânea é muito baixa, apresentando elevadas vazões e maior produtividade de água somente nas zonas de fraturamento mais acentuado.



LEGENDA DOS ELEMENTOS GRÁFICOS:

-  Corpos hídricos superficiais
-  Delimitação da microbacia do Córrego Saraiva
-  Área delimitada do diagnóstico
-  Domínio hidrogeológico
Cristalino

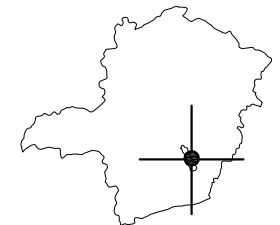


FIGURA 3.4: DOMÍNIO HIDROGEOLÓGICO DA MICROBRACIA DO CÓRREGO SARAIVA LOCALIZADA EM BETIM-MG

ELABORAÇÃO: Júlio C. G. Marques

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Determinação do tipo de pesquisa

O diagnóstico consistiu em uma avaliação qualitativa, quantitativa, descritiva e explicativa por meio de estudo de caso.

Segundo Yin (2001), o estudo de caso é definido como uma metodologia indutiva, de natureza empírica, que investiga um fenômeno contemporâneo dentro de um contexto real, avaliando a interação dos dados e sua análise. O estudo de caso proposto é o Cemitério Municipal Parque Cachoeira, localizado em Betim-MG.

4.2 Determinação dos parâmetros para amostragem de solo, água subterrânea e superficial

A primeira parte da dissertação foi realizada por meio de uma revisão bibliográfica baseada em trabalhos científicos publicados anteriormente sobre avaliações hidrogeoquímicas executadas em algumas regiões do Brasil em áreas onde operam cemitérios. O objetivo foi identificar os parâmetros mais utilizados na realização de diagnósticos ambientais para a caracterização da qualidade da água subterrânea. As fontes de busca das informações científicas foram as plataformas de periódicos/pesquisa - CAPES/MEC e Google Acadêmico.

A estratégia de busca utilizada foi a determinação de palavras e termos-chave, tanto em língua portuguesa quanto inglesa. As palavras e os termos-chave em português, determinados para a pesquisa, foram: necrochorume, qualidade ambiental, hidrogeologia e poluição do solo e água; e, em língua inglesa: *necroleachate*, *environmental quality*, *hydrogeology* e *soil and water pollution*.

Quanto aos critérios adotados para a inclusão dos artigos nesta parte da revisão, escolheu-se estudos, executados entre 1991 e 2011 e que realizaram amostragem de água subterrânea para a caracterização hidroquímica em regiões onde operam cemitérios em várias regiões do Brasil. Seguindo a estratégia definida, a busca bibliográfica resultou em cinco artigos, os quais se adequaram aos critérios propostos.

A partir deste levantamento bibliográfico, foram realizados o ordenamento cronológico e a análise da bibliografia científica selecionada, considerando a distribuição das publicações segundo o autor do estudo, ano de publicação em ordem crescente, região de estudo, fonte da amostragem, parâmetros analisados e parâmetros analisados mais comuns nos estudos avaliados (Tabela 4.1). Foram considerados como parâmetros mais comuns aqueles que apresentaram ocorrência de utilização acima de 50% nos estudos avaliados.

Tabela 4.1. Comparação dos parâmetros analisados nos estudos dos artigos selecionados

Autor	Ano	Região de estudo	Fonte da amostragem	Parâmetros analisados	Parâmetros analisados mais comuns nos estudos avaliados (considerando a utilização do parâmetro acima de 50% nos estudos avaliados)
MARTINS, M. T. <i>et al.</i>	1991	Região da Grande São Paulo - SP: Cemitério da Vila Formosa, Cemitério Vila Nova Cachoeirinha e Cemitério de Areia Branca.	Água subterrânea por meio de piezômetros instalados na região dos cemitérios.	Análise físico-química: Não realizada. Análise microbiológica: coliformes totais, coliformes fecais, estreptococos fecais, clostrídios sulfito-redutores, bactérias proteolíticas, contagem padrão de bactérias heterotróficas aeróbias, contagem padrão de bactérias heterotróficas anaeróbias, bactérias lipotícas e pesquisa de <i>Salmonella</i> .	
ALMEIDA, A.	2005	Região do município de Juiz de Fora-MG: Cemitério São Sebastião, Cemitério Nossa Senhora das Dores, Cemitério Parque da Saudade, Cemitério Morro Glória e Cemitério Católico de São Pedro.	Água subterrânea por meio de minas de águas no entorno dos cemitérios.	Análise físico-química: pH, condutividade, alcalinidade, dureza total, dureza (Ca ²⁺), dureza (CaMg ²⁺), cloreto, O ₂ consumido, O ₂ dissolvido, amônia e nitrato. Análise microbiológica: Não realizada.	Análise físico-química: pH, condutividade, alcalinidade, dureza e nitrato.
NEIRA, D. F. <i>et al.</i>	2008	Vila Velha – ES: Cemitério Municipal do bairro Santa Inês.	Água subterrânea por meio de piezômetros instalados na região do cemitério.	Análise físico-química: cálcio, cor real, nitrogênio amoniacal, nitrato, nitrito, pH, temperatura e turbidez. Análise microbiológica: coliformes tolerantes e coliformes totais.	
CASTRO, D. L.	2008	Fortaleza-CE: Cemitério Bom Jardim	Água subterrânea por meio de piezômetros instalados na região do cemitério.	Análise físico-química: pH, condutividade, alcalinidade par., alcalinidade total, dureza total, matéria orgânica, sólidos dissolvidos, sólidos totais, cálcio, magnésio, sódio, potássio, ferro total, cloretos, carbonatos, bicarbonatos, hidróxidos, sulfatos, nitratos e nitritos. Análise microbiológica: coliformes a 35°C, coliformes a 45°C, estreptococos fecais, bactérias heterotróficas aeróbias, bactérias heterotróficas anaeróbias, bactérias lipotícas e clostrídios sulfito-redutores a 46°C.	Análise microbiológica: coliformes (totais, fecais e termotolerantes), clostrídios, bactérias lipotícas, bactérias heterotróficas aeróbias e bactérias heterotróficas anaeróbias.
SABA, E. D.	2011	Região do entorno de Brasília-DF: Cemitério municipal de Taguatinga, Cemitério Campo Esperança localizado no Plano Piloto, Cemitério de Brazlândia, Cemitério do Gama, Cemitério de Sobradinho, Cemitério de Planaltina e Cemitério de Valparaíso - GO.	Água subterrânea por meio de piezômetros instalados na região dos cemitérios.	Análise físico-química: odor, alcalinidade, pH, aspecto, oxigênio, fósforo, condutividade, manganês, DQO, nitrogênio, sabor, cor, dureza, turbidez, ferro, cromo, amônia, DBO, chumbo e TDS. Análise microbiológica: coliformes totais, coliformes fecais, bactérias proteolíticas, clostridium, <i>salmonellasp</i> , bactérias lipotícas, bactérias heterotróficas e <i>e. coli</i> .	

De acordo com a Tabela 4.1, observou-se que 80% dos trabalhos avaliados realizaram análises físico-químicas e microbiológicas das amostras de água subterrânea nas regiões onde foram realizados os estudos de caso.

Em relação às porcentagens dos parâmetros físico-químicos mais comuns utilizados nas amostragens de água subterrânea nos estudos avaliados, os resultados foram: pH (80%), condutividade (60%), alcalinidade (60%), dureza (60%) e nitrato (60%).

No que diz respeito às porcentagens dos parâmetros microbiológicos mais comuns utilizados nas amostragens de água subterrânea nos trabalhos avaliados, encontraram-se coliformes (totais, fecais e termotolerantes – 80%), clostrídios (60%), bactérias lipolíticas (60%), bactérias heterotróficas aeróbias (60%) e bactérias heterotróficas anaeróbias (60%).

Os parâmetros mais comuns em análises físico-químicas de amostras de água subterrânea nos estudos avaliados foram: pH, condutividade, alcalinidade, dureza e nitrato. Os parâmetros microbiológicos mais comuns utilizados foram coliformes (totais, fecais e termotolerantes), clostrídios, bactérias lipolíticas, bactérias heterotróficas aeróbias e bactérias heterotróficas anaeróbias.

De acordo com a análise dos trabalhos consultados, observou-se uma grande variabilidade de parâmetros físico-químicos e microbiológicos utilizados, não demonstrando padronização na determinação dos parâmetros avaliados. Neste contexto, para a execução deste diagnóstico e pela necessidade de detalhamento, optou-se por determinar os parâmetros mais comuns identificados nos trabalhos consultados incluindo substâncias específicas que compõem o necrochorume, como cadaverina e putrescina, cujos procedimentos de análise foram realizados em um laboratório localizado em Vejen, na Dinamarca, devido a não realização destes ensaios no Brasil. Os parâmetros bactérias lipolíticas, bactérias heterotróficas aeróbias e bactérias heterotróficas anaeróbias não foram incluídos, apesar de terem sido identificados em três dos cinco estudos pesquisados, optando-se para caracterizar o grupo dos parâmetros microbiológicos com a avaliação de coliformes fecais, termotolerantes e clostrídios sulfito-redutores, em substituição.

Os parâmetros definidos para água subterrânea foram:

- Parâmetros físico-químicos *in situ*: pH (a 25°C), Temperatura, Condutividade elétrica e Oxigênio dissolvido;
- Diaminas: Cadaverina e Putrescina;
- Parâmetros diversos: Dureza total, Alcalinidade total, Enxofre total, Fósforo, Sulfato, Nitrato, Nitrito e Nitrogênio amoniacal;
- Parâmetros microbiológicos: Clostrídios Sulfito-Redutores, Coliformes Termotolerantes e Coliformes Totais;
- Análise de Metais: Metais totais (Alumínio, Arsênio, Bário, Cádmio, Cálcio, Chumbo, Cobalto, Cobre, Cromo, Estanho, Estrôncio, Ferro, Lítio, Magnésio, Manganês, Mercúrio, Níquel, Potássio, Sódio e Zinco) + Mercúrio Total.

Os parâmetros definidos para água superficial foram:

- Parâmetros físico-químicos *in situ*: pH (a 25°C), Temperatura, Condutividade elétrica e Oxigênio dissolvido;
- Diaminas: Cadaverina e Putrescina;
- Parâmetros diversos: Dureza total, Alcalinidade total e Nitrogênio amoniacal;
- Parâmetros microbiológicos: Clostrídios Sulfito-Redutores, Coliformes Termotolerantes e Coliformes Totais;
- Análise de Metais: Metais Totais (Alumínio, Arsênio, Bário, Cádmio, Cálcio, Chumbo, Cobalto, Cobre, Cromo, Estanho, Estrôncio, Ferro, Lítio, Magnésio, Manganês, Mercúrio, Níquel, Potássio, Sódio e Zinco) + Mercúrio Total.

Foram determinados os mesmos parâmetros para avaliar a qualidade da água superficial e da água subterrânea, exceto a avaliação de Enxofre total, Fósforo, Sulfato, Nitrato e Nitrito, que ocorreu somente para a água subterrânea devido à prioridade na avaliação, por se tratar de potenciais contaminantes em primeira ordem em aquíferos.

Para verificar as propriedades físico-químicas das amostras dos horizontes A e B do solo extraídas dos perfis e das sondagens de simples reconhecimento, conforme NBR 6484 executadas, foram definidos os parâmetros:

- Granulometria;
- Fósforo;
- Matéria orgânica;
- Capacidade de troca catiônica;
- pH;
- Permeabilidade;
- Metais Totais (Alumínio, Arsênio, Bário, Cádmio, Cálcio, Chumbo, Cobalto, Cobre, Cromo, Estanho, Estrôncio, Ferro, Lítio, Magnésio, Manganês, Mercúrio, Níquel, Potássio, Sódio e Zinco) com a inclusão de mercúrio.

4.3 Delimitação da área de abrangência do diagnóstico ambiental

Para a realização do diagnóstico, delimitou-se a área na distância de 400 m do perímetro do cemitério, abrangendo uma região a montante do cemitério (ponto de monitoramento ASUB4) e a jusante deste, em duas direções principais, até os corpos hídricos córrego Saraiva (jusante oeste e nordeste em relação ao cemitério) e córrego Cachoeira (jusante norte e nordeste em relação ao cemitério).

A determinação da distância foi de acordo com uma pesquisa bibliográfica sobre a proliferação de substâncias de origem patogênica oriundas de necrochorume. Segundo Almeida & Macedo (2005), Lopes (2000) e Carneiro (2009), essas substâncias podem se proliferar em um raio superior a 400 metros de distância do cemitério, dependendo da geologia da região.

4.4 Plano de amostragem de solo, água subterrânea e superficial

O plano de amostragem consistiu na:

- Realização da pesquisa em campo, por meio de visitas técnicas, para a identificação de poços de captação existentes na região delimitada de estudo, bem como das condições de acessibilidade e segurança para a execução dos trabalhos;
- Realização de visitas técnicas permanentes na área de estudo para a determinação dos pontos exatos de coleta de amostras de solo e água;
- Determinação dos pontos de amostragem-testemunha (*background*) para solo, água subterrânea e superficial em pontos localizados fora da área delimitada de estudo, conforme Figura 4.1;
- Determinação dos parâmetros para avaliação da qualidade do solo, água subterrânea e superficial para o estabelecimento do plano de amostragem;
- Determinação dos equipamentos de apoio necessários para a execução do plano de amostragem (georreferenciamento e parâmetros *in situ*);
- Determinação dos laboratórios responsáveis pela execução dos ensaios laboratoriais, conforme Tabela 4.2;
- Determinação do número de pontos de coleta e dos parâmetros físico-químicos para solo, e físico-químicos e microbiológicos para a água subterrânea e superficial;
- Determinação do período de amostragem, sendo uma campanha de água subterrânea e superficial realizada em maio de 2016, representando o fim da estação chuvosa, e outra em setembro de 2016, no fim da estação seca;
- Execução do plano de amostragem de solo, água subterrânea e superficial para avaliação qualitativa da área de estudo, nos períodos definidos;
- Realização de sondagens de simples reconhecimento, conforme NBR 6484, para obtenção de amostras de solo e água subterrânea;
- Execução do plano de amostragem de acordo com os critérios estabelecidos por normas vigentes para coleta, armazenamento, preservação e transporte de amostras.

O plano de amostragem detalhado, bem como as metodologias aplicadas e os ensaios laboratoriais realizados são apresentados nas Tabelas 4.2 e 4.3, respectivamente.

Tabela 4.2. Plano de amostragem definido para a área em estudo

Matriz	Identidade da amostra	Parâmetros	Data da coleta	Hora	Laboratório contratado/Situação	
Solo 1ª Campanha	S1	(A)	18/05/16	12:45	(A) (A1) (B) (C) (D) Eurofins/INNOLAB do Brasil Ltda. – Rio de Janeiro/RJ <i>Amostragem e ensaios realizados</i>	
	S2	(A)	18/05/16	14:22		
	S3	(A)	18/05/16	13:53		
	S4*	(A)	18/05/16	13:24		
Solo 2ª Campanha (Ampliação do diagnóstico)	S5 ⁽¹⁾	(A) (B)	27/09/16	11:40		
	S6 ⁽¹⁾	(A1) (B)	28/09/16	11:30		
	S7 ⁽¹⁾	(A1) (B)	28/09/16	09:35		
Solo 3ª Campanha (Ampliação do diagnóstico)	S1	(B)	05/11/16	11:37		
	S2	(B)	05/11/16	11:22		
	S3	(B)	05/11/16	11:12		
	S4*	(B)	05/11/16	11:05		
Água subterrânea 1ª Campanha	ASUB1	(C) (E)	18/05/16	22:37		Eurofins/STEINS Laboratorium – Vejen/Denmark <i>(Para os ensaios de Putrescina e Cadaverina)</i> <i>Amostragem e ensaios realizados</i>
	ASUB2	(C) (E)	18/05/16	23:41		
	ASUB3*	(C) (E)	19/05/16	01:00		
Água superficial 1ª Campanha	ASUP1	(D) (E)	18/05/16	23:05		(E) Merieux NutriSciences/Bioagri Ambiental Ltda. – Belo Horizonte/MG <i>Amostragem e ensaios realizados</i>
	ASUP2	(D) (E)	19/05/16	00:01		
	ASUP3	(D) (E)	19/05/16	00:24		
	ASUP4**	(D) (E)	19/05/16	00:45		
Água subterrânea 2ª Campanha com ampliação do diagnóstico	ASUB1	(C) (E)	28/09/16	14:37		
	ASUB2	(C) (E)	28/09/16	15:24		
	ASUB3*	(C) (E)	28/09/16	16:20		
	ASUB4 ⁽¹⁾	(C) (E)	28/09/16	17:05		
Água superficial 2ª Campanha	ASUP1	(D) (E)	28/09/16	15:05		
	ASUP2	(D) (E)	28/09/16	15:37		
	ASUP3	(D) (E)	28/09/16	15:50		
	ASUP4**	(D) (E)	28/09/16	16:31		

Legenda: S-X: Identificação da amostra de solo. ASUB-X: Identificação da amostra de água subterrânea. ASUP-X: Identificação da amostra de água superficial. (*) Amostras-testemunha de solo e água subterrânea. (**) Amostras-testemunha de água superficial. Notas – Parâmetros definidos: (A) Permeabilidade, pH, Capacidade de troca de cátions, Fósforo e Matéria Orgânica no horizonte B do perfil de solo. (A1) pH, Fósforo e Matéria Orgânica no horizonte B do perfil de solo. (B) Metais totais no horizonte B do perfil de solo. (C) Diaminas: Cadaverina e Putrescina. Parâmetros microbiológicos: Clostrídios Sulfito-Redutores, Coliformes Termotolerantes e Coliformes Totais. Substâncias diversas: Dureza total, Alcalinidade total, Enxofre total, Fósforo, Sulfato, Nitrato, Nitrito e Nitrogênio amoniacal. Análise de Metais: Metais totais + mercúrio total. (D) Diaminas: Cadaverina e Putrescina. Parâmetros microbiológicos: Clostrídios Sulfito-Redutores, Coliformes Termotolerantes e Coliformes Totais. Substâncias diversas: Dureza total, Alcalinidade total e Nitrogênio amoniacal. Análise de Metais: Metais totais + mercúrio total. (E) pH (a 25°C), Temperatura, Condutividade elétrica e Oxigênio dissolvido. (1) Amostras de ampliação do diagnóstico.

Tabela 4.3. Metodologias de amostragem e ensaios laboratoriais para solo e água

Matriz	Parâmetro	Tipo de amostragem	Qte.	Forma de preservação	Metodologia Laboratorial
Solo 1ª, 2ª e 3ª Campanhas	Metais Totais	Coleta de amostra deformada no horizonte B do perfil do solo por meio de coleta direta no perfil ou a trado manual conforme procedimentos EMBRAPA.	07	Gelo <i>Validade da amostra: 6 meses</i>	MA-070-L2
	Permeabilidade		05		EMBRAPA. Manual de Métodos de Análise de Solo 2ª ed. 1997.
	pH		07		EMBRAPA. (Rio de Janeiro, RJ)
	Capacidade de troca de cátions		05		Manual de Análises Químicas de Solo, Plantas e Fertilizantes (EMBRAPA, 1999)
	Fósforo		07		Métodos de Análise Química, Mineralógica e Física de Solos do Instituto Agrônomo de Campinas/ Oxidação por combustão catalítica
Água subterrânea e superficial 1ª e 2ª Campanhas	Cadaverina	Água superficial: coleta simples por tomada direta Água subterrânea: coleta via bailer descartável	15	Gelo <i>Validade da amostra: não especificada pelo laboratório</i>	Czech J. Food Sci. Vol.21/LC-FLD (Cromatografia líquida por reagentes por derivatização)
	Putrescina				CETESB NT-L5.213
	Clostrídios Sulfito-Redutores			Gelo/MIF <i>Validade da amostra: 24 h</i>	SMEWW 9221 E
	Coliformes Termotolerantes				SMEWW 9223 A e B – Tubos Múltiplos Normal
	Coliformes Totais			HNO ₃ / Gelo <i>Validade da amostra: 6 meses</i>	APHA-AWWA-22ªEd. 3125 B / CÁLCULO
	Dureza total			Gelo <i>Validade da amostra: 24 h</i>	APHA-AWWA-22ªEd. 2320 B
	Alcalinidade total			H ₂ S ₂ O ₄ / Gelo <i>Validade da amostra: 7 dias</i>	SM 4500-NH3 (F) - 22ª Edição - Phenate Method
Nitrogênio amoniacal	Água subterrânea	07	Gelo <i>Validade da amostra: 28 dias</i>	SMEWW 22ª Edição 2005:4500 – SO42-E	
Enxofre total				H ₂ S ₂ O ₄ / Gelo <i>Validade da amostra: 28 dias</i>	SMEWW 22ª Edição 2005:4500-PB
Fósforo			Gelo <i>Validade da amostra: Sulfato, 28 dias; e Nitrato e Nitrito, 48 h.</i>	Standard Methods 4500-SO4-2 - E	
Sulfato				SMEWW 22ª Edição 2005: 4500-NO3-E: Colorimetric Method	
Nitrato				SMEWW 21ª Edição 2005: 4500-NO2-E: Colorimetric Method	
Nitrito	Água subterrânea e superficial 1ª e 2ª Campanhas	15	Validade da amostra: não aplicável	SMWW, 22ª, 2012 – Método 4500 H+B	
pH (a 25°C)*				SMWW, 22ª, 2012 – Método 2550 B	
Temperatura*				SMWW, 22ª, 2012 – Método 2510 B	
Condutividade elétrica*				SMWW, 22ª, 2012 – Método 4500 OG	
Oxigênio dissolvido*	*Mensurados in situ por sonda multiparâmetros				

4.5 Determinação dos pontos de amostragem

4.5.1 Solo

Foram determinados sete pontos de coleta de solo, sendo seis pontos dentro da área de delimitação para estudo (S1, S2, S3, S5, S6 e S7) e um ponto fora da área delimitada (S4). Os pontos S5 e S6 foram executados no interior do cemitério por meio de sondagem de simples reconhecimento utilizando trado manual, conforme NBR 6484, para verificar a ocorrência do aquífero livre na região, além de subsidiar a coleta de amostras de solo para a verificação das propriedades físico-químicas.

Na Tabela 4.4, é apresentado o georreferenciamento dos perfis de solo amostrados e das sondagens realizadas.

Tabela 4.4. Coordenadas e altimetria dos pontos de amostragem de solo na área do diagnóstico ambiental em Betim, MG

Ponto	Localização	Altitude*	Coordenadas*	
			Geográficas	UTM (23 K)
S1	“Ponto Córrego Saraiva” Jusante oeste da área do cemitério	747,00 m	19° 57' 04,31'' S 44° 13' 54,48'' W	580385,55 m E 7793721,63 m S
S2	“Ponto Vegas” Terreno da empresa Vegas Ferramentaria Montante da área do cemitério	771,00 m	19° 57' 04,93'' S 44° 13' 47,38'' W	580591,81 m E 7793718,83 m S
S3	“Ponto Córrego Cachoeira” Jusante nordeste da área do cemitério	753,00 m	19° 57' 01,60'' S 44° 13' 37,12'' W	580888,42 m E 7793814,46 m S
S4	“Ponto-testemunha” Nordeste do cemitério	780,00 m	19° 56' 55,89'' S 44° 13' 19,72'' W	581394,24 m E 7793992,6 m S
S5**	“Ponto Quadra Hibisco 1” Interior do cemitério	770,0 m	19° 57' 07,66'' S 44° 13' 40,23'' W	580797,55 m E 7793627,86 m S
S6**	“Ponto Quadra Hibisco 2” Interior do cemitério	767,00 m	19° 56' 05,11'' S 44° 13' 41,25'' W	580770,04 m E 7793707,46 m S
S7**	“Ponto externo ao cemitério” Jusante norte da área do cemitério	757,00 m	19° 57' 01,56'' S 44° 13' 43,43'' W	580704,45 m E 7793820,96 m S

Nota: (*) Obtidas pelo Sistema de Informações Geográficas – SisGeo – Prefeitura Municipal de Betim/MG. (**) Pontos referentes à ampliação do diagnóstico.

A justificativa da determinação consistiu em dois pontos que representassem a região interior do cemitério (S5 e S7), um ponto que representasse a região a montante de sepultamento (S2), três pontos que representassem as regiões a jusante da área de sepultamento do cemitério (S1, S3 e S7) e um ponto como testemunha (S4) localizado na área a nordeste do cemitério, fora da área de delimitação do estudo. Também foi priorizada a região que contivesse acessibilidade, segurança e perfil de solo para a identificação dos horizontes e que possibilitasse a realização da amostragem de solo sem a utilização de equipamento de sondagem. Na ampliação do diagnóstico, foram executadas sondagens de simples reconhecimento, conforme NBR 6484, para a obtenção das amostras de solo (S5, S6 e S7), devido à ausência de perfis nestas regiões.

O horizonte do perfil de solo prioritário para a amostragem foi o B, considerado horizonte diagnóstico para avaliações ambientais. Em perfis onde o horizonte B não foi exposto, teve-se como segunda opção a escolha do horizonte A, em substituição.

4.5.2 Água subterrânea

Para a determinação do número de pontos e locais de coleta de amostras, foi realizada uma pesquisa de campo, com a aplicação de um questionário em toda a área de abrangência do diagnóstico, com o objetivo de identificar pontos e usuários de água subterrânea por meio de poço de captação ou local acessível para a realização de sondagens.

Realizaram-se entrevistas em 41 residências e foram identificados, segundo a pesquisa realizada, 2 poços de captação, um poço de captação do tipo cisterna em uma residência e um poço tubular em uma empresa desativada em área adjacente ao cemitério.

A pesquisa de existência de pontos de captação de água subterrânea foi realizada no período de 24/09/2015 a 07/10/2015 e em 28/09/2016. Dos poços identificados, somente a cisterna passou pelo processo de amostragem (ASUB1) na primeira campanha de maio de 2016, pois o poço da empresa desativada não estava acessível por falta de autorização desta. Em substituição aos poços que representariam as regiões de potencial contaminação em relação ao sentido de escoamento preferencial inferido do aquífero, realizaram-se duas sondagens de simples reconhecimento, conforme NBR 6484, até a interceptação com o aquífero para a obtenção das amostras de água

subterrânea. Uma sondagem foi feita na região a jusante nordeste da área do cemitério (ASUB2), e a outra, a nordeste do cemitério, em uma área fora da área delimitada como amostra-testemunha (ASUB3) para coleta de solo conforme procedimentos estabelecidos pela NBR 9604. Na segunda campanha de amostragem, realizada em setembro de 2016, identificou-se mais uma cisterna a montante sudoeste do cemitério, localizada em uma residência abandonada da qual foram extraídas amostras para análise (ASUB4).

O georreferenciamento dos pontos de amostragem de água subterrânea é demonstrado na Tabela 4.5, a seguir:

Tabela 4.5. Coordenadas e altimetria dos pontos de amostragem de água subterrânea na área do diagnóstico ambiental em Betim, MG

Ponto	Localização	Altitude*	Coordenadas*	
			Geográficas	UTM (23 K)
ASUB1	Cisterna localizada em residência na rua Minerva - Jusante sudoeste da área do cemitério	756,00 m	19° 57' 09,54'' S 44° 13' 54,44'' W	580390,24 m E 7793584,92 m S
ASUB2	Jusante nordeste da área do cemitério	758,00 m	19° 57' 01,31'' S 44° 13' 33,33'' W	580998,83 m E 7793823,87 m S
ASUB3	“Ponto-Testemunha” Nordeste do cemitério fora da área de drenagem	768,00 m	19° 56' 59,59'' S 44° 13' 23,08'' W	581295,05 m E 7793871,53 m S
ASUB4**	Cisterna localizada em residência na rua Menezes de Ferreira - Montante sudoeste da área do cemitério	783,00 m	19° 57' 15,73'' S 44° 13' 49,14'' W	580524,20 m E 7793385,49 m S

Nota: (*) Obtidas pelo Sistema de Informações Geográficas – SisGeo – Prefeitura Municipal de Betim/MG. (**) Ponto referente à ampliação do diagnóstico.

4.5.3 Água superficial

Foram determinados quatro pontos de coleta de amostras de água superficial, sendo dois pontos no córrego Cachoeira, nas regiões a jusante norte e nordeste do perímetro do cemitério (ASUP2 e ASUP3 respectivamente), um ponto no córrego Saraiva (ASUP1), na região a jusante noroeste do perímetro do cemitério, e um ponto de amostragem no córrego Santa Fé (ASUP4) como testemunha, na região fora da área delimitada do estudo.

O georreferenciamento dos pontos de amostragem de água superficial é demonstrado na Tabela 4.6.

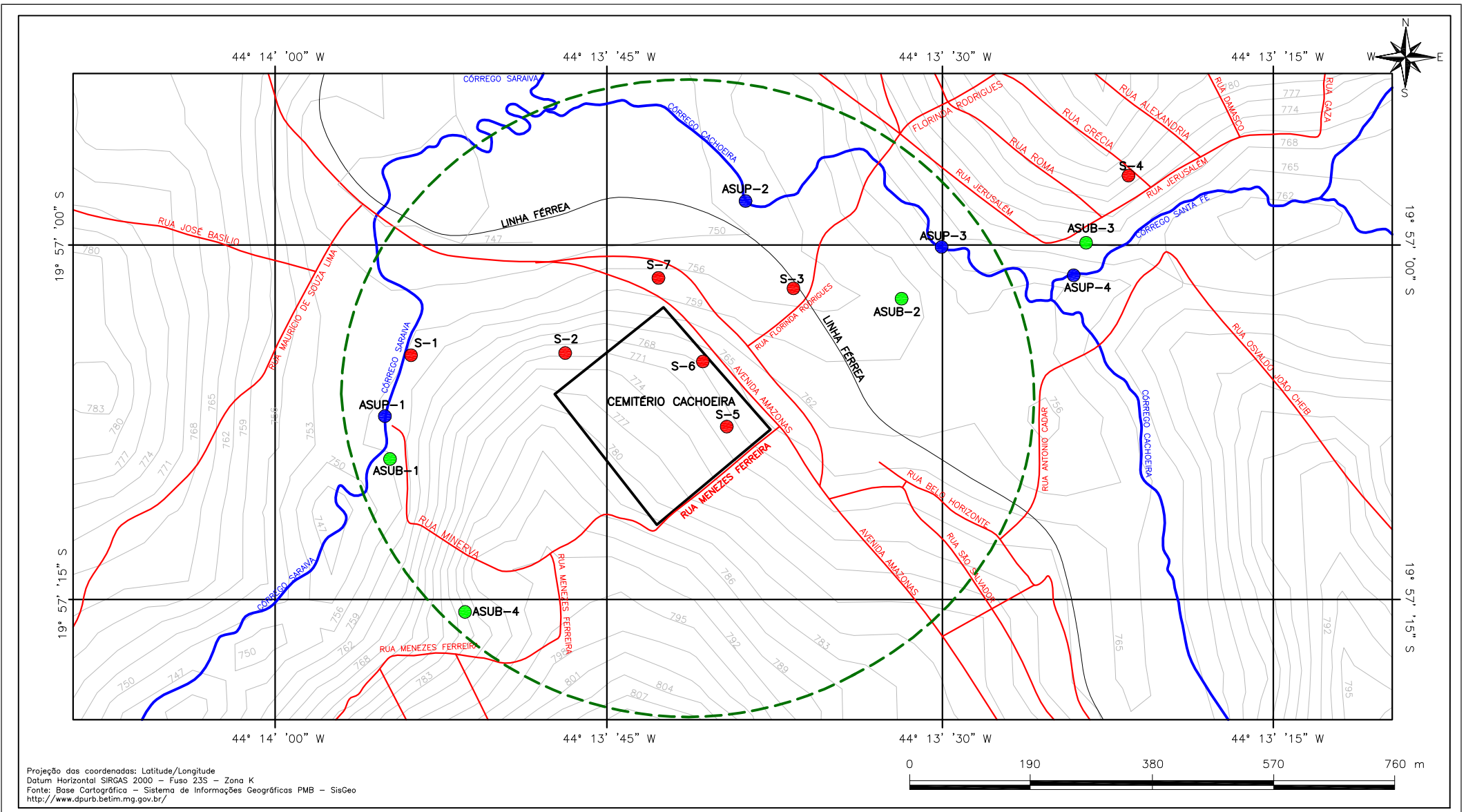
Tabela 4.6. Coordenadas e altimetria dos pontos de amostragem de água superficial no entorno do Cemitério Cachoeira em Betim, MG

Ponto	Localização	Altitude*	Coordenadas*	
			Geográficas	UTM (23 K)
ASUP1	Córrego Saraiva Jusante leste da área do cemitério	747,00 m	19° 57' 07,22" S 44° 13' 55,83" W	580369,66 m E 7793624,68 m S
ASUP2	Córrego Cachoeira - Ponto 1 Jusante norte da área do cemitério	753,00 m	19° 56' 57,86" S 44° 13' 39,12" W	580812,40 m E 7793928,70 m S
ASUP3	Córrego Cachoeira - Ponto 2 Jusante nordeste da área do cemitério	762,00 m	19° 56' 59,69" S 44° 13' 30,55" W	581075,58 m E 7793887,17 m S
ASUP4	“Córrego Santa Fé – Ponto-Testemunha” Nordeste do cemitério fora da área de drenagem	765,00 m	19° 57' 01,20" S 44° 13' 24,03" W	581277,70 m E 7793824,57 m S

Nota: (*) Obtidas pelo Sistema de Informações Geográficas – SisGeo – Prefeitura Municipal de Betim/MG.

4.5.4 Localização georreferenciada dos pontos de amostragem determinados para solo, água subterrânea e superficial

O mapa de localização dos pontos de amostragem definidos para o cumprimento do plano de amostragem do diagnóstico é apresentado pela Figura 4.1.



LEGENDA DOS ELEMENTOS GRÁFICOS:

- Curva de nível
- Corpo hídrico superficial
- Logradouro público
- Área demilitada do diagnóstico
- ASUB-X: ponto de amostragem de água subterrânea
- ASUP-X: ponto de amostragem de água superficial
- S-X: ponto de amostragem de solo
- Área do cemitério
- Linha férrea

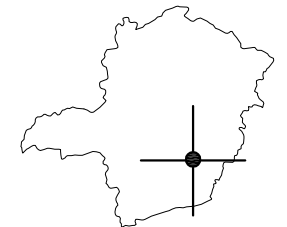


FIGURA 4.1: LOCALIZAÇÃO DOS PONTOS DE AMOSTRAGEM NO INTERIOR E NO ENTORNO DO CEMITÉRIO CACHOEIRA LOCALIZADO EM BETIM-MG

ELABORAÇÃO: Júlio C. G. Marques

4.6 Metodologia para caracterização do cemitério, entorno e obtenção de dados de precipitação pluviométrica

Para a caracterização do cemitério, foram realizadas entrevistas e pesquisas por meio de visitas técnicas ao local. Realizou-se o registro fotográfico das condições operacionais e do aspecto geral do cemitério.

Para a caracterização do entorno, realizaram-se:

- Visitas às residências na área delimitada de estudo para a identificação de pontos de captação de água subterrânea e existência de fossas;
- Visitas em corpos hídricos da área de estudo para a obtenção de registro fotográfico para verificar o estado de conservação e a situação em relação à intervenção em Área de Preservação Permanente – APP;
- Avaliação geral da área delimitada de estudo e análise de uso e ocupação do solo da região;
- Consultas a processos administrativos de licenciamento ambiental das empresas e indústrias, nos órgãos ambientais competentes, para a identificação de processos produtivos, aspectos ambientais relevantes, como geração de efluentes líquidos e resíduos sólidos, forma de disposição e controle ambiental.

Para o estudo sobre precipitação pluviométrica, foi consultado o site do Instituto Nacional de Meteorologia - INMET - para a obtenção de dados referentes a dois períodos trimestrais dos anos de 2015 e 2016, para a observação de acúmulo de precipitação, tomando como referência a data da realização das duas campanhas de amostragem principais, tendo sido a primeira em 18/05/2016 (período de 18/02 a 18/05 de 2015 e 18/02 a 18/05 de 2016), e a segunda, em 28/09/2016 (período de 28/06 a 28/09 de 2015 e 28/06 a 28/09 de 2016). A aquisição desses dados de precipitação pluviométrica colaborou para o entendimento dos resultados analíticos obtidos referentes aos processos de lixiviação de substâncias presentes no solo para os aquíferos e águas superficiais.

4.7 Elaboração de mapas temáticos

Para a elaboração dos mapas temáticos para solo, água subterrânea, indicação do fluxo real e inferido do aquífero livre na área delimitada de estudo, foram utilizados dois *softwares*:

- AutoCad versão 2013: criar a base georreferenciada para os mapas temáticos e mapa potenciométrico;
- *Golden Software*® Surfer 11.0: modelar e representar as concentrações em solo e água subterrânea pelo método de interpolação matemática *Krigagem*.

Com a utilização do programa *Golden Software*® Surfer 11.0, realizou-se a interpolação dos dados de uma área de estudo no qual se representam, por meio de mapas temáticos, as concentrações de compostos determinados no diagnóstico. Neste programa, trabalhou-se com a inserção de coordenadas geográficas, em latitude/longitude (X/Y), Universal Transversa de Mercator (X/Y) ou coordenadas simples, inserindo-se valores de abscissas e ordenadas (X/Y) vinculadas a um valor Z que representa a concentração do parâmetro considerado para a interpolação. Não foram elaborados os mapas temáticos para a água superficial por se tratar de ambientes lóticos, não sendo aplicável esta metodologia de representação.

Para a obtenção de coordenadas geográficas para o georreferenciamento dos mapas temáticos, bem como das curvas de nível para a elaboração do mapa-base, foi consultado o Sistema de Informações Geográficas da Prefeitura Municipal de Betim-MG - SisGeo - disponível nos computadores dos servidores públicos na divisão de licenciamento ambiental.

Para elaboração da modelagem das concentrações dos parâmetros de solo e água subterrânea, por meio do programa *Golden Software*® Surfer 11.0, foram adotados os seguintes critérios:

- Realização da modelagem apenas para parâmetros detectados em, pelo menos, um ponto de amostragem na avaliação da respectiva matriz (solo ou água subterrânea), quando aplicável e que necessitasse de representação para complementação da discussão dos resultados;
- Adotou-se, como limite inferior para interpolação, o valor mínimo de concentração do parâmetro detectado em todas as amostras da matriz solo ou água subterrânea;
- Adotou-se, como limite superior para interpolação, o valor máximo de concentração do parâmetro detectado em todas as amostras da matriz solo ou água subterrânea;
- Para os pontos de monitoramento onde a concentração não foi detectada, utilizou-se o valor mínimo de concentração para interpolação igual a zero;
- A representação das concentrações nos mapas temáticos abrangeu somente a área entre os pontos de amostragem da respectiva matriz (solo ou água subterrânea);
- A escolha das cores para a representação das concentrações foi aleatória, sendo aplicada a cor verde-claro para representar menores concentrações ou valores, e a cor azul-escuro, para maiores concentrações ou valores;
- Foram elaborados mapas temáticos de concentrações na água subterrânea somente para a campanha de setembro de 2016, em decorrência do tamanho de área plotada obtida devido à amostragem da cisterna identificada como ponto de monitoramento ASUB4 - referente à ampliação do diagnóstico ambiental e para o solo, após a obtenção dos resultados ao final da realização de todas as campanhas.

Para a elaboração do mapa potenciométrico local referente às linhas de cargas hidráulicas, realizou-se a interpolação linear entre dois pontos de monitoramento onde o nível freático foi interceptado. Traçaram-se retas entre dois pontos de monitoramento para realizar o processo de interpolação linear, sendo estas preferencialmente em sentido inferido do fluxo do aquífero. Conhecendo-se a cota topográfica e a profundidade de interceptação com o aquífero livre local em cada ponto de

monitoramento, foi possível calcular, pela diferença entre estas duas variáveis, a carga hidráulica correspondente.

A interpolação consistiu no cálculo do intervalo a cada 1 m de distância entre dois pontos de monitoramento, conhecidos nas retas traçadas, no sentido inferido do fluxo do aquífero. Para o cálculo do intervalo, foram consideradas duas distâncias: Δx , que corresponde à distância horizontal em cm na escala do desenho georreferenciado entre dois pontos de monitoramento onde se deseja interpolar; e Δy , a distância vertical (diferença entre as cargas hidráulicas) entre estes dois pontos.

A fórmula geral para a realização da interpolação linear foi: $i = \Delta x / \Delta h$, onde i é o valor do intervalo em cm. O valor calculado corresponde a 1 m na escala real do mapa georreferenciado. Obtendo-se pontos de mesma cota nas retas interpoladas, realizou-se a ligação entre estes, determinando, assim, a linha equipotencial de carga hidráulica indicando o sentido real do fluxo do aquífero livre. O sentido do aquífero é determinado pela perpendicular à linha de carga hidráulica, da maior para a menor carga hidráulica calculada e interpolada. Para as linhas com traço contínuo, o fluxo pôde ser confirmado, e, para as linhas de traço intermitente, o fluxo foi inferido, devido a não interceptar o nível do aquífero livre na região correspondente ao interior do cemitério (hipotético).

O mapa potenciométrico elaborado refere-se ao sentido real e inferido do aquífero livre obtido para a campanha de amostragem de água subterrânea realizada em setembro de 2016. Em maio de 2016, não foi possível elaborar o mapa porque, na ocasião, o ponto de monitoramento ASUB4 não havia sido identificado para amostragem.

4.8 Legislações ambientais consultadas

Foram consultadas legislações brasileiras em âmbito federal e estadual sobre o padrão de potabilidade da água para consumo humano e sobre padrão de qualidade de solo, água subterrânea e superficial para subsidiar a análise e a discussão dos resultados, conforme a Tabela 4.7.

Tabela 4.7. Legislações consultadas para realização da discussão dos resultados

Tipo de amostra	Legislações consultadas	Objetivo da legislação
Água subterrânea e superficial	Portaria 2914/11 do Ministério da Saúde	Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade.
Água subterrânea	Resolução CONAMA nº 396/2008	Dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas e dá outras providências.
Solo e Água subterrânea	Resolução CONAMA nº 420/2009	Dispõe sobre critérios e valores orientadores de qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas e estabelece diretrizes para o gerenciamento ambiental de áreas contaminadas por essas substâncias em decorrência de atividades antrópicas.
	Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH nº 02/2010	Institui o Programa Estadual de Gestão de Áreas Contaminadas, que estabelece as diretrizes e procedimentos para a proteção da qualidade do solo e gerenciamento ambiental de áreas contaminadas por substâncias químicas.
	Deliberação Normativa COPAM nº 166/2011	Altera o Anexo I da Deliberação Normativa Conjunta COPAM CERH nº 2, de 6 de setembro de 2010, estabelecendo os Valores de Referência de Qualidade dos Solos.
Água superficial	Resolução CONAMA nº 357/2005	Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências.
	Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH nº 01/2008	Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Caracterização do Cemitério Municipal Parque Cachoeira

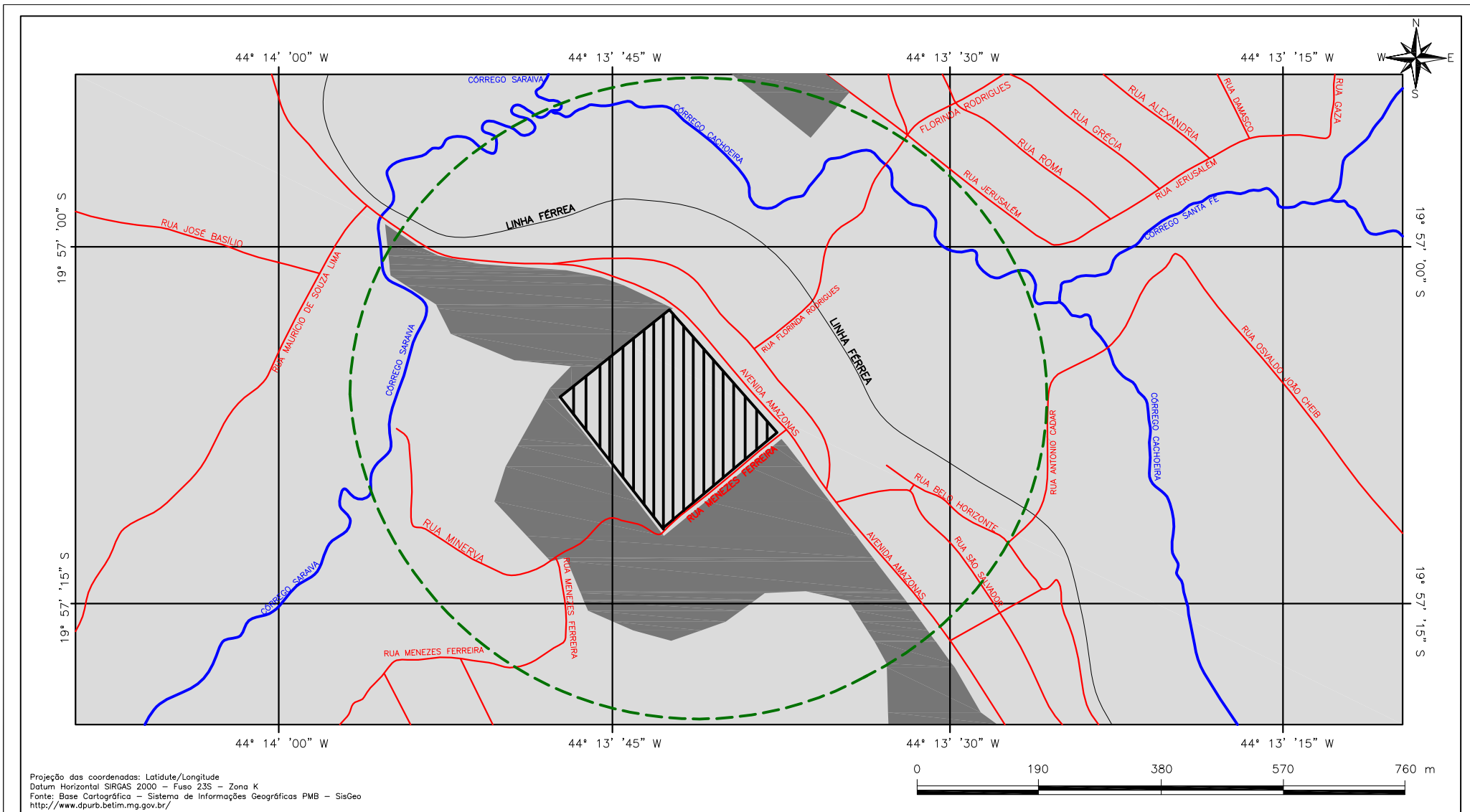
O Cemitério Municipal Parque Cachoeira está localizado à Avenida Amazonas, nº 5.101, bairro Cachoeira, município de Betim, no estado de Minas Gerais (Figura 5.1). Possui área total do terreno de 43.724,0 m², equivalente a 4,3 hectares, sob as coordenadas métricas 580716,23 m E e 7793645,87 m S.








Figura 5.1: Fachada principal do Cemitério Municipal Parque Cachoeira, Betim-MG
Fonte: Próprio autor

Conforme CÂMARA MUNICIPAL DE BETIM (2007), o cemitério encontra-se implantado em Zona Residencial Mista, em área limítrofe com Zona de Atividades Especiais, segundo o Plano Diretor do município de Betim-MG, Lei Municipal nº 4.574/2007, a noroeste, sudoeste, sul e sudeste (Figura 5.2).

A infraestrutura do cemitério conta com área administrativa, área de velórios, ossário, estacionamento e rede de drenagem pluvial. A água abastecida, coleta e tratamento de esgoto são realizados por concessionária local.



LEGENDA DOS ELEMENTOS GRÁFICOS:

-  Corpo hídrico superficial
-  Área do cemitério
-  Área demilitada do diagnóstico
-  Zona de Atividades Especiais – ZAE conforme Plano Diretor de Betim/MG
-  Zona Residencial Mista – ZRM conforme Plano Diretor de Betim/MG

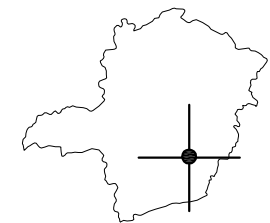


FIGURA 5.2: ZONEAMENTO MUNICIPAL DA ÁREA DE ESTUDO DE ACORDO COM O PLANO DIRETOR DE BETIM-MG

ELABORAÇÃO: Júlio C. G. Marques

Trata-se de um cemitério público municipal do tipo parque jardim (horizontal), (Figura 5.3) em operação desde 1981, dividido em 10 quadras, conforme Tabela 5.1:

Tabela 5.1. Quadras do cemitério Cachoeira localizado em Betim-MG e regime de operação

Quadra	Operante	Não operante
Hibisco 1	X	
Hibisco 2	X	
Hibisco 3	X	
Hibisco 4		X
Azaléia 1	X	
Azaléia 2		X
Rosas 1		X
Rosas 2		X
Acácias 1		X
Acácias 2		X

Conforme Tabela 5.1, atualmente, as quadras Hibisco 1, 2, 3 e Azaléia 1 estão em operação, sendo que o processo de sepultamento ocorre nelas de 6 a 18 meses, de acordo com as informações obtidas junto à administração do cemitério.

O sepultamento ocorre sob a forma de jazigos dotados de paredes laterais e tampas em alvenaria de concreto. O cemitério está passando por reformas em seus jazigos desde 2014 para otimizar o espaçamento entre eles (Figura 5.3).



Figura 5.3: Vistas internas do cemitério Municipal Parque Cachoeira, Betim-MG (A e B)

Fonte: Próprio autor

A profundidade dos jazigos varia entre 1,80 m e 2,00 m em relação à superfície. O fundo deles não é impermeabilizado, ocorrendo a disposição dos corpos diretamente no solo (Figura 5.4).



Figura 5.4: Jazigo típico sem fundo impermeabilizado no cemitério Municipal Parque Cachoeira, Betim-MG

Fonte: Próprio autor

Segundo informações obtidas com a administração do cemitério, foram sepultados, desde o início de sua operação até dezembro de 2014, mais de 29.000 corpos, executando, em média, 150 sepultamentos por mês.

5.1.1 Avaliação das condições ambientais gerais do cemitério segundo os requisitos estabelecidos pelas Resoluções CONAMA nº 335/2003, nº 386/2006 e nº 402/2008

Na Tabela 5.2, estão os resultados da avaliação quanto ao atendimento aos requisitos estabelecidos pelas Resoluções CONAMA nº 335/2003, nº 386/2006 e nº 402/2008.

Tabela 5.2. Avaliação quanto ao atendimento às Resoluções CONAMA nº 335/2003, nº 386/2006 e nº 402/2008

Requisito	Atendimento		Observações
	Sim	Não	
I - o nível inferior das sepulturas deverá estar a uma distância de pelo menos um metro e meio acima do mais alto nível do lençol freático, medido no fim da estação das cheias.	X		Não há interceptação com o aquífero livre na área interior do cemitério.
II - nos terrenos onde a condição prevista no inciso anterior não puder ser atendida, os sepultamentos devem ser feitos acima do nível natural do terreno.	X		As sepulturas estão acima do nível natural do terreno.
III - adotar-se-ão técnicas e práticas que permitam a troca gasosa, proporcionando, assim, as condições adequadas à decomposição dos corpos, exceto nos casos específicos previstos na legislação.	X		Os jazigos são dotados de tampas removíveis em alvenaria.
IV - a área de sepultamento deverá manter um recuo mínimo de cinco metros em relação ao perímetro do cemitério, recuo que deverá ser ampliado, caso necessário, em função da caracterização hidrogeológica da área.		X	O recuo mínimo observado em todo o perímetro do cemitério é, em geral, inferior a 3,00 metros.
V - documento comprobatório de averbação da Reserva Legal, prevista em Lei.			Não aplicável, cemitério em área urbana.
VI - estudos de fauna e flora para empreendimentos acima de 100 (cem) hectares.			Não aplicável, pois possui área total de 4,3 hectares.
§ 1o Para os cemitérios horizontais, em áreas de manancial para abastecimento humano, devido às características especiais dessas áreas, deverão ser atendidas, além das exigências dos incisos de I a VI, as seguintes:			
I - a área prevista para a implantação do cemitério deverá estar a uma distância segura de corpos de água, superficiais e subterrâneos, de forma a garantir sua qualidade, de acordo com estudos apresentados e a critério do órgão licenciador.	X		Foi considerada atendida, visto que a distância mínima observada foi de aproximadamente 170 m a oeste do cemitério em relação ao córrego Saraiva.
II - o perímetro e o interior do cemitério deverão ser providos de um sistema de drenagem adequado e eficiente, destinado a captar, encaminhar e dispor de maneira segura o escoamento das águas pluviais e evitar erosões, alagamentos e movimentos de terra;	X		Foi constatado <i>in loco</i> sistema de drenagem pluvial implantado no cemitério.
III - o subsolo da área pretendida para o cemitério deverá ser constituído por materiais com coeficientes de permeabilidade entre 10^{-5} e 10^{-7} cm/s, na faixa compreendida entre o fundo das sepulturas e o nível do lençol freático, medido no fim da estação das cheias. Para permeabilidades maiores, é necessário que o nível inferior dos jazigos esteja dez metros acima do nível do lençol freático.	X		De acordo com os resultados laboratoriais para o ponto S5, sondagem realizada no interior do cemitério, o valor de permeabilidade do solo no horizonte B obtido foi de $8,0 \times 10^{-5}$ cm/s a 2,0 m de profundidade.
§ 2o A critério do órgão ambiental competente, poderão ser solicitadas informações e documentos complementares em consonância com exigências legais específicas de caráter local.			Não aplicável.

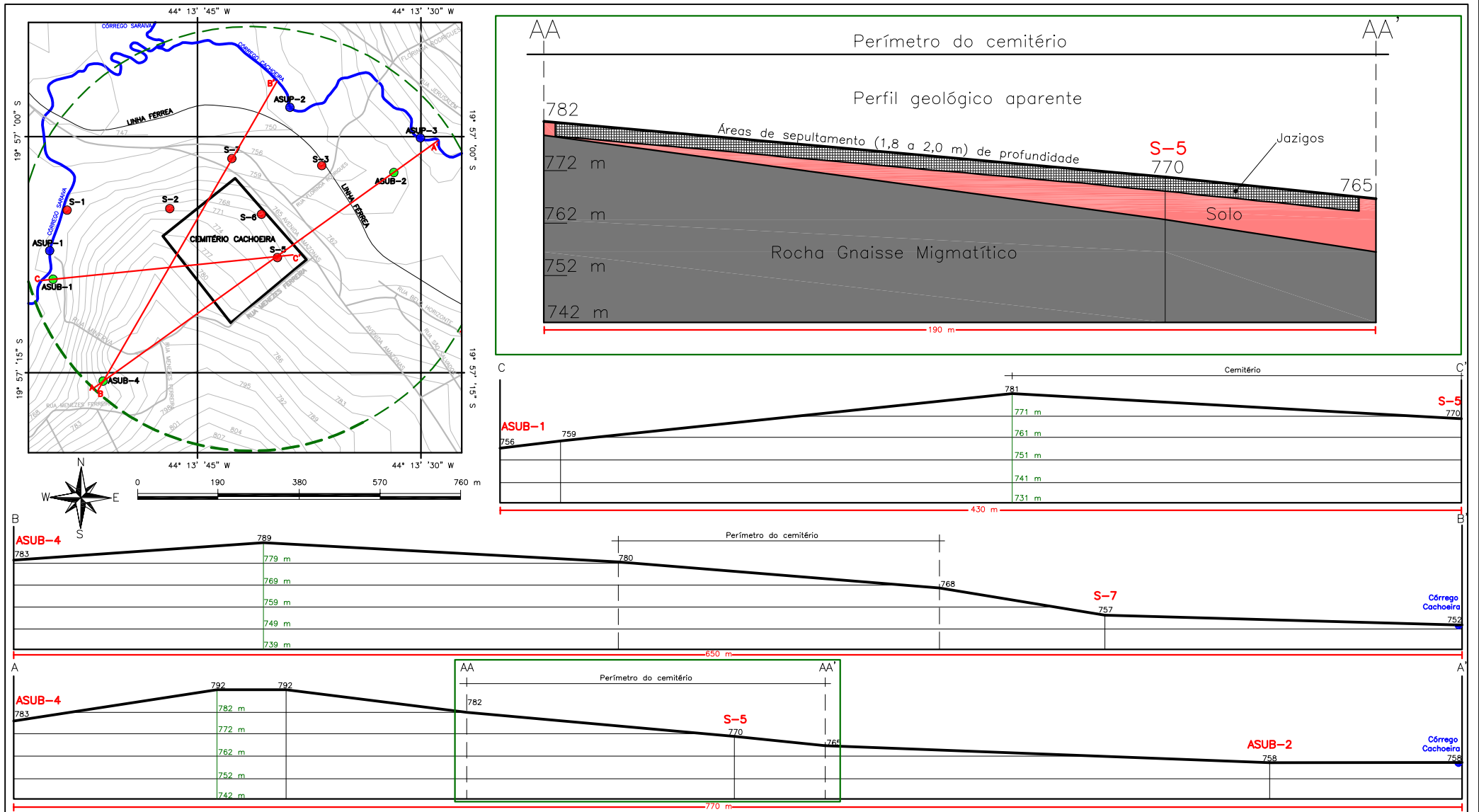
Na Tabela 5.2, observa-se atendimento de 85,71% dos requisitos aplicáveis ao cemitério, apresentando, de acordo com os requisitos estabelecidos pelas Resoluções CONAMA nº 335/2003, nº 386/2006 e nº 402/2008, condições favoráveis para a minimização de impactos ambientais decorrentes de suas operações, em especial pela distância em relação aos corpos hídricos, não interceptação com o nível do aquífero livre e pela permeabilidade obtida para o fundo das sepulturas, de $8,0 \times 10^{-5}$ cm/s a 2,0 m de profundidade.

5.2 Caracterização do entorno do Cemitério Municipal Parque Cachoeira

5.2.1 Relevô da área do diagnóstico ambiental

A altitude da região delimitada para estudo, com base na carta topográfica obtida no Sistema de Informações Geográficas – SisGeo - da Prefeitura de Betim, varia entre 747,00 m (a jusante norte e noroeste do cemitério) e 810,00 m (região a montante do cemitério), apresentando um desnível de 63 m. Na área do cemitério, a altitude varia entre 782,00 m e 765,00 m, apresentando desnível de 17 m (Figura 5.5).

Na área do diagnóstico ambiental, identificou-se, nas regiões sudeste, nordeste e norte em relação ao cemitério, relevo aplainado até as margens do córrego Saraiva e do córrego Cachoeira. O relevo mais acidentado foi localizado na região sudoeste em relação ao cemitério (Figura 5.5).



LEGENDA DOS ELEMENTOS GRÁFICOS:

- Curva de nível
- Corpo hídrico superficial
- Seção transversal da área
- Área demarcada do diagnóstico
- ASUB-X: ponto de amostragem de água subterrânea
- ASUP-X: ponto de amostragem de água superficial
- S-X: ponto de amostragem de solo

- Área do cemitério
- Linha férrea

Projeção das coordenadas: Latitude/Longitude
 Datum Horizontal SIRGAS 2000 - Fuso 23S - Zona K
 Fonte: Base Cartográfica - Sistema de Informações Geográficas PMB - SisGeo
<http://www.dpurb.betim.mg.gov.br/>

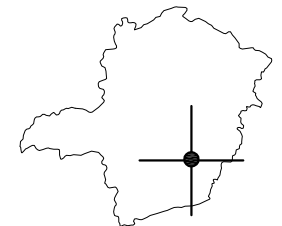


FIGURA 5.5: RELEVO DA ÁREA DO DIAGNÓSTICO AMBIENTAL AO ENTORNO DO CEMITÉRIO PARQUE CACHOEIRA, BETIM-MG

ELABORAÇÃO: Júlio C. G. Marques

5.2.2 Uso e ocupação do solo no entorno do Cemitério Municipal Cachoeira em Betim-MG

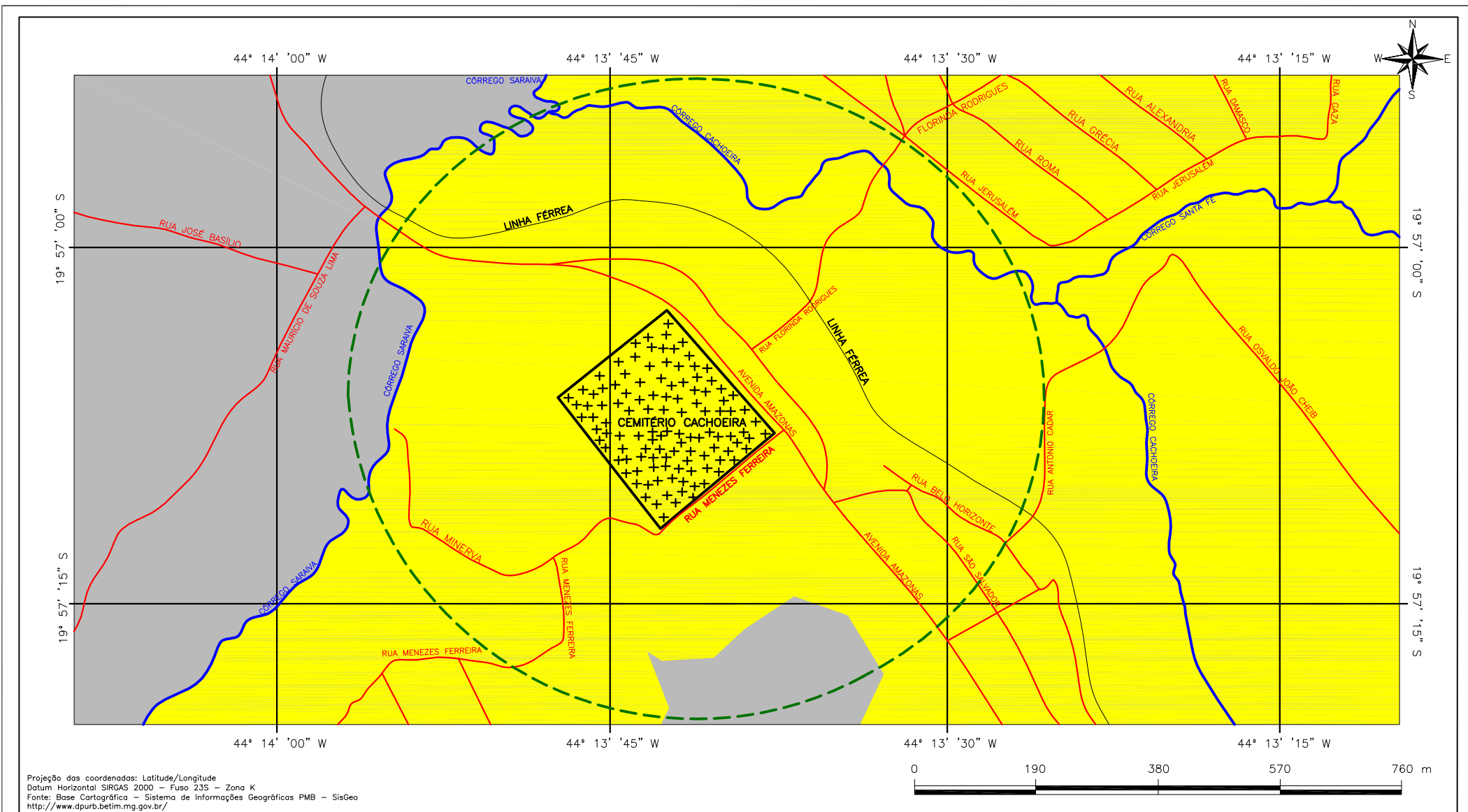
Foi observada, na região do entorno do cemitério, em um raio de 400 metros de seu perímetro, a existência de residências situadas nos bairros Marmeleiros (a montante do cemitério) e Cachoeira (sudeste, leste e nordeste do cemitério).

A região do entorno do cemitério é de ocupação mista, sendo observada a presença de comércios e indústrias. Esta região é caracterizada por média densidade demográfica, de acordo com o Sistema de Informações Geográficas - SisGeo - da Prefeitura Municipal de Betim, MG (Figura 5.6).






Segundo IBGE (2017), o município de Betim-MG possui densidade demográfica de 1.102,80 hab/Km².

O cemitério está implantado na região da microbacia do córrego Saraiva, no município de Betim, Região Metropolitana de Belo Horizonte-MG.

Na área delimitada para o diagnóstico ambiental, foram identificados três corpos hídricos superficiais: o córrego principal da microbacia, denominado Saraiva, e seus contribuintes, o córrego Cachoeira e o córrego Santa Fé (Figura 5.7).



LEGENDA DOS ELEMENTOS GRÁFICOS:

-  Corpo hídrico superficial
-  Média densidade
-  Área do cemitério
-  Baixa densidade
-  Área demilitada do diagnóstico

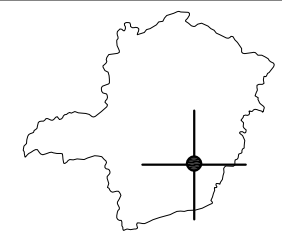
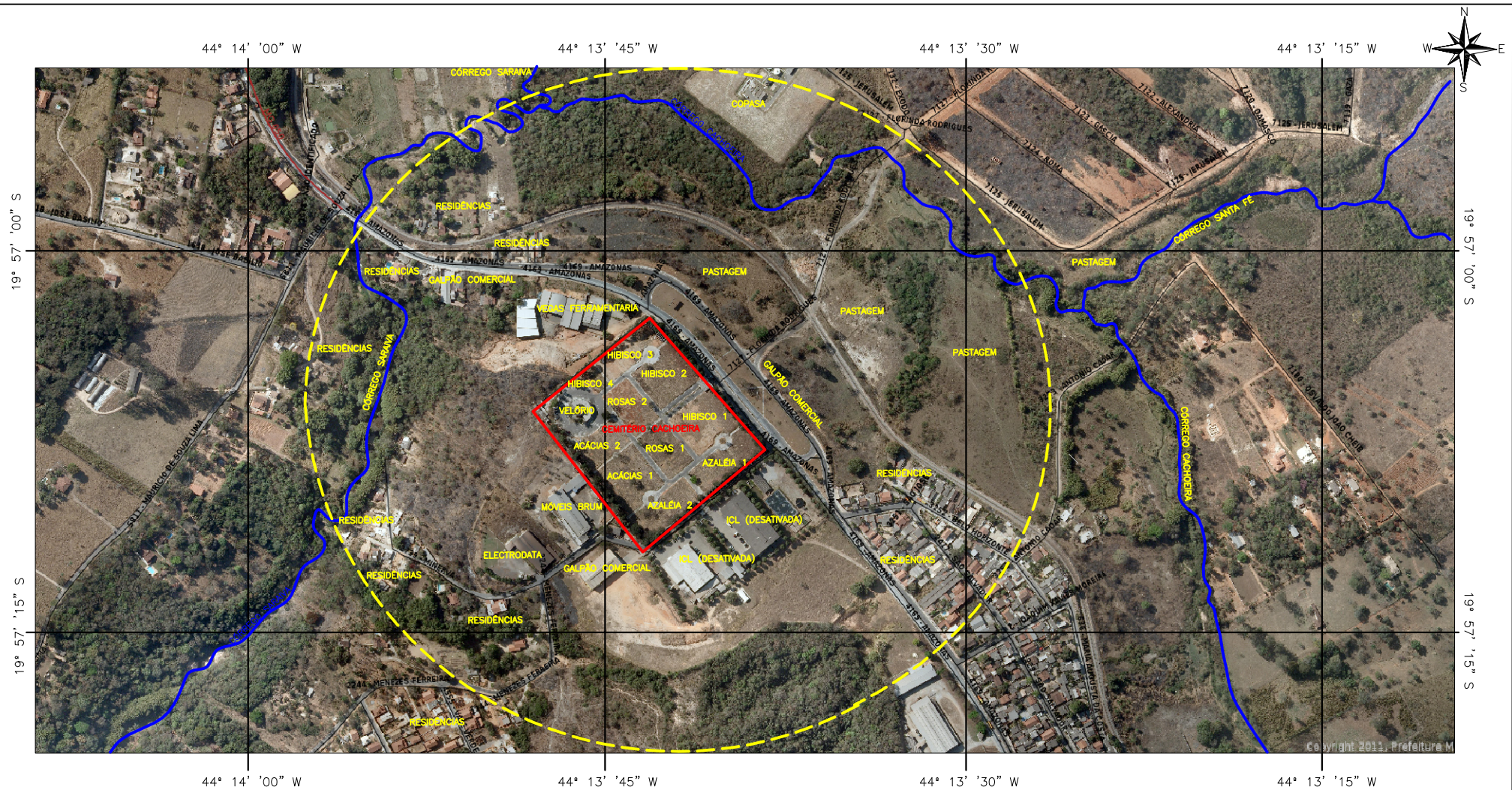





FIGURA 5.6: MAPA DE DENSIDADE DEMOGRÁFICA DA ÁREA DE ESTUDO DE ACORDO COM O SISTEMA DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS-SISGEO-DA PREFEITURA MUNICIPAL DE BETIM-MG

ELABORAÇÃO: Júlio C. G. Marques



Projeção das coordenadas: Latitude/Longitude
 Datum Horizontal SIRGAS 2000 – Fuso 23S – Zona K
 Fonte: Base Cartográfica – Sistema de Informações Geográficas PMB – SisGeo
<http://www.dpurb.betim.mg.gov.br/>

LEGENDA DOS ELEMENTOS GRÁFICOS:

-  Área demarcada do diagnóstico
-  Corpo hídrico superficial
-  Área do cemitério

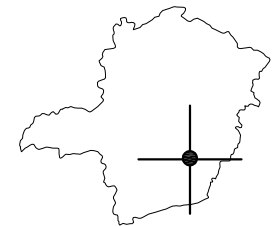


FIGURA 5.7: CARACTERIZAÇÃO GERAL DO INTERIOR E DO ENTORNO DO CEMITÉRIO CACHOEIRA LOCALIZADO EM BETIM-MG

ELABORAÇÃO: Júlio C. G. Marques

Foram identificados quatro estabelecimentos comerciais e quatro industriais, sendo que um destes últimos se encontra desativado. Dos estabelecimentos de maior interesse ambiental, considerando os seus processos produtivos, atividades desenvolvidas e áreas totais, estão: Móveis Brum e Electrodata, a montante do cemitério; ICL Industrial Cachoeira (desativada), a sudeste do cemitério; e Vegas Ferramentaria, a jusante noroeste do cemitério. Todas estas empresas estão instaladas em Zona de Atividades Especiais, conforme o Plano Diretor do município de Betim-MG, de acordo com a Lei Municipal nº 4.574/2007.

Foram realizadas pesquisas sobre a existência de processos de licenciamento desses empreendimentos com o objetivo de obter informações sobre processos produtivos e atividades, bem como sobre aspectos ambientais relevantes, como geração de resíduos sólidos e efluentes líquidos industriais. Esta pesquisa se deu por meio de consulta a documentos junto aos órgãos ambientais competentes: Secretaria Municipal de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável da Prefeitura Municipal de Betim - SEMMAD - e Superintendência Regional de Regularização Ambiental Central Metropolitana – SUPRAM.

De acordo com as pesquisas realizadas, obtiveram-se as seguintes informações:

- ICL Industrial Cachoeira: de acordo com SUPRAM (2012), o Parecer Único da Superintendência Regional de Regularização Ambiental Central Metropolitana - SUPRAM - nº 448/2012, constante no processo de licenciamento ambiental nº 00227/1995/005/2012, a ICL está instalada em um terreno com área total de 70.000 m², sendo 9.000 m² de área construída para os setores administrativo, de produção, pátios e área verde, e possuía cerca de 330 empregados. A empresa foi detentora da Licença Ambiental de Operação Classe 5, emitida pela SUPRAM Central, em 2012, com validade de 06 anos - a qual venceria em 2018. A empresa encerrou suas atividades após 24 anos de funcionamento, em setembro de 2015, alegando crise financeira. Tinha como atividades a facção e a confecção de roupas, peças de vestuários e artefatos diversos de tecidos com lavagem, tingimento e outros acabamentos. Os impactos ambientais negativos de

maior relevância durante o desenvolvimento das atividades da empresa foram a geração de efluentes líquidos decorrentes do processo industrial e efluentes sanitários (em maior volume) que eram encaminhados para uma Estação de Tratamento de Efluentes Líquidos - ETE - industrial, geração de resíduos sólidos, como sucatas metálicas, embalagens plásticas, lodo de ETE, óxido de alumínio, argila sinterizada (classificada como inerte), filtro de lã de vidro das cabines de jateamento da pintura, além de emissões atmosféricas oriundas da queima de óleo BPF na caldeira, do jateamento de óxido de alumínio e da cabine de permanganato. Considerou-se, nesta análise, a geração de efluentes sanitários e industriais os aspectos ambientais mais relevantes. O parecer ainda descreve a forma de controle ambiental do efluente onde o sistema de tratamento era composto por cinco leitos de secagem para os lodos gerados na ETE que, depois de tratados, eram lançados na rede pública e, posteriormente, no córrego Saraiva. De acordo com as análises apresentadas pela empresa no processo de licenciamento ambiental, foi constatado que os efluentes atenderam aos padrões estabelecidos na legislação na época da concessão do licenciamento ambiental. Atualmente, a empresa encontra-se fechada, e não foram obtidas informações recentes sobre o controle ambiental ou processos de descomissionamento da atividade exercida na área.

- Móveis Brum: de acordo com o Parecer Técnico SEMEIA nº 946/2006, da Secretaria Municipal de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável da Prefeitura Municipal de Betim – SEMMAD, constante no processo de licenciamento ambiental nº 2298/2003, o empreendimento foi detentor de uma Licença de Operação Corretiva, emitida pela Secretaria em 2006, com previsão do término de validade em 2016. Possui 1.454,89 m² construídos para administração, galpões industriais, pátios de estacionamento e carga e descarga de mercadorias e está em operação desde a década de 1990, na produção exclusiva de móveis de madeira para o mercado de restaurantes, bares e similares, atendendo sob demanda. Em 2006, a capacidade instalada do empreendimento era de 1.600 unidades/mês trabalhando com

50% da capacidade nominal instalada. O consumo de água era exclusivamente por concessionária local, que, para a época da concessão da licença, era de 54.000 L/mês para uso industrial e higienização pessoal. Dentre as matérias-primas e insumos utilizados, estão verniz, thinner, diluente, catalisador, cola branca, cola fórmica e óleo e graxa minerais. Segundo o Parecer, o esgoto doméstico era lançado em fossa negra até a data de concessão da licença ambiental, sendo condicionada, na ocasião, à apresentação de proposta de tratamento via um sistema de fossa séptica e filtro anaeróbico. Em relação ao controle ambiental deste aspecto, o efluente líquido sanitário era destinado para a fossa negra, localizada no passeio, e esgotada e destinada por caminhões limpa-fossas da Prefeitura Municipal de Betim quinzenalmente. Os resíduos sólidos, em especial a borra de verniz, eram destinados, na época, para empresa licenciada. Atualmente, a empresa encontra-se em funcionamento, mas não foram obtidas informações sobre o cumprimento de condicionantes, controle ambiental dos aspectos ou sobre a existência de processos de licenciamentos ambientais atuais.

- Electrodata: de acordo com o Parecer Técnico SEMEIA nº 2.126/2011, da Secretaria Municipal de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável da Prefeitura Municipal de Betim – SEMMAD, constante no processo de licenciamento ambiental nº 21845/2010, o empreendimento é detentor da Licença de Operação Corretiva Classe 1, com validade de 8 anos, até 2019, para a realização de serviços de pré-usinagem de peças automotivas de fundição de terceiros, como cabeçotes e tampas de caixa de marcha. A capacidade de produção era, em 2011, de 30.000 peças grandes e 100.000 peças de pequeno porte, com um total de 28 funcionários neste mesmo ano. O empreendimento encontra-se instalado em uma área total de 27.315,00 m², e construída, de 1.302,48 m². Com relação aos aspectos ambientais relevantes, pode-se citar a geração de efluentes líquidos sanitários que eram encaminhados para duas fossas negras existentes no empreendimento com o esgotamento realizado pela Prefeitura Municipal

de Betim em periodicidade não informada. No licenciamento ambiental, foi solicitada a instalação da fossa séptica e o descomissionamento das fossas. No que diz respeito aos resíduos, há geração de sobras industriais, como limalhas e raspas provenientes do excesso de material de fundição. Foi informado, no Parecer, que o empreendimento também gera borra oleosa da atividade de oleamento de peças, sendo que o óleo usado era devolvido para o fornecedor, e a borra, armazenada temporariamente antes da destinação na qual não havia controle ambiental deste aspecto. A empresa atualmente se encontra em funcionamento e não se conseguiu informações sobre o cumprimento de condicionantes, controle ambiental dos aspectos ou sobre a existência de processos de licenciamentos ambientais atuais.

- Vegas Ferramentaria: possui uma área útil de 4.000 m² e opera com 12 empregados, conforme dados do Formulário de Orientação Básica (FOB). Foi evidenciada a existência de processo de licenciamento ambiental simplificado nº 29.158/2014, aberto na Secretaria Municipal de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável da Prefeitura Municipal de Betim – SEMMAD, para a produção de artefatos estampados de metal, indeferido em 07 de maio de 2015 pelo Despacho Administrativo Ambiental nº 393/2015 por não apresentar a documentação necessária para a sua formalização e análise. Teve o seu indeferimento publicado no Órgão Oficial do Município em 18 de julho de 2015; dessa forma, a empresa opera sem licenciamento ambiental. Presume-se, como aspecto ambiental relevante deste empreendimento, a geração de resíduos sólidos industriais, especialmente sucatas metálicas do processo de estamparia. Em visita à empresa, foi constatada a disposição irregular de sucatas metálicas diretamente no solo em áreas adjacentes ao cemitério.

De acordo com as informações levantadas, observa-se que na região do entorno do cemitério, na área do diagnóstico ambiental, mesmo sendo áreas autorizadas para o exercício de atividades industriais, até 2011 foi constatada a inexistência de controle

ambiental na geração de efluentes líquidos de origem sanitária na maioria das empresas pesquisadas, bem como no controle de resíduos sólidos industriais. A inexistência de licenciamento ambiental para as indústrias instaladas nesta região pode potencializar o risco de alteração da qualidade do solo e da água subterrânea e superficial da área do diagnóstico. De acordo com pesquisas sobre a ocorrência de pontos de captação de água subterrânea com moradores residentes no entorno da área do diagnóstico ambiental, no período de 24/09/2015 a 07/10/2015 e em 28/09/2016, eles confirmam a existência de fossas negras em suas residências e que o atendimento da rede de esgotamento sanitário na região é precário.

Nas regiões norte e nordeste em relação ao cemitério e na região fora da área delimitada de estudo, onde as amostras-testemunha de solo, água subterrânea e superficial foram coletadas, foi constatado que estas são impactadas por lançamento irregular de esgoto sanitário nos corpos hídricos e nas áreas de pastagens com expressiva presença de animais contribuindo para o processo de degradação ambiental no que diz respeito à descaracterização das áreas de preservação permanente – APP - como pode ser observado na Figura 5.8, em uma região à nordeste do cemitério Cachoeira em Betim, MG.



Figura 5.8: Exemplo de área de preservação permanente descaracterizada por pastagem localizada à nordeste em relação ao Cemitério Municipal Cachoeira em Betim, MG

Fonte: Próprio autor

5.2.3 Pluviometria da área de estudo

A obtenção de dados de precipitação pluviométrica é importante na avaliação de potencial de contaminação por lixiviação do solo para os aquíferos. De acordo com Saba (2011), a contaminação do aquífero freático está diretamente relacionada com o índice pluviométrico e também é influenciada pela composição do solo, ou seja, quanto maior a precipitação pluviométrica anual, maior é a condução do material encontrado na superfície do solo para o aquífero freático.

Em consulta ao site do Instituto Nacional de Meteorologia - INMET - foram comparados dois períodos trimestrais referentes aos anos de 2015 e 2016 para a observação de acúmulo de precipitação, tomando como referência as datas de amostragem de 18/05/2016 (período de 18/02 a 18/05 de 2015 e 18/02 a 18/05 de 2016) e 28/09/2016 (período de 28/06 a 28/09 de 2015 e 28/06 a 28/09 de 2016). Os períodos foram considerados em virtude das épocas de amostragem determinadas para água subterrânea e superficial - maio de 2016 e setembro de 2016.

De acordo com os mapas apresentados (Figuras 5.9 e 5.11) e a precipitação acumulada para o trimestre compreendido entre 18/02/2015 e 18/05/2015, observa-se uma variação de 400 a 500 mm para o município de Betim/MG, enquanto para o mesmo período em 2016, época da amostragem de água subterrânea e superficial, a precipitação acumulada variou de 250 a 300 mm. A precipitação acumulada para o trimestre 28/06/2015 a 28/09/2015 variou de 100 a 150 mm, e, para o mesmo período em 2016, a precipitação acumulada variou de 50 a 100 mm, conforme Figuras 5.10 e 5.12.

Considerando-se os dados obtidos nos dois últimos anos, observa-se um decréscimo na faixa de precipitação pluviométrica de 2016 em relação a 2015, bem como no decréscimo da faixa de precipitação entre maio de 2016 (250 a 300 mm), representando o fim do período da estação chuvosa, e setembro de 2016 (50 a 100 mm) representando o fim do período da estação seca, evidenciando a distinção entre as épocas de amostragem determinadas para o diagnóstico.

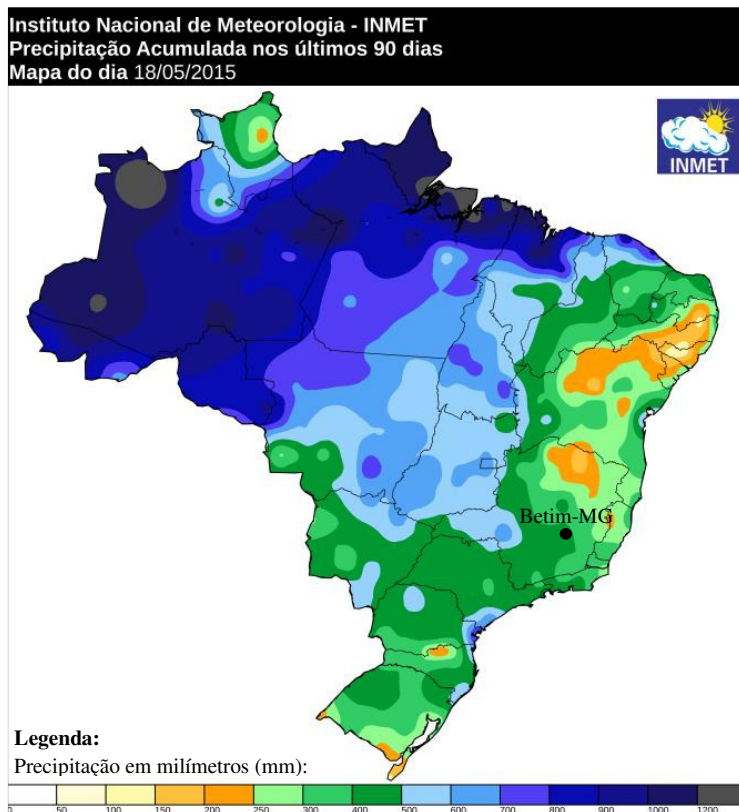


Figura 5.9: Precipitação acumulada no período de 18/02/2015 a 18/05/2015 – Mapa do dia 18/05/2015
Fonte: Instituto Nacional de Meteorologia – INMET, 2016

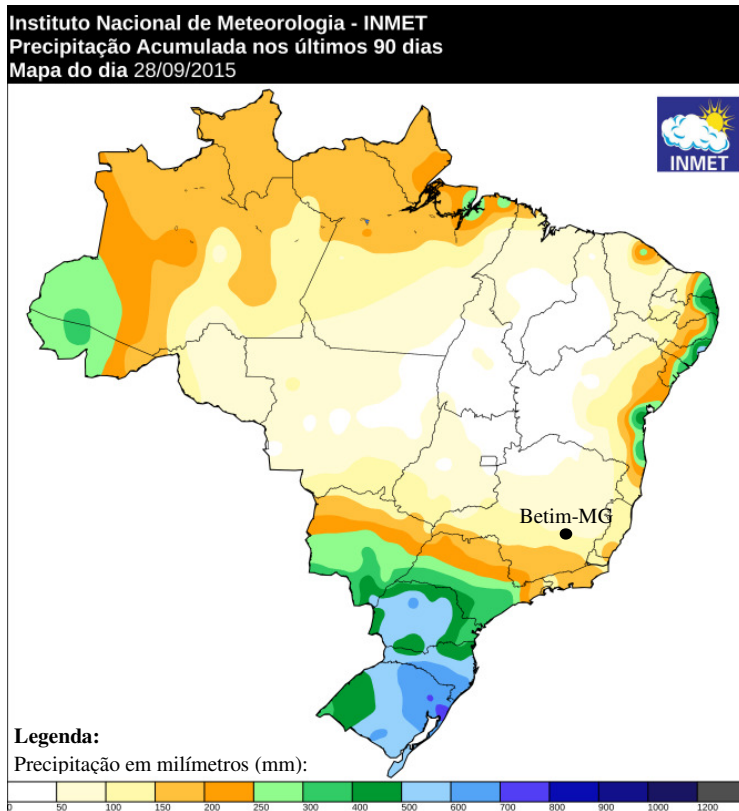


Figura 5.10: Precipitação acumulada no período de 28/06/2015 a 28/09/2015 – Mapa do dia 28/09/2015
Fonte: Instituto Nacional de Meteorologia – INMET, 2016

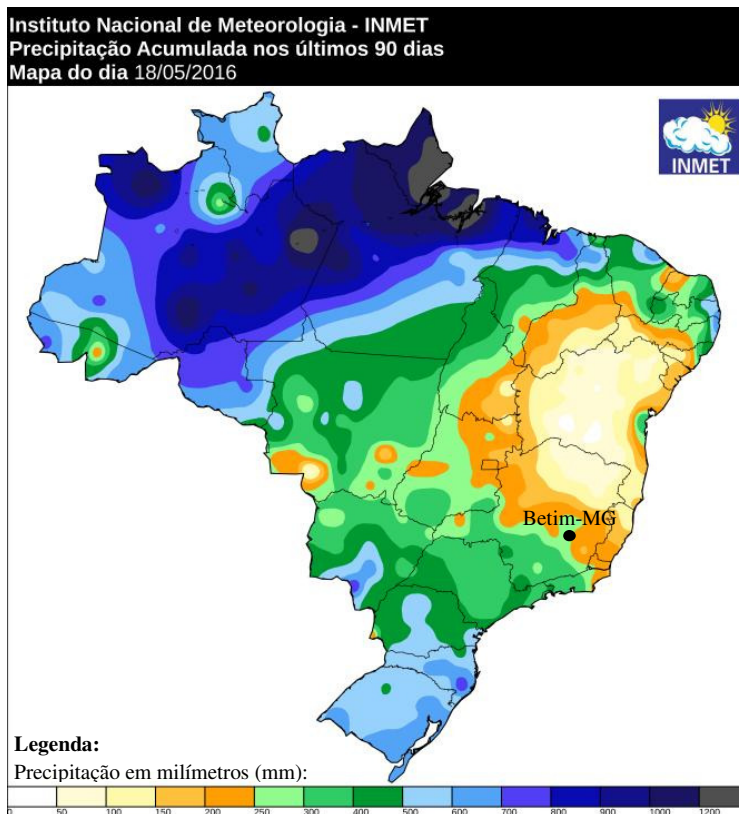


Figura 5.11: Precipitação acumulada no período de 18/02/2016 a 18/05/2016 – Mapa do dia 18/05/2016
 Fonte: Instituto Nacional de Meteorologia – INMET, 2016

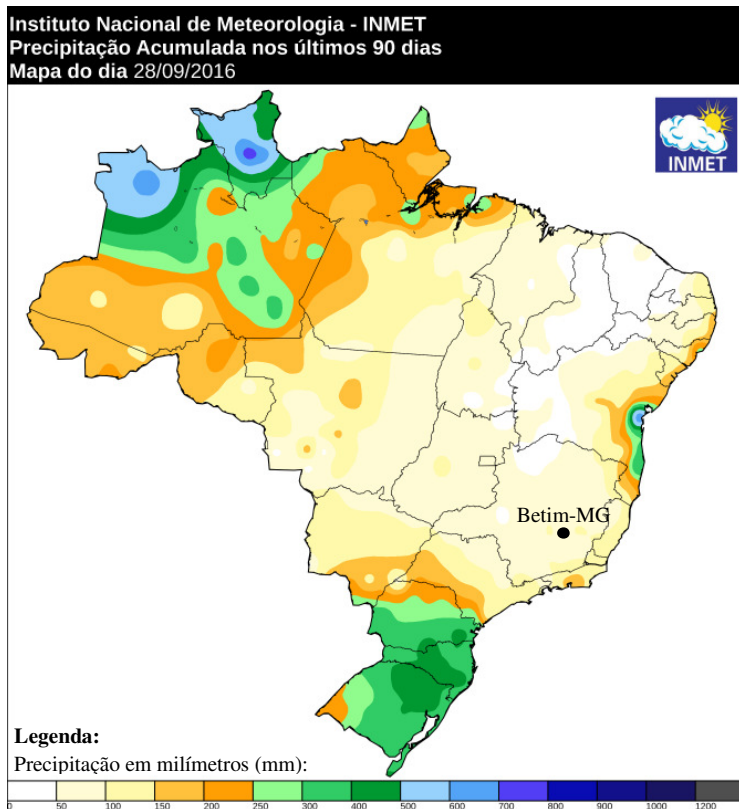


Figura 5.12: Precipitação acumulada no período de 28/06/2016 a 28/09/2016 – Mapa do dia 28/09/2016
 Fonte: Instituto Nacional de Meteorologia – INMET, 2016

5.3 Resultados para solo

5.3.1 Avaliação de perfis de solo identificados

Em 26/11/2015 e 18/05/2016, foram realizados trabalhos de campo na região do diagnóstico com o objetivo de identificar perfis de solo visando a um levantamento pedológico da região de execução do diagnóstico ambiental.

Foram identificados quatro perfis que permitiram a realização da descrição morfológica do solo na área do diagnóstico (Tabela 5.3).

Tabela 5.3: Descrição morfológica dos horizontes dos perfis amostrados no entorno do Cemitério Municipal Cachoeira em Betim, MG

Horizonte	Profundidade (m)	Cor Munsell	Textura	Estrutura
Perfil S1 – Neossolo Flúvico				
O	0,2	7,5 YR	Franco-argilo-arenosa	granular
A	0,5	7,5 YR	Franco-argilo-arenosa	granular
C	1,1	7,5 YR	Argilo-arenosa	subangular
Perfil S2 - Latossolo Vermelho Amarelo				
A	0,3	7,5 YR	Franco-argilosa	granular
Bw	3,4	7,5 YR	Franco-argilosa	granular
C	1,5	7,5 YR	Franco-argilosa	granular
Perfil S3 - Cambissolo com B plúntico				
A	0,3	7,5 YR	Franco-argilosa	granular
E	0,3	7,5 YR	Franco-argilosa	granular
B	1,1	10 YR	Franco-argilosa	subangular
Perfil S4 - Cambissolo B incipiente				
A	0,5	5 YR	Franco-argilo-siltosa	granular
B	1,8	5 YR	Franco-argilo-siltosa	granular

5.3.1.1 Neossolo flúvico

O Neossolo flúvico tem ocorrência predominante ao longo do córrego Saraiva, cerca de 400 m do cemitério Cachoeira, porções sudoeste e noroeste em relação ao seu perímetro, identificado como ponto S1 (Figura 5.13).



Figura 5.13: Fotografia de um perfil representativo de Neossolo Flúvico, córrego Saraiva, entorno do Cemitério Cachoeira, Betim (MG)

Fonte: Próprio autor

Neste perfil, predominaram a estrutura granular, nos horizontes superficiais, e a textura franco-argilo-arenosa; e no horizonte de sub-superfície (C), estrutura subangular e textura argilo-arenosa. Verificou-se o predomínio da matiz 7,5 YR com índices altos, variando de 5 a 6, e croma de 2 para o horizonte com maior quantidade de matéria orgânica (O), e de 3 e 6 para os horizontes A e C, sucessivamente (Tabela 5.3).

5.3.1.2 Latossolo Vermelho Amarelo

O Latossolo Vermelho Amarelo foi identificado em área adjacente ao cemitério Cachoeira por meio de um perfil exposto localizado a noroeste em relação ao seu perímetro, identificado como ponto S2 (Figura 5.14).



Figura 5.14: Fotografia de um perfil representativo de Latossolo Vermelho Amarelo em uma área adjacente ao Cemitério Cachoeira, Betim (MG)

Fonte: Próprio autor

No perfil amostrado, predominaram a textura franco-argilosa e a estrutura granular em todos os horizontes. A matiz 7,5 YR se destacou, com valores altos (6 e 8) com cromas de 5 (horizonte A), de 6 (horizontes Bw) e de 8 para o horizonte C (Tabela 5.3). Esse latossolo desenvolveu-se sobre gnaisses migmatíticos do complexo cristalino arqueano.

5.3.1.3 Cambissolo

O Cambissolo foi identificado cerca de 150 m a nordeste do perímetro do cemitério, no ponto identificado como S3 e no perfil-testemunha S4 localizado cerca de 650 m a nordeste do perímetro do cemitério (Figuras 5.15 e 5.16).

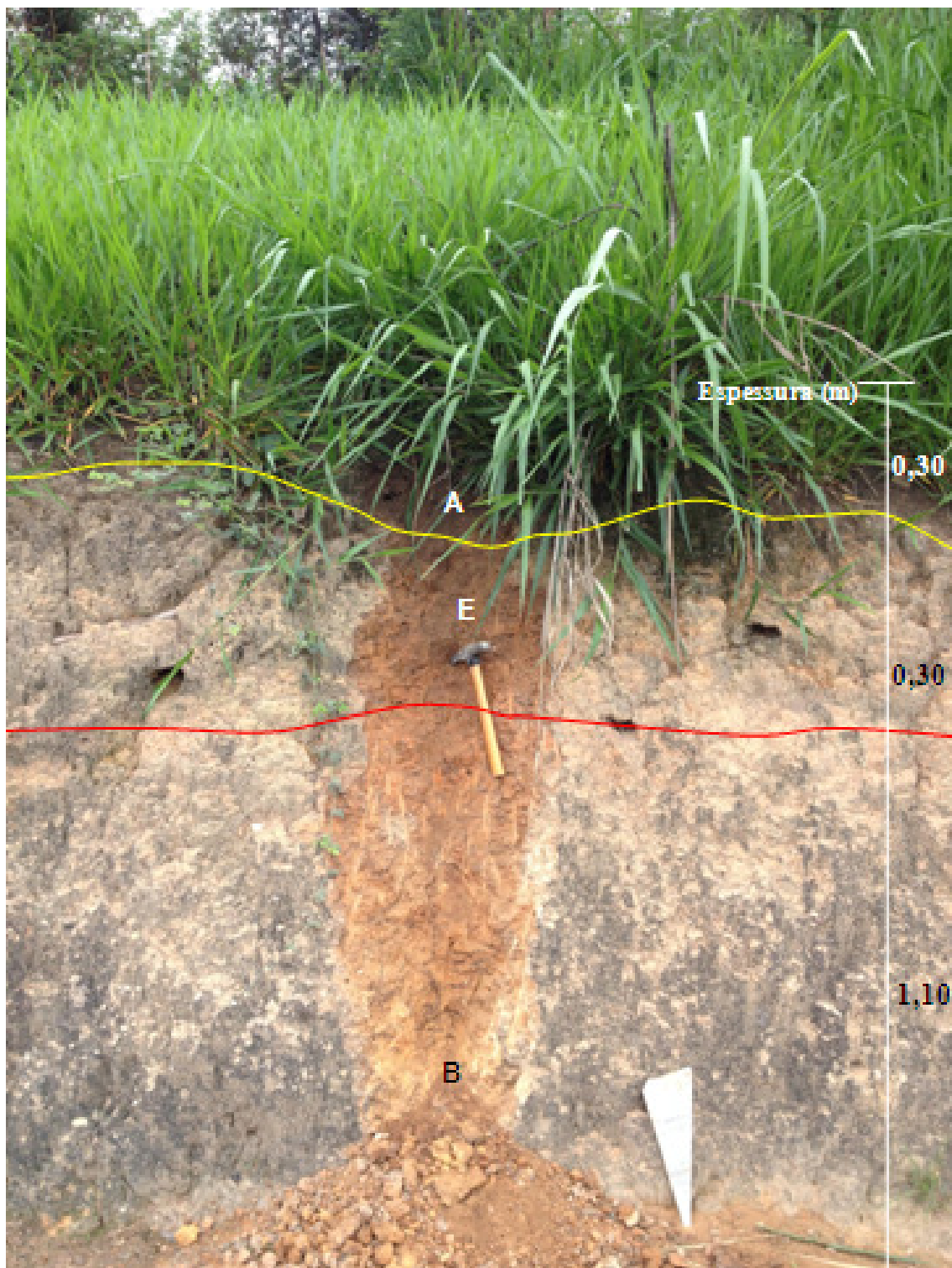


Figura 5.15: Fotografia de um perfil representativo de Cambissolo nas proximidades do Cemitério Cachoeira, Betim (MG)

Fonte: Próprio autor

O perfil S3 foi classificado como Cambissolo, cujo horizonte B apresenta-se mosqueado, com características de plintização. Apresenta textura franco-argilosa e

estrutura granular, nos horizontes superficiais, e estrutura subangular no horizonte B. Na coloração, predominaram a matiz 7,5 YR, nos horizontes de sub-superfície, e 10YR no horizonte B (Tabela 5.3).

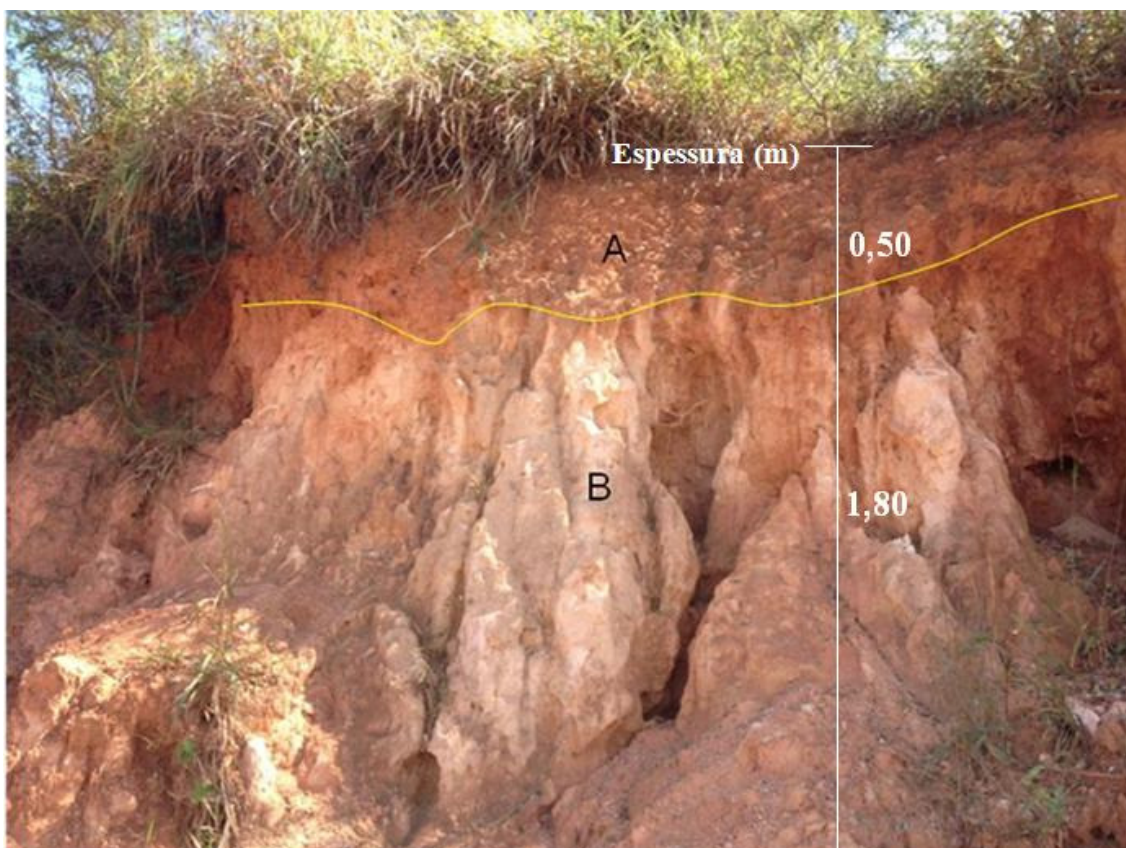


Figura 5.16: Fotografia de um perfil representativo de Cambissolo nas proximidades do Cemitério Cachoeira, Betim (MG)

Fonte: Próprio autor

O perfil S4 foi classificado como cambissolo típico, com horizonte B incipiente e estrutura granular predominando em todos os horizontes. A textura é franco-argilo-siltosa e, na coloração, predomina a matiz 5 YR (Tabela 5.3).

5.3.2 Realização de sondagem de simples reconhecimento conforme NBR 6484

As sondagens SSR 01 e SSR 02 foram executadas em maio de 2016, e as sondagens SSR 03, SSR 04 e SSR 05, em setembro de 2016, para a complementação do diagnóstico devido aos resultados obtidos na primeira campanha de solo e água subterrânea. As sondagens foram executadas de acordo com os objetivos demonstrados

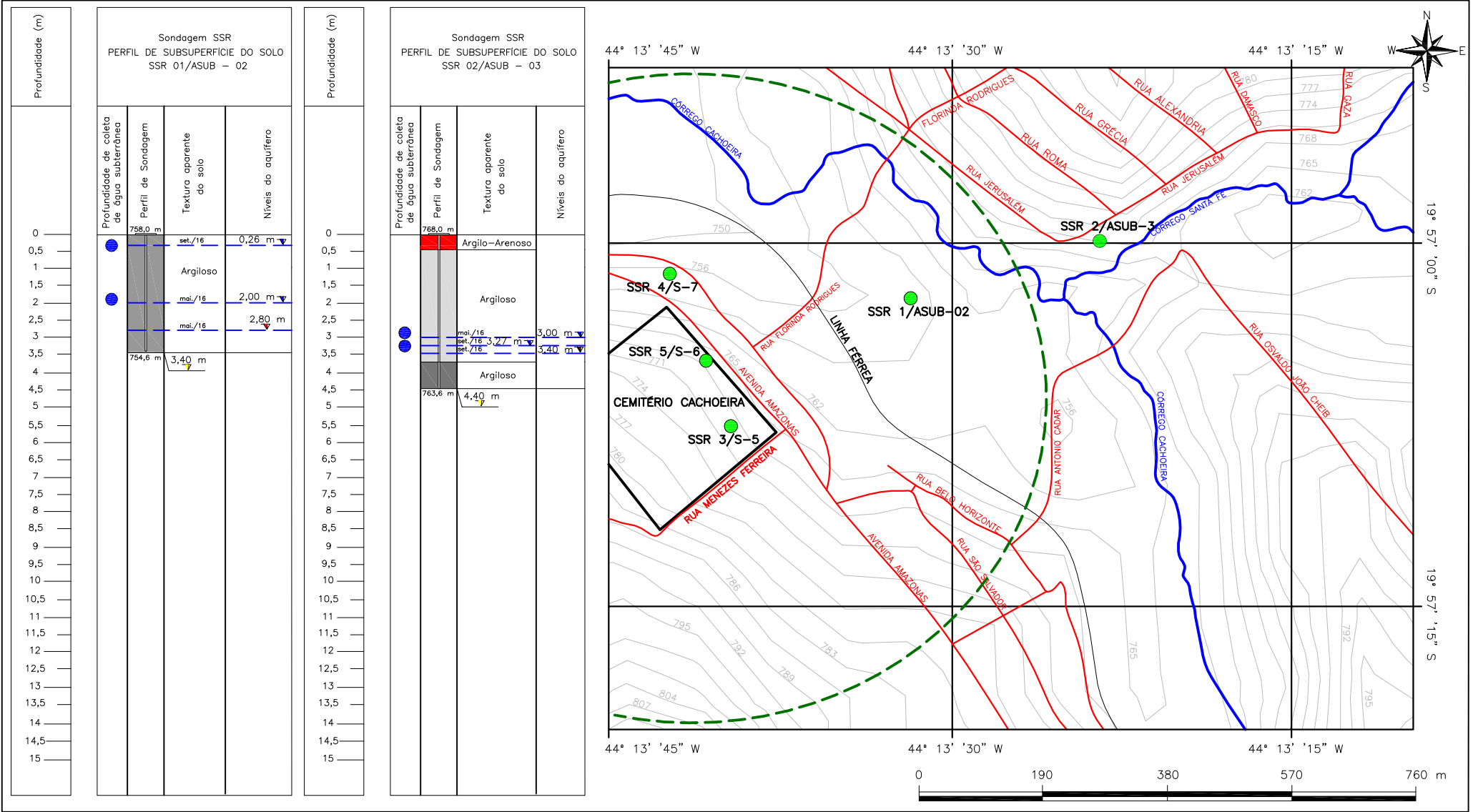
na Tabela 5.4.

Tabela 5.4. Objetivos das sondagens de simples reconhecimento executadas na área do diagnóstico ambiental em Betim, MG

Sondagem	Localização	Objetivo
SSR 01	Jusante nordeste da área do cemitério	Coleta de amostra de água subterrânea (ASUB2) em substituição a poços ou cisternas ausentes/não identificados na área delimitada de estudo no sentido preferencial do fluxo do aquífero livre
SSR 02	Nordeste da área do cemitério	Coleta de amostra-testemunha (<i>background</i>) de água subterrânea (ASUB3) proveniente de interceptação com o aquífero livre fora da área delimitada de estudo
SSR 03*	Interior do cemitério - Quadra Hibisco 1	Verificação da interceptação da sondagem com o nível do aquífero livre e coleta de amostra de solo (S5)
SSR 04*	Exterior ao cemitério - Jusante norte da área do cemitério	Verificação da interceptação da sondagem com o nível do aquífero livre e coleta de amostra de solo (S7)
SSR 05*	Interior do cemitério - Quadra Hibisco 2	Verificação da interceptação da sondagem com o nível do aquífero livre e coleta de amostra de solo (S6)

Nota: (*) Sondagens executadas para a ampliação do diagnóstico.

A localização e os perfis das sondagens de simples reconhecimento são apresentados nas Figuras 5.17, 5.18 e 5.19, a seguir.



LEGENDA DOS ELEMENTOS GRÁFICOS:

- Curva de nível
- Corpo hídrico superficial
- Logradouro público
- Área demilitada do diagnóstico
- Área do cemitério
- Linha férrea

- SSR X/ASUB-X: sondagem SSR/ponto de amostragem de água subterrânea
- Ponto de coleta da amostra de água subterrânea
- Profundidade máxima alcançada na sondagem
- Nível de interceptação inicial com o aquífero
- Nível do aquífero estabilizado após a purga no momento da amostragem
- Níveis do aquífero

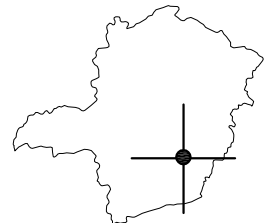
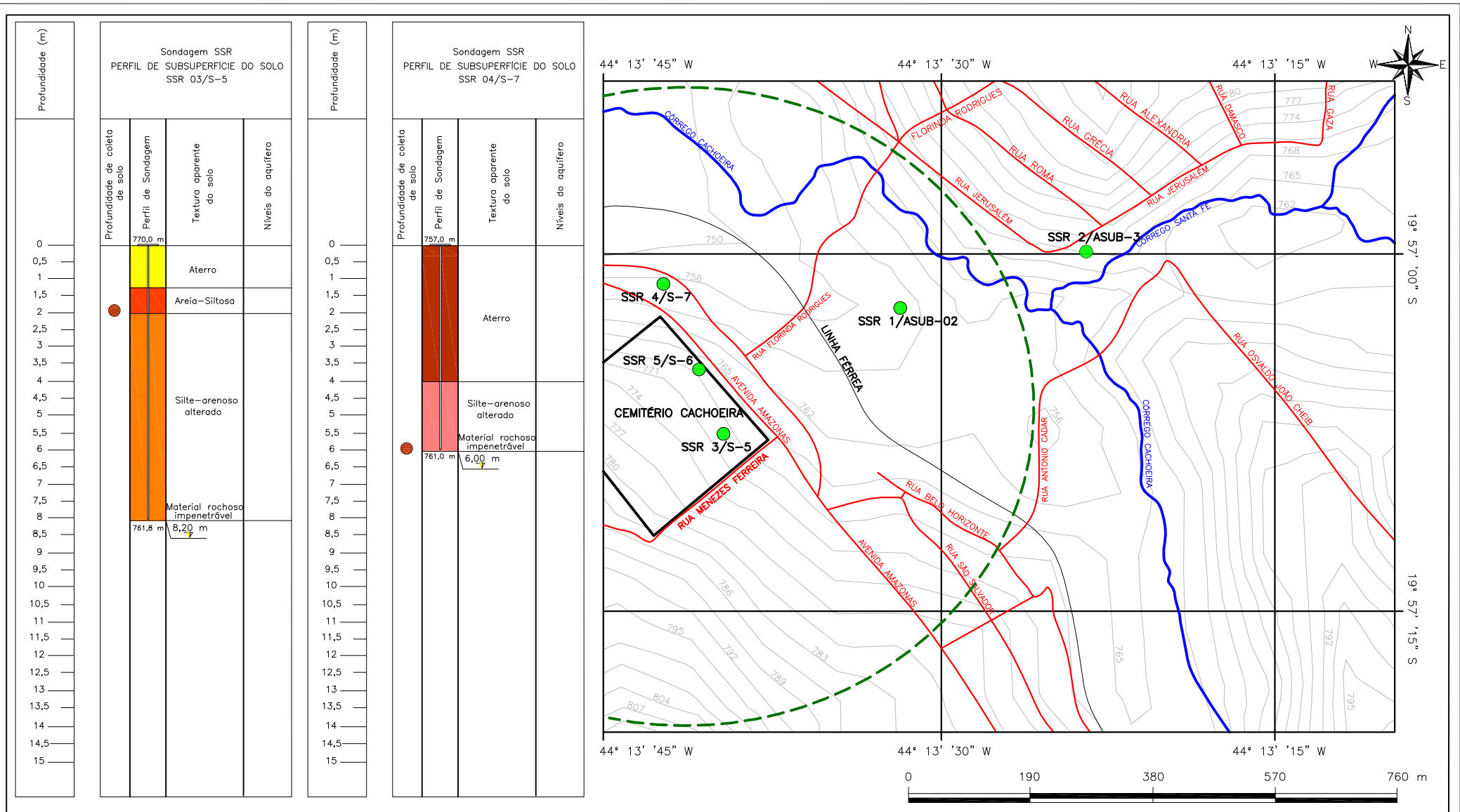


FIGURA 5.17: PERFIS DE SONDAENS DE SIMPLES RECONHECIMENTO EXECUTADAS NA ÁREA DE ESTUDO – SSR 1 E 2

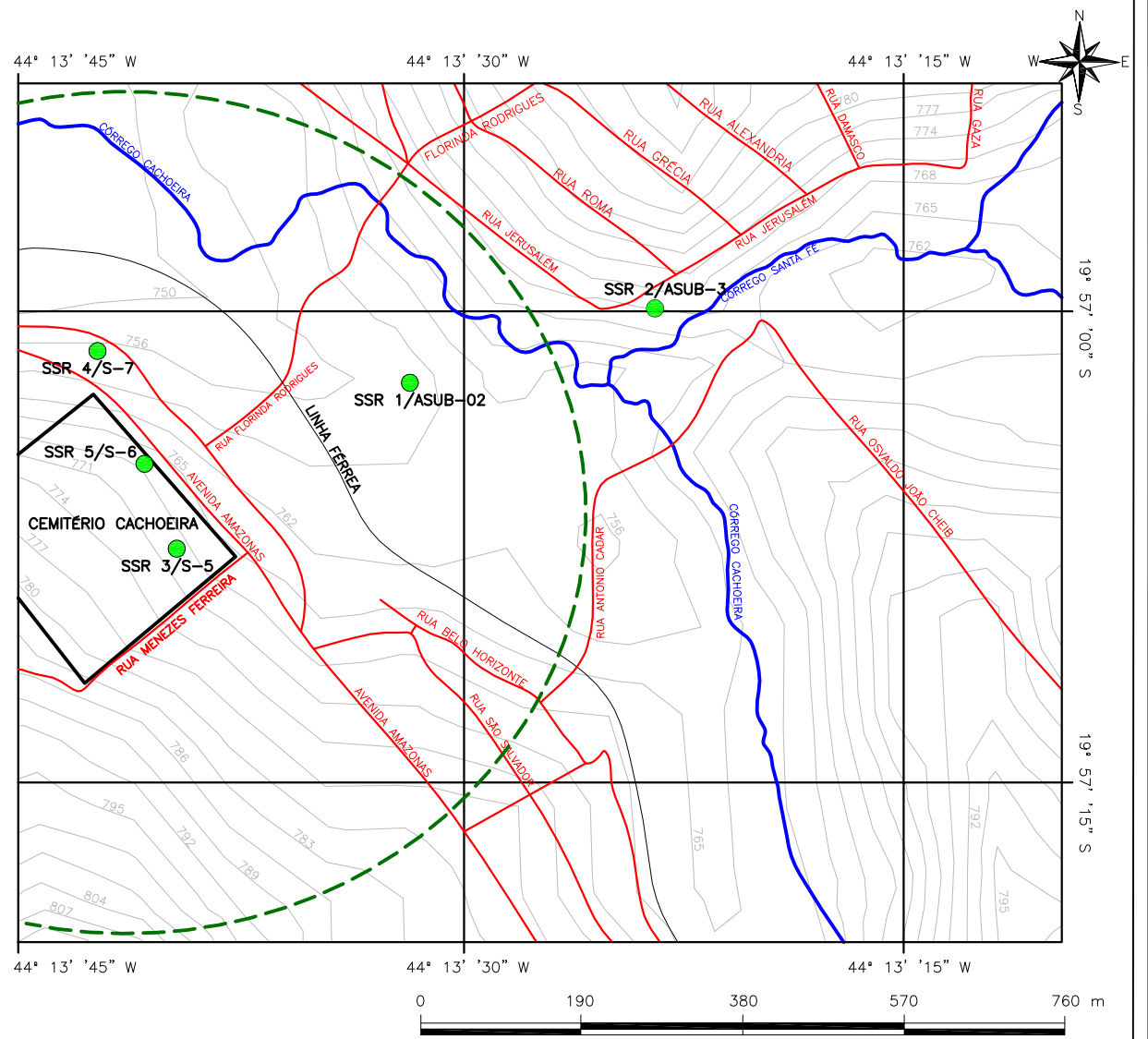
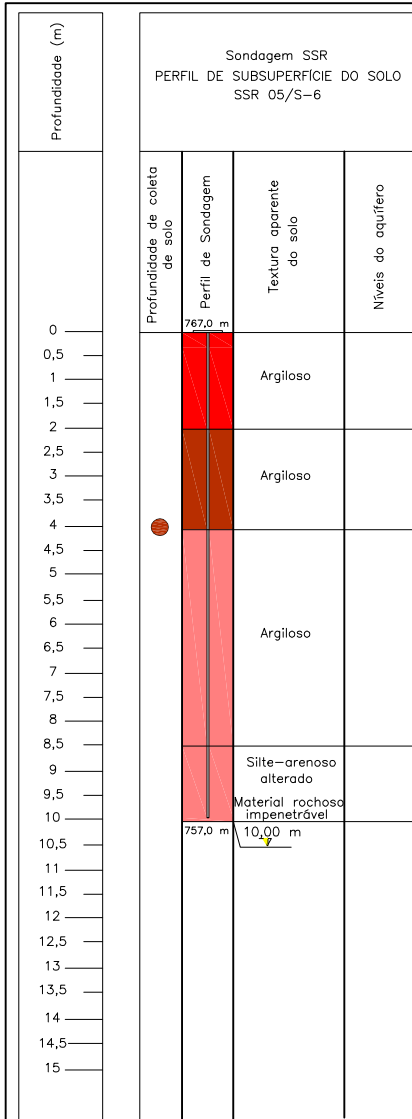
ELABORAÇÃO: Júlio C. G. Marques



LEGENDA DOS ELEMENTOS GRÁFICOS:

- Curva de nível
- Corpo hídrico superficial
- Logradouro público
- Área demarcada do diagnóstico
- Área do cemitério
- Linha férrea
- SSR X/ASUB-X: sondagem SSR/ponto de amostragem de água subterrânea
- Ponto de coleta da amostra de solo
- Profundidade máxima alcançada na sondagem
- Nível de interceptação inicial com o aquífero
- Nível do aquífero estabilizado após a purga no momento da amostragem
- Níveis do aquífero

FIGURA 5.18: PERFIS DE SONDAGENS SSR EXECUTADAS NA ÁREA DE ESTUDO – SSR 3 E 4 ELABORAÇÃO: Júlio C. G. Marques



LEGENDA DOS ELEMENTOS GRÁFICOS:

- Curva de nível
- Corpo hídrico superficial
- Logradouro público
- Área demarcada do diagnóstico
- Área do cemitério
- Linha férrea

- SSR X/ASUB-X: sondagem SSR/ponto de amostragem de água subterrânea
- Ponto de coleta da amostra de solo
- Profundidade máxima alcançada na sondagem
- Nível de interceptação inicial com o aquífero
- Nível do aquífero estabilizado após a purga no momento da amostragem
- Níveis do aquífero

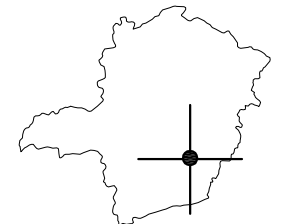


FIGURA 5.19: PERFIL DE SONDAEM DE SIMPLES RECONHECIMENTO EXECUTADA NA ÁREA DE ESTUDO – SSR 5

ELABORAÇÃO: Júlio C. G. Marques

5.3.3 Discussão dos resultados para solo

Os valores de referência de qualidade estabelecidos pela Deliberação Normativa COPAM nº 166/2011, que são aqueles que indicam o nível de qualidade para um solo considerado limpo, foram inseridos na tabela apenas para completar todos os requisitos normativos.

Os parâmetros com padrões não estabelecidos foram comparados com os resultados da amostra-testemunha S4 (*background*) e com os resultados de outros estudos similares, quando aplicável. Na análise de metais totais no solo, para alguns parâmetros como bário, chumbo e mercúrio, as concentrações se apresentaram acima destes, o que elucidaria uma sugestiva de contaminação. Porém, deve-se considerar a formação geológica da região, conforme Migliorini (1994), e o uso e ocupação do solo do entorno.

5.3.3.1 Análises granulométricas

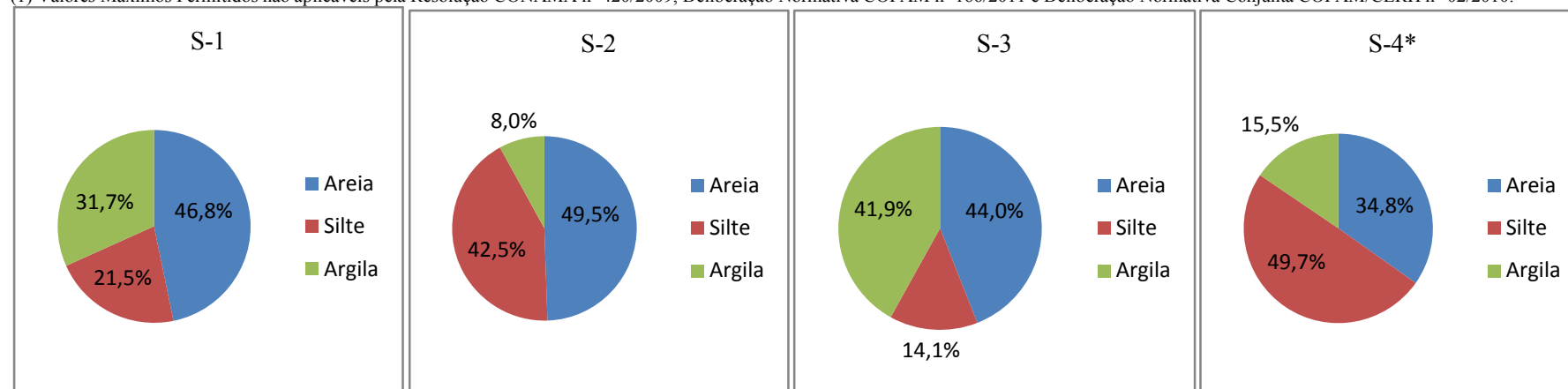
Os resultados referentes às análises granulométricas das amostras de solo coletadas dos horizontes A (S1) e B (S2, S3, S4 e S5) são apresentados nas Tabelas 5.5 e 5.5-A e Figuras 5.20 e 5.21, a seguir.

Tabela 5.5. Resultados das análises granulométricas do solo dos horizontes A (S1) e B (S2 a S4) – 1ª Campanha – maio/16

Parâmetro	Resultados Analíticos								L.Q./L.D.	Unidade	VMP ⁽¹⁾
	S-1 “Ponto Córrego Saraiva” Jusante oeste da área do cemitério		S-2 “Ponto Vegas” Terreno da empresa Vegas Ferramentaria Montante da área do cemitério		S-3 “Ponto Córrego Cachoeira” Jusante nordeste da área do cemitério		S-4* “Ponto-testemunha” Nordeste do cemitério				
Areia muito grossa (2 a 1 mm)	1,5	46,8	0,0	49,5	1,2	44	0,0	34,8	2,1	%	NA
Areia grossa (1 a 0,5 mm)	9,4		7,1		7,6		5,2		2,1	%	NA
Areia média (0,5 a 0,25 mm)	14,7		13,1		12,8		10		2,1	%	NA
Areia fina (0,25 a 0,125 mm)	13,2		16		13,4		10,8		2,1	%	NA
Areia muito fina (0,125 a 0,062 mm)	8,0		13,3		9		8,8		2,1	%	NA
Silte (0,062 a 0,00394 mm)	21,5		42,5		14,1		49,7		2,1	%	NA
Argila (0,00394 a 0,0002 mm)	31,7		8		41,9		15,5		2,1	%	NA
Total	100		100		100		100		-	-	-

Legenda: L.D.: Limite de detecção reportado, L.Q.: Limite de Quantificação reportado, NA: Não aplicável, nd: Não detectado, %: Porcentagem. S-X: Identificação da amostra de solo – coleta realizada no perfil do solo correspondente ao horizonte B. VMP: Valor Máximo Permitido. Notas: *Refere-se à amostra-testemunha de solo fora da área de influência do cemitério em estudo.

(1) Valores Máximos Permitidos não aplicáveis pela Resolução CONAMA nº 420/2009, Deliberação Normativa COPAM nº 166/2011 e Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH nº 02/2010.



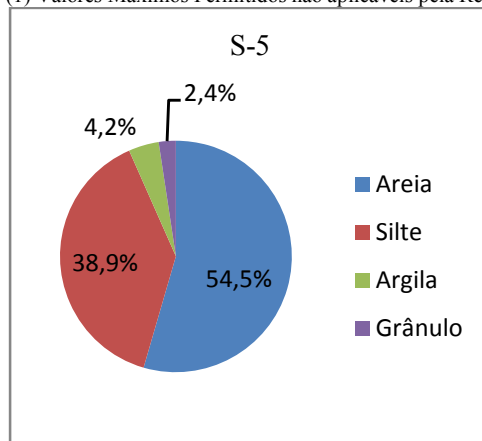
96 Figura 5.20: Representação das porcentagens da granulometria obtidas dos perfis de solo da área de estudo – S1 a S4

Tabela 5.5-A. Resultados das análises granulométricas do solo do horizonte B (S5) – 2ª Campanha – setembro/16

Parâmetro	Resultados Analíticos		L.Q./L.D.	Unidade	VMP ⁽¹⁾
	S-5 "Ponto Quadra Hibisco 1" Interior do cemitério				
Grânulo (> 2 mm)	2,4		0,1	%	NA
Areia muito grossa (2 a 1 mm)	8,9	54,5	0,1	%	NA
Areia grossa (1 a 0,5 mm)	17,4		0,1	%	NA
Areia média (0,5 a 0,25 mm)	22,7		0,1	%	NA
Areia fina (0,25 a 0,125 mm)	5,2		0,1	%	NA
Areia muito fina (0,125 a 0,062 mm)	0,3		0,1	%	NA
Silte (0,062 a 0,00394 mm)	38,9		0,1	%	NA
Argila (0,00394 a 0,0002 mm)	4,2		0,1	%	NA
Total	100		-	-	-

Legenda: L.D.: Limite de detecção reportado, L.Q.: Limite de Quantificação reportado, NA: Não aplicável, nd: Não detectado, %: Porcentagem. S-X: Identificação da amostra de solo – coleta realizada no perfil do solo correspondente ao horizonte B. VMP: Valor Máximo Permitido. Notas: *Refere-se à amostra-testemunha de solo fora da área de influência do cemitério em estudo.

(1) Valores Máximos Permitidos não aplicáveis pela Resolução CONAMA nº 420/2009, Deliberação Normativa COPAM nº 166/2011 e Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH nº 02/2010.



97 Figura 5.21: Representação das porcentagens da granulometria obtidas da amostra de solo do interior do cemitério – S5

De acordo com as Tabelas 5.5 e 5.5-A e Figuras 5.20 e 5.21, observou-se que a fração areia varia entre 34,8% (S4) e 54,5% (S5), evidenciando a sua predominância no horizonte B, na região compreendida a jusante noroeste e a jusante nordeste em relação ao cemitério, com maior fração observada na amostra obtida no interior do cemitério (S5). Para Pacheco *et al.* (2008), a boa permeabilidade apresentada pelos solos arenosos torna-os mais suscetíveis à infiltração dos contaminantes. Especificamente, percebe-se a predominância de areia fina nas amostras de S1 a S4 no entorno do cemitério, e de areia média e grossa na amostra S-5 obtida no horizonte B no interior do cemitério.

A fração silte varia entre 14,1% (S3) e 49,7% (S4). A menor fração de silte foi observada na amostra S3 - ponto localizado a jusante nordeste em relação ao cemitério, e a maior fração identificada na amostra obtida fora da área do diagnóstico ambiental, S4. A fração argila varia entre 4,2% (S5) e 41,9% (S3), e a sua menor fração foi observada na amostra adquirida no interior da área do cemitério (S5), e a maior, na amostra obtida do ponto S3, localizado a jusante nordeste em relação ao cemitério.

A amostra de solo no horizonte B, obtida do ponto S5 relativa ao interior do cemitério, evidencia frações de areia e silte predominantes, podendo estar relacionados com a ocorrência de gnaiss na área do cemitério e suas adjacências imediatas, conforme também observado no ponto S2, localizado a jusante noroeste do cemitério.

De acordo com Pacheco *et al.* (2008), em uma análise granulométrica dos solos realizada no cemitério de Itaquera/SP, a fração areia predominou em todas as amostras coletadas. Para estes autores, as frações granulométricas mais importantes nas discussões sobre a contaminação do solo por substâncias químicas são argila e silte. Essas partículas, de menor tamanho, apresentam maior potencial de adsorção de microrganismos. Na amostra S5, coletada no interior do cemitério, o teor de silte obtido foi de 38,9% a 2,0 m de profundidade, nível máximo de sepultamento em relação à superfície. Nesta profundidade, considerando-se a porcentagem significativa da fração silte da amostra, pode favorecer a retenção de microrganismos, conforme afirmação de Pacheco *et al.* (2008).

5.3.3.2 Análises físico-químicas

Os resultados das características físico-químicas das amostras de solo coletadas são apresentados na Tabela 5.6 e nas Figuras de 5.22 a 5.26.

Tabela 5.6. Resultados das análises físico-químicas do solo dos horizontes A (S1) e B (S2 a S4) – 1ª Campanha (maio/16) e 2ª Campanha (setembro/16)

Parâmetro	Resultados Analíticos							L.Q.	L.D.	Unidade	VMP ⁽¹⁾
	S-1	S-2	S-3	S-4*	S-5	S-6	S-7				
Condutividade hidráulica (permeabilidade)	0,23	0,57	0,19	0,28	0,29	-	-	NA	NA	cm/h	NE
	$6,38 \times 10^{-7}$	$1,58 \times 10^{-6}$	$5,2 \times 10^{-7}$	$7,7 \times 10^{-7}$	$8,0 \times 10^{-7}$					m/s	
pH	4,6	5,0	4,9	5,3	6,64	6,20	6,21	NA	NA	NA	NE
Capacidade de troca de cátions	93,09	80,01	101,06	73,73	76,64	-	-	3,0	1,0	mmol/Kg	NE
Fósforo	89,48	45,74	58,81	102,28	90,85	51,95	133,98	6,0	2,0	mg/Kg	NE
Matéria orgânica	1,21	0,2	0,6	0,3	nd	0,69	nd	0,12	NA	%	NE

Legenda: L.D.: Limite de detecção reportado, L.Q.: Limite de Quantificação reportado, NE: Não especificado, NA: Não aplicável, nd: Não detectado, (-): não analisado, %: Porcentagem, <: menor que o limite de detecção do método, dm³: decímetro cúbico, mmol: minimol, mg: miligrama, cm: centímetro, h: hora. S-X: Identificação da amostra de solo. S-1: “Ponto Córrego Saraiva”, localizado a jusante oeste da área do cemitério. S-2: “Ponto Vegas”, localizado no terreno da empresa Vegas Ferramentaria a montante da área do cemitério. S-3: “Ponto Córrego Cachoeira”, localizado a jusante nordeste da área do cemitério. S-4: “Ponto-testemunha”, localizado a nordeste do cemitério. S-5: “Ponto Quadra Hibisco 1”, localizado no interior do cemitério. S-6: “Ponto Quadra Hibisco 2”, localizado no interior do cemitério. S-7: “Ponto externo ao cemitério”, localizado a jusante norte da área do cemitério. Notas: *Refere-se à amostra-testemunha de solo fora da área de influência do cemitério em estudo. (1) Valores Máximos Permitidos não especificados pela Resolução CONAMA nº 420/2009, Deliberação Normativa COPAM nº 166/2011 e Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH nº 02/2010.

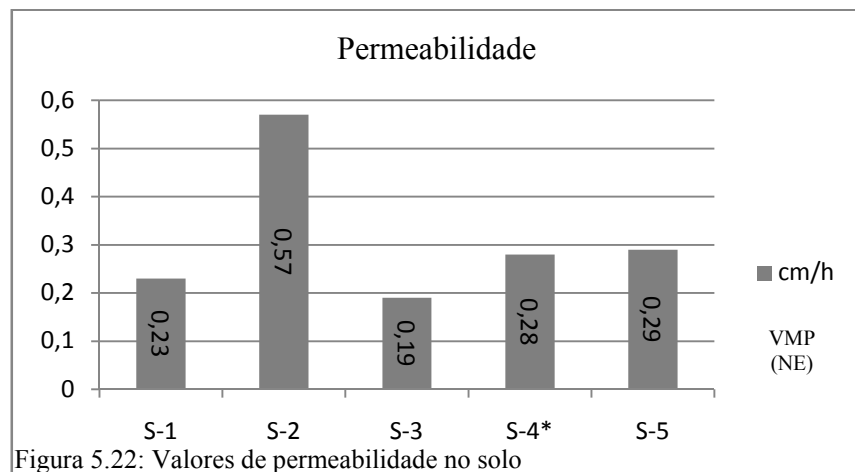


Figura 5.22: Valores de permeabilidade no solo

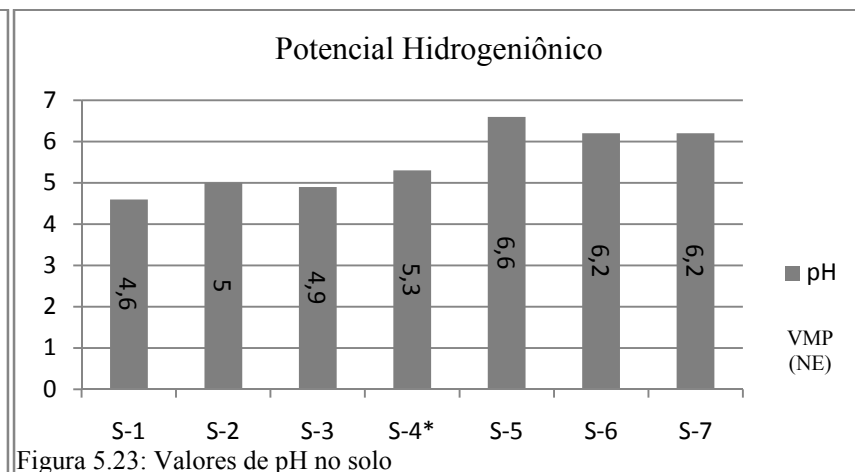


Figura 5.23: Valores de pH no solo

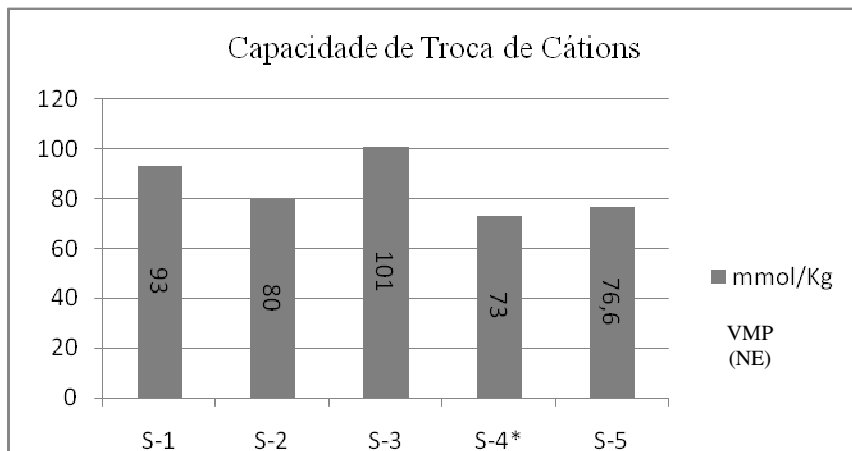


Figura 5.24: Valores de CTC no solo

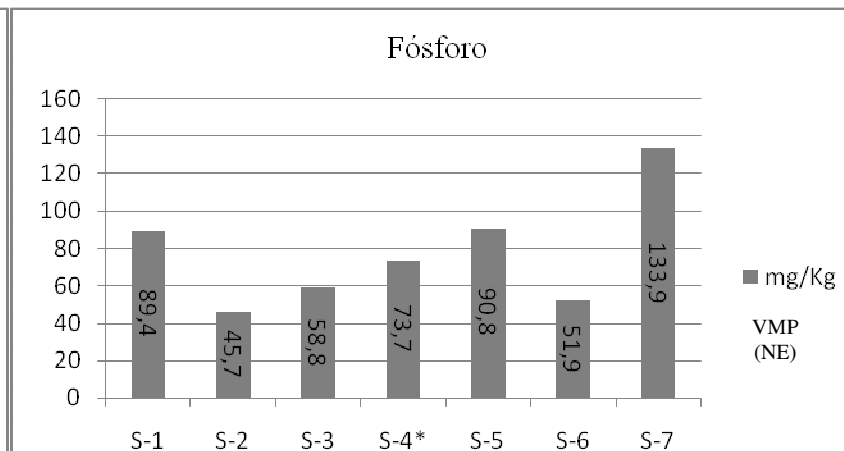


Figura 5.25: Valores de Fósforo no solo

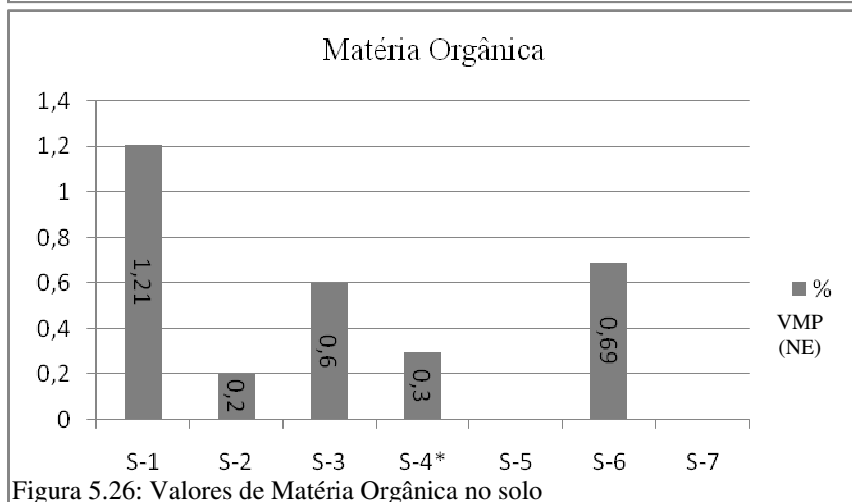


Figura 5.26: Valores de Matéria Orgânica no solo

Legenda: NE: Não especificado, %: Porcentagem, dm³: decímetro cúbico, mmol: minimol, mg: miligrama. S-X: Identificação da amostra de solo. S-1: "Ponto Córrego Saraiva", localizado a jusante oeste da área do cemitério. S-2: "Ponto Vegas", localizado no terreno da empresa Vegas Ferramentaria a montante da área do cemitério. S-3: "Ponto Córrego Cachoeira", localizado a jusante nordeste da área do cemitério. S-4: "Ponto-testemunha", localizado a nordeste do cemitério. S-5: "Ponto Quadra Hibisco 1", localizado no interior do cemitério. S-6: "Ponto Quadra Hibisco 2", localizado no interior do cemitério. S-7: "Ponto externo ao cemitério", localizado a jusante norte da área do cemitério. Notas: *Refere-se à amostra-testemunha de solo fora da área de influência do cemitério em estudo. (1) Valores Máximos Permitidos não especificados pela Resolução CONAMA nº 420/2009, Deliberação Normativa COPAM nº 166/2011 e Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH nº 02/2010.

De acordo com a Tabela 5.6 e a Figura 5.22, observou-se que a permeabilidade variou entre $6,3 \times 10^{-7}$ m/s (S3) e $1,58 \times 10^{-6}$ m/s (S2). Na amostra-testemunha, o valor de permeabilidade obtido foi de $7,7 \times 10^{-7}$ m/s (S4). No interior do cemitério, foi identificado valor de $8,0 \times 10^{-7}$ m/s (S5), com ordem de grandeza semelhante à da amostra-testemunha. A ordem de grandeza obtida nas amostras de solo coletadas variou de 10^{-6} a 10^{-7} , que, segundo Terzaghi & Peck (1967), são considerados índices que indicam baixa permeabilidade, devido à ocorrência predominante de areia fina e silte.

O pH variou de 4,6 (S1) a 6,6 (S5), conforme apresentado no Gráfico 5.23. O menor valor observado foi o da amostra S1 (4,6) coletada no perfil de solo da região do córrego Saraiva, jusante oeste em relação ao cemitério. Maiores valores de pH foram identificados no interior do local e nas regiões adjacentes (Figura 5.27), podendo estar relacionados à fase de esqueletização dos corpos sepultados (S5/6,6 e S6/6,2), conforme evidenciado no valor de cálcio obtido. Na região-testemunha, o valor de pH observado foi de 5,3 (S4). Os valores detectados não evidenciam contaminação por operação de cemitérios, já que o tipo de solo predominante na área de estudo, latossolo vermelho-amarelo, de modo geral, é ácido (Pereira *et al.*, 2010). De acordo com Netto (2008), latossolos são solos fortemente ácidos.

De acordo com Üçisik & Rushbrook (1998), bactérias e vírus presentes no solo conseguem sobreviver em pH compreendido entre 6 e 7, porém não sobrevivem sob condições mais ácidas do solo. Para Andrade *et al.* (2010), a faixa ideal de pH para que os microrganismos tenham atividade máxima é entre 6,5 e 8,5, mas, nos solos ácidos, o seu desenvolvimento é bastante reduzido. Vidalí (2001) sugere que o valor do pH próximo da neutralidade caracteriza maior predomínio de bactérias e de fungos no local contaminado e que os fungos são microrganismos mais eficientes que as bactérias na sobrevivência a condições ambientais adversas, como em teores extremos de pH (menor que 5 e maior que 10). Portanto, na fase de coliquação de cadáveres, há predomínio de ação de bactérias putrefativas. Segundo Matos (2001), solos de granulometria fina e de baixa condutividade hidráulica estabelecem condições físico-químicas redutoras ideais para a ocorrência do fenômeno de saponificação dos cadáveres, inibindo a ação das bactérias e retardando a decomposição de cadáveres.

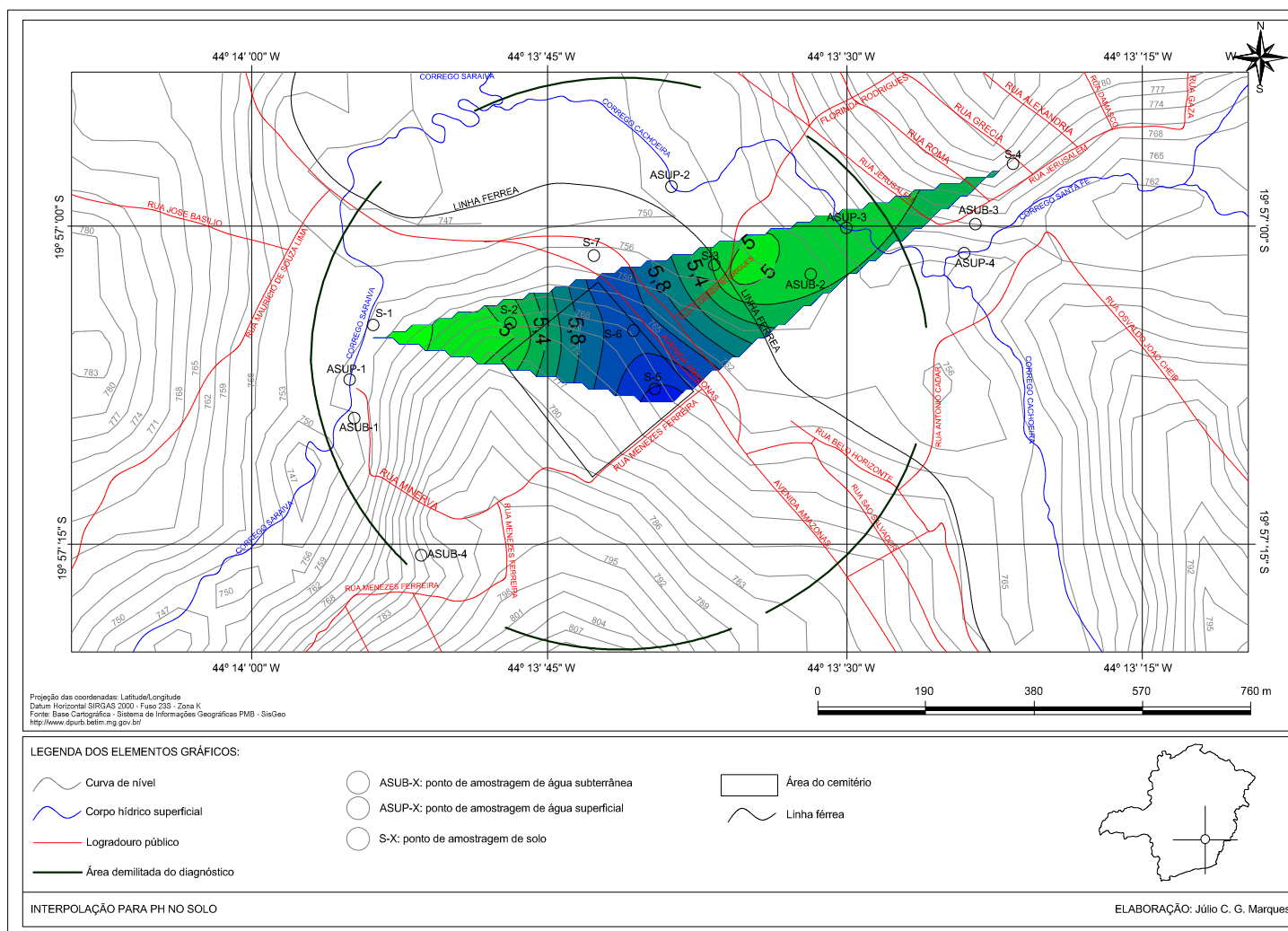


Figura 5.27: Modelamento para os valores de pH no solo
 Fonte: Próprio autor

O pH médio do solo da região do entorno do cemitério obtido foi de 5,2, apresentando condições ácidas, o que favorece a disponibilidade e a ação tóxica de metais pesados (Kabata & Pendias, 2001; Zanello *et al.*, 2009). Em condições ácidas, o fenômeno de adsorção é mais importante no controle da biodisponibilidade de metais, enquanto que reações de solubilidade ou precipitação e complexação têm maior influência em condições neutras ou alcalinas dos solos (Sparks, 1995; Zanello *et al.* 2009).

Para os resultados de matéria orgânica, os maiores valores foram identificados nas amostras S1 (1,21%) e S5 (0,69%). Para a área-testemunha, o valor observado foi de 0,3% (S4). O valor da amostra S1 pode estar relacionado com a presença de neossolo flúvico com teor considerável de argila (31,7%), e S6, pelo processo de decomposição de cadáveres. Observou-se que, para as amostras S5, obtidas no interior do cemitério, e S7, localizado a jusante norte do cemitério, os índices de matéria orgânica foram nulos (Figura 5.28). Os resultados também evidenciaram maiores valores de matéria orgânica nas condições mais ácidas do solo (Tabela 5.6).

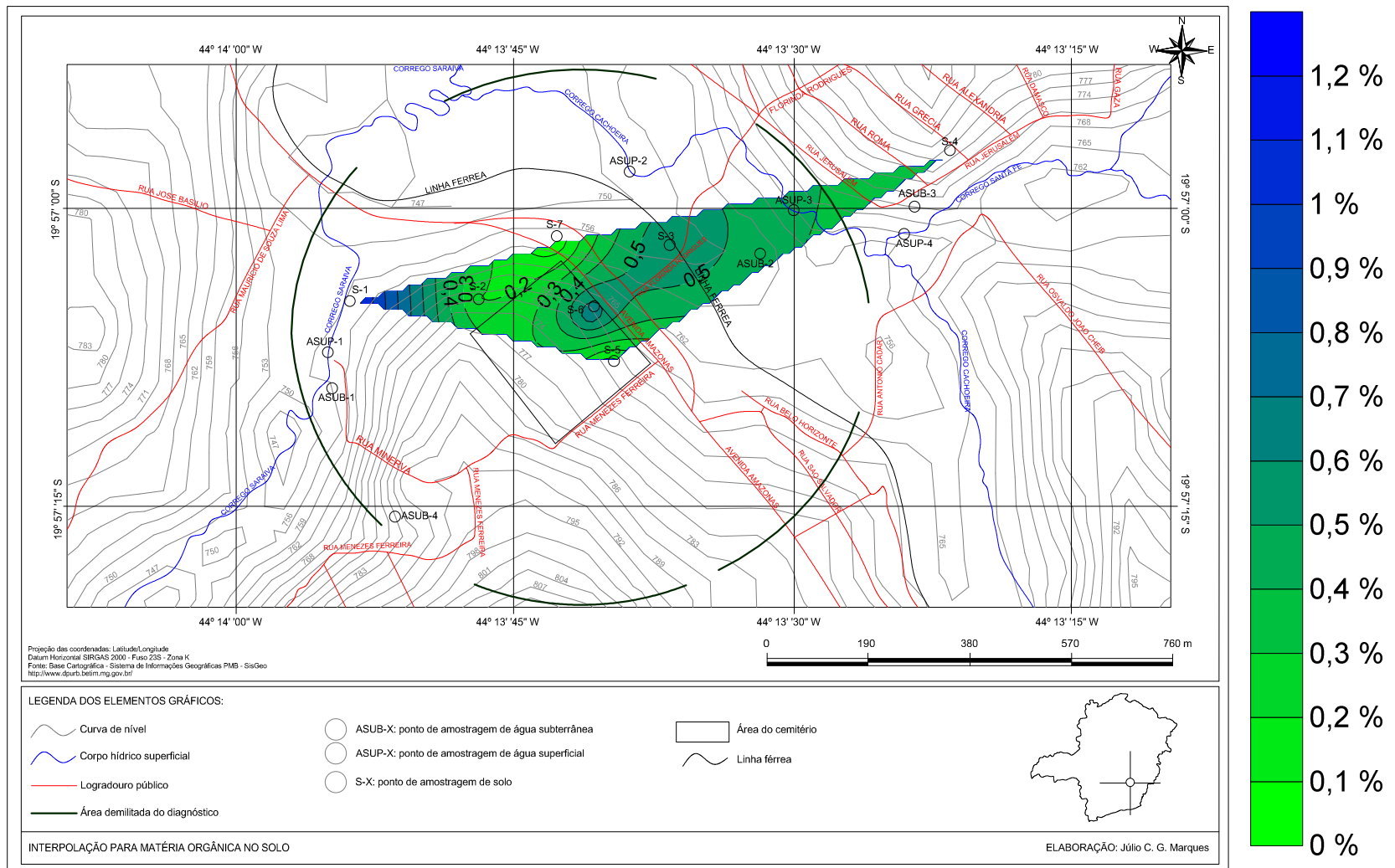


Figura 5.28: Modelamento para os valores de matéria orgânica no solo
 Fonte: Próprio autor

Os resultados para fósforo variaram de 51,95 mg/Kg (S6), no interior do cemitério, a 133,98 mg/Kg (S7) a jusante norte em relação ao cemitério. Na área-testemunha, o valor alcançado foi de 102,28 mg/Kg, que, em comparação com os demais valores obtidos no interior do local de estudo e do seu entorno, não evidenciam alteração da qualidade do solo devido à operação de cemitério.

A capacidade de troca catiônica variou de 73,73 mmol/Kg (S4), na região-testemunha, a 101,06 mmol/Kg (S3) a jusante nordeste em relação ao cemitério (Gráfico 04). Menores índices de troca catiônica foram percebidos nos pontos S2, S4 e S5 (Figura 5.29) quando a concentração de matéria orgânica foi menor ou nula (Figura 5.28). Segundo EMBRAPA (2006), a presença de latossolo contribui para a baixa capacidade de troca de cátions, conforme observado no ponto S2. Os valores para troca catiônica, em comparação com a amostra-testemunha, não demonstram alteração da qualidade do solo devido à operação de cemitério.

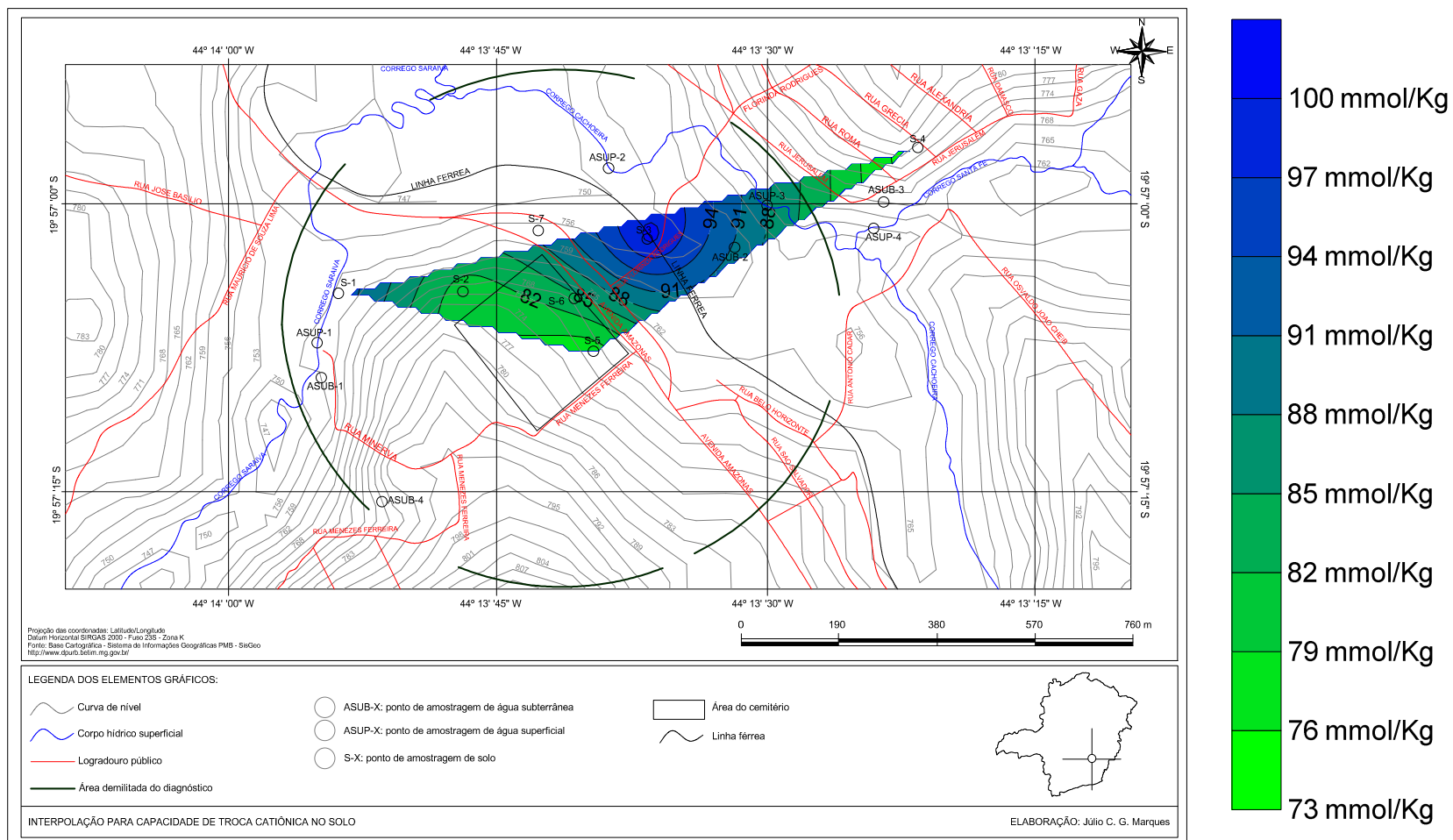


Figura 5.29: Modelamento para os valores de capacidade de troca catiônica no solo
 Fonte: Próprio autor

5.3.4.3 Análises de metais totais

Os resultados de metais totais das amostras de solo são apresentados na Tabela 5.7, a seguir.

Tabela 5.7. Resultados das análises de metais nas amostras do solo dos horizontes A (S1) e B (S2 a S7) – 2ª Campanha (setembro/16) e 3ª (novembro/16)

Parâmetro	Resultados Analíticos							Unidade	VP ^(1, 2 e 3) *** mg/Kg	VRQ ⁽⁴⁾ **** mg/Kg
	S-1 (perfil)	S-2 (perfil)	S-3 (perfil)	S-4* (perfil)	S-5** (2,0 m)	S-6** (4,0 m)	S-7 (6,0 m)			
Alumínio	44566,126	33448,115	25821,847	8276,185	10914,721	20622,453	6957,740	mg/Kg	NE	NE
Arsênio	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	mg/Kg	15	8
Bário	26,867	119,093	12,545	14,705	35,674	nd	18,344	mg/Kg	150	93
Cádmio	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	mg/Kg	1,3	<0,4
Cálcio	67,579	67,903	276,823	61,683	199,118	147,295	7,929	mg/Kg	NE	NE
Chumbo	11,014	8,894	5,168	4,246	11,372	5,840	34,668	mg/Kg	72	19,5
Cobalto	2,915	4,819	0,716	3,178	2,603	0,456	1,116	mg/Kg	25	6
Cobre	2,475	1,994	2,493	3,706	5,343	1,558	4,000	mg/Kg	60	49
Cromo	5,481	6,077	11,795	3,192	3,082	4,749	16,464	mg/Kg	75	75
Estanho	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	mg/Kg	NE	NE
Estrôncio	2,211	2,399	2,844	nd	4,574	nd	nd	mg/Kg	NE	NE
Ferro	12065,043	15713,297	5851,333	16731,286	11715,757	9433,591	15558,323	mg/Kg	NE	NE
Lítio	22,573	105,289	8,089	5,927	14,914	5,473	nd	mg/Kg	NE	NE
Magnésio	839,640	4527,955	183,364	218,231	1831,267	120,272	95,003	mg/Kg	NE	NE
Manganês	80,050	88,617	19,016	36,698	64,699	18,475	92,925	mg/Kg	NE	NE
Mercurio	0,076805	0,078030	0,068270	0,055587	nd	nd	nd	mg/Kg	0,5	0,05
Potássio	781,247	1842,068	481,533	675,535	1580,354	175,671	102,824	mg/Kg	NE	NE
Sódio	31,110	28,537	17,395	12,308	8,239	15,248	7,223	mg/Kg	NE	NE
Zinco	19,474	30,888	10,737	9,692	20,112	6,746	6,054	mg/Kg	300	46,5

Legenda: L.D.: Limite de detecção reportado, L.Q.: Limite de Quantificação reportado, NE: Não especificado, NA: Não aplicável, nd: Não detectado, mg: miligrama, Kg: quilo. S-X: Identificação da amostra de solo. S-1: “Ponto Córrego Saraiva”, localizado a jusante oeste da área do cemitério. S-2: “Ponto Vegas”, localizado no terreno da empresa Vegas Ferramentaria a montante da área do cemitério. S-3: “Ponto Córrego Cachoeira”, localizado a jusante nordeste da área do cemitério. S-4: “Ponto-testemunha”, localizado a nordeste do cemitério. S-5: “Ponto Quadra Hibisco 1”, localizado no interior do cemitério. S-6: “Ponto Quadra Hibisco 2”, localizado no interior do cemitério. S-7: “Ponto externo ao cemitério”, localizado a jusante norte da área do cemitério. Notas: *Refere-se à amostra-testemunha de solo fora da área de influência do cemitério. **Refere-se a amostra obtida no interior do cemitério. ***Valor de prevenção: indica a concentração de determinada substância no solo acima da qual podem ocorrer alterações de qualidade do solo. ****Valor de referência de qualidade: indica o nível de qualidade para um solo considerado limpo. (1) Valor de Prevenção: nível federal – Resolução CONAMA nº 420/2009. (2) Valor de Prevenção: nível estadual – Deliberação Normativa COPAM nº 166/2011, (3) Valor de Prevenção: nível estadual – Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH nº 02/2010, (4) Valor de Referência de Qualidade: nível estadual – Deliberação Normativa COPAM nº 166/2011.

De acordo com a Tabela 5.7, observaram-se altos teores de alumínio e ferro em todas as amostras analisadas com maiores concentrações detectadas nas amostras S1 (44.566,126 mg/Kg) e S2 (33.448,115 mg/Kg). Segundo Curi (1983), os latossolos são solos altamente degradados, bem drenados e friáveis. O alto grau de intemperismo e lixiviação a que estão expostos reflete em sua mineralogia, dominada por minerais de argila (caulinita e gibbsita) e oxi-hidróxidos de ferro e de alumínio. A cor do latossolo é um indicador confiável da mineralogia do óxido de ferro (Curi & Franzmeier, 1984). Os latossolos da região do Cerrado apresentam mineralogia da fração argila relativamente simples, sendo constituídos principalmente por caulinita e por óxidos e hidróxidos de ferro e de alumínio (Vendrame *et al.*, 2011).

Ferreira *et al.* (1999), em um estudo para avaliar a participação dos constituintes mineralógicos da fração argila no comportamento de propriedades físicas de latossolos ocorrentes na Região Sudeste do Brasil, concluíram que a caulinita, associada aos óxidos de ferro, e a gibbsita, associada aos óxidos de alumínio, foram os constituintes mineralógicos que exerceram maior influência sobre as propriedades físicas nos solos estudados. Nessa pesquisa, concluíram que os Latossolos cauliniticos apresentaram maior densidade do solo, menor estabilidade de agregados em água, menor macroporosidade e menor permeabilidade, quando comparados a Latossolos gibbsíticos, e também que a influência do alumínio sobre as propriedades físicas, associadas à estrutura dos latossolos estudados, foi mais pronunciada que a do ferro.

Observou-se, pela Tabela 5.7, que as amostras S1, S2 e S3, coletadas na área do entorno do cemitério, e a amostra S6, recolhida em seu interior, apresentaram maiores teores de alumínio do que de ferro. Nas amostras S4 e S7, coletadas no entorno do cemitério, e S5, em seu interior, identificaram-se maiores teores de ferro do que de alumínio. Isto sugere, conforme a conclusão apresentada por Ferreira *et al.* (1999), que, no interior do cemitério, o baixo valor de permeabilidade obtido pode ser reflexo da concentração de óxidos de ferro. Os metais arsênio, cádmio e estanho não foram detectados em nenhuma das amostras analisadas.

As concentrações de bário e mercúrio, na amostra S6 (4,0 m); estrôncio, nas amostras S4 (perfil), S6 (4,0 m) e S7 (6,0 m); e lítio, na amostra S7 (6,0 m), também não foram detectadas. Oliveira & Costa (2004) associaram a ocorrência de alguns elementos metálicos à afinidade com óxidos de Fe e Mn, sendo o Cd o de menor

afinidade com estes óxidos. Esta disponibilidade é restrita para solos originados de gnaisse, o que justifica a não detecção de cádmio em nenhuma das amostras, por causa desta formação geológica identificada na região do diagnóstico.

As concentrações de bário variaram de não detectado, na amostra S6, a 119,093 mg/Kg na amostra S2. Na amostra-testemunha (S4), a concentração obtida foi de 14,705 mg/Kg. A concentração de bário no solo varia mundialmente na escala de 19 a 2368 mg/Kg (Kabata & Pendias, 2001, Kemerich *et al.*, 2012). Todas as concentrações obtidas estavam abaixo dos valores de prevenção e de referência de qualidade dos solos estabelecidos por legislações ambientais, exceto para a amostra S2, em que a concentração de bário, de 119,093 mg/Kg, está acima do valor de referência de qualidade do solo. Kemerich *et al.* (2012), em um estudo de avaliação de metais pesados em solo do cemitério São João Batista, do município de Seberi/RS, detectaram as seguintes concentrações de bário na profundidade de 2,5 m a 3,0 m: mínima de 5056,57 mg/Kg e máxima de 14347,92 mg/Kg, sugerindo contaminação do solo. Nas amostras coletadas no interior do cemitério Cachoeira, a concentração máxima obtida foi de 35,674 mg/Kg (S5), inferior ao valor de prevenção, de 150 mg/Kg, estabelecido pela Resolução CONAMA nº 420/2009, não evidenciando alteração da qualidade do solo por operação de cemitério.

Maiores concentrações de cálcio foram observadas na amostra coletada a jusante nordeste da área do cemitério (S3/276,823 mg/Kg) e nas amostras recolhidas no interior do cemitério, S5 (199,118 mg/Kg) e S6 (147,295 mg/Kg). Migliorini (1994), em um estudo realizado no cemitério Vila Formosa, localizado na região metropolitana de São Paulo-SP, observou que a contaminação por cálcio pode ser ocasionada pela decomposição de ossos e utilização de cal (óxido de cálcio) em cemitérios. Na amostra-testemunha S4, o valor de cálcio foi 61,683 mg/Kg. Este parâmetro não possui valor de prevenção estabelecido, porém observou-se incremento no teor de cálcio por operação de cemitério (Figura 5.30).

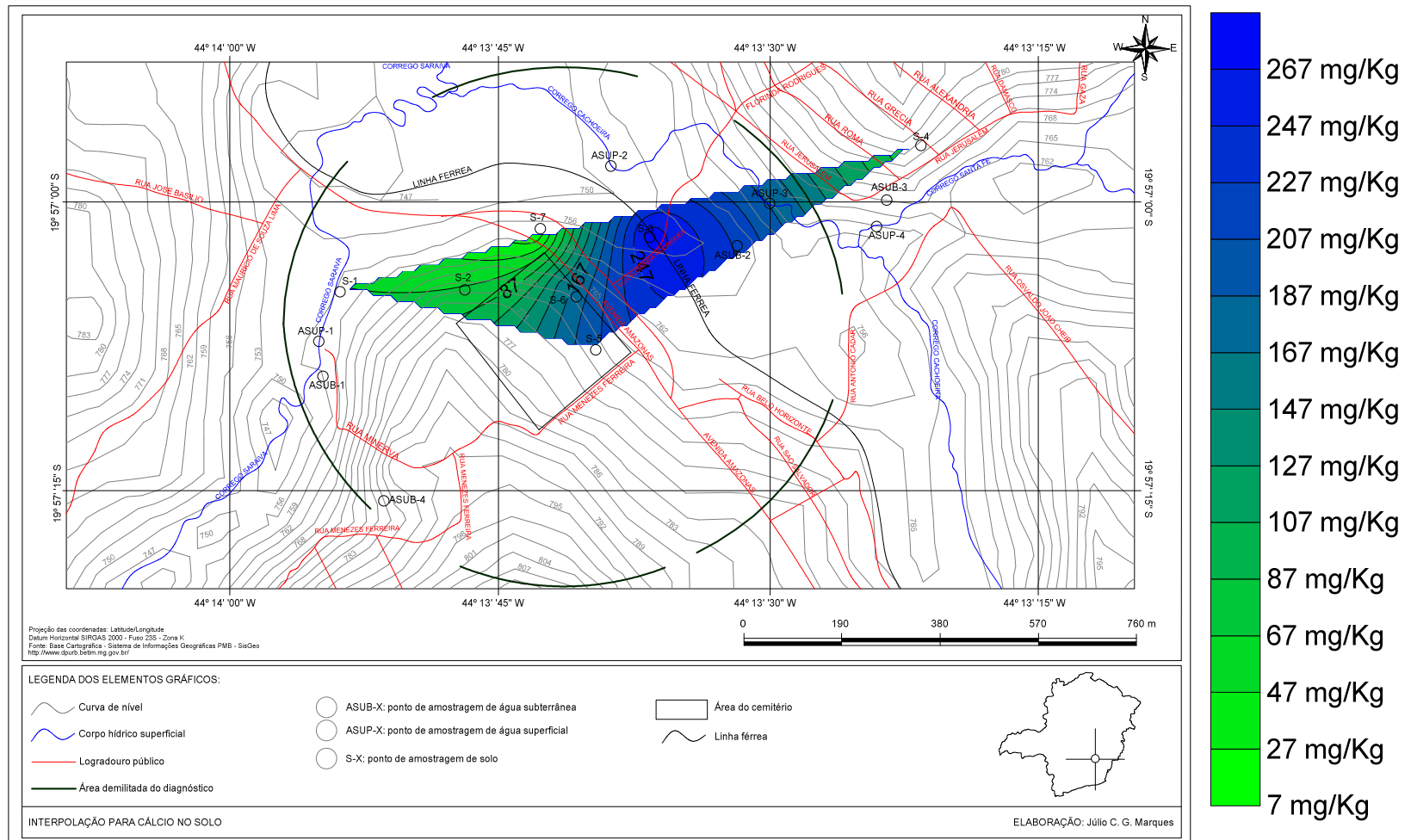


Figura 5.30: Modelamento para os valores de cálcio no solo
Fonte: Próprio autor

Em relação às concentrações de chumbo, os valores detectados nas amostras obtidas no interior do cemitério, S5 (11,372 mg/Kg) e S6 (5,840 mg/Kg), em comparação com a amostra-testemunha S4 (4,246 mg/Kg), estão inferiores ao valor de prevenção estabelecido pela Resolução CONAMA nº 420/2009, que é de 72 mg/Kg, não evidenciando alteração da qualidade do solo pela operação do cemitério.

Concentrações de cobalto nas amostras coletadas no interior do cemitério, S5 (2,603 mg/Kg) e S6 (0,456 mg/Kg), apresentaram-se inferiores à concentração verificada na amostra-testemunha S4 (3,178 mg/Kg), estando abaixo do valor de prevenção da Resolução CONAMA nº 420/2009, de 25 mg/Kg, o que não evidencia alteração da qualidade do solo relacionada às atividades do cemitério.

Para os resultados de cobre e cromo, foram observadas concentrações abaixo dos valores de prevenção da Resolução CONAMA nº 420/2009, respectivamente, de 60 mg/Kg e 75 mg/Kg em todas as amostras analisadas. Os resultados para cobre e cromo foram S5 (5,343 mg/Kg/3,082 mg/Kg) e S6 (1,558 mg/Kg/4,749 mg/Kg), respectivamente. Kemerich *et al.* (2012), em um estudo de avaliação de metais pesados em solo do cemitério São João Batista, do município de Seberi/RS, detectaram concentrações de cobre e cromo, nessa ordem, na profundidade de 2,5 m a 3,0 m, mínima de não detectável/124,01 mg/Kg e máxima de 594,56 mg/Kg/280,12 mg/kg, indicando contaminação do solo. Diante da comparação com o estudo desenvolvido por Kemerich *et al.* (2012), os resultados obtidos no interior e na área adjacente do local do presente estudo não evidenciam valores anômalos pela operação do cemitério.

As concentrações de estrôncio variaram de 2,211 mg/Kg (S1) a 4,574 mg/Kg (S5), obtido no interior do cemitério; e as concentrações de lítio, de 5,473 mg/Kg (S6), de amostra coletada no interior do cemitério, a 105,289 mg/Kg, na amostra S2, a jusante noroeste da área do cemitério. Na amostra-testemunha, S4, o valor foi de 5,927 mg/Kg. Para o estrôncio, onde os índices detectados foram baixos, e para o lítio, em comparação com os valores obtidos entre as amostras coletadas no interior do cemitério e a amostra-testemunha, não houve anormalidades nos resultados.

Perceberam-se concentrações de magnésio, manganês e potássio na amostra S5, obtida no interior do cemitério, superiores às da amostra-testemunha S4 para estes parâmetros. Porém, valores inferiores aos das concentrações obtidas na amostra-testemunha foram observados na amostra S6, também recolhida no interior do

cemitério. Outros índices superiores ao da amostra-testemunha foram constatados em outros pontos de coleta no entorno, o que não evidencia alteração da qualidade do solo.

Em relação às análises de mercúrio, não se perceberam concentrações nas amostras coletadas no interior do cemitério e na região a jusante norte em relação a ele. Concentrações de mercúrio variaram de 0,055587 mg/Kg (amostra-testemunha S4) a 0,078030 mg/Kg (S2) na área do entorno ao cemitério, portanto, abaixo do valor de prevenção da Resolução CONAMA nº 420/2009, de 0,5 mg/Kg, não revelando alteração da qualidade do solo pela operação do cemitério.

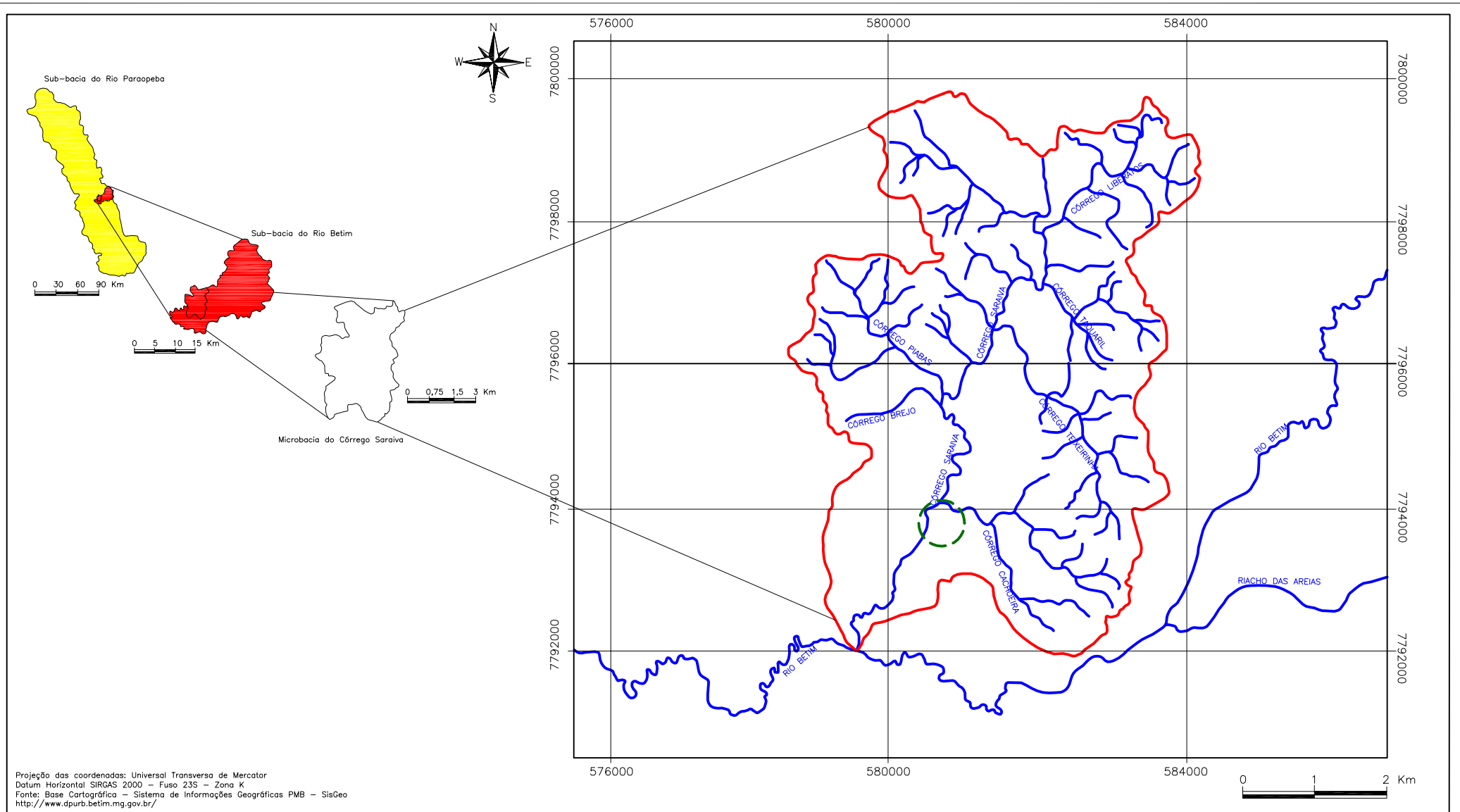
As concentrações de sódio variaram de 7,223 mg/Kg (S7) a 31,110 mg/Kg (S1), obtidas no entorno do cemitério. Nas amostras recolhidas em seu interior, as concentrações variaram de 8,239 mg/Kg (S5) a 15,248 mg/Kg (S6), enquanto na amostra testemunha S4, a concentração foi de 12,308 mg/Kg. Comparando as concentrações obtidas no interior do cemitério com a amostra-testemunha e as demais do entorno, não foram observadas anormalidades nos resultados.

Para os resultados de zinco, perceberam-se concentrações abaixo do valor de prevenção da Resolução CONAMA nº 420/2009, de 300 mg/Kg, em todas as amostras analisadas. Kemerich *et al.* (2012), em um estudo de avaliação de metais pesados em solo do cemitério São João Batista, do município de Seberi/RS, detectaram concentrações de zinco, na profundidade de 2,5 m a 3,0 m - mínima de 91,63 mg/Kg e máxima de 219,12 mg/Kg - não indicando contaminação do solo. Nos resultados das amostras analisadas de zinco, observou-se variação de 6,054 mg/Kg (S7) a 30,888 mg/Kg (S2). Nas amostras coletadas no interior do cemitério, as concentrações variaram de 6,746 mg/Kg (S6) a 20,112 mg/Kg (S5), enquanto na amostra-testemunha S4, a concentração foi de 9,692 mg/Kg. Diante da comparação com o estudo desenvolvido por Kemerich *et al.* (2012), os resultados obtidos no interior e na área adjacente não evidenciam valores anômalos por operação de cemitério.




5.4 Resultados para água superficial

5.4.1 Hidrografia identificada na área delimitada de estudo

Foram identificados três corpos hídricos: o córrego Santa Fé, localizado a nordeste da área delimitada de estudo, afluente do córrego Cachoeira, que, por sua vez, é afluente do córrego Saraiva - corpo hídrico principal da microbacia onde se insere o cemitério. A microbacia do córrego Saraiva está inserida na bacia hidrográfica do rio Paraopeba (Figura 5.31).



LEGENDA DOS ELEMENTOS GRÁFICOS:

-  Corpos hídricos superficiais
-  Delimitação da microbacia do Córrego Saraiva
-  Área delimitada do diagnóstico

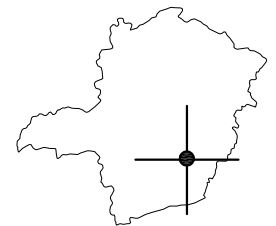


FIGURA 5.31: HIDROGRAFIA LOCAL – MICROBRACIA DO CÓRREGO SARAIVA, BETIM-MG

ELABORAÇÃO: Júlio C. G. Marques

Trata-se de uma microbacia bastante antropizada com áreas de preservação permanente descaracterizadas (Figuras 5.32, 5.33 e 5.34).



Figura 5.32: Fotografia de uma porção do Córrego Saraiva (Vistas A e B), Betim (MG)

Fonte: Próprio autor



Figura 5.33: Fotografia do ponto de amostragem ASUP3 no Córrego Cachoeira, Betim (MG)

Fonte: Próprio autor



Figura 5.34: Fotografia do ponto de amostragem ASUP4 no Córrego Santa Fé, Betim (MG)
Fonte: Próprio autor

5.4.2 Discussão dos resultados para a água superficial

Para parâmetros com padrões não estabelecidos, compararam-se os resultados obtidos com os da amostra-testemunha ASUP3 (*background*) e com resultados encontrados em outros estudos que avaliaram qualidade de corpos d'água. Sugere-se a classificação dos corpos hídricos da região do diagnóstico como Classe 1, de forma conservadora, considerando que as águas são destinadas para fins de abastecimento público.

Nas análises de diaminas, microbiológicas e de metais, para alguns parâmetros, as concentrações se apresentaram acima dos padrões normativos consultados. Dessa forma, para o solo, elucida-se uma sugestiva de contaminação; porém, deve-se considerar a formação geológica da região, conforme Migliorini (1994), plantas que não foram objeto deste estudo e o uso e ocupação do solo do entorno no que diz respeito aos impactos ambientais identificados na área.

5.4.2.1 Análises físico-químicas

Os resultados das análises físico-químicas realizadas nas amostras de água superficial extraídas dos pontos de coleta ASUP1, ASUP2, ASUP3 e ASUP4 são apresentados na Tabela 5.8 e nas Figuras de 5.35 a 5.38.

Tabela 5.8. Resultados das análises físico-químicas nas amostras de água superficial – 1ª Campanha (maio/16) e 2ª Campanha (set./16)

Parâmetro	Resultados Analíticos								L.Q.	Unidade	VMP ⁽¹⁾ mg/L	VMP ⁽²⁾ mg/L	VMP ⁽³⁾ mg/L
	ASUP-1		ASUP-2		ASUP-3		ASUP-4**						
Campanhas	1ª	2ª	1ª	2ª	1ª	2ª	1ª	2ª					
pH (a 25°C)	7,61	7,47	7,55	6,82	7,84	7,34	7,48	7,03	2 a 13	NA	6,0 a 9,0	6,0 a 9,0	6,0 a 9,0
Temperatura	23,2	24,1	21,9	24,3	22,4	24,4	22,3	24,0	NA	°C	NE	NE	NE
Condutividade	1000	253	1860	223	191	226	212	132	1	µS/cm	NE	NE	NE
Oxigênio Dissolvido	3,9	5,0	5,8	5,0	5,6	5,1	4,5	5,1	0,1	mg/L	NE	>6,0	>6,0

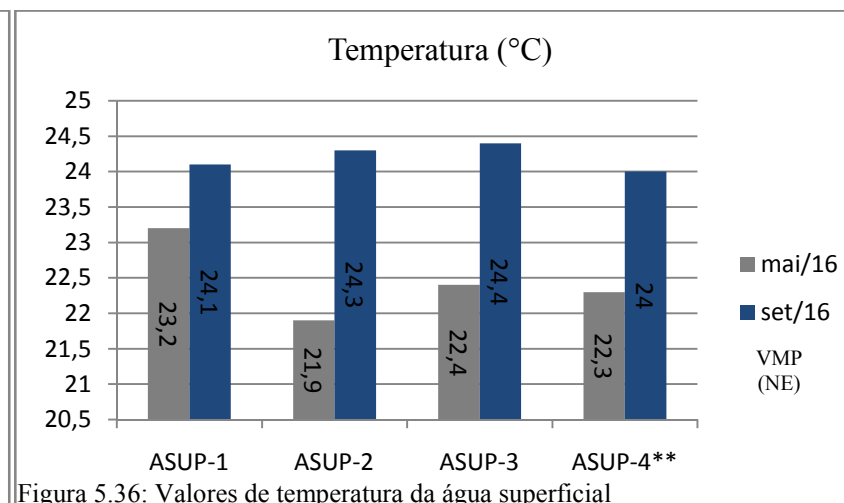
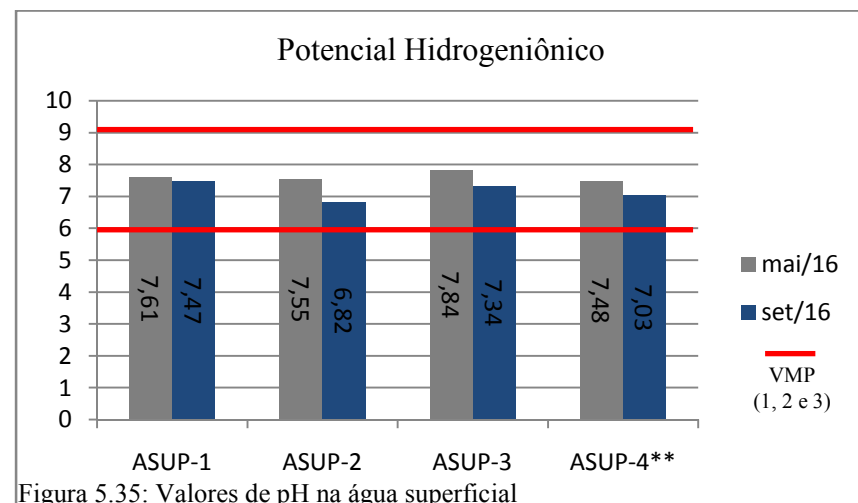
Legenda: L.D.: Limite de detecção reportado, L.Q.: Limite de Quantificação reportado, NE: Não especificado, NA: Não aplicável, na: Não analisado, nd: Não detectado, µS: microsiemens, cm: centímetros, °C: graus Celsius, mg: miligrama, L: litro. ASUP-X: Identificação da amostra de água superficial. ASUP-1: Córrego Saraiva, ponto localizado a jusante leste da área do cemitério. ASUP-2: Córrego Cachoeira - Ponto 1, localizado a jusante norte da área do cemitério. ASUP-3: Córrego Cachoeira - Ponto 2, localizado a jusante nordeste da área do cemitério. ASUP-4: “Córrego Santa Fé – Ponto-Testemunha”, localizado a nordeste do cemitério fora da área de drenagem.

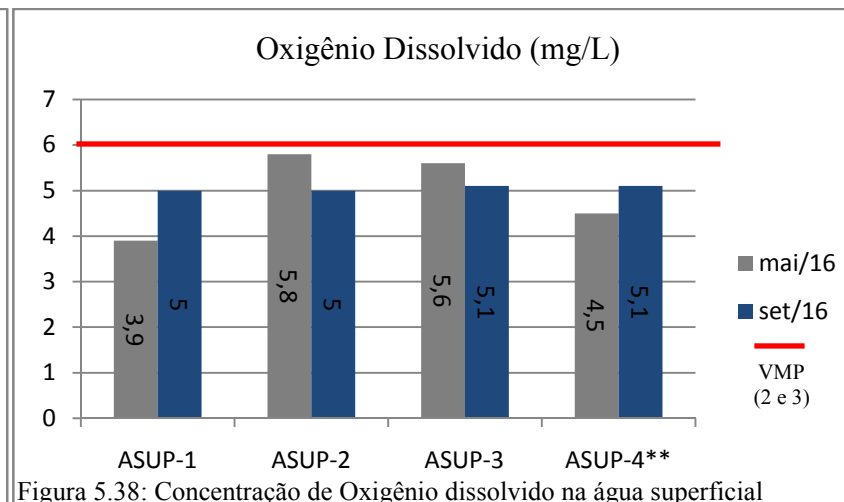
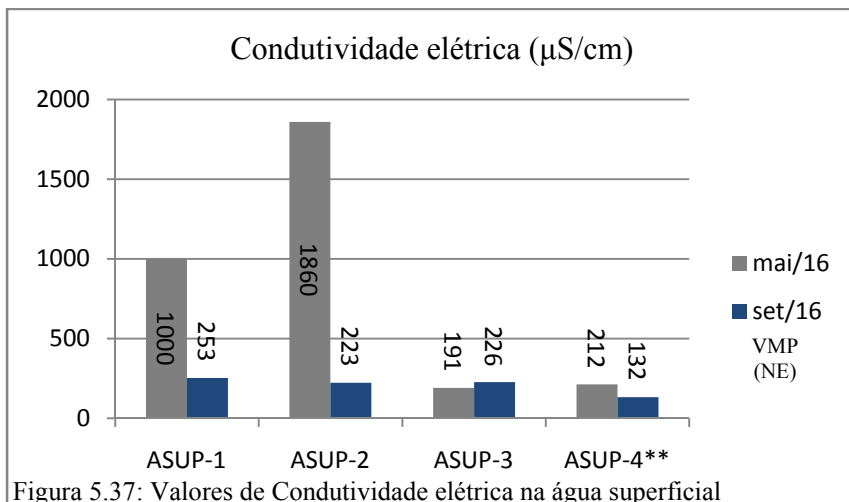
Notas: **Refere-se à amostra-testemunha de água superficial fora da área de influência do cemitério em estudo.

(1) Valor Máximo Permitido: nível federal - padrão de potabilidade de água para consumo humano – Portaria 2914/11 do Ministério da Saúde.

(2) Valor Máximo Permitido: nível federal - padrão de qualidade de água – Resolução CONAMA nº 357/2005.

(3) Valor Máximo Permitido: nível estadual - padrão de qualidade de água (Classe 1) – Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH nº 01/2008.





Legenda: NE: Não especificado, µS: microsiemens, cm: centímetros, mg: miligrama, L: litro. ASUP-X: Identificação da amostra de água superficial. ASUP-1: Córrego Saraiva, ponto localizado a jusante leste da área do cemitério. ASUP-2: Córrego Cachoeira - Ponto 1, localizado a jusante norte da área do cemitério. ASUP-3: Córrego Cachoeira - Ponto 2, localizado a jusante nordeste da área do cemitério. ASUP-4: "Córrego Santa Fé – Ponto-Testemunha", localizado a nordeste do cemitério fora da área de drenagem.

Notas: **Refere-se à amostra-testemunha de água superficial fora da área de influência do cemitério em estudo.

(1) Valor Máximo Permitido: nível federal - padrão de potabilidade de água para consumo humano – Portaria 2914/11 do Ministério da Saúde.

(2) Valor Máximo Permitido: nível federal - padrão de qualidade de água – Resolução CONAMA nº 357/2005.

(3) Valor Máximo Permitido: nível estadual - padrão de qualidade de água (Classe 1) – Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH nº 01/2008.

De acordo com a Tabela 5.8 e Figuras de 5.35 a 5.38:

- pH: observou-se que os valores estão dentro da faixa aceitável (Figura 5.35) estabelecida pela Portaria 2914/2011 do Ministério da Saúde para potabilidade para fins de consumo humano; aceitáveis também pela Resolução CONAMA nº 357/2005 e Deliberação Normativa Conjunta COPAM CERH nº 01/2008 para qualidade de água. Porém, notou-se decréscimo do valor de pH em todas as amostras no período de estiagem, provavelmente associado ao fator de diluição de poluentes, sendo que, em maio de 2016, a média foi 7,62, e, em setembro 7,16;

Sardinha *et al.* (2008) avaliaram a qualidade da água do Ribeirão do Meio, no município de Leme-SP, e obtiveram valores médios de pH a 7,08, indicando que, em todos os pontos de amostragem, as amostras se encontraram próximas à neutralidade. Carvalho *et al.* (2004), em um estudo de avaliação da qualidade das águas no ribeirão Ubá, observaram valor médio de 7,19, em época de estiagem, e de 7,06 em fim de estação chuvosa. Machado (2011), em uma pesquisa sobre a qualidade das águas do Rio Paraibuna, no trecho urbano de Juiz de Fora/MG, observou teores médios de pH variando entre 6,32 e 6,79, no período de 2001 a 2003.

- Temperatura: observou-se o aumento da temperatura em todas as amostras no período de estiagem. Em maio de 2016, a média foi 22,45 °C, e, em setembro de 2016, de 24,2 °C, provavelmente devido ao menor volume do corpo d'água e maior atividade microbiana.

Observou-se também a elevação da temperatura de, no mínimo, 0,9 °C no ponto de monitoramento ASUP1 (córrego Saraiva), entre as campanhas de maio a setembro de 2016; e de, no máximo, 2,4 °C no ponto ASUB2 (ponto córrego Cachoeira 1), evidenciando que menor volume no corpo d'água pode ter favorecido maior atividade microbiana, provavelmente em decorrência das descargas de efluentes líquidos de origem doméstica e industrial na microbacia do Córrego Saraiva.

Sardinha *et al.* (2008) notaram valores médios de temperatura a 24,26 °C. Já Carvalho *et al.* (2004) observaram valor médio de 24,92 °C, em época de estiagem, e de 20,08 °C em fim de estação chuvosa. Em seus estudos, Machado (2011) constatou valores médios variando entre 18,7 e 20,5 °C, no período de 2001 a 2003.

- Condutividade elétrica: observou-se decréscimo de valores obtidos nas amostras coletadas em setembro de 2016 em relação às de maio de 2016, com exceção da amostra ASUP3 (ponto córrego Cachoeira 2), onde houve o aumento de 35 $\mu\text{S}/\text{cm}$ em relação à campanha de maio de 2016, que representou o fim do período chuvoso, podendo estar relacionado à quantidade precipitada por causa do período de estiagem. O menor valor de condutividade elétrica observado foi de 132 $\mu\text{S}/\text{cm}$ na amostra ASUP4 (testemunha), obtida do córrego Santa Fé; e o maior, de 253 $\mu\text{S}/\text{cm}$, na amostra ASUP1 (ponto córrego Saraiva).

Sardinha *et al.* (2008) observaram valores médios de condutividade elétrica a 114,93 $\mu\text{S}/\text{cm}$; e Carvalho *et al.* (2004), valor médio de 150 $\mu\text{S}/\text{cm}$, em época de estiagem, e de 120 $\mu\text{S}/\text{cm}$ em fim de estação chuvosa. Os índices de condutividade elétrica identificados na campanha de setembro de 2016, que representou o fim da época de estiagem, evidenciaram que podem estar relacionados à mudança da estação climática, pelo volume de chuva precipitado e aporte de detritos de escoamento superficial para o período.

- Oxigênio dissolvido: em geral, perceberam-se níveis baixos, não superiores que 5,8 mg/L, na campanha realizada em maio de 2016, e 5,1 na de setembro de 2016. Os menores valores observados nas duas campanhas foram o da amostra ASUP1 (ponto córrego Saraiva), onde o OD foi mensurado a 3,9 mg/L, em maio de 2016, e 5,0 mg/L em setembro do mesmo ano. Todos os valores mensurados em todas as campanhas realizadas estão abaixo do recomendado pela Resolução CONAMA nº 357/2005 e Deliberação Normativa Conjunta COPAM CERH nº 01/2008,

que estabelece o valor mínimo permitido de >6,0 mg/L para padrão de qualidade de água.

O oxigênio dissolvido não é apenas essencial para os organismos aeróbios, mas também o principal parâmetro de caracterização dos efeitos da poluição das águas por despejos orgânicos (Thebaldi *et al.*, 2011). Sardinha *et al.* (2008) notaram maiores valores de OD em um ponto de coleta localizado a montante da cidade, em média de 6,5 mg/L, e valores menores em um ponto a jusante do município, em média de 1,5 mg/L. Carvalho *et al.* (2004) observaram índices entre 2,00 e 3,30 mg/L em época de estiagem nas áreas mais a jusante do centro urbano, concluindo que o ribeirão é comprometido pelas atividades antrópicas da região. Machado (2011) constatou teores de OD variando entre 1,72 e 4,97 mg/L associados aos pontos de coleta localizados em trechos de maiores degradações, pois o volume de esgotos recebidos neles é bastante significativo.

Os valores de oxigênio dissolvido obtidos nas duas campanhas de amostragem realizadas para este diagnóstico foram menores que o recomendado pela Resolução CONAMA nº 357/2005 e Deliberação Normativa Conjunta COPAM CERH nº 01/2008, evidenciando poluição ambiental por fontes não relacionadas à operação do cemitério em questão, uma vez que não foi interceptado o nível do aquífero no interior do cemitério. Os baixos índices de oxigênio encontrados indicam a presença de matéria orgânica na água do rio, que acaba por consumir o oxigênio dissolvido para oxidação dos compostos orgânicos (Queiroz *et al.*, 2010).

Nagalli & Nemes (2009), em estudo da qualidade de água de corpo receptor de efluentes líquidos industriais e domésticos, concluíram que a contribuição dos poluentes lançados clandestinamente pela comunidade local interferiu negativamente na qualidade da água em córrego da bacia hidrográfica do rio Birigui, na região metropolitana de Curitiba-PR, principalmente no que diz respeito à concentração de oxigênio dissolvido, pois as altas cargas orgânicas lançadas pelos despejos domésticos consumiram o oxigênio livre disponível, desacelerando o seu processo de autodepuração.

5.4.2.2 Análises de diaminas

Os resultados das análises de cadaverina e putrescina, realizadas nas amostras de água superficial extraídas dos pontos de coleta ASUP1, ASUP2, ASUP3 e ASUP4, são apresentados na Tabela 5.9 e nas Figuras 5.39 e 5.40, a seguir.

Tabela 5.9. Resultados das análises de aminas nas amostras de água superficial – 1ª Campanha (mai/16) e 2ª Campanha (set./16)

Parâmetro	Resultados Analíticos								L.Q.	L.Q.	Unidade	VMP ⁽¹⁾	VMP ⁽²⁾	VMP ⁽³⁾
	ASUP-1		ASUP-2		ASUP-3		ASUP-4**							
Campanhas	1 ^a	2 ^a	1 ^a	2 ^a	1 ^a	2 ^a	1 ^a	2 ^a						
Cadaverina	<1	<1	<1	<1	<1	1,57	<1	<1	1	NE	mg/Kg	NE	NE	NE
Putrescina	<1	<1	<1	<1	<1	1,02	<1	<1	1	NE	mg/Kg	NE	NE	NE

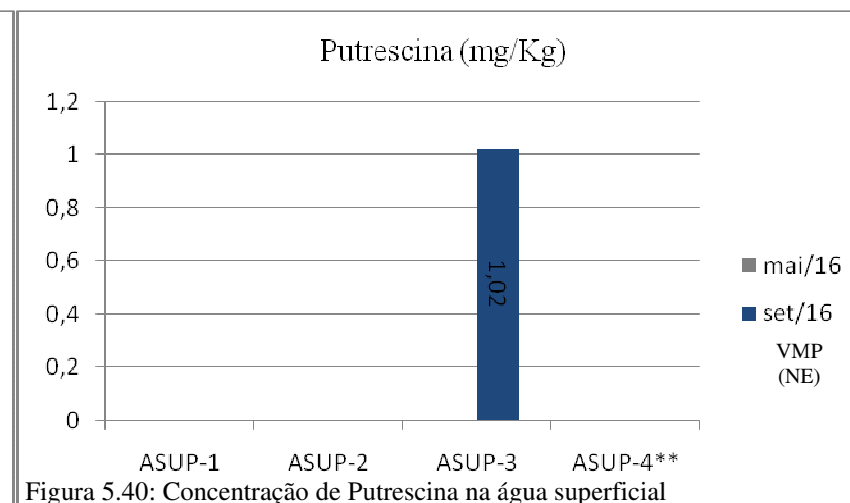
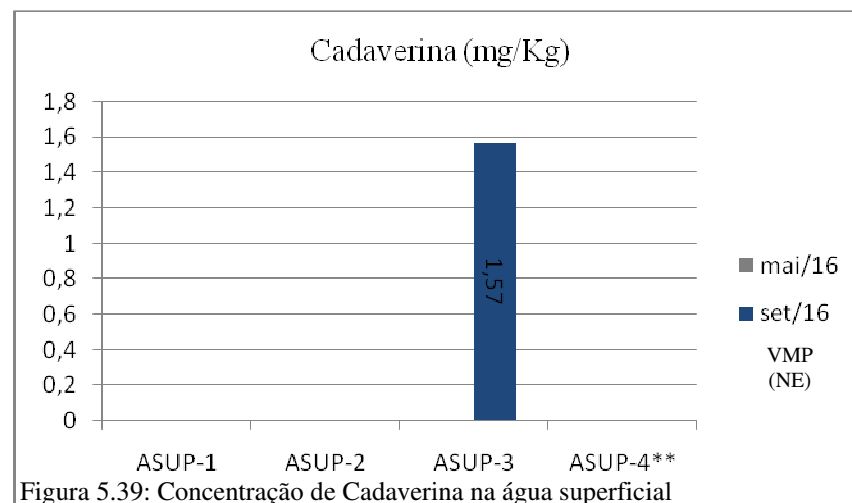
Legenda: L.D.: Limite de detecção reportado, L.Q.: Limite de Quantificação reportado, NE: Não especificado, NA: Não aplicável, nd: Não detectado, mg: miligramas, Kg: quilo. <: menor que o limite de detecção do método. ASUP-X: Identificação da amostra de água superficial. ASUP-1: Córrego Saraiva, ponto localizado a jusante leste da área do cemitério. ASUP-2: Córrego Cachoeira - Ponto 1, localizado a jusante norte da área do cemitério. ASUP-3: Córrego Cachoeira - Ponto 2, localizado a jusante nordeste da área do cemitério. ASUP-4: “Córrego Santa Fé – Ponto-Testemunha”, localizado a nordeste do cemitério fora da área de drenagem.

Notas: **Refere-se à amostra-testemunha de água superficial fora da área de influência do cemitério em estudo.

(1) Valor Máximo Permitido: nível federal - padrão de potabilidade de água para consumo humano – Portaria 2914/11 do Ministério da Saúde.

(2) Valor Máximo Permitido: nível federal - padrão de qualidade de água – Resolução CONAMA nº 357/2005.

(3) Valor Máximo Permitido: nível estadual - padrão de qualidade de água (Classe 1) – Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH nº 01/2008.



Conforme a Tabela 5.9, cadaverina e putrescina não foram detectadas em nenhuma das amostras coletadas dos pontos de monitoramento de água superficial em maio de 2016. No entanto, em setembro de 2016, cadaverina foi detectada a 1,57 mg/Kg, e putrescina, a 1,02 mg/Kg, no ponto ASUP3 (ponto córrego Cachoeira 2), localizado a jusante nordeste em relação ao cemitério. Na amostra-testemunha ASUP4, estes parâmetros não foram percebidos, em setembro de 2016.

No córrego Cachoeira, observou-se, diversas vezes, nos momentos dos trabalhos de campo para reconhecimento dos locais de amostragem neste corpo hídrico, incluindo o dia 28/09/2016, que havia um corpo de animal em estágio de putrefação dentro do córrego a cerca de 30 metros de distância do ponto ASUP3 em direção ao ponto ASUP4, e os índices detectados podem ter sido em função deste fato. Estes parâmetros não possuem valores padrões estabelecidos por legislações brasileiras, mas a sua detecção sugere contaminação por líquido cadavérico não relacionado à operação do cemitério, e sim dos impactos ambientais decorrentes na microbacia do córrego Saraiva, uma vez que este ponto de amostragem encontra-se a jusante nordeste em relação ao perímetro do cemitério Parque Cachoeira e cerca de 315 metros de distância.

5.4.2.3 Análises de Dureza total, Alcalinidade total e Nitrogênio amoniacal

Os resultados das análises de dureza total, alcalinidade total e nitrogênio amoniacal, realizadas nas amostras de água superficial coletadas dos pontos ASUP1, ASUP2, ASUP3 e ASUP4, são apresentados na Tabela 5.10 e nas Figuras de 5.41 a 5.43.

Tabela 5.10. Resultados das análises de Dureza Total, Alcalinidade Total e Nitrogênio Amoniacal na água superficial – 1ª Campanha (maio/16) e 2ª Campanha (set./16)

Parâmetro	Resultados Analíticos								L.Q.	L.Q.	Un.	VMP ⁽¹⁾ mg/L	VMP ^(2 e 3) mg/L
	ASUP-1		ASUP-2		ASUP-3		ASUP-4**						
Campanhas	1ª	2ª	1ª	2ª	1ª	2ª	1ª	2ª					
Dureza Total – Diferença	65,776	53,402	53,029	86,736	54,356	95,572	50,673	64,906	3	1	mg/L	500	NE
Alcalinidade Total	271,69	195,32	81,10	194,68	85,16	196,61	89,21	122,72	17	5	mg/L	NE	NE
Nitrogênio Amoniacal	3,958	5,699	0,063	1,595	nd	1,017	nd	0,096	0,050	0,020	mg/L	1,5	3,7 (pH≤7,5) 2,0(7,5<pH≤8,0)
	pH = 7,61	pH = 7,47	pH = 7,55	pH = 6,82	pH = 7,84	pH = 7,34	pH = 7,48	pH = 7,03					

Legenda: Un.: Unidade, L.D.: Limite de detecção reportado, L.Q.: Limite de Quantificação reportado, NE: Não especificado, NA: Não aplicável, nd: Não detectado, mg: miligrama, L: Litro. <: menor que o limite de detecção do método. ASUP-X: Identificação da amostra de água superficial. ASUP-1: Córrego Saraiva, ponto localizado a jusante leste da área do cemitério. ASUP-2: Córrego Cachoeira - Ponto 1, localizado a jusante norte da área do cemitério. ASUP-3: Córrego Cachoeira - Ponto 2, localizado a jusante nordeste da área do cemitério. ASUP-4: “Córrego Santa Fé – Ponto-Testemunha”, localizado a nordeste do cemitério fora da área de drenagem. Notas: **Refere-se à amostra-testemunha de água superficial fora da área de influência do cemitério em estudo.

(1) Valor Máximo Permitido: nível federal - padrão de potabilidade de água para consumo humano – Portaria 2914/11 do Ministério da Saúde.

(2) Valor Máximo Permitido: nível federal - padrão de qualidade de água – Resolução CONAMA nº 357/2005.

(3) Valor Máximo Permitido: nível estadual - padrão de qualidade de água (Classe 1) – Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH nº 01/2008.

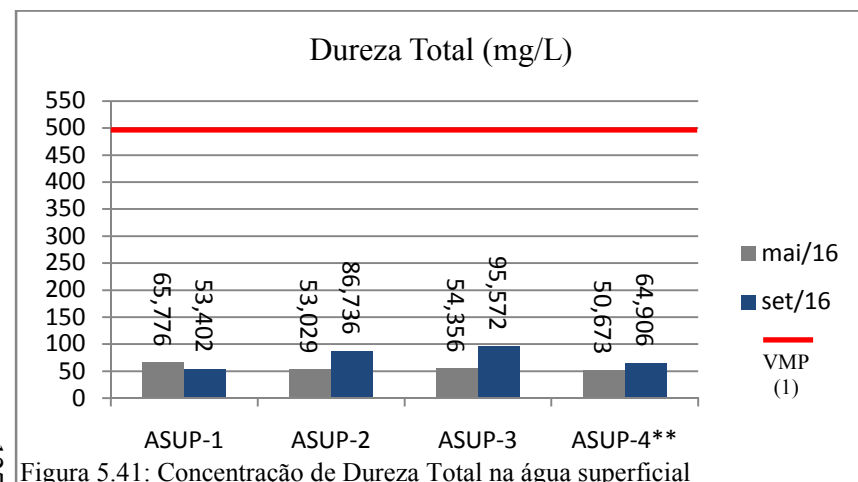


Figura 5.41: Concentração de Dureza Total na água superficial

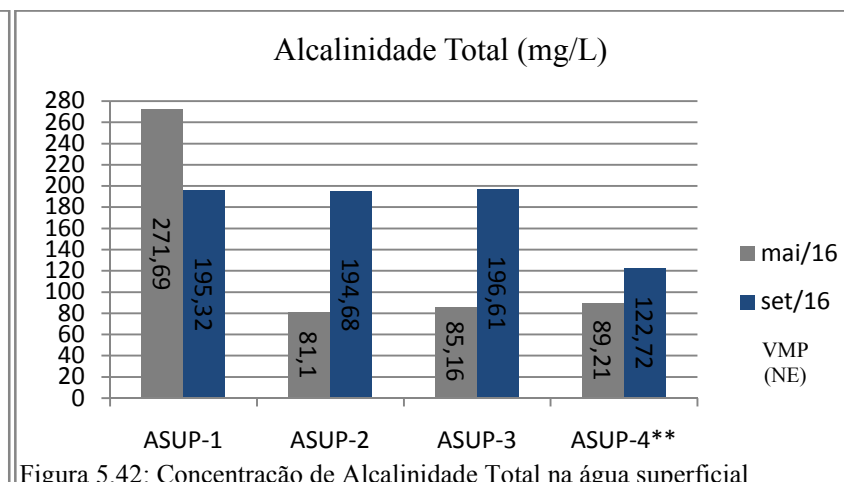


Figura 5.42: Concentração de Alcalinidade Total na água superficial

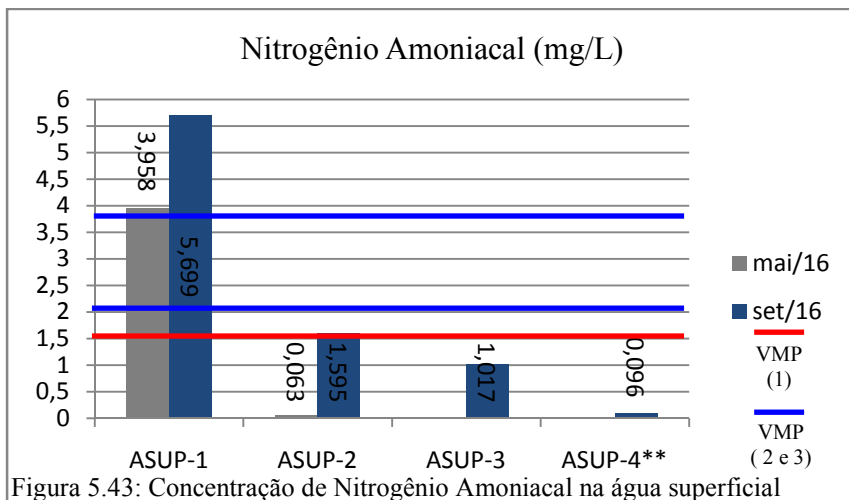


Figura 5.43: Concentração de Nitrogênio Amoniacal na água superficial

Legenda: NE: Não especificado, mg: miligramas, L: Litro. ASUP-X: Identificação da amostra de água superficial. ASUP-1: Córrego Saraiva, ponto localizado a jusante leste da área do cemitério. ASUP-2: Córrego Cachoeira - Ponto 1, localizado a jusante norte da área do cemitério. ASUP-3: Córrego Cachoeira - Ponto 2, localizado a jusante nordeste da área do cemitério. ASUP-4: "Córrego Santa Fé – Ponto-Testemunha", localizado a nordeste do cemitério fora da área de drenagem.

Notas: **Refere-se à amostra-testemunha de água superficial fora da área de influência do cemitério em estudo.

(1) Valor Máximo Permitido: nível federal - padrão de potabilidade de água para consumo humano – Portaria 2914/11 do Ministério da Saúde.

(2) Valor Máximo Permitido: nível federal - padrão de qualidade de água – Resolução CONAMA nº 357/2005.

(3) Valor Máximo Permitido: nível estadual - padrão de qualidade de água (Classe 1) – Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH nº 01/2008.

De acordo com a Tabela 5.10 e Figuras de 5.41 a 5.43:

- Dureza total: para a campanha realizada em maio de 2016 (fim do período chuvoso), os valores variaram de 50,673 mg/L, na amostra-testemunha ASUP4 (córrego Santa Fé), a 65,776 mg/L na amostra ASUP1 (córrego Saraiva). Para a campanha realizada em setembro de 2016 (fim do período de estiagem), os índices variaram de 53,402 mg/L, na amostra ASUP1 (córrego Saraiva), a 95,572 mg/L na amostra ASUP3 (ponto córrego Cachoeira 2). Perceberam-se maiores concentrações na maioria das amostras coletadas no fim período de estiagem; entretanto, todos os valores estão abaixo do padrão estabelecido pela Portaria 2914/2011, do Ministério da Saúde, para potabilidade para fins de consumo humano - de 500 mg/L.

Carvalho *et al.* (2004) observaram teores de dureza total variando de 20 mg/L a 32 mg/L, em época de estiagem, e de 24 mg/L a 72 mg/L em fim de estação chuvosa - também abaixo do padrão de potabilidade estabelecido pelo Ministério da Saúde.

- Alcalinidade total: para a campanha realizada em maio de 2016, os valores variaram de 81,1 mg/L, na amostra ASUP2 (ponto córrego Cachoeira 1), a 271,69 mg/L na amostra ASUP1 (córrego Saraiva); e, para a de setembro de 2016, a variação foi de 122,72 mg/L, na amostra-testemunha ASUP4 (córrego Saraiva), a 196,61 mg/L na amostra ASUP3 (ponto córrego Cachoeira 2). Constatou-se menor concentração na amostra-testemunha ASUP4. Este parâmetro não possui valor máximo permitido estabelecido pela Portaria MS nº 2914/2011, Resolução CONAMA nº 357/2005 e Deliberação Normativa Conjunta COPAM CERH nº 01/2008; porém, valores maiores detectados nas amostras ASUP1, ASUP2 e ASUP3, em comparação com a amostra-testemunha ASUP4, sugerem alteração da qualidade da água superficial não relacionada à operação de cemitérios.

Carvalho *et al.* (2004) notaram valores de alcalinidade total variando de 16 mg/L a 47 mg/L, em época de estiagem, e de 16 mg/L a 40 mg/L em fim de estação chuvosa. Considerando-se que a alcalinidade indica o potencial de um determinado corpo hídrico em neutralizar ácidos, os resultados de pH detectados por Carvalho *et al.* (2004) e para este diagnóstico foram próximos ao valor de neutralidade.

- Nitrogênio Amoniacal (maio/2016): não detectado nas amostras ASUP3 (córrego Cachoeira ponto 2) e ASUP4 (córrego Santa Fé - testemunha). Na amostra ASUP1 (córrego Saraiva), o valor do parâmetro foi de 3,958 mg/L, sendo este acima do padrão permitido pela Portaria 2914/2011, do Ministério da Saúde, para potabilidade para fins de consumo humano - de 1,5 mg/L, encontrando-se também acima do padrão permitido pelas Resolução CONAMA nº 357/2005 e Deliberação Normativa Conjunta COPAM CERH nº 01/2008, que estabelecem 2,0 mg/L para padrão de qualidade de água em um pH do meio entre 7,5 e 8,0 (pH mensurado a 7,61 na amostra). Na amostra ASUP2 (córrego Cachoeira ponto 1), o valor de Nitrogênio Amoniacal não foi superior ao padrão permitido;
- Nitrogênio Amoniacal (setembro/2016): em relação à campanha anterior, observou-se aumento das concentrações em todas as amostras coletadas. Nas amostras ASUP1 (córrego Saraiva) e ASUP2 (ponto córrego Cachoeira 1), os valores foram, respectivamente, de 5,699 mg/L e 1,595 mg/L, superiores ao padrão permitido, de 1,5 mg/L. Para o padrão de qualidade de água estabelecido pelas Resolução CONAMA nº 357/2005 e Deliberação Normativa Conjunta COPAM CERH nº 01/2008, as amostras ASUP2 (1,595 mg/L), ASUP3 (1,017 mg/L) e ASUP4 (0,096 mg/L) não apresentaram valores superiores aos padrões permitidos: de 3,7 mg/L para $\text{pH} \leq 7,5$, e 2,0 mg/L para pH entre 7,5 a 8,0. A amostra ASUP1 (córrego Saraiva) apresentou valor superior ao padrão permitido para a qualidade da água superficial.

Thebaldi *et al.* (2008), em uma pesquisa sobre a avaliação da qualidade da água do córrego Jurubatuba, em Anápolis/GO, constataram valor médio de amônia a 0,19 mg/L. Carvalho *et al.* (2004) obtiveram valor médio de 0,15 mg/L em época de fim de estação chuvosa, com pH médio de 7,06, dentro dos padrões aceitáveis para potabilidade e qualidade. As condições não foram totalmente atendidas nas amostras coletadas no entorno do cemitério Municipal Cachoeira. Em geral, percebeu-se aumento de concentrações de nitrogênio amoniacal para a campanha de setembro de 2016 - fim do período de estiagem - em média de 2,1 mg/L, evidenciando potencial contaminação oriunda de matéria orgânica de despejo de esgoto sanitário lançado inadequadamente e presença de fossas negras na microbacia do córrego Saraiva.

5.4.2.3 Análises microbiológicas

Os resultados das análises microbiológicas, realizadas nas amostras de água superficial extraídas dos pontos de coleta ASUP1, ASUP2, ASUP3 e ASUP4, são apresentados na Tabela 5.11 e nas Figuras de 5.44 a 5.46, a seguir.

Tabela 5.11. Resultados das análises microbiológicas nas amostras de água superficial – 1ª Campanha (maio/16) e 2ª Campanha (set./16)

Parâmetro	Resultados Analíticos								L.Q.	L.Q.	Un.	VMP ⁽¹⁾ mg/L	VMP ⁽²⁾ mg/L	VMP ⁽³⁾ mg/L
	ASUP-1		ASUP-2		ASUP-3		ASUP-4**							
Campanhas	1 ^a	2 ^a	1 ^a	2 ^a	1 ^a	2 ^a	1 ^a	2 ^a						
Clostrídios Sulfito-Redutores	nd	>200	nd	>200	nd	>200	nd	5,0	1	1	NMP/100 mL	NE	NE	NE
Coliformes Termotolerantes	220	2200	nd	410	nd	1300	nd	3300	1,8	1,8	NMP/100 mL	Ausência	NE	NE
Coliformes Totais	>16000	>16000	16000	>16000	nd	>16000	45	>16000	2	2	NMP/100 mL	Ausência	NE	NE

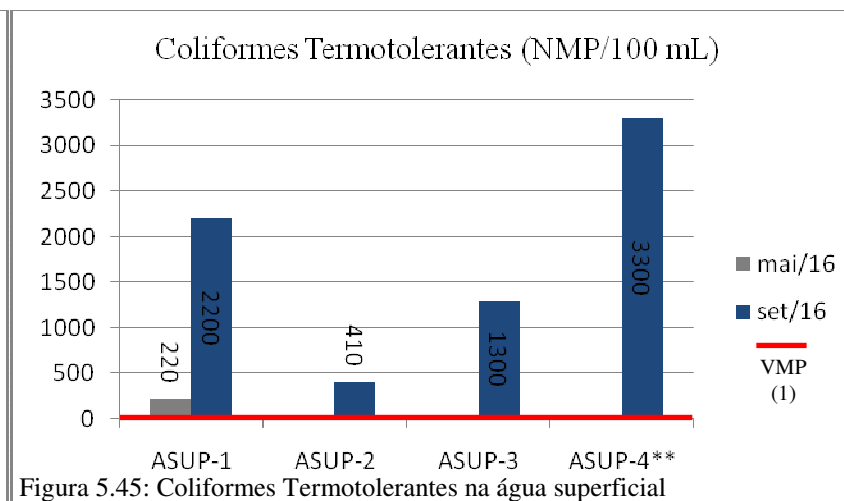
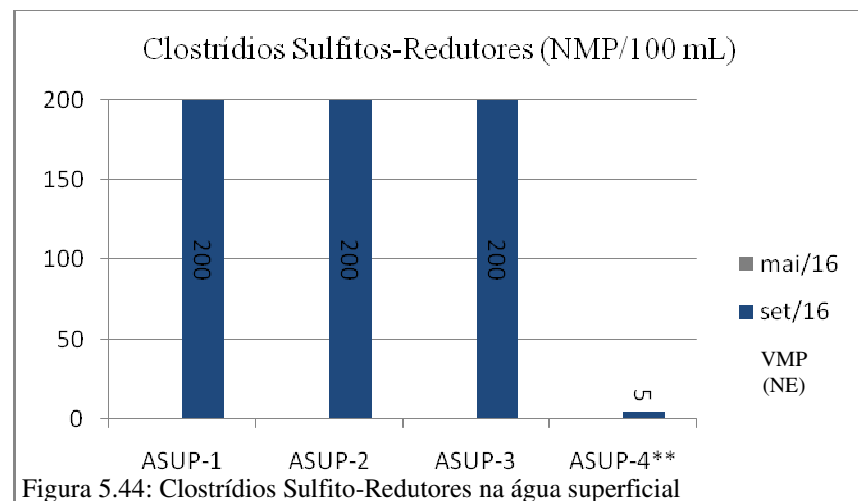
Legenda: Un.: Unidade, L.D.: Limite de detecção reportado, L.Q.: Limite de Quantificação reportado, NE: Não especificado, NA: Não aplicável, nd: Não detectado, NMP: número mais provável, ml: mililitros. <: menor que o limite de detecção do método. ASUP-X: Identificação da amostra de água superficial. ASUP-1: Córrego Saraiva, ponto localizado a jusante leste da área do cemitério. ASUP-2: Córrego Cachoeira - Ponto 1, localizado a jusante norte da área do cemitério. ASUP-3: Córrego Cachoeira - Ponto 2, localizado a jusante nordeste da área do cemitério. ASUP-4: “Córrego Santa Fé – Ponto-Testemunha”, localizado a nordeste do cemitério fora da área de drenagem.

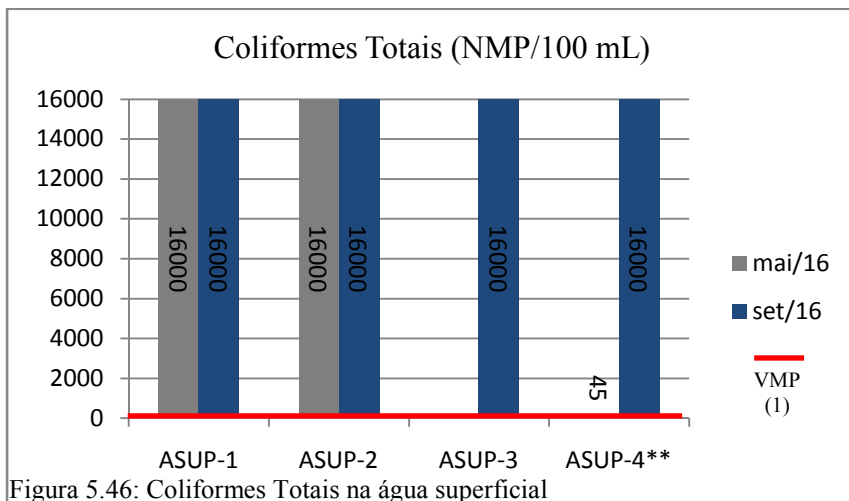
Notas: **Refere-se à amostra-testemunha de água superficial fora da área de influência do cemitério em estudo.

(1) Valor Máximo Permitido: nível federal - padrão de potabilidade de água para consumo humano – Portaria 2914/11 do Ministério da Saúde.

(2) Valor Máximo Permitido: nível federal - padrão de qualidade de água – Resolução CONAMA nº 357/2005.

(3) Valor Máximo Permitido: nível estadual - padrão de qualidade de água (Classe 1) – Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH nº 01/2008.





Legenda: NE: Não especificado, NMP: número mais provável, ml: mililitros. ASUP-X: Identificação da amostra de água superficial. ASUP-1: Córrego Saraiva, ponto localizado a jusante leste da área do cemitério. ASUP-2: Córrego Cachoeira - Ponto 1, localizado a jusante norte da área do cemitério. ASUP-3: Córrego Cachoeira - Ponto 2, localizado a jusante nordeste da área do cemitério. ASUP-4: "Córrego Santa Fé – Ponto-Testemunha", localizado a nordeste do cemitério fora da área de drenagem.

Notas: **Refere-se à amostra-testemunha de água superficial fora da área de influência do cemitério em estudo.

(1) Valor Máximo Permitido: nível federal - padrão de potabilidade de água para consumo humano – Portaria 2914/11 do Ministério da Saúde.

(2) Valor Máximo Permitido: nível federal - padrão de qualidade de água – Resolução CONAMA nº 357/2005.

(3) Valor Máximo Permitido: nível estadual - padrão de qualidade de água (Classe 1) – Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH nº 01/2008.

De acordo com as análises microbiológicas (Tabela 5.11), observou-se que o parâmetro clostrídios sulfito-redutores não foi detectado em nenhuma das amostras de água superficial coletadas em maio de 2016 - fim do período chuvoso. Para a campanha realizada em setembro de 2016, houve aumento da concentração para todas as amostras analisadas: mínimo de 5,0 NMP/100 mL para a amostra-testemunha ASUP4, e, para as demais amostras, valores superiores a 200 NMP/100 mL. Este parâmetro não possui padrão estabelecido por legislações federais ou estaduais, porém sua detecção sugere alteração da qualidade da água superficial.

Para as análises de coliformes tolerantes e totais, notou-se aumento das concentrações na campanha de setembro de 2016 em relação à de maio de 2016 em todas as amostras coletadas. Estas estavam acima do valor máximo permitido pela Portaria 2914/2011, do Ministério da Saúde, para potabilidade para fins de consumo humano.

Na amostra-testemunha ASUP4, os índices de clostrídios sulfito-redutores, coliformes tolerantes e totais detectados podem estar relacionados ao uso e ocupação do solo por pastagens com observação de grandes quantidades de animais na região onde foi coletada a amostra ASUP4. Para os demais pontos de amostragem, sugere-se contaminação por lançamento inadequado de esgoto sanitário e pela ocorrência de fossas negras na região do entorno, conforme pesquisas e questionários de campo aplicados, contribuindo para a contaminação de aquíferos livres e corpos hídricos superficiais. Os problemas mais comuns para possíveis usuários diretos deste recurso hídrico são doenças de veiculação hídrica tais como disenteria e diarreias Campos (2007). As maiores concentrações, observadas em setembro de 2016, podem estar também relacionadas ao fator de diluição de poluentes, que é menor em época de estiagem.

Carvalho *et al.* (2004) notaram valores de coliformes totais superiores a 24.000 NMP/100 ml, em época de estiagem, e de 4.600 NMP/100 mL a >24.000 NMP/100 mL em fim de estação chuvosa. Machado (2011) observou valores médios - mínimo de 9.300 NMP/100 mL a >16.000 NMP/100 mL. Os teores detectados por estes autores são semelhantes aos do diagnóstico executado, considerando-se que se trata de corpos hídricos de áreas urbanizadas.

5.4.2.4 Análises de metais totais

Os resultados das análises de metais totais, realizadas nas amostras de água superficial coletadas nos pontos ASUP1, ASUP2, ASUP3 e ASUP4, são apresentados na Tabela 5.12 e nas Figuras de 5.47 a 5.58.

Tabela 5.12. Resultados das análises de metais totais nas amostras de água superficial – 1ª Campanha (maio/16) e 2ª Campanha (set./16)

Parâmetro	Resultados Analíticos								L.Q.	L.D.	Un.	VMP ⁽¹⁾ mg/L	VMP ⁽²⁾ mg/L	VMP ⁽³⁾ mg/L
	ASUP-1		ASUP-2		ASUP-3		ASUP-4**							
Campanhas	1ª	2ª	1ª	2ª	1ª	2ª	1ª	2ª						
Alumínio	0,291	0,956	0,136	0,167	0,186	0,296	1,034	0,061	0,020	0,010	mg/L	0,2	NE***	NE***
Arsênio	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	0,010	0,007	mg/L	0,01	0,01	0,01
Bário	0,048	0,063	0,059	0,089	0,059	0,083	0,058	0,075	0,040	0,020	mg/L	0,7	0,7	0,7
Cádmio	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	0,002	0,001	mg/L	0,05	0,001	0,001
Cálcio	12,063	13,853	15,431	23,956	15,939	26,954	15,390	18,447	0,040	0,020	mg/L	NE	NE	NE
Chumbo	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	0,006	0,004	mg/L	0,01	0,01	0,01
Cobalto	nd	nd	nd	0,002	nd	nd	nd	nd	0,002	0,001	mg/L	NE	0,05	0,05
Cobre	nd	0,008	nd	0,007	nd	0,003	nd	nd	0,002	0,001	mg/L	2	NE***	NE***
Cromo	0,020	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	0,003	0,001	mg/L	0,05	0,05	0,05
Estanho	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	0,030	0,010	mg/L	NE	NE	NE
Estrôncio	0,093	0,155	0,134	0,258	0,122	0,270	0,125	0,199	0,020	0,010	mg/L	NE	NE	NE
Ferro	1,621	3,110	1,085	5,318	1,148	3,675	2,552	1,050	0,030	0,020	mg/L	0,3	NE***	NE***
Lítio	0,159	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	0,020	0,010	mg/L	NE	2,5	2,5
Magnésio	8,614	2,894	3,475	3,832	3,489	3,885	2,928	2,537	0,040	0,020	mg/L	NE	NE	NE
Manganês	0,116	0,178	0,024	0,391	0,050	0,253	0,160	0,409	0,005	0,003	mg/L	0,1	0,1	0,1
Mercurio	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	0,0005	0,0002	mg/L	0,001	0,0002	0,0002
Níquel	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	0,006	0,004	mg/L	0,07	0,025	0,025
Potássio	29,457	11,172	1,713	8,879	1,714	8,108	1,971	4,991	0,020	0,010	mg/L	NE	NE	NE
Sódio	428,815	28,180	14,974	27,022	14,907	25,820	14,486	14,929	0,040	0,020	mg/L	200	NE	NE
Zinco	0,013	0,025	nd	0,025	nd	0,014	nd	nd	0,008	0,004	mg/L	5	0,18	0,18

Legenda: Un.: Unidade, L.D.: Limite de detecção reportado, L.Q.: Limite de Quantificação reportado, NE: Não especificado, NA: Não aplicável, nd: Não detectado, mg: miligrama, L: Litro. ASUP-X: Identificação da amostra de água superficial. ASUP-1: Córrego Saraiva, ponto localizado a jusante leste da área do cemitério. ASUP-2: Córrego Cachoeira - Ponto 1, localizado a jusante norte da área do cemitério. ASUP-3: Córrego Cachoeira - Ponto 2, localizado a jusante nordeste da área do cemitério. ASUP-4: "Córrego Santa Fé – Ponto-Testemunha", localizado a nordeste do cemitério fora da área de drenagem. Notas: **Refere-se à amostra-testemunha de água superficial fora da área de influência do cemitério em estudo. ***Trata-se de valores de compostos dissolvidos, portanto, não aplicáveis para composição total. (1) Valor Máximo Permitido: nível federal - padrão de potabilidade de água para consumo humano – Portaria 2914/11 do Ministério da Saúde. (2) Valor Máximo Permitido: nível federal - padrão de qualidade de água – Resolução CONAMA nº 357/2005. (3) Valor Máximo Permitido: nível estadual - padrão de qualidade de água (Classe 1) – Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH nº 01/2008.

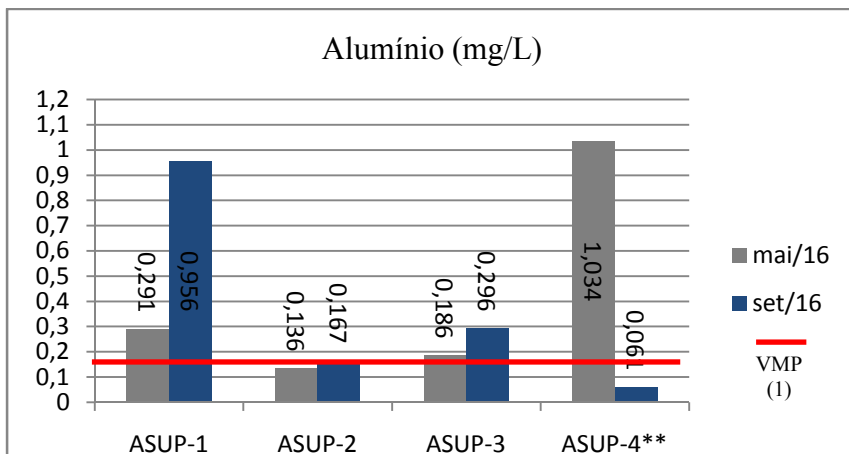


Figura 5.47: Concentração de Alumínio na água superficial

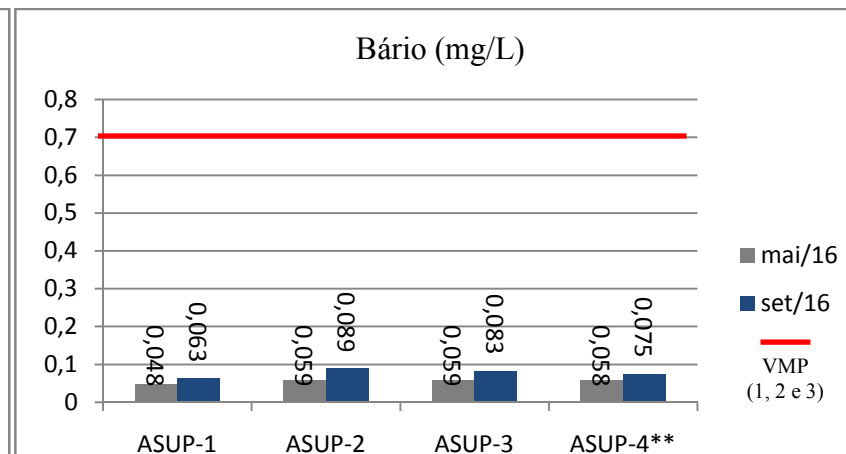


Figura 5.48: Concentração de Bário na água superficial

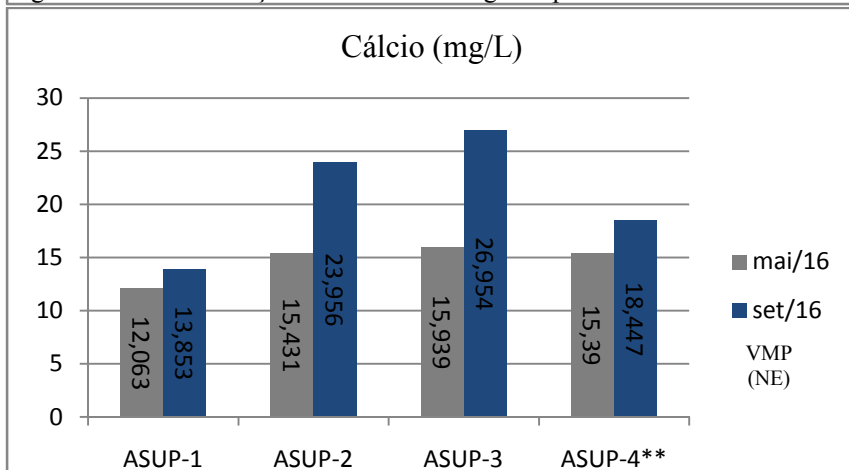


Figura 5.49: Concentração de Cálcio na água superficial

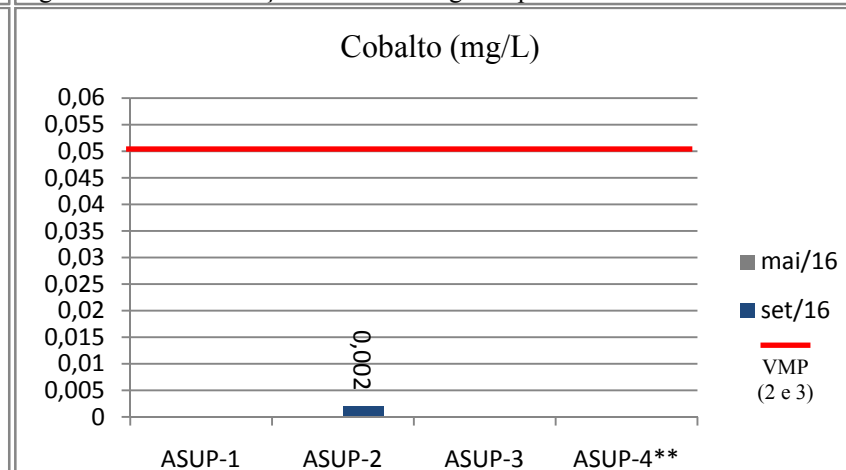


Figura 5.50: Concentração de Cobalto na água superficial

Legenda: NE: Não especificado, mg: miligrama, L: Litro. ASUP-X: Identificação da amostra de água superficial. ASUP-1: Córrego Saraiva, ponto localizado a jusante leste da área do cemitério. ASUP-2: Córrego Cachoeira - Ponto 1, localizado a jusante norte da área do cemitério. ASUP-3: Córrego Cachoeira - Ponto 2, localizado a jusante nordeste da área do cemitério. ASUP-4: "Córrego Santa Fé - Ponto-Testemunha", localizado a nordeste do cemitério fora da área de drenagem. Notas: **Refere-se à amostra-testemunha de água superficial fora da área de influência do cemitério em estudo. (1) Valor Máximo Permitido: nível federal - padrão de potabilidade de água para consumo humano - Portaria 2914/11 do Ministério da Saúde. (2) Valor Máximo Permitido: nível federal - padrão de qualidade de água - Resolução CONAMA nº 357/2005. (3) Valor Máximo Permitido: nível estadual - padrão de qualidade de água (Classe 1) - Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH nº 01/2008.

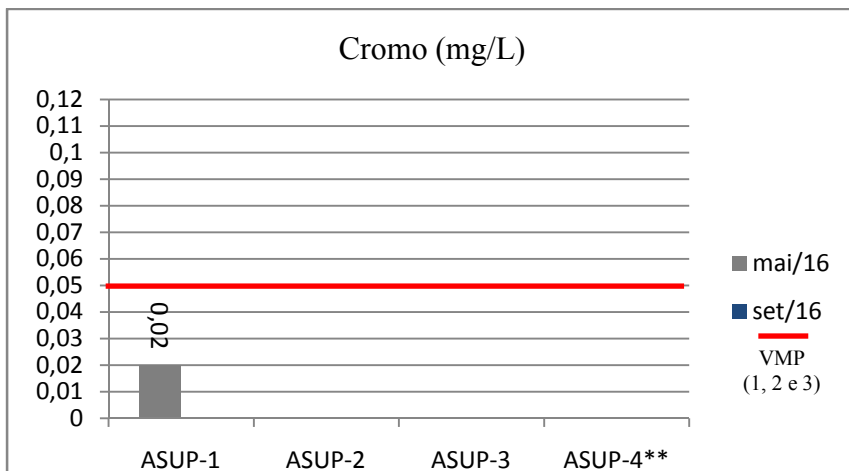


Figura 5.51: Concentração de Cromo na água superficial

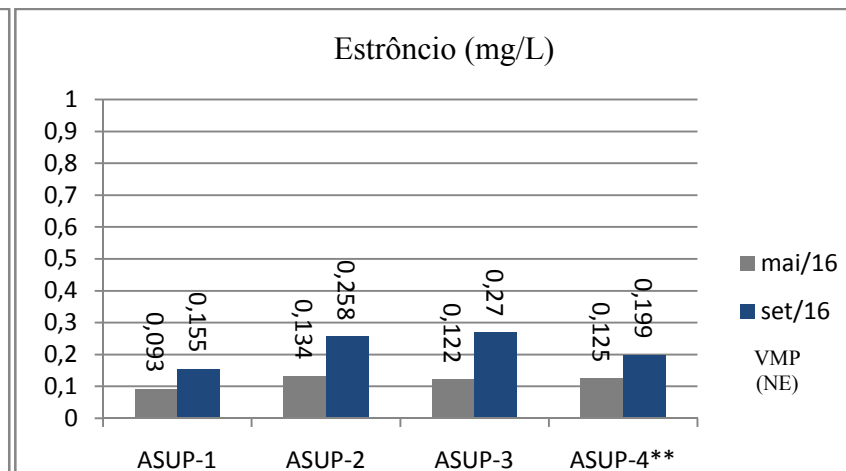


Figura 5.52: Concentração de Estrôncio na água superficial

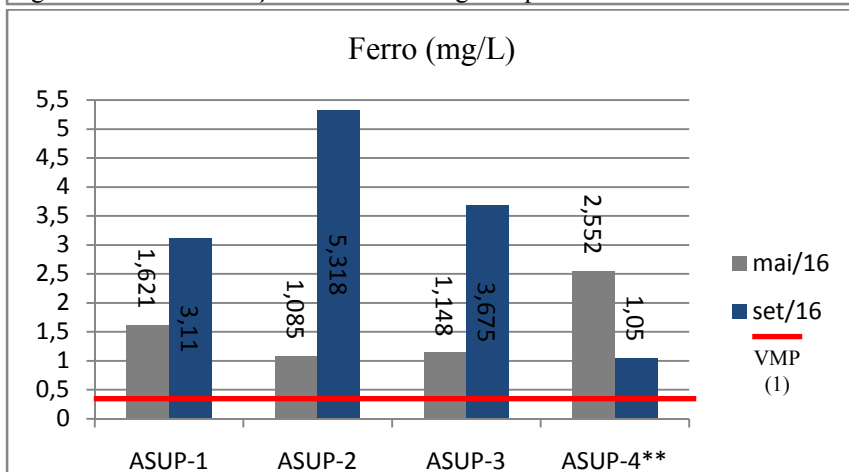


Figura 5.53: Concentração de Ferro na água superficial

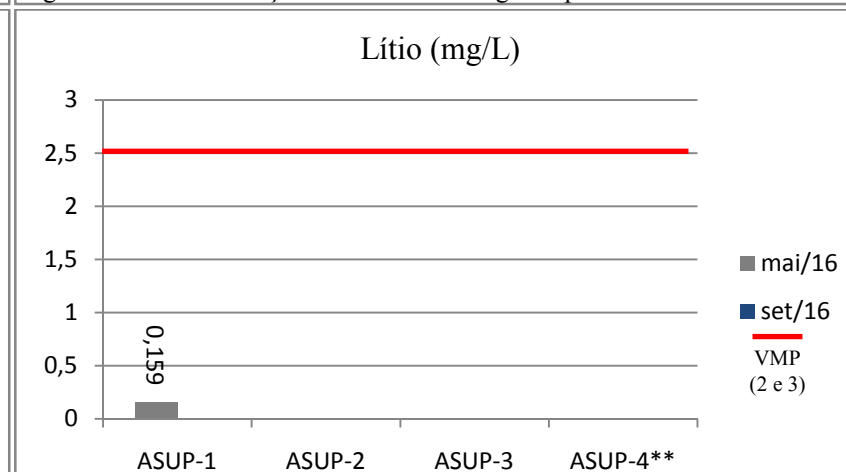


Figura 5.54: Concentração de Lítio na água superficial

Legenda: NE: Não especificado, mg: miligrama, L: Litro. ASUP-X: Identificação da amostra de água superficial. ASUP-1: Córrego Saraiva, ponto localizado a jusante leste da área do cemitério. ASUP-2: Córrego Cachoeira - Ponto 1, localizado a jusante norte da área do cemitério. ASUP-3: Córrego Cachoeira - Ponto 2, localizado a jusante nordeste da área do cemitério. ASUP-4: "Córrego Santa Fé - Ponto-Testemunha", localizado a nordeste do cemitério fora da área de drenagem. Notas: **Refere-se à amostra-testemunha de água superficial fora da área de influência do cemitério em estudo. (1) Valor Máximo Permitido: nível federal - padrão de potabilidade de água para consumo humano - Portaria 2914/11 do Ministério da Saúde. (2) Valor Máximo Permitido: nível federal - padrão de qualidade de água - Resolução CONAMA n° 357/2005. (3) Valor Máximo Permitido: nível estadual - padrão de qualidade de água (Classe 1) - Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH n° 01/2008.

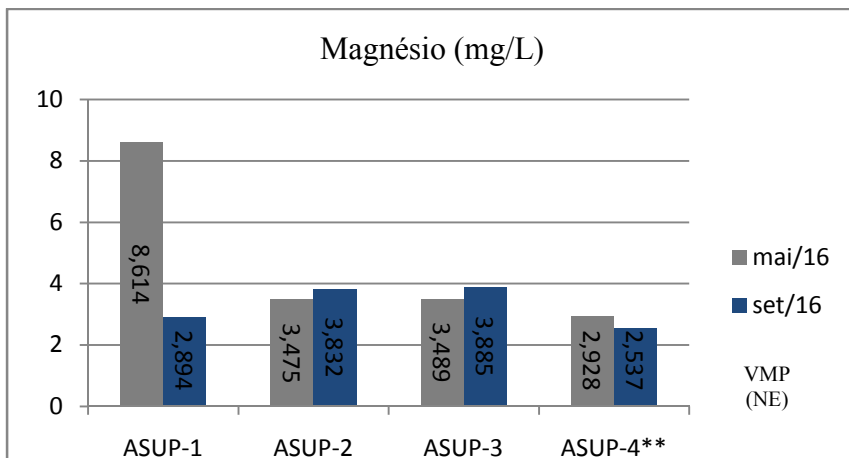


Figura 5.55: Concentração de Magnésio na água superficial

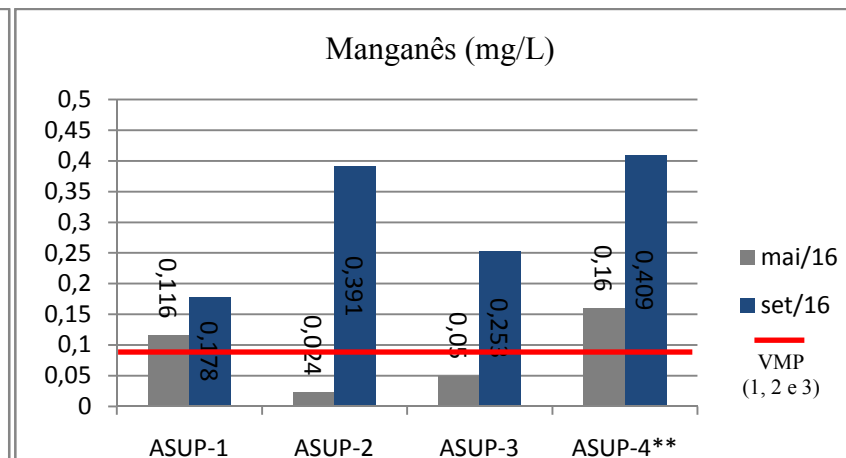


Figura 5.56: Concentração de Manganês na água superficial

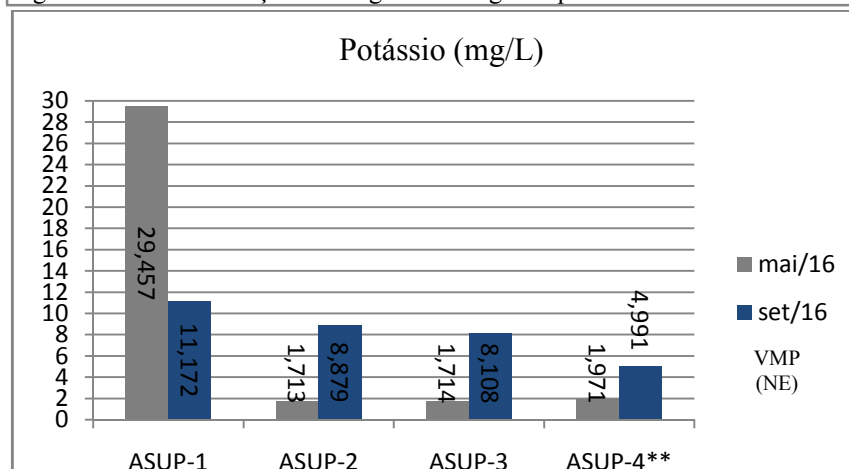


Figura 5.57: Concentração de Potássio na água superficial

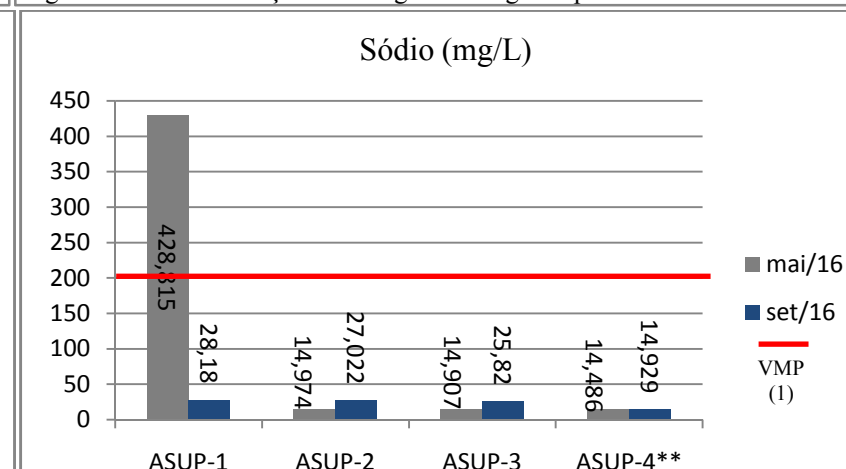


Figura 5.58: Concentração de Sódio na água superficial

Legenda: NE: Não especificado, mg: miligrama, L: Litro. ASUP-X: Identificação da amostra de água superficial. ASUP-1: Córrego Saraiva, ponto localizado a jusante leste da área do cemitério. ASUP-2: Córrego Cachoeira - Ponto 1, localizado a jusante norte da área do cemitério. ASUP-3: Córrego Cachoeira - Ponto 2, localizado a jusante nordeste da área do cemitério. ASUP-4: "Córrego Santa Fé - Ponto-Testemunha", localizado a nordeste do cemitério fora da área de drenagem. Notas: **Refere-se à amostra-testemunha de água superficial fora da área de influência do cemitério em estudo. (1) Valor Máximo Permitido: nível federal - padrão de potabilidade de água para consumo humano - Portaria 2914/11 do Ministério da Saúde. (2) Valor Máximo Permitido: nível federal - padrão de qualidade de água - Resolução CONAMA n° 357/2005. (3) Valor Máximo Permitido: nível estadual - padrão de qualidade de água (Classe 1) - Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH n° 01/2008.

De acordo com a Tabela 5.12 e Figuras de 5.47 a 5.58:

- As concentrações de alumínio e ferro estão acima do padrão estabelecido pela Portaria 2914/2011, do Ministério da Saúde, para potabilidade para fins de consumo humano - respectivamente, de 0,2 mg/L e 0,3 mg/L para todas as amostras analisadas em setembro de 2016;
- As concentrações de manganês excedem o valor padrão de 0,1 mg/L para potabilidade, segundo a Portaria 2914/2011 do Ministério da Saúde, padrão de qualidade de água estabelecido pela Resolução CONAMA nº 357/2005 e Deliberação Normativa Conjunta COPAM CERH nº 01/2008, em todas amostras realizadas em setembro de 2016. Para maio de 2016, o valor padrão foi superior somente nas amostras ASUP1 (córrego Saraiva – 0,116 mg/L) e testemunha ASUP4 (córrego Santa Fé – 0,160 mg/L);
- As concentrações de sódio foram detectadas em valores abaixo do nível máximo permitido estabelecido pela Portaria 2914/2011, do Ministério da Saúde, para potabilidade para fins de consumo humano - de 200 mg/L, para a campanha realizada em maio de 2016, exceto para a amostra ASUP1 (córrego Saraiva) onde a concentração obtida foi detectada a 428,815 mg/. No entanto, para maio de 2016, o parâmetro atendeu à Portaria, apresentando valor de 28,180 mg/L;
- As concentrações de bário, cobre, cromo e zinco foram identificadas abaixo dos padrões estabelecidos pela Portaria 2914/2011, do Ministério da Saúde, para potabilidade para fins de consumo humano, e pela Resolução CONAMA nº 357/2005 e Deliberação Normativa Conjunta COPAM CERH nº 01/2008, para qualidade de água, em todas as amostras de água superficial;
- Os parâmetros arsênio, cádmio, chumbo, estanho, mercúrio e níquel não foram detectados em nenhuma das amostras de água superficial obtidas nas campanhas de maio e setembro de 2016.

Para as análises de metais na água superficial, em geral, observou-se aumento das concentrações na maioria das amostras coletadas em setembro de 2016 em relação

às de maio de 2016. Estes valores podem estar relacionados à menor quantidade de precipitação pluviométrica do período de estiagem. Concentrações de alumínio, ferro e manganês, identificadas acima dos padrões determinados por legislação, podem estar relacionadas à formação geológica da região, principalmente pela presença de latossolo vermelho-amarelo na área do diagnóstico. A não detecção de cádmio pode estar ligada à menor afinidade e ocorrência de elementos metálicos de solos originados de gnaiss, conforme Oliveira & Costa (2004).

Percebeu-se, na área delimitada para o diagnóstico ambiental, um processo de poluição difusa devido ao uso e ocupação do solo. Abrahão (2006) descreve que, de maneira geral, os poluentes que atingem os corpos hídricos são frequentemente originários de esgotos domésticos, despejos industriais e escoamento superficial da área urbana e rural. A forma com que o homem usa e ocupa o solo tem uma implicação direta na qualidade da água (Sperling, 2014).

Ressalta-se que a área do diagnóstico ambiental é uma região localizada na porção mais baixa de drenagem da microbacia do córrego Saraiva (Figura 5.31) e de formação geológica e pedológica que, potencialmente, contribuiu de forma significativa na identificação de valores sugestivos de contaminação em corpos hídricos superficiais desta área.

5.5 Resultados para água subterrânea

5.5.1 Determinação do sentido do fluxo do aquífero livre na área do diagnóstico ambiental

Elaborou-se um mapa potenciométrico para a determinação do sentido real do fluxo do aquífero livre para a região do entorno e inferido para o interior do cemitério para o dia 28/09/2016 (Figura 5.59), conforme Tabela 5.13.

Tabela 5.13. Determinação de cargas hidráulicas dos poços e sondagens de simples reconhecimento do entorno do cemitério Cachoeira, Betim (MG)

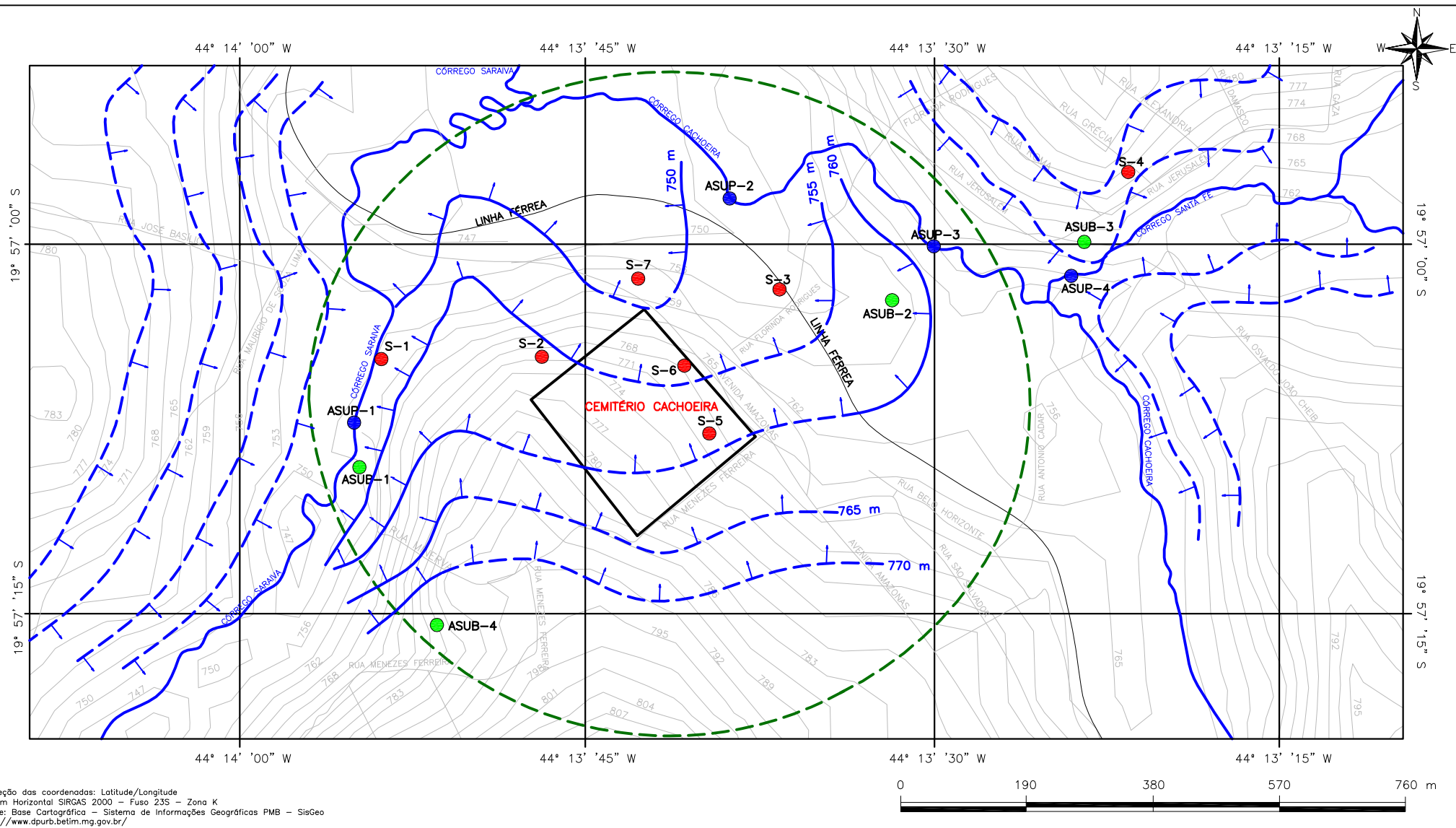
Ponto	Cota Topográfica (m)	Nível de interceptação com o aquífero livre em 28/09/2016 (m)	Carga Hidráulica (m) (CH = CT – Na)
ASUB1	756,00	2,69	753,31
ASUB2	758,00	0,26	757,74
ASUB3*	768,00	3,27	764,73
ASUB4**	783,00	8,87	774,13

Nota: (*) Ponto-testemunha localizado fora da área delimitada para estudo. (**) Cisterna identificada em 28/09/2016 para a realização da ampliação do diagnóstico. CH: Carga Hidráulica, CT: Cota Topográfica, Na: nível de interceptação com o aquífero livre, m: metros, ASUB-X: ponto de monitoramento de água subterrânea.

De acordo com o mapa elaborado para a área delimitada de estudo, na região a montante do cemitério, o sentido inferido do fluxo de água subterrânea assume a direção principal para o norte. Na região oeste do local, o fluxo real assume a direção principal para noroeste; na região leste, as direções principais para oeste e noroeste; e, na região a jusante do cemitério, as direções nordeste e oeste (Figura 5.59).

Considerando-se a possibilidade de alteração da qualidade da água subterrânea devido ao uso e ocupação do solo na área delimitada do diagnóstico, o aquífero livre, apresentado na Figura 5.59, pode sofrer interferências, levando-se em conta o sentido real e inferido de fluxo:

- Da região a montante da área delimitada de estudo para a montante e oeste em relação ao cemitério devido à presença de fossas negras, lançamento inadequado de esgoto sanitário e possível disposição imprópria de resíduos sólidos de origem industrial;
- Da região sudeste da área delimitada de estudo para a região leste devido à presença de fossas negras, lançamento inadequado de esgoto sanitário e práticas de pastagens com forte presença de animais de várias propriedades da região nordeste e leste em relação ao perímetro do cemitério.



LEGENDA DOS ELEMENTOS GRÁFICOS:

- Curva de nível
- Corpo hídrico superficial
- Logradouro público
- Área demarcada do diagnóstico
- ASUB-X: ponto de amostragem de água subterrânea
- ASUP-X: ponto de amostragem de água superficial
- S-X: ponto de amostragem de solo
- Área do cemitério
- Linha férrea
- Linhas equipotenciais de carga hidráulica determinadas
- Linhas equipotenciais de carga hidráulica inferidas
- Sentido do fluxo do aquífero – Setembro/16

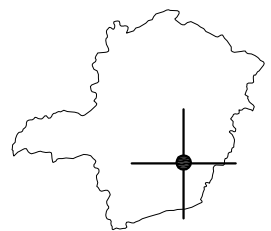


FIGURA 5.59: MAPA POTENCIOMÉTRICO LOCAL ELABORADO PARA O ENTORNO DO CEMITÉRIO CACHOEIRA, BETIM (MG), EM SETEMBRO DE 2016

ELABORAÇÃO: Júlio C. G. Marques

5.5.2 Discussão dos resultados para a água subterrânea

O valor de investigação estabelecido é a concentração de determinada substância na água subterrânea acima da qual existem riscos potenciais, diretos ou indiretos, à saúde humana, considerando um cenário de exposição padronizado. Para aqueles parâmetros com padrões não estabelecidos, fez-se a comparação com os resultados da amostra-testemunha ASUB3 (*background*). Além da consulta à legislação vigente para consumo humano e investigação, os resultados foram comparados com valores de resultados obtidos por outros estudos anteriormente realizados, que avaliaram a qualidade da água subterrânea.

Considerou-se a interferência da formação geológica da região, de acordo com Migliorini (1994), o uso e ocupação do solo do entorno, no que diz respeito aos impactos ambientais identificados na área do entorno, e o sentido do fluxo do aquífero livre para identificar prováveis origens das fontes de contaminação.

Ressalta-se que, na campanha realizada em setembro de 2016, foi localizada uma cisterna em uma residência abandonada, a sudoeste do cemitério, que não foi identificada na pesquisa de usuários e pontos de captação de água subterrânea realizada anteriormente à primeira amostragem, de maio de 2016. A amostra coletada nesta cisterna foi denominada de ASUB4.

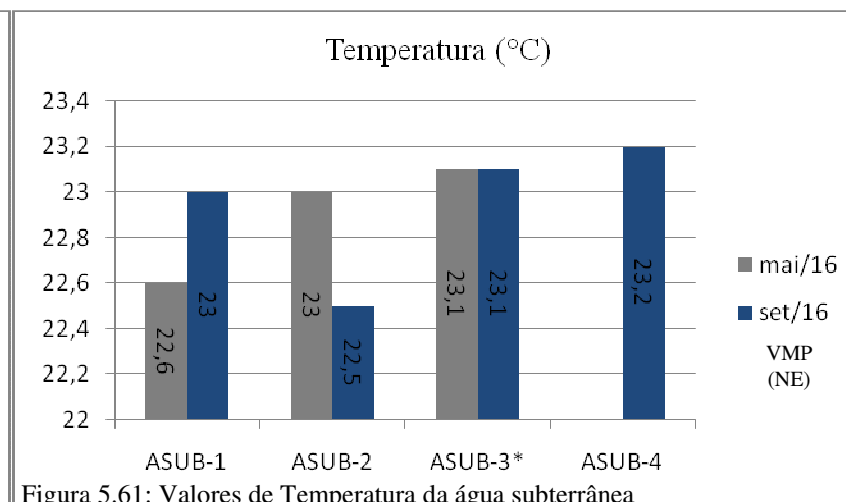
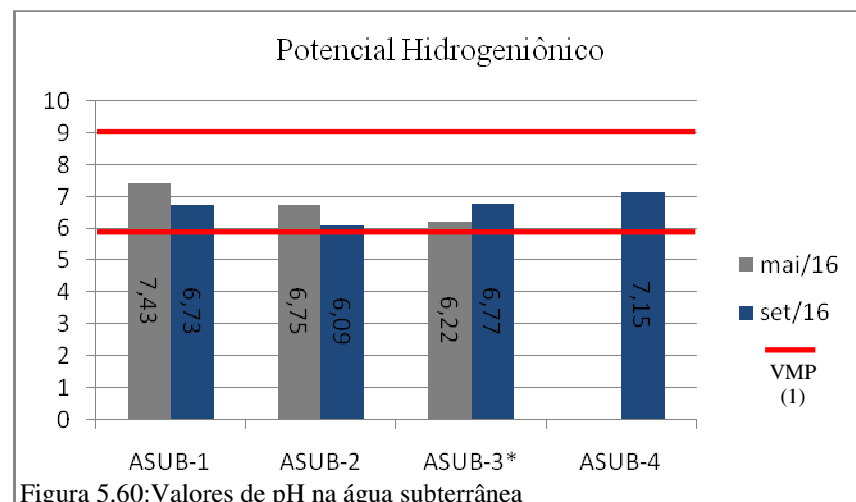
5.5.2.1 Análises físico-químicas

Os resultados das análises físico-químicas, realizadas nas amostras de água subterrânea coletadas nos pontos ASUB1, ASUB2, ASUB3 e ASUB4, são apresentados na Tabela 5.14 e nas Figuras de 5.60 a 5.63, a seguir.

Tabela 5.14. Resultados das análises físico-químicas nas amostras de água subterrânea – 1ª Campanha (maio/16) e 2ª Campanha (set./16)

Parâmetro	Resultados Analíticos								L.Q.	Unidade	VMP ⁽¹⁾ mg/L	VMP ⁽²⁾ mg/L	VMP ⁽³⁾ mg/L	VMP ⁽⁴⁾ mg/L	VMP ⁽⁵⁾ mg/L
	ASUB-1		ASUB-2		ASUB-3*		ASUB-4								
Campanhas	1ª	2ª	1ª	2ª	1ª	2ª	1ª	2ª							
pH (a 25°C)	7,43	6,73	6,75	6,09	6,22	6,77	na	7,15	2 a 13	NA	6,0 a 9,0	NE	NE	NE	NE
Temperatura	22,6	23,0	23	22,5	23,1	23,1	na	23,2	NA	°C	NE	NE	NE	NE	NE
Condutividade	211	116	882	193	90,2	88,2	na	198	1	µS/cm	NE	NE	NE	NE	NE
Oxigênio Dissolvido	2,4	2,0	1,5	2,0	2,2	1,0	na	4,0	0,1	mg/L	NE	NE	NE	NE	NE

Legenda: L.D.: Limite de detecção reportado, L.Q.: Limite de Quantificação reportado, NE: Não especificado, NA: Não aplicável, na: Não analisado, nd: Não detectado, µS: microsiemens, cm: centímetros, °C: graus Celsius, mg: miligrama, L: litro. ASUB-X: Identificação da amostra de água subterrânea. ASUB-1: Cisterna localizada em residência na rua Minerva - jusante sudoeste da área do cemitério. ASUB-2: Ponto de coleta localizado a jusante nordeste da área do cemitério. ASUB-3: "Ponto-Testemunha", localizado a nordeste do cemitério fora da área de drenagem. ASUB-4: Cisterna localizada em residência na rua Menezes de Ferreira - montante sudoeste da área do cemitério. Notas: *Refere-se à amostra-testemunha de água subterrânea fora da área de influência do cemitério em estudo. (1) Valor Máximo Permitido: nível federal - padrão de potabilidade de água para consumo humano – Portaria 2914/11 do Ministério da Saúde. (2) Valor Máximo Permitido: nível federal - para consumo humano - Resolução CONAMA nº 396/2008. (3) Valor Máximo Permitido: nível federal – investigação*** – Resolução CONAMA nº 420/2009. (4) Valor Máximo Permitido: nível estadual - investigação – Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH nº 02/2010. (5) Valor Máximo Permitido: nível estadual - investigação – Deliberação Normativa COPAM nº 166/2011. ***Valor de investigação: é a concentração de determinada substância no solo ou na água subterrânea acima da qual existem riscos potenciais, diretos ou indiretos, à saúde humana, considerando um cenário de exposição padronizado.



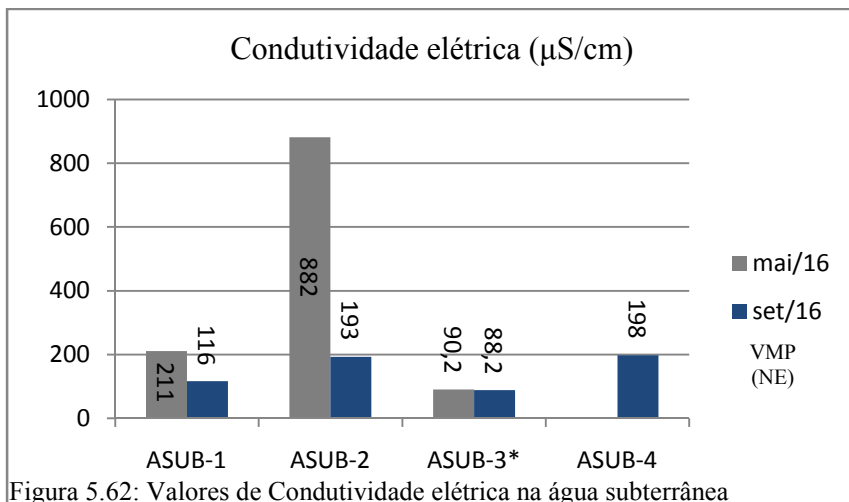


Figura 5.62: Valores de Condutividade elétrica na água subterrânea

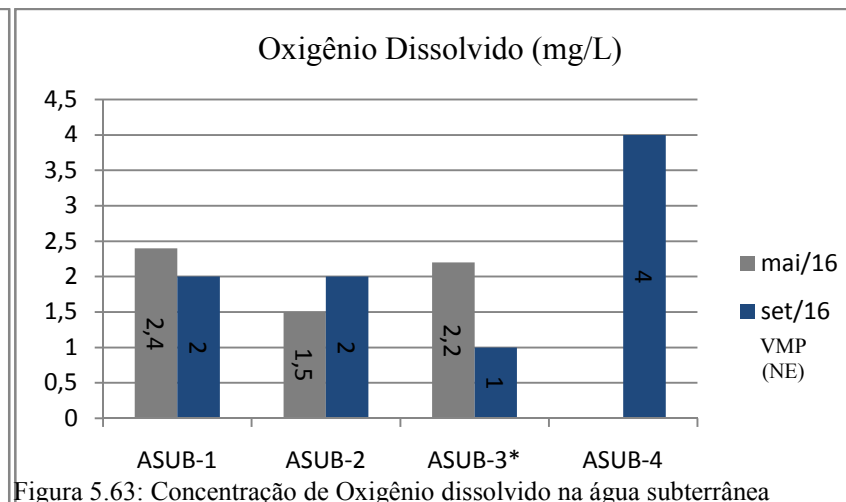


Figura 5.63: Concentração de Oxigênio dissolvido na água subterrânea

Legenda: L.D.: Limite de detecção reportado, L.Q.: Limite de Quantificação reportado, NE: Não especificado, NA: Não aplicável, na: Não analisado, nd: Não detectado, µS: microsiemens, cm: centímetros, °C: graus Celsius, mg: miligrama, L: litro. ASUB-X: Identificação da amostra de água subterrânea. ASUB-1: Cisterna localizada em residência na rua Minerva - jusante sudoeste da área do cemitério. ASUB-2: Ponto de coleta localizado a jusante nordeste da área do cemitério. ASUB-3: "Ponto-Testemunha", localizado a nordeste do cemitério fora da área de drenagem. ASUB-4: Cisterna localizada em residência na rua Menezes de Ferreira - montante sudoeste da área do cemitério. Notas: *Refere-se à amostra-testemunha de água subterrânea fora da área de influência do cemitério em estudo. (1) Valor Máximo Permitido: nível federal - padrão de potabilidade de água para consumo humano – Portaria 2914/11 do Ministério da Saúde. (2) Valor Máximo Permitido: nível federal - para consumo humano - Resolução CONAMA nº 396/2008. (3) Valor Máximo Permitido: nível federal – investigação*** – Resolução CONAMA nº 420/2009. (4) Valor Máximo Permitido: nível estadual - investigação – Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH nº 02/2010. (5) Valor Máximo Permitido: nível estadual - investigação – Deliberação Normativa COPAM nº 166/2011. ***Valor de investigação: é a concentração de determinada substância no solo ou na água subterrânea acima da qual existem riscos potenciais, diretos ou indiretos, à saúde humana, considerando um cenário de exposição padronizado.

De acordo com a Tabela 5.14 e Figuras de 5.60 a 5.63:

- pH: os valores encontrados estavam dentro da faixa aceitável - de 6,0 a 9,0 (Gráfico 5.31), estabelecida pela Portaria 2914/2011, do Ministério da Saúde, para potabilidade para fins de consumo humano, em todos os pontos de amostragem para as duas campanhas realizadas. Porém, notaram-se índices de pH levemente ácidos em todas as amostras nos dois períodos avaliados, incluindo a amostra-testemunha ASUB3 (6,77), com exceção da amostra ASUB4 (7,15), que se apresentou próxima ao padrão neutro. Em maio de 2016, a média foi 6,98, e, em setembro do mesmo ano, 6,53, desconsiderando a amostra ASUB4. De acordo com a Figura 5.64, foram observados valores de pH mais próximos de 7,0 na região sudoeste ao cemitério, e mais próximos de 6,0, na região nordeste do local, em setembro de 2016.

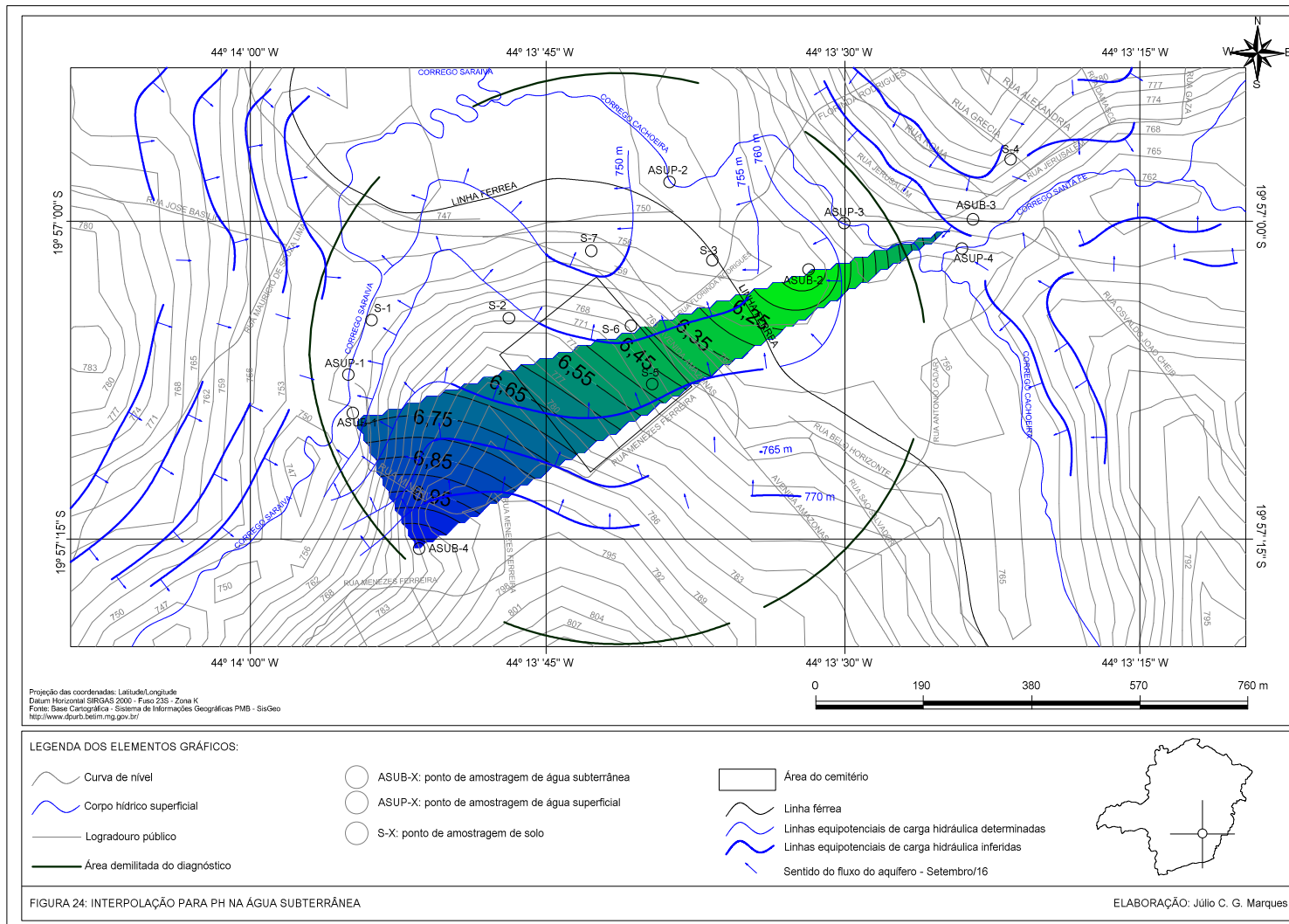


Figura 5.64: Modelamento para pH na água subterrânea
Fonte: Próprio autor

Neira *et al.* (2008), em um estudo sobre impactos do necrochorume nas águas subterrâneas do cemitério de Santa Inês, no município de Vila Velha/ES, observaram teores de pH dentro da faixa aceitável estabelecida por legislação, exceto para as amostras de água de um poço localizado no interior do cemitério, nas duas coletas, as quais mostraram-se mais ácidas, com valores de pH próximos de 5,0, sendo possível a contribuição do cemitério para a acidez neste poço, visto que sepultamentos por cova rasa são frequentes no local. Castro (2008), analisando a qualidade da água subterrânea no cemitério Bom Jardim, em Fortaleza/CE, também detectou, no interior do local, índices de pH mais ácidos - variando entre 6,2 e 7,6 - e, no seu entorno, valores mais básicos, da ordem de 7,7 a 8,6, com diminuição sutil nos teores de pH nos poços com níveis estáticos mais profundos. Almeida & Macedo (2005) analisaram valores de pH em cinco cemitérios de Juiz de Fora/MG, sendo o valor médio de 5,4 nas regiões mais baixas (jusante a área de sepultamento), e de 5,7 nas regiões mais altas (montante). Os resultados foram indicativos de contaminação por necrochorume. Enetério (2009) constatou, para o fim do período chuvoso, valor de pH médio de 7,24, não observando variação significativa que apontasse indícios de contaminação por necrochorume no entorno do cemitério do município de Bonito/MS. Migliorini (1994) detectou valor médio de pH de 5,95 na água subterrânea para o cemitério de Vila Formosa, localizado na região metropolitana de São Paulo/SP.

- Temperatura: não foram observadas alterações significativas nos valores entre as duas campanhas de amostragem realizadas. Em maio de 2016, a média foi de 22,9 °C, e, em setembro de 2016, de 22,8 °C, desconsiderando-se a amostra ASUB4, que obteve, para setembro de 2016, o valor de 23,2 °C.

Migliorini (1994) observou valor médio de temperatura, na água subterrânea, de 21°C, tendo duas amostras superiores a 23°C, apresentando menores valores de junho a setembro, e maiores, de março a maio, concluindo, assim, que a temperatura da água subterrânea acompanhou as estações climáticas. Matos & Pacheco (2001), em um monitoramento da água subterrânea no cemitério de Vila Nova Cachoeirinha, no

município de São Paulo, identificaram valor médio de temperatura da água subterrânea de 23°C, entre setembro de 1999 e março de 2000.

- Condutividade elétrica: percebeu-se decréscimo de valores em todos os ensaios realizados nas amostras obtidas em setembro de 2016, com exceção da amostra ASUB4, que não foi coletada na campanha de maio de 2016. Assim como na água superficial, esses decréscimos podem estar relacionados à menor interferência da turbidez dos corpos hídricos nesse período de estiagem. Em maio de 2016, a média foi 591,6 $\mu\text{S}/\text{cm}$, e, em setembro de 2016, de 132,4 $\mu\text{S}/\text{cm}$, desconsiderando-se a amostra ASUB4. Na amostra-testemunha ASUB3, o valor não foi superior a 90,2 $\mu\text{S}/\text{cm}$ nas duas campanhas realizadas. Nas cisternas localizadas no entorno, os índices encontrados foram: ASUB1 (116 $\mu\text{S}/\text{cm}$) e ASUB4 (198 $\mu\text{S}/\text{cm}$), acima do valor identificado na amostra-testemunha ASUB3.

Enetério (2009) observou valores de condutividade elétrica variando de 317 $\mu\text{S}/\text{cm}$ a 827 $\mu\text{S}/\text{cm}$ no fim do período chuvoso, percebendo que poços que apresentaram teores acima de 700 $\mu\text{S}/\text{cm}$ contribuíram para a alteração de íons, como cálcio, sugerindo contaminação por sepulturas. Castro (2008) identificou um valor médio alto de 1144 $\mu\text{mhos}/\text{cm}$ (equivalente a 1144 $\mu\text{S}/\text{cm}$) de novembro de 2005 a novembro de 2006, sugerindo a existência de fontes geradoras de sais dissolvidos alheias ao cemitério. De setembro de 1999 a março de 2000, Matos & Pacheco (2001) detectaram valores de condutividade elétrica das águas a 600 $\mu\text{S}/\text{cm}$ em alguns poços localizados no interior do cemitério; porém, nos poços *background*, não passou de 200 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

- Oxigênio dissolvido: no geral, foram observados níveis baixos, não superiores a 2,4 mg/L (ASUB1), na campanha realizada em maio de 2016, e 4,0 mg/L (ASUB4) na campanha de setembro de 2016. Os menores valores observados foram na amostra ASUB2, onde foi mensurado OD a 1,5 mg/L, em maio de 2016, e amostra-testemunha ASUB3 mensurado a 1,0 mg/L, em setembro de 2016. Este parâmetro não

possui padrão estabelecido por normas para consumo humano e de investigação. Contudo, na amostra-testemunha, notaram-se valores baixos, não sugerindo contaminação por cemitério, e sim por concentração de matéria orgânica e amônia, em especial para a campanha de setembro de 2016, conforme análises microbiológicas a seguir.

Segundo Vasconcelos (2009), o baixo nível de oxigênio na água é sinal de possível poluição. Matos & Pacheco (2001) observaram concentração de oxigênio dissolvido nas águas de aproximadamente 1,6 mg/L; porém, nos poços *background*, o valor médio foi de 3,2 mg/L. Segundo Migliorini (1994) e Matos & Pacheco (2001), é possível que baixas concentrações de oxigênio dissolvido na água subterrânea podem estar relacionadas a altas concentrações de amônia, devido ao alto consumo desta por bactérias e reações de oxidação.

5.5.2.2 Análises de diaminas

Conforme Tabela 5.15, os parâmetros cadaverina e putrescina não foram detectados nas amostras de água subterrânea coletadas em maio e setembro de 2016, o que indica que a região do entorno não é impactada pela fase de coligação, que pode durar até oito meses, conforme Pacheco (1986), Pacheco & Batello (2000) e Campos (2007). A não interceptação com o nível do aquífero livre no interior do cemitério e a textura predominante de silte, na fração de grãos finos, influenciam na retenção destas diaminas no interior do cemitério Cachoeira. Outro fator, que não foi objeto de estudo, é a possível influência de plantas, onde raízes podem promover o processo de fitorremediação, uma vez que o cemitério estudado possui cortina arbórea no seu entorno, de espécies do gênero casuarina (pinheiro-casuarina). Os resultados das análises de diaminas, realizadas nas amostras de água subterrânea extraídas dos pontos de coleta ASUB1, ASUB2, ASUB3 e ASUB4, são apresentados na Tabela 5.15, a seguir.

Tabela 5.15. Resultados das análises de diaminas nas amostras de água subterrânea – 1ª Campanha (maio/16) e 2ª Campanha (set./16)

Parâmetro	Resultados Analíticos								L.Q.	L.D.	Unidade	VMP ⁽¹⁾	VMP ⁽²⁾	VMP ⁽³⁾	VMP ⁽⁴⁾	VMP ⁽⁵⁾	
	ASUB-1		ASUB-2		ASUB-3*		ASUB-4										
Campanhas	1 ^a	2 ^a	1 ^a	2 ^a	1 ^a	2 ^a	1 ^a	2 ^a									
Cadaverina	<1	<1	<1	<1	<1	<1	na	<1	1	NA	mg/Kg	NE	NE	NE	NE	NE	NE
Putrescina	<1	<1	<1	<1	<1	<1	na	<1	1	NA	mg/Kg	NE	NE	NE	NE	NE	NE

Legenda: L.D.: Limite de detecção reportado, L.Q.: Limite de Quantificação reportado, NE: Não especificado, NA: Não aplicável, na: Não analisado, nd: Não detectado, mg: miligramas, Kg: quilo. <: menor que o limite de detecção do método. ASUB-X: Identificação da amostra de água subterrânea. ASUB-1: Cisterna localizada em residência na rua Minerva - jusante sudoeste da área do cemitério. ASUB-2: Ponto de coleta localizado a jusante nordeste da área do cemitério. ASUB-3: "Ponto-Testemunha", localizado a nordeste do cemitério fora da área de drenagem. ASUB-4: Cisterna localizada em residência na rua Menezes de Ferreira - montante sudoeste da área do cemitério. Notas: *Refere-se à amostra-testemunha de água subterrânea fora da área de influência do cemitério em estudo. (1) Valor Máximo Permitido: nível federal - padrão de potabilidade de água para consumo humano – Portaria 2914/11 do Ministério da Saúde. (2) Valor Máximo Permitido: nível federal - para consumo humano - Resolução CONAMA nº 396/2008. (3) Valor Máximo Permitido: nível federal – investigação*** – Resolução CONAMA nº 420/2009. (4) Valor Máximo Permitido: nível estadual - investigação – Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH nº 02/2010. (5) Valor Máximo Permitido: nível estadual - investigação – Deliberação Normativa COPAM nº 166/2011. ***Valor de investigação: é a concentração de determinada substância no solo ou na água subterrânea acima da qual existem riscos potenciais, diretos ou indiretos, à saúde humana, considerando um cenário de exposição padronizado.

5.5.2.3 Análises de Dureza total, Alcalinidade total, Enxofre total, Fósforo, Sulfato, Nitrato, Nitrito e Nitrogênio amoniacal

Os resultados das análises realizadas nas amostras de água subterrânea coletadas nos pontos ASUB1, ASUB2, ASUB3 e ASUB4 são apresentados na Tabela 5.16 e Figuras de 5.65 a 5.7, a seguir.

Tabela 5.16. Resultados das análises de Dureza total, Alcalinidade total, Enxofre total, Fósforo, Sulfato, Nitrato, Nitrito e Nitrogênio amoniacal nas amostras de água subterrânea – 1ª Campanha (maio/16) e 2ª Campanha (set./16)

Parâmetro	Resultados Analíticos								L.Q.	L.D.	Un.	VMP ⁽¹⁾ mg/L	VMP ⁽²⁾ mg/L	VMP ⁽³⁾ mg/L	VMP ⁽⁴⁾ mg/L	VMP ⁽⁵⁾ mg/L
	ASUB-1		ASUB-2		ASUB-3*		ASUB-4									
Campanhas	1ª	2ª	1ª	2ª	1ª	2ª	1ª	2ª								
Dureza Total – Diferença	69,23	107,66	38,73	70,58	64,40	80,14	na	129,17	3	1	mg/L	500	NE	NE	NE	NE
Alcalinidade Total	93,27	147,78	48,66	52,04	36,50	90,59	na	221,66	17	5	mg/L	NE	NE	NE	NE	NE
Enxofre Total	nd	nd	nd	1,83	nd	3,40	na	nd	1,7	0,3	mg/L	NE	NE	NE	NE	NE
Fósforo	0,14	0,28	0,11	0,06	0,12	0,78	na	0,03	0,015	0,005	mg/L	NE	NE	NE	NE	NE
Sulfato	nd	nd	nd	80,6	nd	nd	na	nd	6	5	mg/L	250	NE	NE	NE	NE
Nitrato	0,39	2,33	0,52	0,11	0,03	0,22	na	0,02	0,02	0,010	mg/L	10	NE	10	10	10
Nitrito	0,013	nd	0,21	nd	nd	nd	na	nd	0,01	0,005	mg/L	1	NE	NE	NE	NE
Nitrogênio Amoniacal	nd	0,101	nd	0,54	nd	0,80	na	0,10	0,05	0,020	mg/L	1,5	NE	NE	NE	NE

Legenda: Un.: Unidade, L.D.: Limite de detecção reportado, L.Q.: Limite de Quantificação reportado, NE: Não especificado, NA: Não aplicável, na: Não analisado, nd: Não detectado, mg: miligrama, L: Litro. <: menor que o limite de detecção do método. ASUB-X: Identificação da amostra de água subterrânea. ASUB-1: Cisterna localizada em residência na rua Minerva - jusante sudoeste da área do cemitério. ASUB-2: Ponto de coleta localizado a jusante nordeste da área do cemitério. ASUB-3: "Ponto-Testemunha", localizado a nordeste do cemitério fora da área de drenagem. ASUB-4: Cisterna localizada em residência na rua Menezes de Ferreira - montante sudoeste da área do cemitério. Notas: *Refere-se à amostra-testemunha de água subterrânea fora da área de influência do cemitério em estudo. (1) Valor Máximo Permitido: nível federal - padrão de potabilidade de água para consumo humano – Portaria 2914/11 do Ministério da Saúde. (2) Valor Máximo Permitido: nível federal - para consumo humano - Resolução CONAMA nº 396/2008. (3) Valor Máximo Permitido: nível federal – investigação*** – Resolução CONAMA nº 420/2009. (4) Valor Máximo Permitido: nível estadual - investigação – Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH nº 02/2010. (5) Valor Máximo Permitido: nível estadual - investigação – Deliberação Normativa COPAM nº 166/2011. ***Valor de investigação: é a concentração de determinada substância no solo ou na água subterrânea acima da qual existem riscos potenciais, diretos ou indiretos, à saúde humana, considerando um cenário de exposição padronizado.

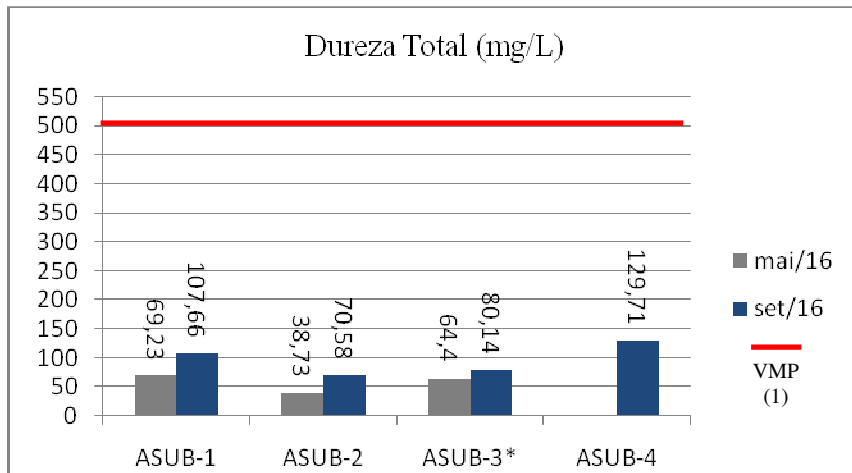


Figura 5.65: Concentração de Dureza Total na água subterrânea

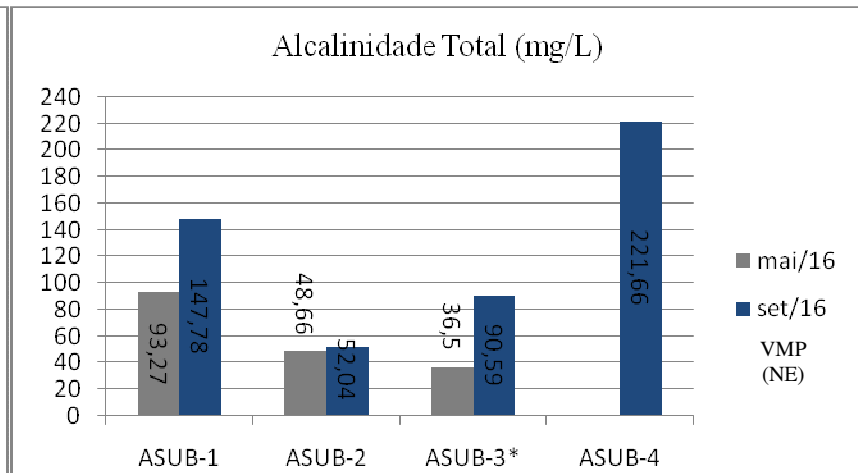


Figura 5.66: Concentração de Alcalinidade Total na água subterrânea

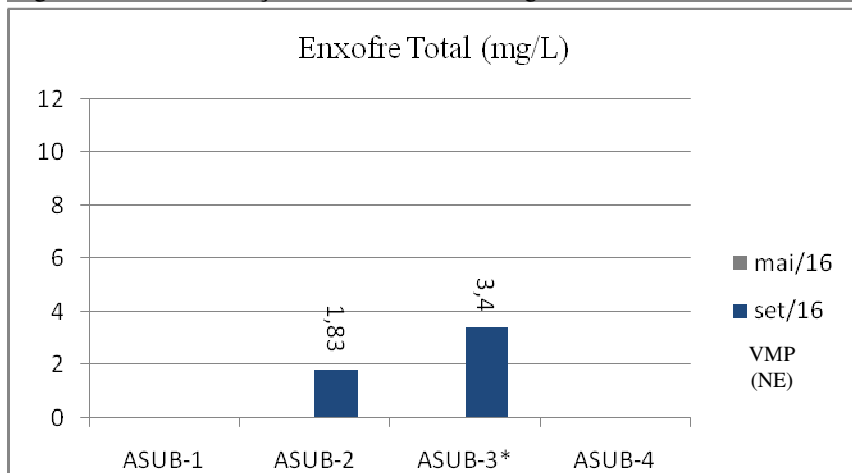


Figura 5.67: Concentração de Enxofre Total na água subterrânea

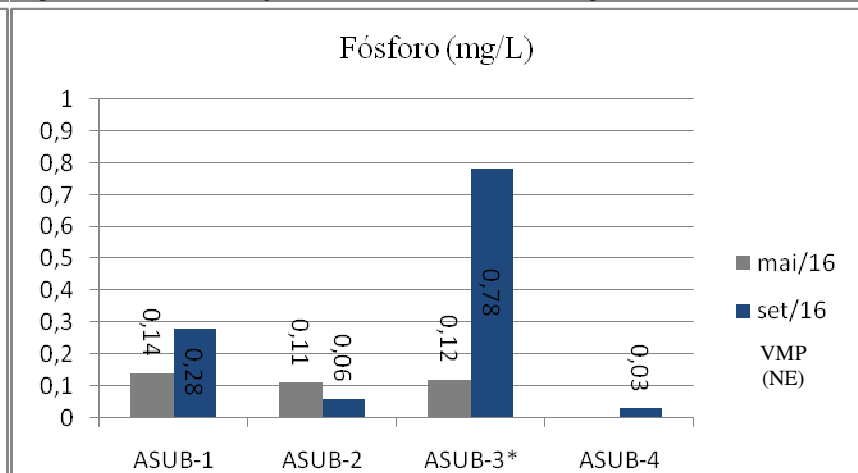


Figura 5.68: Concentração de Fósforo na água subterrânea

Legenda: NE: Não especificado, mg: miligrama, L: Litro. ASUB-X: Identificação da amostra de água subterrânea. Notas: *Refere-se à amostra-testemunha de água subterrânea fora da área de influência do cemitério em estudo. (1) Valor Máximo Permitido: nível federal - padrão de potabilidade de água para consumo humano – Portaria 2914/11 do Ministério da Saúde. (2) Valor Máximo Permitido: nível federal - para consumo humano - Resolução CONAMA n° 396/2008. (3) Valor Máximo Permitido: nível federal – investigação*** – Resolução CONAMA n° 420/2009. (4) Valor Máximo Permitido: nível estadual - investigação – Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH n° 02/2010. (5) Valor Máximo Permitido: nível estadual - investigação – Deliberação Normativa COPAM n° 166/2011.

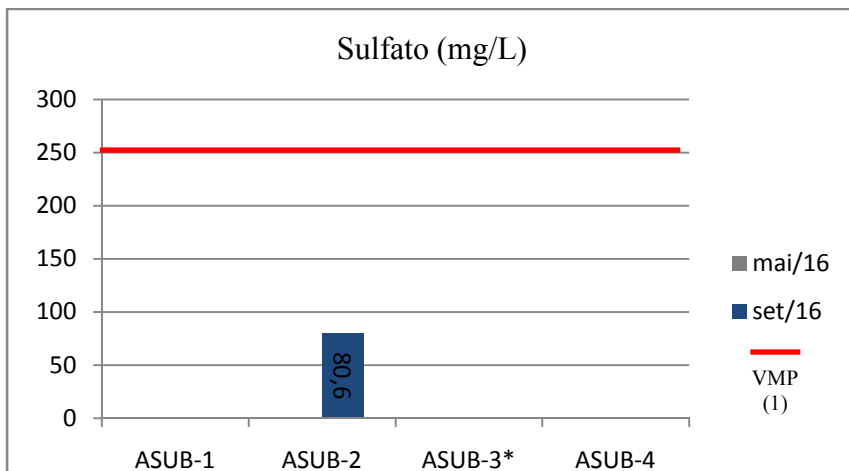


Figura 5.69: Concentração de Sulfato na água subterrânea

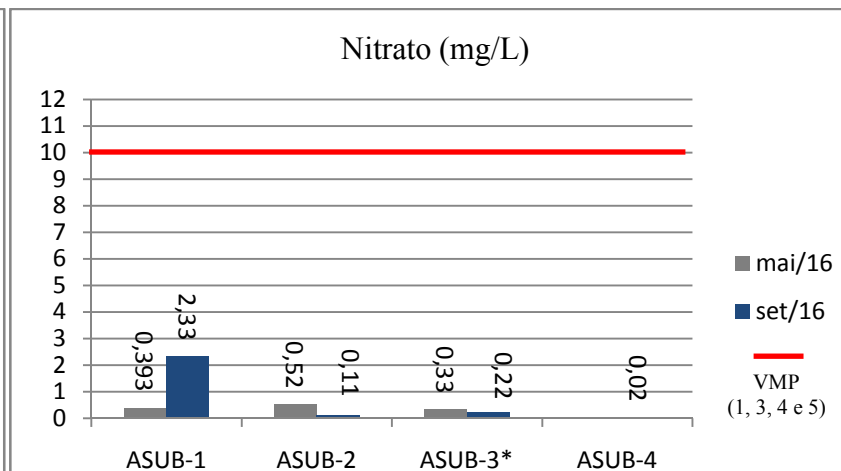


Figura 5.70: Concentração de Nitrato na água subterrânea

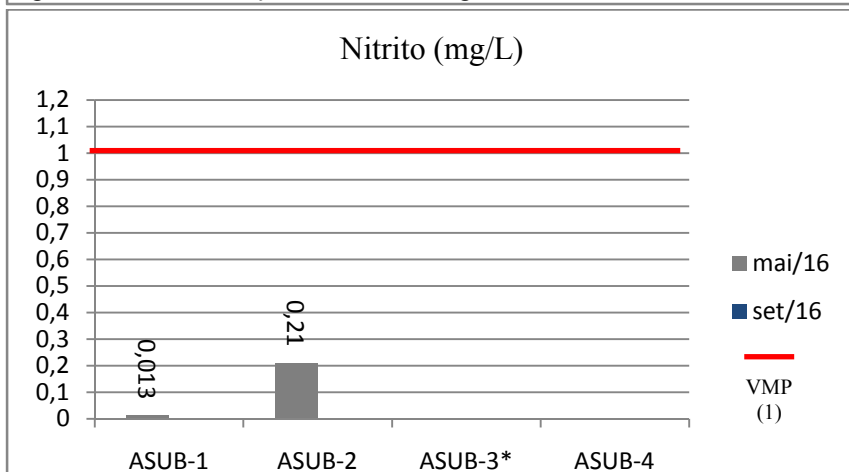


Figura 5.71: Concentração de Nitrito na água subterrânea

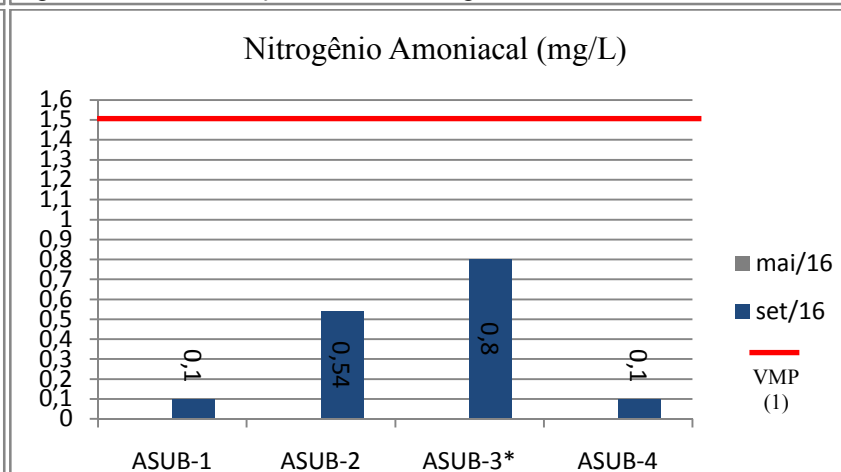


Figura 5.72: Concentração de Nitrogênio Amoniacal na água subterrânea

Legenda: NE: Não especificado, mg: miligrama, L: Litro. ASUB-X: Identificação da amostra de água subterrânea. Notas: *Refere-se à amostra-testemunha de água subterrânea fora da área de influência do cemitério em estudo. (1) Valor Máximo Permitido: nível federal - padrão de potabilidade de água para consumo humano – Portaria 2914/11 do Ministério da Saúde. (2) Valor Máximo Permitido: nível federal - para consumo humano - Resolução CONAMA n° 396/2008. (3) Valor Máximo Permitido: nível federal – investigação*** – Resolução CONAMA n° 420/2009. (4) Valor Máximo Permitido: nível estadual - investigação – Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH n° 02/2010. (5) Valor Máximo Permitido: nível estadual - investigação – Deliberação Normativa COPAM n° 166/2011.

De acordo com a Tabela 5.16 e Figuras de 5.65 a 5.72:

- Dureza total: para a campanha realizada em maio de 2016 (fim do período chuvoso), os valores variaram de 38,73 mg/L, na amostra ASUB2, a 69,23 mg/L na amostra ASUB1, com valor da amostra-testemunha ASUB3 superior ao mínimo detectado (64,40 mg/L). Para a campanha de setembro de 2016 (fim do período de estiagem), os valores variaram de 70,58 mg/L, na amostra ASUB2, a 129,17 mg/L na amostra ASUB4, que, assim como na primeira campanha, apresentou o valor da amostra-testemunha ASUB3 superior ao mínimo detectado (80,14 mg/L). Observaram-se maiores concentrações na maioria das amostras coletadas no fim período de estiagem. Entretanto, todos os índices estão abaixo do padrão estabelecido pela Portaria 2914/2011, do Ministério da Saúde, para potabilidade para fins de consumo humano - de 500 mg/L.

Almeida & Macedo (2005) detectaram valores de dureza total em cinco cemitérios de Juiz de Fora/MG, sendo o valor médio de 27,7 mg/L nas regiões mais baixas (jusante a área de sepultamento) e 14,76 mg/L nas regiões mais altas (montante). Castro (2008) identificou valor médio de dureza de 128,4 mg/L, no interior do cemitério, e, no entorno, de 277,4 mg/L.

- Alcalinidade total: para a campanha realizada em maio de 2016, os teores variaram de 36,50 mg/L, na amostra-testemunha ASUB3, a 93,27 mg/L na amostra ASUB1. Já na campanha de setembro de 2016, os valores variaram de 52,04 mg/L, na amostra ASUB2, a 221,66 mg/L na amostra ASUB4. Observaram-se maiores concentrações na maioria das amostras coletadas no fim período de estiagem; entretanto, as amostras ASUB1, ASUB2 e ASUB4 apresentaram valores superiores aos da amostra-testemunha ASUB3 na campanha realizada em setembro de 2016. De acordo com a Figura 5.30, constataram-se maiores valores de alcalinidade na região sudoeste ao cemitério (ASUB4), e menores valores na região nordeste (ASUB3), em setembro de 2016.

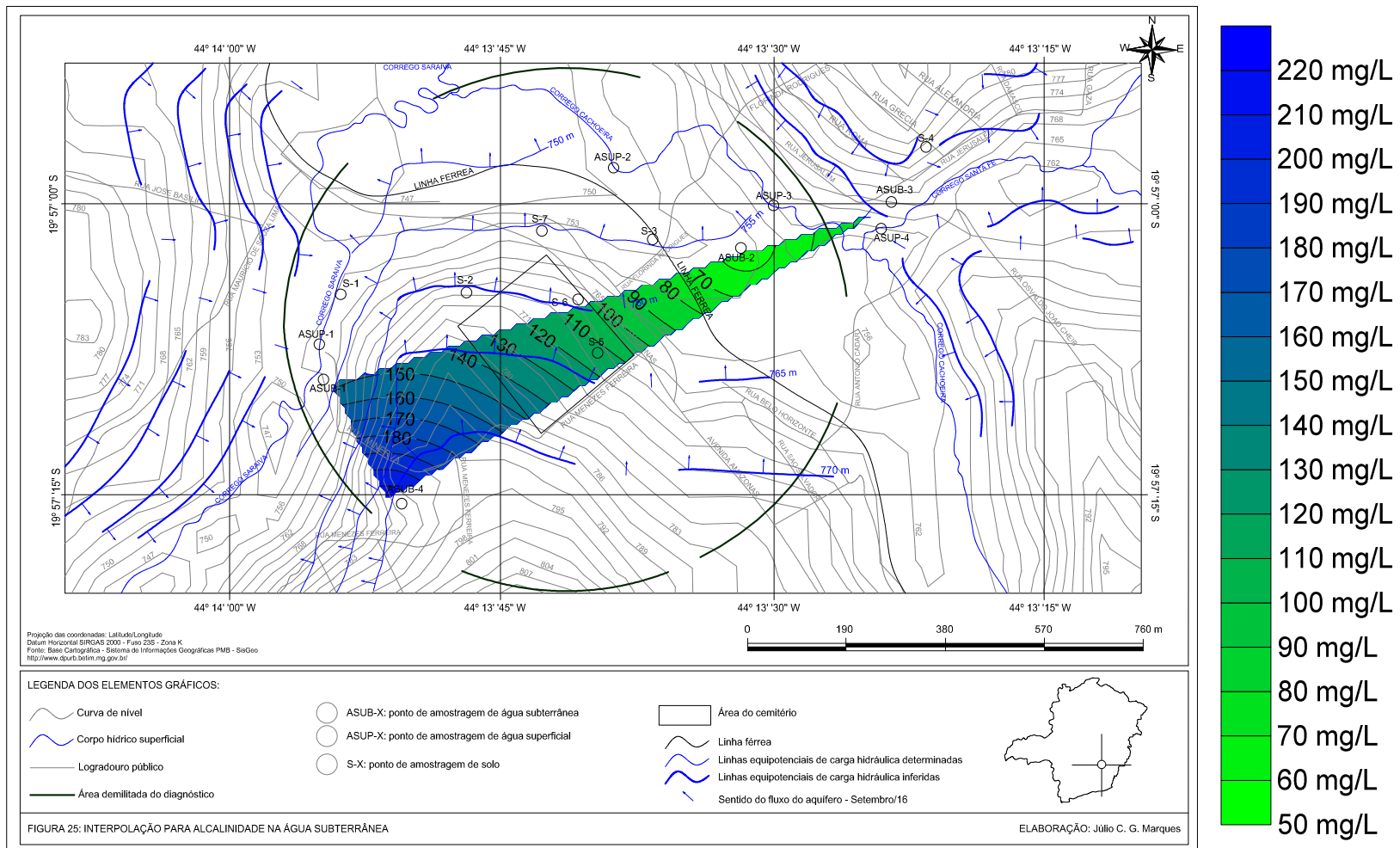


Figura 5.73: Modelamento para concentrações de alcalinidade total na água subterrânea
Fonte: Próprio autor

Almeida & Macedo (2005) detectaram valores de alcalinidade no valor médio de 13,48 mg/L, nas regiões mais baixas, e 14,38 mg/L nas regiões mais altas. Castro (2008) observou que a região do entorno do cemitério apresentou valores de alcalinidade maiores - na média de 274,42 mg/L - que no seu interior, onde a média foi de 158,4 mg/L, denotando um ambiente menos alcalino nas áreas de sepultamento.

- Enxofre total: parâmetro não detectado em nenhuma das amostras coletadas em maio de 2016. No entanto, em setembro de 2016, notaram-se concentrações detectadas de 1,83 mg/L, na amostra ASUB2, e 3,40 mg/L na amostra-testemunha ASUB3. Nas demais amostras, o enxofre total não foi detectado. Relacionando com o sentido do fluxo da água subterrânea, a nordeste do cemitério, observou-se que os teores de enxofre não estão vinculados à decomposição de cadáveres.
- Fósforo: identificou-se aumento das concentrações em todas as amostras coletadas em setembro, em relação às de maio de 2016, com exceção da amostra ASUB2. Para as duas campanhas, observaram-se valores da amostra-testemunha ASUB3 superiores na maioria das amostras analisadas. Para a campanha realizada em setembro de 2016, foi constatado que maiores concentrações de fósforo ocorreram quando houve maiores concentrações de amônia.

Enetério (2009) não identificou valores de fósforo na maioria dos poços. Porém, em dois pontos de monitoramento, foram detectados índices variando de 0,14 mg/L a 0,34 mg/L no fim do período chuvoso.

- Sulfato: somente detectado em setembro de 2016, na amostra ASUB2 (80,6 mg/L), abaixo do padrão estabelecido pela Portaria 2914/2011, do Ministério da Saúde, para potabilidade para fins de consumo humano - de 250 mg/L. Na amostra-testemunha ASUB3, o parâmetro não foi detectado.

Castro (2008) observou o valor médio do íon sulfato, de 32,4 mg/L, no interior do cemitério, e, no entorno, de 21,06 mg/L. Migliorini (1994) detectou valor médio de 10,42 mg/L, com valor máximo observado de 125,4 mg/L, em um poço de monitoramento de água subterrânea localizado no interior do cemitério, para todas as campanhas realizadas.

- Nitrato: foram encontradas baixas concentrações em todas as amostras analisadas, variando de 0,03 mg/L, na amostra-testemunha ASUB3, a 0,520 mg/L, para maio de 2016; e de 0,02 mg/L, na amostra ASUB4, a 2,33 mg/L na amostra ASUB1, para setembro de 2016, portanto, abaixo do padrão estabelecido pela Portaria 2914/2011, do Ministério da Saúde, para potabilidade para fins de consumo humano, e valor de intervenção estabelecido pela Resolução CONAMA nº 420/2009, Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH nº 02/2010 e Deliberação Normativa COPAM nº 166/2011 de 10 mg/L.

Neira *et al.* (2008) observaram concentração de nitrato na primeira campanha abaixo do padrão estabelecido. No entanto, na segunda amostragem, dois poços no interior do cemitério apresentaram índices de nitrato acima do padrão de 10 mg/L estabelecido pela Portaria nº 2914/2011 do Ministério da Saúde, sendo correlacionados com os teores de amônia detectados. Almeida & Macedo (2005) detectaram valores de nitrato em cemitérios de Juiz de Fora/MG, no valor médio de 0,590 mg/L nas regiões mais baixas em relação às áreas de sepultamento. De acordo Baird (2002) e Neira *et al.* (2008), os índices de nitrato na água subterrânea variam num intervalo de 0,1 a 10 mg/L e podem chegar a 1000 mg/L em águas poluídas. Castro (2008) detectou teores médios de nitratos a 0,46 mg/L, no interior do cemitério, e 2,44 mg/L na área do entorno, sendo que o maior teor foi observado a 8,2 mg/L, em um poço localizado fora do cemitério, que é indicativo de contaminação da água subterrânea por atividade humana, mais provavelmente por fossas sépticas. Migliorini (1994) observou valor médio de nitrato na água subterrânea a 11,37 mg/L e sugeriu contaminação por decomposição orgânica, porém considera que o nitrato pode ocorrer em concentrações elevadas na água subterrânea, dependendo da formação geológica da região.

- Nitrito: somente detectado na campanha de maio de 2016, nas amostras ASUB1 (0,013 mg/L) e ASUB2 (0,21 mg/L), abaixo do padrão estabelecido pela Portaria 2914/2011, do Ministério da Saúde, para potabilidade para fins de consumo humano - de 1,0 mg/L. Os resultados demonstram que as baixas concentrações de nitrito indicam que não houve oxidação da amônia, que, por sua vez, apresentou maiores concentrações em setembro de 2016, fim do período de estiagem.

Castro (2008) não detectou teores médios de nitrito, no interior e no entorno do cemitério, superiores a 0,98 mg/L. Já Neira *et al.* (2008) evidenciaram elevados valores de nitrito no interior do cemitério em dois poços, em comparação com a coleta anterior, sugerindo que sua fonte pode ter origem na contaminação por amônia oxidada.

- Nitrogênio Amoniacal: não detectado em nenhuma das amostras coletadas em maio de 2016, mas, nas de setembro do mesmo ano, foram identificadas concentrações em todas as amostras analisadas, variando de 0,10 mg/L, na amostra ASUB4, a 0,80 mg/L na amostra-testemunha ASUB3 (Figura 5.31), entretanto, abaixo do padrão estabelecido pela Portaria 2914/2011, do Ministério da Saúde, para potabilidade para fins de consumo humano - de 1,5 mg/L.

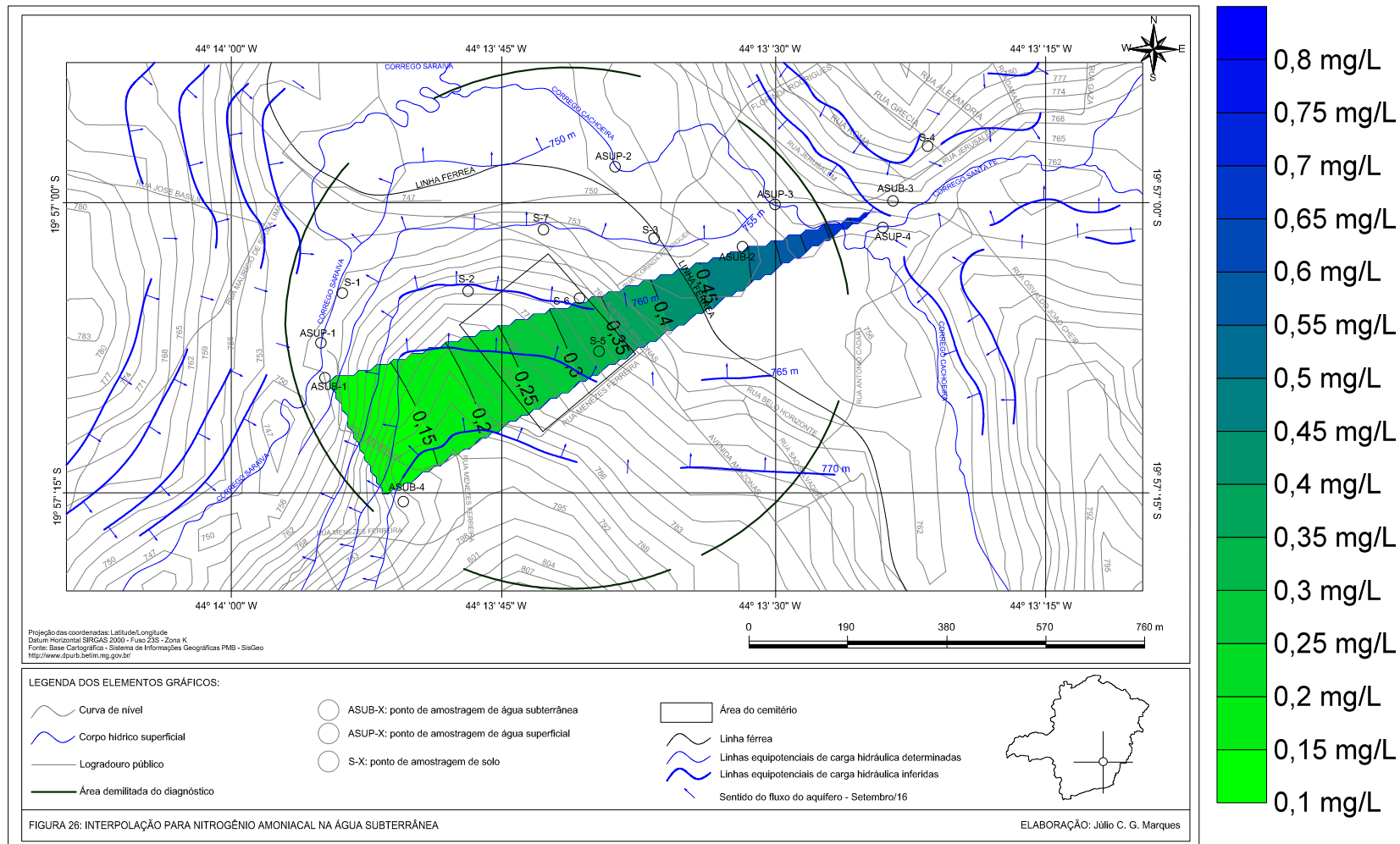


Figura 5.74: Modelamento para concentrações de nitrogênio amoniacal na água subterrânea
 Fonte: Próprio autor

Enetério (2009) e Almeida & Macedo (2005) não detectaram amônia nos cemitérios estudados. Porém, Enetério (2009) constatou concentração máxima de nitrito de 0,490 mg/L, o que aponta provável oxidação da amônia na água subterrânea local. Neira *et al.* (2008) observaram concentrações elevadas de amônia (NH₃), variando de 1,11 mg/L a 13,77 mg/L, na primeira campanha, e de 2,0 mg/L a 10,74 mg/L na segunda - valores superiores ao máximo permitido pela Portaria do Ministério da Saúde nº 2914/2011, de 1,5 mg/L. Os autores concluíram que esse fato pode ser indicativo de poluição recente, possivelmente oriunda da redução de nitrato por bactérias ou íons ferrosos presentes no solo, mas ressaltaram a presença de um lixão no entorno, o que poderia ser uma provável fonte para a maior contaminação por nitrogênio amoniacal observada na região de estudo.

Em geral, nas análises de dureza total, alcalinidade total, enxofre total, fósforo, sulfato, nitrato, nitrito e nitrogênio amoniacal, encontraram-se valores similares aos dos estudos comparados no que diz respeito ao entorno dos cemitérios, bem como aos dos resultados da amostra-testemunha ASUB3, comparada com as demais dentro da área de influência do cemitério, delimitada pelas drenagens superficiais. Já os parâmetros que possuem padrões estabelecidos por legislação, como dureza total, sulfato, nitrato, nitrito e nitrogênio amoniacal, não foram superiores em nenhuma das campanhas realizadas. Os maiores valores detectados na campanha de setembro de 2016 podem estar relacionados ao maior tempo de contato da água subterrânea com a formação geológica no período de estiagem, e não à operação do cemitério.

5.5.2.4 Análises microbiológicas

Os resultados das análises microbiológicas, realizadas nas amostras de água subterrânea coletadas nos pontos ASUB1, ASUB2, ASUB3 e ASUB4, são apresentados na Tabela 5.17 e Figuras de 5.75 a 5.77.

Tabela 5.17. Resultados das análises microbiológicas nas amostras de água subterrânea – 1ª Campanha (maio/16) e 2ª Campanha (set./16)

Parâmetro	Resultados Analíticos								L.Q.	L.D.	Un.	VMP ⁽¹⁾ mg/L	VMP ⁽²⁾ mg/L	VMP ⁽³⁾ mg/L	VMP ⁽⁴⁾ mg/L	VMP ⁽⁵⁾ mg/L
	ASUB-1		ASUB-2		ASUB-3*		ASUB-4									
Campanhas	1ª	2ª	1ª	2ª	1ª	2ª	1ª	2ª								
Clostrídios Sulfito-Redutores	nd	nd	nd	45	nd	>200	na	>200	1	1	NMP/100 mL	NE	NE	NE	NE	NE
Coliformes Termotolerantes	nd	>16000	nd	>16000	nd	20	na	20	1,8	1,8	NMP/100 mL	Ausência	Ausência	NE	NE	NE
Coliformes Totais	nd	>16000	2300	>16000	200	>16000	na	>16000	1,8	1,8	NMP/100 mL	Ausência	NE	NE	NE	NE

Legenda: Un.: Unidade, L.D.: Limite de detecção reportado, L.Q.: Limite de Quantificação reportado, NE: Não especificado, NA: Não aplicável, na: Não analisado, nd: Não detectado, NMP: número mais provável, ml: mililitros, <: menor que o limite de detecção do método. ASUB-X: Identificação da amostra de água subterrânea. ASUB-1: Cisterna localizada em residência na rua Minerva - jusante sudoeste da área do cemitério. ASUB-2: Ponto de coleta localizado a jusante nordeste da área do cemitério. ASUB-3: "Ponto-Testemunha", localizado a nordeste do cemitério fora da área de drenagem. ASUB-4: Cisterna localizada em residência na rua Menezes de Ferreira - montante sudoeste da área do cemitério.

Notas: *Refere-se à amostra-testemunha de água subterrânea fora da área de influência do cemitério em estudo.

(1) Valor Máximo Permitido: nível federal - padrão de potabilidade de água para consumo humano – Portaria 2914/11 do Ministério da Saúde.

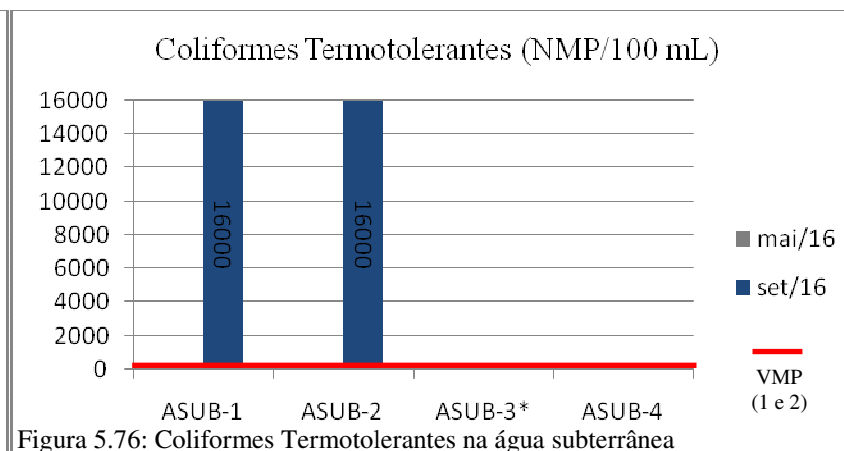
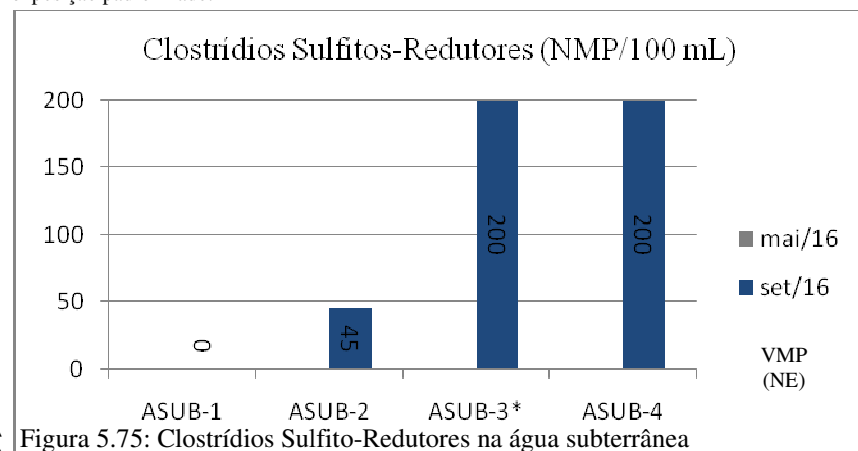
(2) Valor Máximo Permitido: nível federal - para consumo humano - Resolução CONAMA n° 396/2008.

(3) Valor Máximo Permitido: nível federal – investigação*** – Resolução CONAMA n° 420/2009.

(4) Valor Máximo Permitido: nível estadual - investigação – Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH n° 02/2010.

(5) Valor Máximo Permitido: nível estadual - investigação – Deliberação Normativa COPAM n° 166/2011.

***Valor de investigação: é a concentração de determinada substância no solo ou na água subterrânea acima da qual existem riscos potenciais, diretos ou indiretos, à saúde humana, considerando um cenário de exposição padronizado.



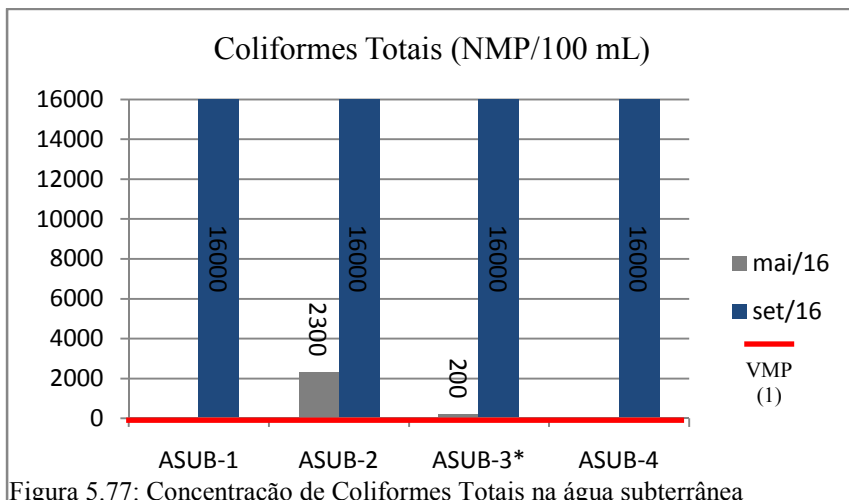


Figura 5.77: Concentração de Coliformes Totais na água subterrânea

Legenda: NE: Não especificado, NMP: número mais provável, ml: mililitros. ASUB-X: Identificação da amostra de água subterrânea. ASUB-1: Cisterna localizada em residência na rua Minerva - jusante sudoeste da área do cemitério. ASUB-2: Ponto de coleta localizado a jusante nordeste da área do cemitério. ASUB-3: "Ponto-Testemunha", localizado a nordeste do cemitério fora da área de drenagem. ASUB-4: Cisterna localizada em residência na rua Menezes de Ferreira - montante sudoeste da área do cemitério.

Notas: *Refere-se à amostra-testemunha de água subterrânea fora da área de influência do cemitério em estudo.

(1) Valor Máximo Permitido: nível federal - padrão de potabilidade de água para consumo humano – Portaria 2914/11 do Ministério da Saúde.

(2) Valor Máximo Permitido: nível federal - para consumo humano - Resolução CONAMA n° 396/2008.

(3) Valor Máximo Permitido: nível federal – investigação*** – Resolução CONAMA n° 420/2009.

(4) Valor Máximo Permitido: nível estadual - investigação – Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH n° 02/2010.

(5) Valor Máximo Permitido: nível estadual - investigação – Deliberação Normativa COPAM n° 166/2011.

***Valor de investigação: é a concentração de determinada substância no solo ou na água subterrânea acima da qual existem riscos potenciais, diretos ou indiretos, à saúde humana, considerando um cenário de exposição padronizado.

De acordo com as análises microbiológicas (Tabela 5.17), percebeu-se que o parâmetro clostrídios sulfito-redutores não foi detectado em nenhuma das amostras de água subterrânea coletadas em maio de 2016, fim do período chuvoso, com exceção da amostra ASUB4, não coletada na época. Para a campanha realizada em setembro de 2016, houve aumento da concentração nas amostras ASUB2 (45,0 NMP/100 mL) e testemunha ASUB3 (>200 NMP/100 mL). Na amostra ASUB4, coletada em setembro de 2016, a concentração foi superior a 200 NMP/100 mL. O valor deste parâmetro encontra-se fora do padrão estabelecido por legislações federais e/ou estaduais, porém sua detecção sugere alteração da qualidade da água subterrânea.

Matos & Pacheco (2001) encontraram valores de clostrídios sulfito-redutores variando de não detectado, <2 NMP/100 mL a >1600 NMP/100 mL, em poços localizados no interior do cemitério. Enetério (2009) observou valores de clostrídios sulfito-redutores máximos de 650 UFC/100 mL a 1400 UFC/100 mL a jusante do fluxo da água subterrânea em relação ao cemitério. Martins *et al.* (1991) consideraram que espécies do gênero *Clostridium* são algumas das mais adequadas para avaliação, do ponto de vista sanitário, da qualidade de água subterrânea em áreas onde ocorrem processos de putrefação; porém, são indicadores de poluição remota.

Para as análises de coliformes tolerantes, identificou-se aumento das concentrações da campanha de setembro de 2016 em relação à campanha anterior, em todas as amostras coletadas, variando de 20 NMP/100 mL, nas amostras-testemunha ASUB3 e ASUB4, a valores superiores a 16000 NMP/100 mL nas amostras ASUB1 e ASUB2. Estes índices detectados estão acima do valor máximo permitido pela Portaria 2914/2011, do Ministério da Saúde, e Resolução CONAMA nº 396/2008, para potabilidade e para fins de consumo humano.

Enetério (2009) observou concentrações de coliformes tolerantes superiores a 11000 NMP/100 mL em poços localizados a jusante do fluxo da água subterrânea em relação ao cemitério, concluindo que ocorrem maiores concentrações no período de seca, como no caso do entorno do cemitério Cachoeira. Neira *et al.* (2008) identificaram concentração mínima de coliformes termotolerantes de 900 NMP/100 mL a 9300 NMP/100 mL durante a segunda amostragem.

Em relação a coliformes totais, houve aumento das concentrações em setembro de 2016 em relação à campanha de maio de 2016, apresentando valores superiores a 16000 NMP/100 mL em todas as amostras analisadas, incluindo a amostra ASUB4.

Neira *et al.* (2008) observaram concentrações mínimas de coliformes totais de 1400 NMP/100 mL a 9300 NMP/100 mL durante a segunda amostragem no interior do cemitério. Em um estudo desenvolvido por Migliorini, em 2006, no Cemitério Municipal São Gonçalo, concluiu-se que o ciclo de sepultamentos dos corpos influencia nas concentrações de coliformes. Provavelmente, isso se deve ao fato de que sepulturas mais recentes possuem maiores concentrações desses microrganismos.

Assim como observado nas análises microbiológicas de água superficial do entorno, apresentando valores máximos permitidos estabelecidos por legislação, constatou-se contaminação da água subterrânea na área do diagnóstico ambiental por presença de fossas negras na região e por corpos hídricos superficiais impactados por lançamento indevido de esgoto sanitário. Feitosa & Manoel Filho (2000) afirmam que pode haver interações entre água superficial e subterrânea pelo processo de indução entre um corpo hídrico contaminado e um aquífero.

5.5.2.5 Análises de metais totais

Os resultados das análises de metais totais, realizadas nas amostras de água subterrânea coletadas nos pontos ASUB1, ASUB2, ASUB3 e ASUB4, são apresentados na Tabela 5.18 e Figuras de 5.78 a 5.97, a seguir.

Tabela 5.18. Resultados das análises de metais totais nas amostras de água subterrânea – 1ª Campanha (maio/16) e 2ª Campanha (set./16)

Parâmetro	Resultados Analíticos								L.Q.	L.D.	Un.	VMP ⁽¹⁾ mg/L	VMP ⁽²⁾ mg/L	VMP ⁽³⁾ mg/L	VMP ^(4 e 5) mg/L
	ASUB-1		ASUB-2		ASUB-3*		ASUB-4								
Campanhas	1ª	2ª	1ª	2ª	1ª	2ª	1ª	2ª							
Alumínio	1,832	6,474	939,634	24,546	1651,388	685,970	na	0,234	0,020	0,010	mg/L	0,2	0,2	3,5	3,5
Arsênio	nd	nd	nd	nd	0,032	0,014	na	nd	0,010	0,007	mg/L	0,01	0,01	0,01	0,01
Bário	0,051	0,074	0,742	0,256	1,646	0,521	na	0,068	0,040	0,020	mg/L	0,7	0,7	0,7	0,7
Cádmio	nd	nd	nd	nd	nd	nd	na	nd	0,002	0,001	mg/L	0,005	0,005	0,005	0,005
Cálcio	25,026	34,388	9,488	17,387	5,074	13,640	na	42,208	0,040	0,020	mg/L	NE	NE	NE	NE
Chumbo	nd	nd	0,160	0,011	0,596	0,137	na	nd	0,006	0,004	mg/L	0,01	0,01	0,01	0,01
Cobalto	nd	nd	0,017	0,002	0,031	0,032	na	nd	0,002	0,001	mg/L	NE	NE	0,07	0,005
Cobre	nd	0,002	0,047	0,006	0,602	0,093	na	nd	0,002	0,001	mg/L	2	2	2	2
Cromo	nd	nd	0,103	0,009	0,075	0,067	na	nd	0,003	0,001	mg/L	0,05	0,05	0,05	0,05
Estanho	nd	nd	nd	nd	0,062	nd	na	nd	0,030	0,010	mg/L	NE	NE	NE	NE
Estrôncio	0,192	0,354	0,228	0,378	0,115	0,080	na	0,514	0,020	0,010	mg/L	NE	NE	NE	NE
Ferro	0,880	2,322	34,474	19,012	209,252	415,683	na	0,556	0,030	0,020	mg/L	0,3	0,3	2,45	2,45
Lítio	nd	nd	0,670	0,027	0,206	0,170	na	nd	0,020	0,010	mg/L	NE	NE	NE	NE
Magnésio	1,593	1,909	3,608	4,405	12,519	8,755	na	1,833	0,040	0,020	mg/L	NE	NE	NE	NE
Manganês	0,161	0,090	0,101	0,088	0,259	0,566	na	0,028	0,005	0,003	mg/L	0,1	0,1	0,4	0,4
Mercurio	0,0010	nd	0,0006	nd	0,0007	nd	na	nd	0,0005	0,0002	mg/L	0,001	0,001	0,001	0,001
Níquel	nd	nd	0,050	0,007	0,055	0,057	na	nd	0,006	0,004	mg/L	0,07	0,02	0,02	0,02
Potássio	0,642	3,080	4,039	6,831	8,292	12,225	na	3,409	0,020	0,010	mg/L	NE	NE	NE	NE
Sódio	9,106	15,929	7,987	15,627	6,308	0,921	na	6,430	0,040	0,020	mg/L	200	200	NE	NE
Zinco	nd	0,021	0,200	0,076	0,371	0,278	na	nd	0,008	0,004	mg/L	5	5	1,05	1,05

Legenda: Un.: Unidade, L.D.: Limite de detecção reportado, L.Q.: Limite de Quantificação reportado, NE: Não especificado, NA: Não aplicável, na: Não analisado, nd: Não detectado, mg: miligrama, L: Litro. ASUB-X: Identificação da amostra de água subterrânea. ASUB-1: Cisterna localizada em residência na rua Minerva - jusante sudoeste da área do cemitério. ASUB-2: Ponto de coleta localizado a jusante nordeste da área do cemitério. ASUB-3: "Ponto-Testemunha", localizado a nordeste do cemitério fora da área de drenagem. ASUB-4: Cisterna localizada em residência na rua Menezes de Ferreira - montante sudoeste da área do cemitério. Notas: *Refere-se à amostra-testemunha de água subterrânea fora da área de influência do cemitério em estudo. (1) Valor Máximo Permitido: nível federal - padrão de potabilidade de água para consumo humano – Portaria 2914/11 do Ministério da Saúde. (2) Valor Máximo Permitido: nível federal - para consumo humano - Resolução CONAMA nº 396/2008. (3) Valor Máximo Permitido: nível federal – investigação*** – Resolução CONAMA nº 420/2009. (4) Valor Máximo Permitido: nível estadual - investigação – Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH nº 02/2010. (5) Valor Máximo Permitido: nível estadual - investigação – Deliberação Normativa COPAM nº 166/2011. ***Valor de investigação: é a concentração de determinada substância no solo ou na água subterrânea acima da qual existem riscos potenciais, diretos ou indiretos, à saúde humana, considerando um cenário de exposição padronizado

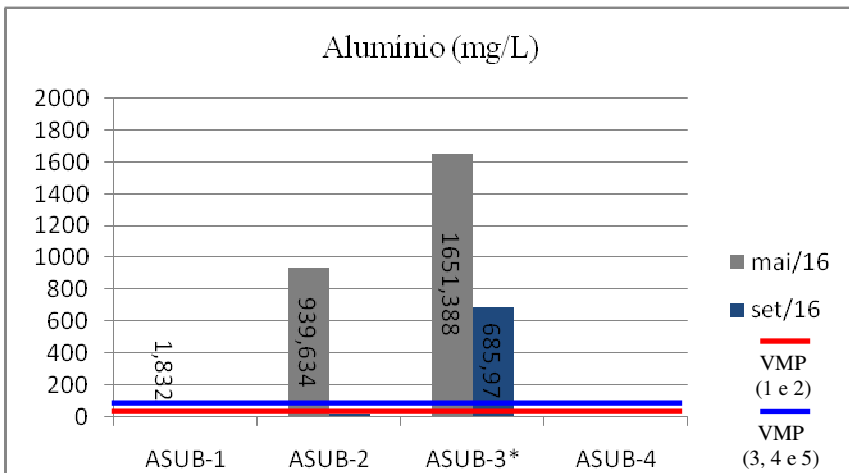


Figura 5.78: Concentração de Alumínio na água subterrânea

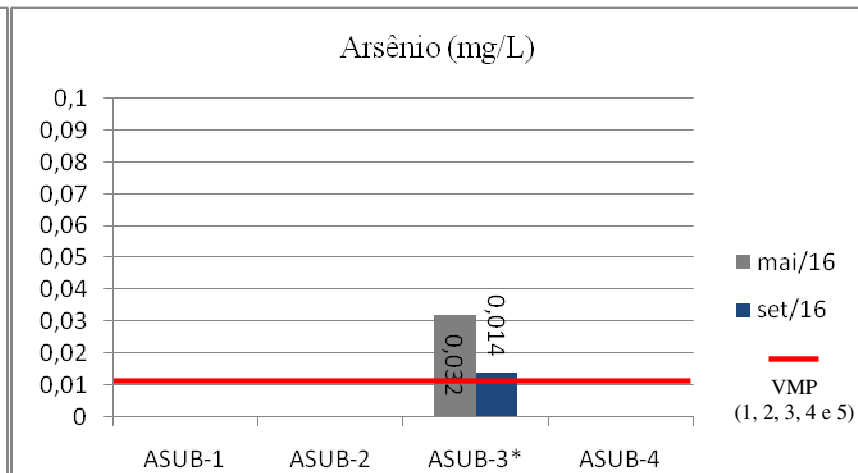


Figura 5.79: Concentração de Arsênio na água subterrânea

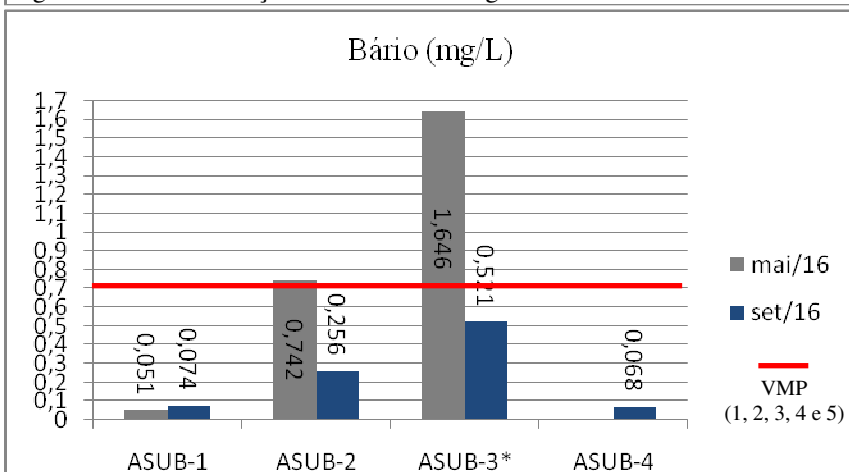


Figura 5.80: Concentração de Bário na água subterrânea

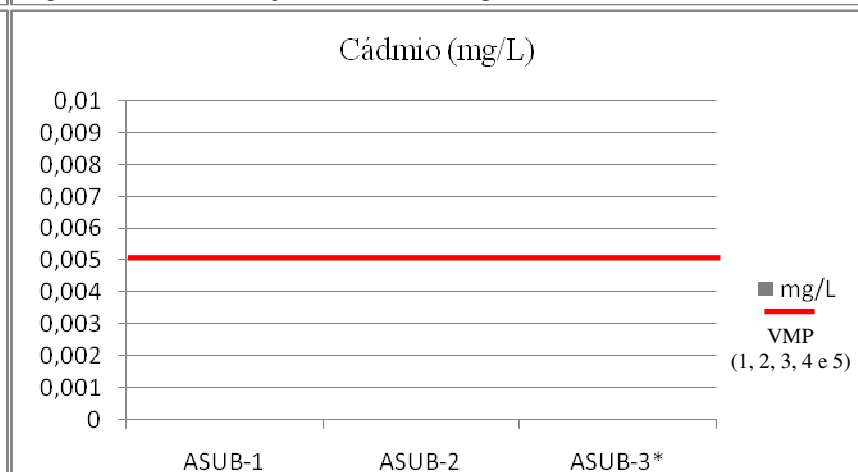


Figura 5.81: Concentração de Cádmio na água subterrânea

Legenda: NE: Não especificado, mg: miligrama, L: Litro. ASUB-X: Identificação da amostra de água subterrânea. Notas: *Refere-se à amostra-testemunha de água subterrânea fora da área de influência do cemitério em estudo. (1) Valor Máximo Permitido: nível federal - padrão de potabilidade de água para consumo humano - Portaria 2914/11 do Ministério da Saúde. (2) Valor Máximo Permitido: nível federal - para consumo humano - Resolução CONAMA n° 396/2008. (3) Valor Máximo Permitido: nível federal - investigação*** - Resolução CONAMA n° 420/2009. (4) Valor Máximo Permitido: nível estadual - investigação - Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH n° 02/2010. (5) Valor Máximo Permitido: nível estadual - investigação - Deliberação Normativa COPAM n° 166/2011.

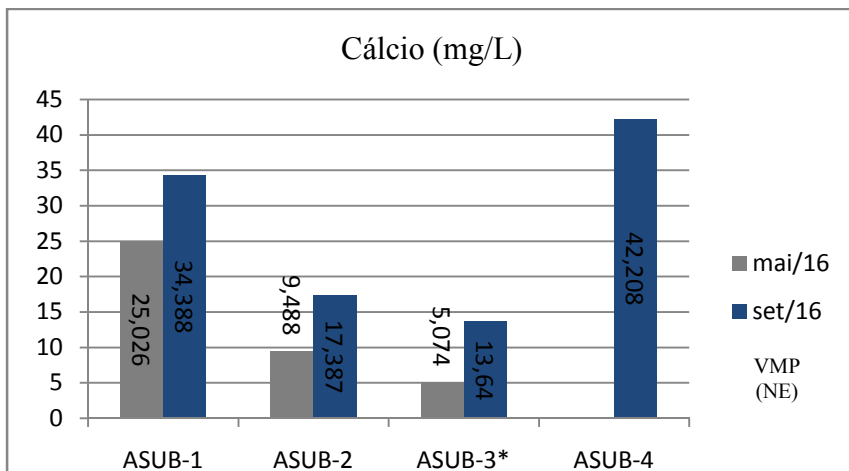


Figura 5.82: Concentração de Cálcio na água subterrânea

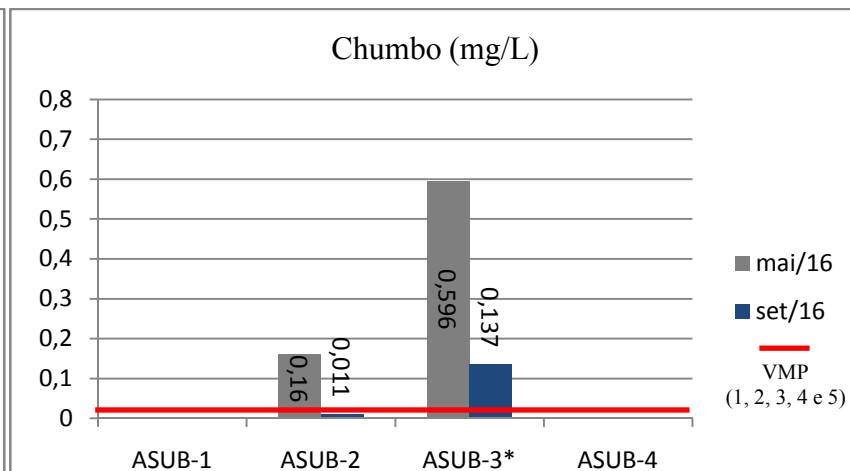


Figura 5.83: Concentração de Chumbo na água subterrânea

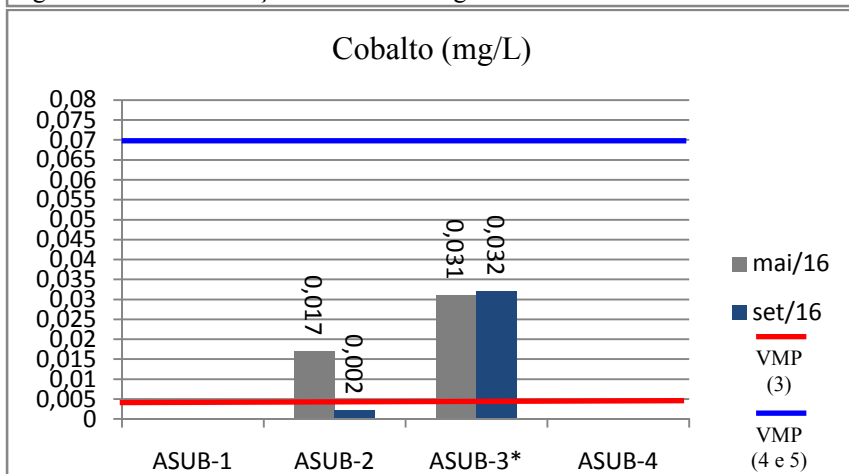


Figura 5.84: Concentração de Cobalto na água subterrânea

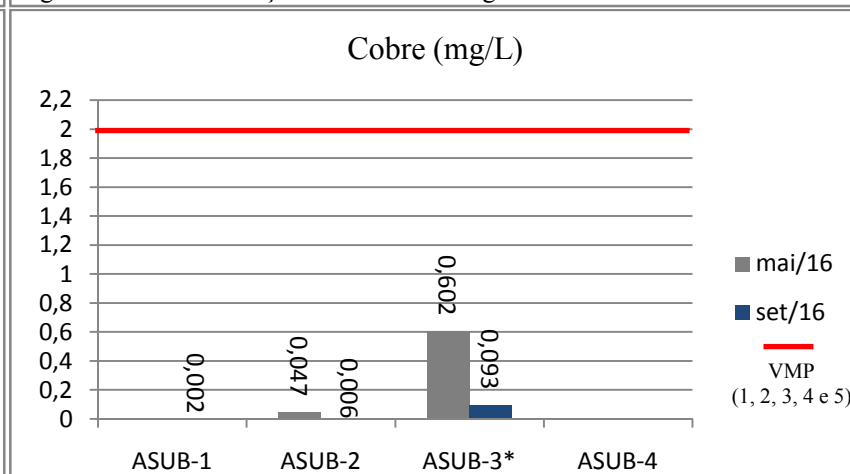


Figura 5.85: Concentração de Cobre na água subterrânea

Legenda: NE: Não especificado, mg: miligrama, L: Litro. ASUB-X: Identificação da amostra de água subterrânea. Notas: *Refere-se à amostra-testemunha de água subterrânea fora da área de influência do cemitério em estudo. (1) Valor Máximo Permitido: nível federal - padrão de potabilidade de água para consumo humano – Portaria 2914/11 do Ministério da Saúde. (2) Valor Máximo Permitido: nível federal - para consumo humano - Resolução CONAMA nº 396/2008. (3) Valor Máximo Permitido: nível federal – investigação*** – Resolução CONAMA nº 420/2009. (4) Valor Máximo Permitido: nível estadual - investigação – Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH nº 02/2010. (5) Valor Máximo Permitido: nível estadual - investigação – Deliberação Normativa COPAM nº 166/2011.

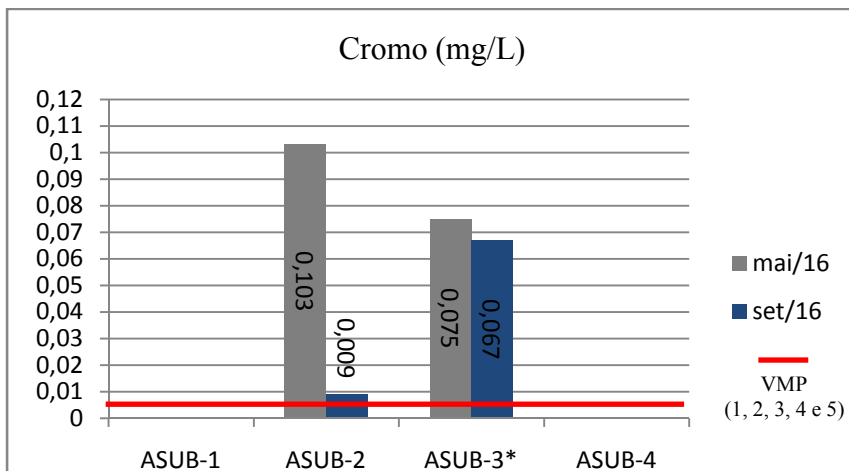


Figura 5.86: Concentração de Cromo na água subterrânea

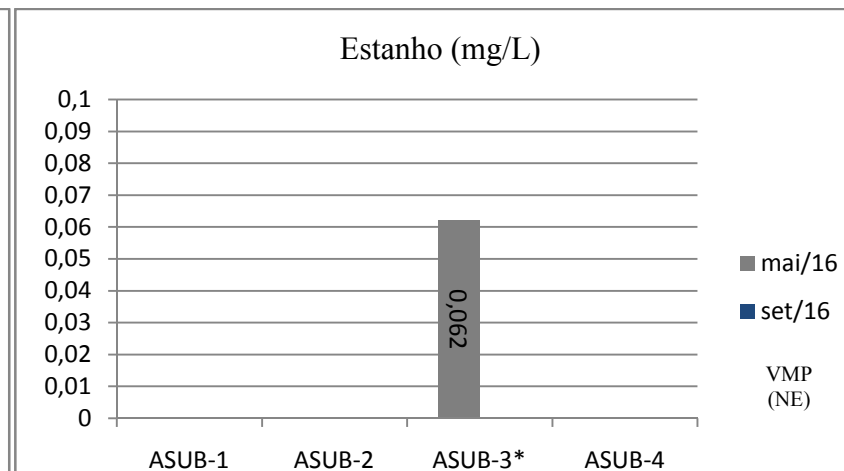


Figura 5.87: Concentração de Estanho na água subterrânea

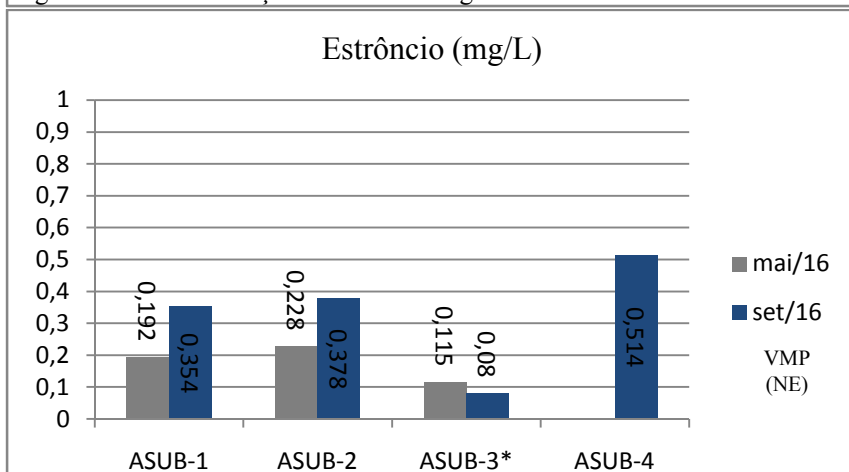


Figura 5.88: Concentração de Estrôncio na água subterrânea

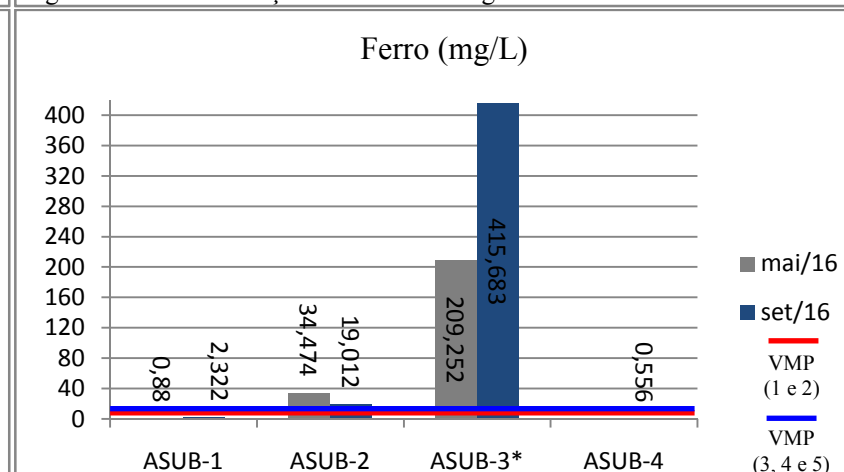


Figura 5.89: Concentração de Ferro na água subterrânea

Legenda: NE: Não especificado, mg: miligrama, L: Litro. ASUB-X: Identificação da amostra de água subterrânea. Notas: *Refere-se à amostra-testemunha de água subterrânea fora da área de influência do cemitério em estudo. (1) Valor Máximo Permitido: nível federal - padrão de potabilidade de água para consumo humano – Portaria 2914/11 do Ministério da Saúde. (2) Valor Máximo Permitido: nível federal - para consumo humano - Resolução CONAMA nº 396/2008. (3) Valor Máximo Permitido: nível federal – investigação*** – Resolução CONAMA nº 420/2009. (4) Valor Máximo Permitido: nível estadual - investigação – Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH nº 02/2010. (5) Valor Máximo Permitido: nível estadual - investigação – Deliberação Normativa COPAM nº 166/2011.

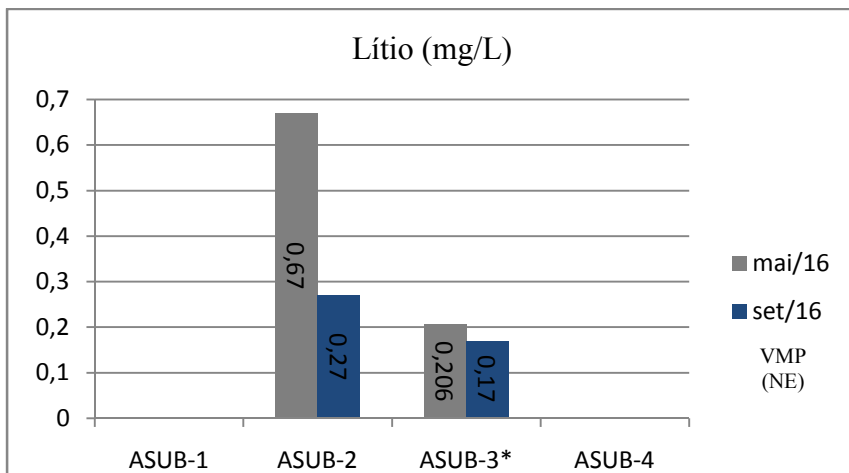


Figura 5.90: Concentração de Lítio na água subterrânea

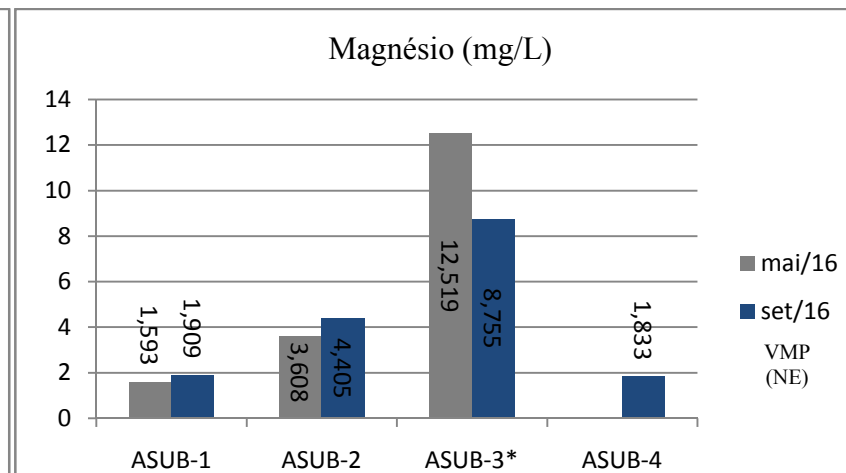


Figura 5.91: Concentração de Magnésio na água subterrânea

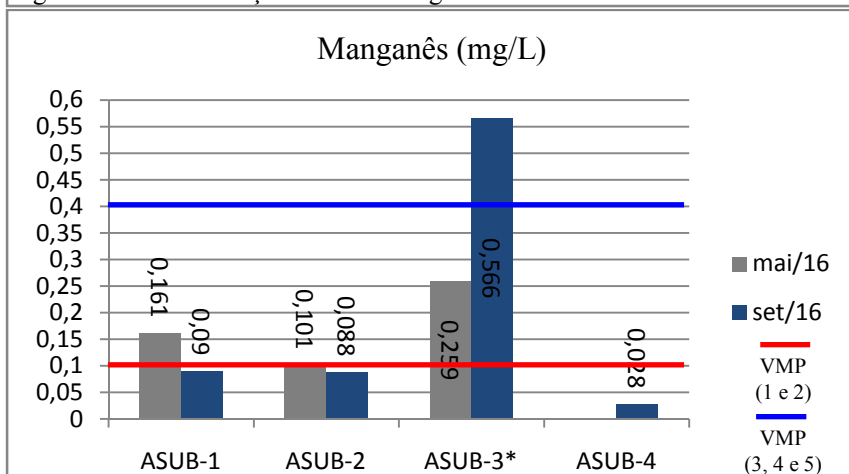


Figura 5.92: Concentração de Manganês na água subterrânea

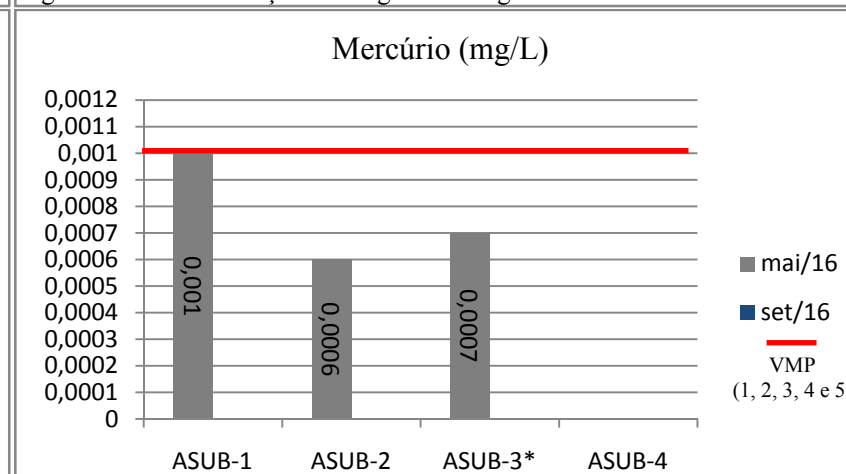


Figura 5.93: Concentração de Mercúrio na água subterrânea

Legenda: NE: Não especificado, mg: miligrama, L: Litro. ASUB-X: Identificação da amostra de água subterrânea. Notas: *Refere-se à amostra-testemunha de água subterrânea fora da área de influência do cemitério em estudo. (1) Valor Máximo Permitido: nível federal - padrão de potabilidade de água para consumo humano – Portaria 2914/11 do Ministério da Saúde. (2) Valor Máximo Permitido: nível federal - para consumo humano - Resolução CONAMA nº 396/2008. (3) Valor Máximo Permitido: nível federal – investigação*** – Resolução CONAMA nº 420/2009. (4) Valor Máximo Permitido: nível estadual - investigação – Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH nº 02/2010. (5) Valor Máximo Permitido: nível estadual - investigação – Deliberação Normativa COPAM nº 166/2011.

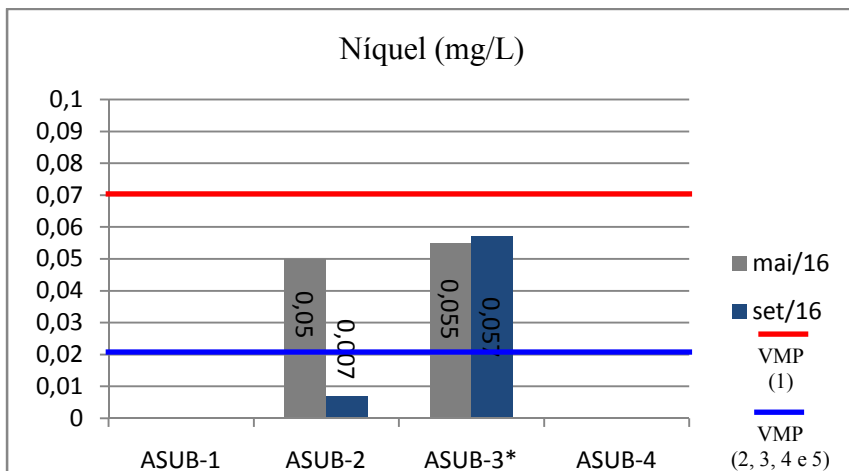


Figura 5.94: Concentração de Níquel na água subterrânea

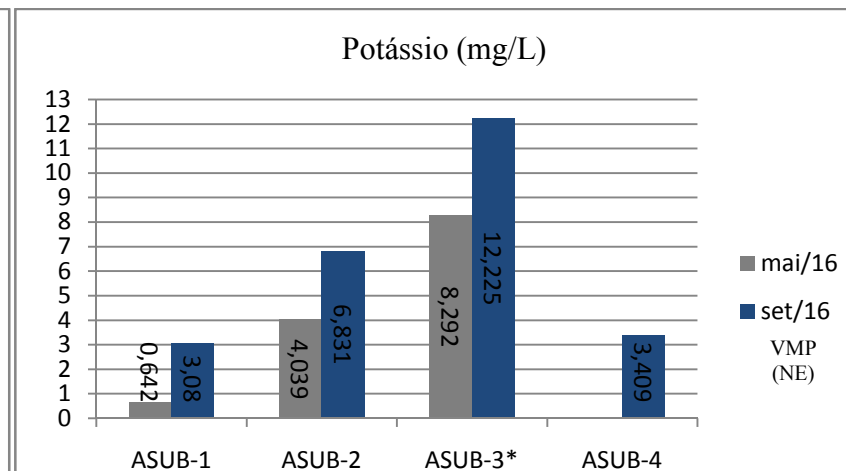


Figura 5.95: Concentração de Potássio na água subterrânea

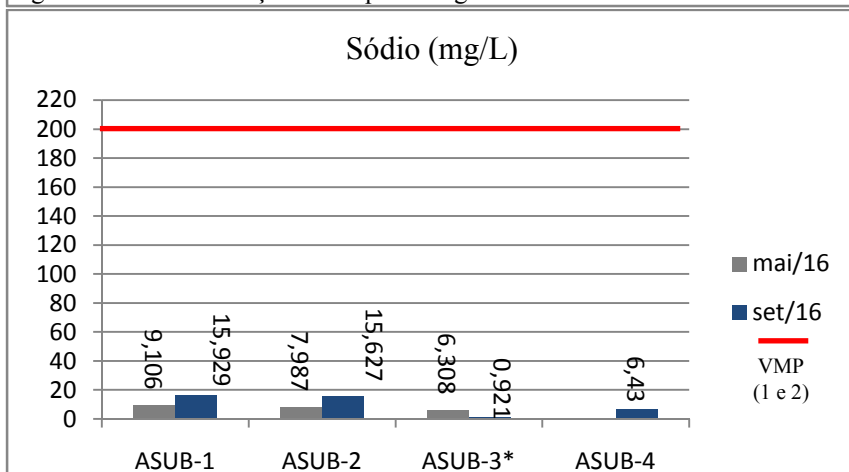


Figura 5.96: Concentração de Sódio na água subterrânea

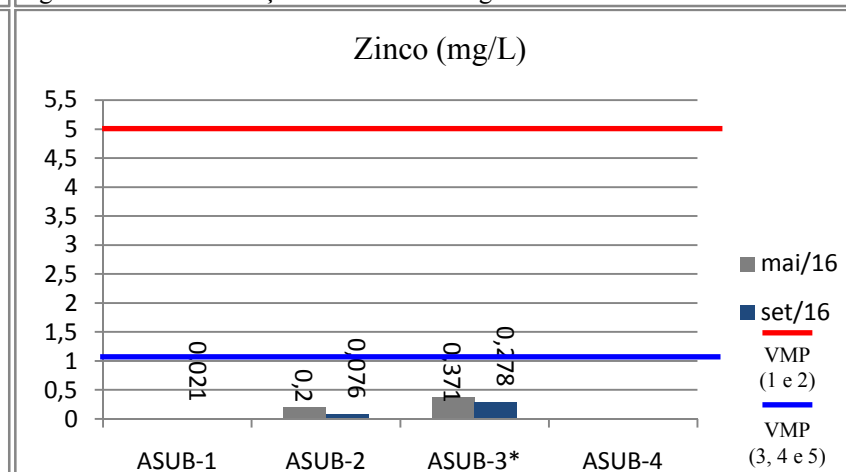


Figura 5.97: Concentração de Zinco na água subterrânea

Legenda: NE: Não especificado, mg: miligrama, L: Litro. ASUB-X: Identificação da amostra de água subterrânea. Notas: *Refere-se à amostra-testemunha de água subterrânea fora da área de influência do cemitério em estudo. (1) Valor Máximo Permitido: nível federal - padrão de potabilidade de água para consumo humano – Portaria 2914/11 do Ministério da Saúde. (2) Valor Máximo Permitido: nível federal - para consumo humano - Resolução CONAMA nº 396/2008. (3) Valor Máximo Permitido: nível federal – investigação*** – Resolução CONAMA nº 420/2009. (4) Valor Máximo Permitido: nível estadual - investigação – Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH nº 02/2010. (5) Valor Máximo Permitido: nível estadual - investigação – Deliberação Normativa COPAM nº 166/2011.

De acordo com a Tabela 5.18 e Figuras de 5.78 a 5.97:

- Alumínio: para a campanha realizada em maio de 2016, que representou o fim do período chuvoso, observou-se maior concentração na amostra-testemunha ASUB3 (1651,388 mg/L). Na amostra da cisterna (ASUB1), o índice obtido foi de 1,832 mg/L, e, no ponto ASUB2, de 939,634 mg/L. Em todas as amostras coletadas, os valores detectados foram superiores aos padrões estabelecidos para potabilidade - de 0,2 mg/L. Os resultados das amostras ASUB2 e testemunha ASUB3 apresentaram valores superiores ao da investigação. Para a campanha realizada em setembro de 2016, observou-se decréscimo nas concentrações de alumínio em todas as amostras em relação à campanha de maio de 2016, apresentando valores variando de 0,234 mg/L (ASUB4) a 685,970 mg/L na amostra-testemunha ASUB3, porém acima dos valores máximos permitidos para consumo humano (0,2 mg/L) e investigação (3,5 mg/L), exceto na amostra ASUB4.

Matos & Pacheco (2001) detectaram, nos poços *background*, concentrações de alumínio de 3,3 mg/L a 4,59 mg/L, e, no interior do cemitério, próximo às sepulturas, valor máximo de 33,59 mg/L, concluindo que houve incremento de teor de alumínio ocasionado pela operação do cemitério. Enetério (2009) observou, na região de geologia cárstica, na qual o cemitério se insere, valores de alumínio variando de <0,01 a 0,029 mg/L no fim do período chuvoso, abaixo dos padrões de potabilidade e qualidade de água. Os valores acima dos padrões normativos detectados nas águas subterrâneas do entorno do cemitério Cachoeira, em Betim-MG, estão relacionados principalmente à presença do tipo de solo predominante - latossolo vermelho-amarelo.

- Arsênio: identificado apenas na amostra-testemunha ASUB3 - na campanha de maio de 2016, na concentração de 0,032 mg/L; e, na de setembro de 2016, a 0,014 mg/L, acima do padrão permitido para consumo humano e investigação, que é de 0,01 mg/L.

De acordo com Borba *et al.* (2004), nos sedimentos do Quadrilátero Ferrífero da região de Mariana e Ouro Preto-MG, provenientes de latossolos, o arsênio pode ocorrer associado a óxidos de ferro e sulfetos. Valores superiores podem ser relacionados à dissolução de minerais pela água, no contato solo/rocha com sua depuração por processos físico-químicos (Parente, 2014).

- Bário: foram observadas concentrações acima dos padrões permitidos para consumo humano e investigação - de 0,7 mg/L - nas amostras ASUB2 e testemunha ASUB3 para a campanha de maio de 2016. Em setembro de 2016, as concentrações variaram de 0,068 mg/L (ASUB4) a 0,521 mg/L na amostra-testemunha ASUB3, porém abaixo dos valores máximos permitidos para consumo humano e investigação.

Enetério (2009) constatou índices de bário variando entre 0,11 e 0,39 mg/L nas amostras de água subterrânea coletadas no fim do período chuvoso. Matos e Pacheco (2001) detectaram, nos poços *background*, valores de bário entre 0,29 mg/L e 0,46 mg/L, e, no interior do cemitério, próximo às sepulturas, concentração máxima de 0,57 mg/L. Nos estudos realizados por Enetério (2009) e Matos & Pacheco (2001), os resultados para bário foram inferiores ao padrão permitido para consumo humano e investigação, porém nas análises realizadas no entorno do cemitério Cachoeira, a amostra testemunha ASUB3 apresenta valor sugestivo de contaminação e pode estar atribuído à formação geológica e não ocasionado pela operação do cemitério.

- Cádmiio: não foi detectado em nenhuma das amostras de água subterrânea coletadas nas duas campanhas de amostragem realizadas. Estes resultados são inerentes às amostras de solo, onde o parâmetro também não foi detectado devido à formação geológica.

Migliorini (2006), em um estudo acerca da qualidade das águas subterrâneas em cemitérios da região de Cuiabá/MT, observaram teores de cádmio variando de <0,001 a 0,025 mg/L, com média de 0,0065 mg/L. Muitas dessas amostras apresentaram concentrações superiores ao padrão para o consumo humano - de 0,005 mg/L.

Observaram também que um poço *background* apresentou, em duas ocasiões distintas, teores de cádmio acima do padrão para o consumo humano, indicando, assim, que os teores elevados podem ter como origem a formação geológica, e não a operação do cemitério. Matos & Pacheco (2001) e Enetério (2009) também não detectaram cádmio nas amostras coletadas nos cemitérios estudados.

- Cálcio: observaram-se concentrações variando de 5,074 mg/L (ASUB3) a 25,026 mg/L (ASUB1) para a campanha de maio de 2016. Para setembro de 2016, a menor concentração foi novamente obtida na amostra-testemunha ASUB3, de 13,640 mg/L, com máxima concentração observada na amostra ASUB4, de 42,208 mg/L.

Matos & Pacheco (2001) encontraram, nos poços *background*, valores de cálcio a 3,9 mg/L e a 0,42 mg/L, e, para o interior do cemitério, próximo às sepulturas, valor máximo de 34,4 mg/L, observando o incremento deste elemento ocasionado pela operação do cemitério. Castro (2008) observou valores de cálcio em média de 25,3 mg/L na área interior do cemitério, e média de 49,5 mg/L no entorno, não evidenciando contaminação por ele. Em termos hidrogeológicos, o substrato da região do cemitério Bom Jardim, estudado por Castro (2008), constitui um aquífero livre argilo-arenoso, pouco espesso, de baixa permeabilidade e formado pelo produto do intemperismo físico e químico de rochas granito gnáissicas pré-cambrianas. Enetério (2009) encontrou valores de cálcio variando de 24,7 a 98,1 mg/L no fim do período chuvoso, em geologia cárstica. Os resultados obtidos por Matos & Pacheco (2001), Castro (2008) e Enetério (2009) foram semelhantes, considerando-se a ordem de grandeza dos valores, aos encontrados nas amostras do entorno do cemitério Cachoeira em Betim-MG. No entanto, os maiores valores de cálcio observados nos pontos ASUB1 e ASUB4, em relação ao sentido do fluxo das águas subterrâneas, não sugerem que sejam ocasionados pela operação do cemitério.

- Chumbo: foram observadas concentrações acima dos padrões permitidos para consumo humano e investigação - de 0,01 mg/L - nas amostras ASUB2, máxima de 0,16 mg/L para maio de 2016, e testemunha ASUB3,

máxima de 0,596 mg/L em setembro de 2016. As concentrações de chumbo na amostra-testemunha ASUB3 foram superiores às observadas na amostra ASUB2 em maio e setembro de 2016. Nas amostras ASUB1 e ASUB4, este parâmetro não foi detectado na campanha realizada em setembro de 2016.

Migliorini (2006) concluíram que todas as amostras analisadas apresentaram baixa concentração de chumbo (<0,05 mg/L). Porém, o limite de detecção do método empregado para quantificar este metal foi maior que o padrão permitido para consumo humano, que, na ocasião, foi de 0,01 mg/L, não concluindo se houve alguma amostra superior ao padrão na região dos cemitérios avaliados. Matos & Pacheco (2001) detectaram, nos poços *background*, teores de chumbo variando de 0,29 mg/L a 0,34 mg/L, e, para o interior do cemitério, próximo às sepulturas, valor máximo de 0,62 mg/L, observando incremento deste elemento ocasionado pela operação do cemitério. Enetério (2009) não observou valores de chumbo nas amostras de água subterrânea analisadas. Levando-se em consideração que a amostra-testemunha ASUB3 apresentou maior valor em relação às amostras coletadas dentro da área delimitada de estudo, sugere-se ocorrência não relacionada à operação do cemitério Cachoeira.

- Cobalto: para maio e setembro de 2016, observaram-se concentrações, respectivamente, de 0,031 mg/L e 0,032 mg/L, para as amostras-testemunha coletadas no ponto ASUB3 acima do valor padrão de investigação, de 0,005 mg/L.

Enetério (2009) não identificou valores de cobalto nas amostras de água subterrânea analisadas no entorno do cemitério avaliado. Conforme Hem (1985), o cobalto, em águas naturais, pode apresentar concentrações geoquimicamente relacionadas com as do manganês; suas concentrações variam de 1/100 a 1/10 das concentrações de manganês dissolvido. De acordo com Regattieri (2011), é frequente a detecção de cobalto em amostras de água subterrânea em valores acima do padrão ambiental vigente no Estado de São Paulo (5 µg/L – CETESB, 2005). Em um estudo realizado em 26.757 amostras de água subterrânea executado por um laboratório de

medições ambientais de São Paulo/SP, concluiu-se que as concentrações mais elevadas de cobalto estão relacionadas com a ocorrência elevada de manganês na água, identificando a causa como de ocorrência natural. As análises de cobalto realizadas nas amostras de água subterrânea do entorno do cemitério Cachoeira indicam semelhanças apontadas por Regattieri (2011) e Hem (1985), como, por exemplo, a detecção de manganês em concentração de 93,76 vezes superior em relação à de cobalto na amostra ASUB2 na campanha de maio de 2016, fim do período chuvoso, sugerindo ocorrência natural por processos geoquímicos.

- Cobre: foram observadas concentrações nas amostras ASUB2 (0,047 mg/L) e testemunha ASUB3 (0,602 mg/L) em concentrações abaixo dos padrões permitidos para consumo humano e investigação - de 2 mg/L, para a campanha de maio de 2016. Para setembro de 2016, não foram encontradas concentrações acima destes padrões. Na amostra ASUB4, este parâmetro não foi detectado.

Matos & Pacheco (2001) identificaram, nos poços *background*, valores de cobre a 0,02 mg/L, e, para o interior do cemitério, próximo às sepulturas, valor máximo de 0,06 mg/L, abaixo do padrão permitido para consumo humano. Enetério (2009) não observou valores de cobre nas amostras de água subterrânea analisadas. Nos estudos de Enetério (2009) e Matos & Pacheco (2001), os resultados para cobre foram inferiores ao padrão permitido para consumo humano e investigação, assim como nas análises realizadas no entorno do cemitério Cachoeira em Betim-MG.

- Cromo: foram observadas concentrações nas amostras ASUB2 (0,103 mg/L) e testemunha ASUB3 (0,075 mg/L) superiores aos padrões permitidos para consumo humano e investigação, de 0,05 mg/L, na campanha realizada em maio de 2016, e, na amostra ASUB3 (0,067 mg/L), para campanha realizada em setembro de 2016.

Migliorini (2006), em análise de cromo, concluíram que todas as amostras apresentaram baixa concentração deste durante o monitoramento, variando de <0,02 a

<0,05 mg/L, abaixo do VMP para o consumo humano, de 0,05 mg/L. Matos & Pacheco (2001) detectaram, nos poços *background*, valores de cromo a 0,01 mg/L e a 0,02 mg/L, e, para o interior do cemitério, próximo às sepulturas, valor máximo de 0,01 mg/L, inferiores ao padrão para consumo humano e investigação. Enetério (2009) não observou valores de cromo nas amostras de água subterrânea analisadas.

De acordo com Moraes *et al.* (2012), o cromo é um elemento que ocorre nos seguintes estados de oxidação: Cr II, Cr III e Cr VI, alterando sua valência de acordo com as características da água em que se encontra, em determinadas condições como alcalinidade e pH. O pH do meio estabelece o predomínio do seu estado de oxidação, sendo que, em meio ácido, $\text{pH} < 7,5$, tem-se a predominância da forma trivalente (Cr III), e, em meio básico, $\text{pH} > 8,0$, predomina a forma hexavalente (Cr VI). Almodovar (2000) e Barlett & Kimble (1976) observaram que, com a elevação do pH, a solubilidade do cromo na forma trivalente (Cr III) no solo aumenta, e, em valores de pH próximos a 5,5, ocorre completa precipitação; como exemplo de ligante que pode reter esta forma oxidada de cromo está a matéria orgânica solúvel no solo seco ao ar. Esses complexos orgânicos estão presentes de forma natural no solo e também podem ocorrer em lodo de esgoto, esterco animal e água residuária industrial.

Considerando-se os resultados encontrados para solo (Tabela 5.6), foram percebidos menores valores de pH nas regiões equivalentes de coleta de água subterrânea, amostra ASUB2 (amostra obtida na região da amostra S3, com valor de pH a 4,9) e amostra-testemunha ASUB3 (amostra obtida na região da amostra S4, com valor de pH a 5,3). Dessa forma, identificaram-se maiores concentrações de cromo quando o valor de pH foi menor, corroborando com a observação de Almodovar (2000) e Barlett & Kimble (1976).

De acordo com as observações feitas por Almodovar (2000) e Barlett & Kimble (1976), os valores anômalos de cromo obtidos no entorno do cemitério Cachoeira, em Betim-MG, indicaram uma potencial relação com o tipo de solo predominante na região, latossolo vermelho-amarelo, geralmente ácido, e com a ocorrência de matéria orgânica devido ao uso e ocupação do solo. Porém, o sentido do fluxo das águas subterrâneas não sugere que estes resultados sejam ocasionados pela operação do cemitério, ou seja, ele não influencia na disponibilização deste metal para o ambiente.

- Ferro: maiores concentrações foram observadas na amostra-testemunha ASUB3, a 209,252 mg/L, para maio de 2016, e a 415,683 mg/L para setembro de 2016, acima dos valores máximos permitidos para consumo humano (0,3 mg/L) e investigação (2,45 mg/L). O menor valor detectado foi o da amostra ASUB4 (0,556 mg/L) em setembro de 2016. Em todas as amostras, os índices estavam acima dos valores máximos permitidos para potabilidade para fins de consumo humano, nas duas campanhas de amostragem realizadas.

Matos & Pacheco (2001) detectaram, nos poços *background*, concentrações de ferro a 7,56 mg/L e a 1,7 mg/L, e para o interior do cemitério, próximo às sepulturas, valor máximo de 81,3 mg/L. Migliorini (2006) observaram baixas concentrações de ferro, variando entre <0,020 e 2,248 mg/L, com média de 0,248 mg/L. Porém, três amostras - uma no Cemitério Parque Bom Jesus de Cuiabá e duas no Cemitério Municipal São Gonçalo - apresentaram concentração acima do padrão permitido para consumo humano, que é de 0,3 mg/L, associando estes valores discrepantes não à operação dos cemitérios, mas sim às características das águas subterrâneas do Grupo Cuiabá, que normalmente apresentam concentrações anômalas de ferro. Castro (2008) observou valores de ferro em uma média de 4,3 mg/L na área interior do cemitério, e de 1,32 mg/L no entorno. Enetério (2009) identificou concentrações de ferro na maioria dos poços amostrados, apresentando apenas em um poço a 1,62 mg/L, para o fim do período chuvoso. As concentrações de ferro superiores detectadas no entorno do cemitério Cachoeira, assim como nos cemitérios avaliados por Migliorini (2006), também podem ser atribuídas à formação geológica, pela identificação predominante de latossolo vermelho-amarelo.

- Foram observadas maiores concentrações de estanho, magnésio, manganês níquel, potássio e zinco na amostra-testemunha ASUB3 nas campanhas realizadas em maio e setembro de 2016. O parâmetro potássio se apresentou em baixas concentrações, com máxima observada nas amostras-testemunha coletadas no ponto ASUB3, de 8,292 mg/L, em maio de 2016, e 12,225 mg/L em setembro de 2016.

Migliorini (2006) encontraram também baixas concentrações de potássio, variando de 0,3 a 4,6 mg/L, com média de 2,0 mg/L, nos cemitérios estudados. Matos & Pacheco (2001) detectaram, nos poços *background*, valores de potássio a 6,0 mg/L e a 3,6 mg/L, e, para o interior do cemitério, próximo às sepulturas, valor máximo de 6,9 mg/L. Castro (2008) observou valores de potássio em média de 54,4 mg/L na área interior do cemitério, e de 41,7 mg/L no entorno, provavelmente relacionados à sua operação. Em comparação com estes estudos, não foi observada alteração da qualidade da água subterrânea com os resultados encontrados nas amostras do entorno do cemitério Cachoeira em Betim-MG.

- O parâmetro manganês apresentou valores superiores ao padrão permitido, de 0,1 mg/L para consumo humano, em todas as amostras analisadas em maio e setembro de 2016, com maiores concentrações na amostra-testemunha ASUB3, respectivamente a 0,259 mg/L e a 0,566 mg/L.

Migliorini (2006) observaram concentrações de manganês variando de <0,010 a 0,217 mg/L, com média de 0,084 mg/L, abaixo do padrão permitido para o consumo humano, que é de 0,1 mg/L, com exceção de cinco amostras com as seguintes concentrações: 0,133 mg/L, no Cemitério Parque Bom Jesus de Cuiabá, e 0,158, 0,154, 0,217 e 0,163 mg/L no Cemitério Municipal São Gonçalo. Os valores detectados foram atribuídos à formação geológica, pois as águas subterrâneas do Grupo Cuiabá apresentam teores elevados de ferro associados ao aparecimento de manganês, semelhante ao comportamento dos resultados das amostras obtidas no entorno do cemitério Cachoeira em Betim-MG.

Em relação às análises dos resultados de magnésio, Castro (2008) observou valores na média de 15,8 mg/L para a área interior do cemitério, e de 37,2 mg/L no entorno. Matos & Pacheco (2001) detectaram, nos poços *background*, teores de magnésio a 0,62 mg/L e a 0,45 mg/L, e, para o interior do cemitério, próximo às sepulturas, valor máximo de 4,24 mg/L. Enetério (2009) encontrou valores de magnésio variando de 9,8 a 47,1 mg/L para o fim do período chuvoso. No entorno do cemitério Cachoeira, o índice de magnésio não foi superior a 12,519 mg/L, menor que a média

observada por Castro (2008), não evidenciando valores atribuídos à operação do cemitério Cachoeira.

- O parâmetro níquel foi observado em concentração superior ao padrão permitido para consumo humano e de investigação - de 0,02 mg/L - nas amostras ASUB2 (maio de 2016), a 0,05 mg/L, e ASUB3 (maio e setembro de 2016), respectivamente, a 0,055 e 0,057 mg/L.

Enetério (2009) não observou valores de níquel em seu estudo nas amostras coletadas no entorno do cemitério. Considerando-se que a amostra-testemunha ASUB3 apresentou maior valor em relação às amostras coletadas dentro da área delimitada de estudo, sugere-se ocorrência não relacionada à operação do cemitério Cachoeira em Betim-MG.

- O parâmetro zinco não apresentou concentrações superiores ao padrão permitido para consumo humano e investigação em nenhuma das amostras coletadas nas campanhas realizadas em maio e setembro de 2016 no entorno do cemitério Cachoeira em Betim-MG.

Migliorini (2006) identificaram concentrações de zinco variando de <0,016 a 0,097 mg/L, com média de 0,020 mg/L, muito abaixo do padrão permitido para consumo humano - de 5,0 mg/L. Matos & Pacheco (2001) detectaram, nos poços *background*, teores de zinco a 0,19 mg/L e a 0,08 mg/L, e, para o interior do cemitério, próximo às sepulturas, valor máximo de 1,54 mg/L, que, mesmo abaixo do padrão permitido, levou os autores a concluir que pode ter havido um incremento deste metal na água subterrânea relacionado à operação do cemitério. Diante destas comparações, nas amostras coletadas no entorno do cemitério Cachoeira, não foram observadas estas ocorrências.

- Estrôncio: maior concentração observada na campanha de setembro de 2016 para a amostra ASUB4 (0,514 mg/L). Na amostra testemunha

ASUB3 as concentrações variaram de 0,080 mg/L em setembro de 2016 a 0,115 mg/L em maio de 2016.

Matos & Pacheco (2001), nos poços *background*, detectaram valores de estrôncio a 0,01 mg/L e a 0,03 mg/L, e, para o interior do cemitério, próximo às sepulturas, valor máximo de 0,24 mg/L. Apesar de o valor obtido na amostra ASUB4 ter sido superior ao obtido por Matos & Pacheco (2001), em relação ao sentido do fluxo das águas subterrâneas, isso não sugere que o valor máximo de 0,514 mg/L seja ocasionado pela operação do cemitério.

- Mercúrio: nenhuma amostra excedeu o valor máximo permitido de 0,001 mg/L para consumo humano e investigação em maio de 2016, fim do período chuvoso. Na campanha de setembro, este parâmetro não foi detectado.

Não foram identificados, por meio de literatura disponível, estudos de cemitérios com avaliação de mercúrio. Para o diagnóstico do cemitério Cachoeira, este parâmetro foi incluído no escopo considerando-se o uso e ocupação do solo da região por indústrias. Observou-se que, no período de estiagem, por não haver lixiviação de compostos, o mercúrio não foi detectado. No entanto, em maio de 2016, a sua concentração foi observada acima do padrão permitido, apontando contaminação de origem natural, porque, na amostra-testemunha ASUB3, o mercúrio também foi detectado na concentração de 0,0007 mg/L.

- Sódio: identificaram-se concentrações abaixo do padrão permitido para consumo humano, que é de 200 mg/L, em todas as amostras e campanhas realizadas. Na amostra-testemunha ASUB3, foram observadas menores concentrações em maio e setembro de 2016, com concentração máxima de 6,308 mg/L no fim do período chuvoso;

Castro (2008) encontrou teores de sódio em média de 133,33 mg/L na área interior do cemitério, e de 130 mg/L no entorno, abaixo do padrão permitido para

consumo humano. Migliorini (2006) observaram, nos cemitérios estudados, que o sódio apresentou baixas concentrações, normalmente entre 0,2 e 5,0 mg/L, com média de 4,58 mg/L, também abaixo do padrão permitido para consumo humano. Matos & Pacheco (2001) detectaram, nos poços *background*, valores de sódio a 4,8 mg/L e a 4,6 mg/L, e, para o interior do cemitério, próximo às sepulturas, índice máximo de 27,5 mg/L. Enetério (2009) observou teores de sódio variando de 3,38 a 29,6 mg/L no fim do período chuvoso. Em comparação com estes estudos e com o valor máximo permitido para consumo humano, de 200 mg/L, não foi observada alteração da qualidade da água subterrânea com os resultados obtidos nas amostras do entorno do cemitério Cachoeira em Betim-MG.

As análises de metais na água subterrânea, de modo geral, apresentaram menores concentrações nas amostras coletadas no fim do período de estiagem. Porém, concentrações de alumínio, ferro e manganês, principalmente, inclusive na amostra-testemunha ASUB3, estão acima dos padrões permitidos para consumo humano e podem estar relacionadas à formação geológica, devido à predominância de latossolo vermelho-amarelo na região de estudo.

6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Solo

As análises de solo, no interior do cemitério, apresentaram granulometria com significativa porcentagem de silte na cota inferior da região dos jazigos, a 2,0 m em relação à superfície, apresentando valor de permeabilidade baixa, dentro da faixa aceitável, conforme Resoluções CONAMA nº 335/2003, nº 386/2006 e nº 402/2008. Em área próxima aos jazigos, a concentração total de grãos finos indica potencial de retenção de microrganismos oriundos de necrochorume.

O tipo de solo predominante da região, latossolo vermelho-amarelo, apresenta pH ácido na média de 4,9. No interior do cemitério, o maior valor detectado foi de 6,64, indicando, provavelmente, que, nos processos transformativos, a fase de esqueletização influencia no aumento do pH nas áreas de sepultamento. Os valores mais ácidos detectados no entorno do cemitério estão abaixo de 6,0, podendo inibir a sobrevivência de vírus e bactérias no solo.

Os valores encontrados para troca catiônica e fósforo não demonstram alteração da qualidade do solo devido à operação de cemitério. Os resultados para matéria orgânica apontam que, no entorno do cemitério, o valor de 1,21% pode estar relacionado à presença de neossolo flúvico, e não ao cemitério. Os valores nulos detectados deste parâmetro, sendo um observado no interior do cemitério e o outro a jusante deste ponto, em comparação com a concentração de 0,69% de matéria orgânica observada em uma amostra também coletada no interior do cemitério, apontam uma possível influência com o processo de decomposição de cadáveres.

Em relação às análises de metais, observou-se que a formação geológica da região, a precipitação pluviométrica e o pH do solo influenciam nas concentrações de alguns metais, como alumínio, ferro e manganês, e metais afins a estes, porém não evidenciaram alteração da qualidade do solo pela operação do cemitério.

As análises de cálcio não levaram a uma conclusão sobre uma possível alteração da qualidade do solo, uma vez que este parâmetro não possui valor de prevenção estabelecido por normas ambientais vigentes. Contudo, observou-se valor significativo

no interior do local de estudo, evidenciando incremento no teor de cálcio pela operação de cemitério, provavelmente devido ao processo de decomposição de ossos. As amostras coletadas a jusante do cemitério apresentaram concentrações de cálcio semelhantes às da amostra testemunha, o que corrobora com o resultado obtido em seu interior. No interior do cemitério, o aquífero livre não foi interceptado na campanha realizada em setembro de 2016, apresentando uma coluna de solo com espessura variando de 8,20 m a 10,00 m. As Resoluções CONAMA nº 335/2003, nº 386/2006 e nº 402/2008 recomendam que o nível inferior das sepulturas esteja a uma distância de, pelo menos, um metro e meio acima do mais alto nível do lençol freático, mensurado no fim do período chuvoso. Devido à interceptação com gnaíse no interior do cemitério, infere-se que o nível freático não é interceptado também em épocas chuvosas.

Água superficial

Os resultados das amostras de água superficial apontaram reflexos negativos dos impactos ambientais quanto ao uso e ocupação do solo na microbacia e não se relacionam com as atividades do cemitério. As maiores concentrações observadas na campanha de setembro de 2016, em especial para os parâmetros microbiológicos, podem ter sido ocasionadas principalmente pela época da amostragem, que representou o fim do período de estiagem, onde o fator de diluição de poluentes foi menor que no período chuvoso, conforme evidenciado nas análises.

Nas análises físico-químicas realizadas nas amostras coletadas dos corpos hídricos na área do diagnóstico ambiental, constatou-se que a depuração de poluentes acompanhou as estações climáticas. Por isso, o pH, que pode potencializar os efeitos tóxicos de diversas substâncias químicas, manteve-se dentro dos padrões estabelecidos para potabilidade e qualidade de água. Nas análises de diaminas, apesar da detecção pontual de cadaverina e putrescina no córrego Cachoeira no fim da época de estiagem, observou-se contaminação por líquido cadavérico não relacionado à operação do cemitério, e sim dos impactos ambientais decorrentes na microbacia do córrego Saraiva, como disposição de corpos de animais mortos dentro do corpo hídrico.

Na caracterização do entorno do cemitério, de média densidade populacional e antropizada, devido à presença de indústrias, áreas de pastagens com forte presença de animais, fossas negras e lançamento de esgoto sanitário de forma inadequada, concluiu-se que a contribuição dos poluentes lançados indevidamente interfere de forma negativa na qualidade da água dos corpos hídricos da região, conforme apontado pelas baixas concentrações de oxigênio dissolvido, desacelerando o processo de autodepuração da água superficial. Também se observou o aumento de concentração de nitrogênio amoniacal em todas as amostras, evidenciando incremento de matéria orgânica pelo despejo proveniente de esgotos sanitários de origem doméstica na campanha realizada para fim do período de estiagem. Ressalta-se que a área do diagnóstico ambiental é uma região localizada na porção mais baixa de drenagem da microbacia do córrego Saraiva e de formação geológica e pedológica que, potencialmente, contribuiu de forma significativa na identificação de valores sugestivos de contaminação em corpos hídricos superficiais desta área.

Água subterrânea

O aquífero livre da área do diagnóstico ambiental é susceptível às interferências da região a montante da área delimitada de estudo, provavelmente devido à presença de fossas negras, lançamento inadequado de esgoto doméstico e potencial disposição inadequada de resíduos sólidos de origem industrial. Já na região leste, a suscetibilidade a interferências da região sudeste da área delimitada de estudo é por causa da presença de fossas negras e práticas de pastagens.

As profundidades do aquífero interceptadas nos poços de água subterrânea identificados variaram de 2,69 m a 8,87 m, e, nas sondagens realizadas, de 0,26 m a 3,27 m, apresentando-se relativamente próximas à superfície, podendo ter sofrido interferências diretas em relação ao uso e ocupação do solo nestas regiões.

Cadaverina e putrescina são parâmetros específicos para detecção de necrochorume e não foram observados nas amostras de água subterrânea coletadas em maio e setembro de 2016. Estes dados indicam que a região do entorno não é impactada pela fase de coliquação e que a não interceptação com o nível do aquífero livre, no

interior do cemitério, a textura significativa de silte, no fundo dos jazigos, e a baixa permeabilidade podem contribuir na retenção de diaminas.

As maiores concentrações observadas para dureza total, sulfato, nitrato, nitrito e nitrogênio amoniacal, no fim do período de estiagem, podem estar relacionadas ao maior tempo de contato com a formação geológica no período de estiagem, e não à operação do cemitério. Porém, não foram identificadas em concentrações superiores aos padrões permitidos para consumo humano.

As análises microbiológicas de água subterrânea indicaram contaminação relacionada possivelmente à presença de fossas negras e ao lançamento inadequado de esgoto sanitário na região. O mapa potenciométrico elaborado demonstrou as possíveis direções dos fluxos da água subterrânea, o que pode ter influenciado na qualidade de água destas áreas.

Para as análises de metais na água subterrânea, em geral, observaram-se que as concentrações foram detectadas em menor grau no fim do período de estiagem. No entanto, os índices de alumínio, ferro, manganês e outros metais analisados, inclusive da amostra-testemunha, estavam acima dos padrões permitidos para consumo humano, podendo estar relacionado à formação geológica pela presença de latossolo vermelho-amarelo, em predominância na região de estudo, e ao pH, e não à operação do cemitério.

Respostas para as hipóteses levantadas

As atividades do cemitério, no período de execução do diagnóstico, não alteraram a qualidade do solo, da água subterrânea e superficial do seu entorno, uma vez que o solo apresentou particularidades evidentes da formação geológica local e por processos geoquímicos. O nível do aquífero livre não foi interceptado em seu interior, não ocorrendo interação dos líquidos produzidos com o aquífero do entorno, e as águas superficiais são impactadas pela interferência negativa quanto ao uso e ocupação do solo na microbacia do córrego Saraiva; portanto, a hipótese foi refutada.

As características hidrogeológicas observadas não influenciam no transporte de contaminantes das áreas interiores para as adjacentes ao cemitério. A hipótese também é refutada porque as análises de solo e de diaminas demonstraram potencial capacidade de

suporte do solo. A granulometria e a permeabilidade observadas em amostra coletada no interior do cemitério indicam possibilidade de retenção de microrganismos da fase de coligação. A não interceptação do nível do aquífero livre, no interior do cemitério, a espessura de coluna de solo de, no mínimo 8,2 m, e a presença de gnaïsse no subsolo do cemitério demonstram condições ambientais favoráveis para a decomposição do necrochoume gerado pela sua operação, apesar de serem realizados sepultamentos em jazigos não impermeabilizados.

Recomendações

Recomenda-se, apenas em caráter preventivo, a realização da impermeabilização no fundo dos jazigos para retardar os efeitos de percolação do necrochorume no subsolo, com o objetivo de reforçar o controle ambiental da atividade de sepultamento do cemitério.

Conforme artigo nº 9 da Lei 6938, de 31 de agosto de 1981 que estabelece os instrumentos de gestão ambiental da Política Nacional do Meio Ambiente, dentre eles, o licenciamento ambiental, recomenda-se a regularização de todas as empresas do entorno do cemitério de forma que possibilite a garantia mínima do gerenciamento de aspectos ambientais, como geração de efluentes líquidos e resíduos sólidos;

Conforme o princípio da educação ambiental, estabelecido no artigo nº 2 da Lei 6938, de 31 de agosto de 1981 e artigo nº 225 da Constituição da República Federativa do Brasil de 1988, recomenda-se a realização de programas de educação ambiental para os residentes no entorno do cemitério, de forma a orientar a efetivação do descomissionamento de fossas negras existentes na região para cessar as fontes de contaminação microbiológica e melhorar a qualidade de água desta região.

Espera-se, com o atendimento das recomendações, o princípio da sustentabilidade seja efetivo, segundo o artigo nº 225 da Constituição da República Federativa do Brasil de 1988.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABRAHÃO R. **Impactos do lançamento de efluentes na qualidade da água do riacho Mussuré**. João Pessoa: UFPB, 2006. Disponível em: <<http://tede.biblioteca.ufpb.br/handle/tede/4589>> Acesso em: 11 dez, 2016.
- ALCÂNTARA L. A. Contaminação de recursos naturais por necrópoles. **Ciências Naturais e Tecnológicas**, S. Maria, v. 11, n. 1, p. 17-28, 2010.
- ALKMIM, F. F.; MARTINS-NETO, M. A. A bacia intracratônica do São Francisco: Arcabouço Estrutural e cenários evolutivos. In: PINTO, C. P.; MARTINS-NETO, M. A. **Bacia do São Francisco geologia e recursos naturais**. Belo Horizonte: SBG, p 9-30, 2001.
- ALMEIDA, A. M.; MACÊDO, J. A. B. 2005. Parâmetros físico-químicos de caracterização da contaminação do lençol freático por necrochorume. In: SEMINÁRIO DE GESTÃO AMBIENTAL. 1: 2005, Juiz de Fora. **Anais...** Juiz de Fora: Instituto Viana Junio, 2005. CD-ROM.
- ALMEIDA F. F. M. O Cráton do Paramirim e suas relações com o do São Francisco. In: SIMPÓSIO SOBRE O CRÁTRON DO SÃO FRANCISCO E SUAS FAIXAS MARGINAIS. Salvador. **Anais...**, Salvador, p. 1-10, 1981.
- ALMODOVAR, M. L. N. **A origem natural da poluição por cromo no Aquífero Adamantina, município de Urânia SP**. São Paulo: USP, 2000, 199 p. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/44/44133/tde-12022015-143410/es.php>> Acesso em 04 mar. 2017.
- ANDRADE, J. A; AUGUSTO F.; JARDIM, I, F. Biorremediação de solos contaminados por petróleo e seus derivados. **Eclética Química**, v. 35, nº 3, p. 17-43, 2010.
- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6484**: Solo - Sondagens de simples reconhecimento com SPT - Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2001. 17 p.
- BAIRD, C. **Química Ambiental**. 2ª ed. Porto Alegre: Bockman, 2002.
- BARBOSA, G. V.; RODRIGUES, D. M. S. O quadrilátero ferrífero e seus problemas geomorfológicos. **Boletim Mineiro de Geografia**. Belo Horizonte. Ano VI, n.10-11, p. 335, 1965.
- BARROS, Y. J.; MELO, V. F.; ZANELLO, S.; ROMANÓ, E. N. L.; LUCIANO, P. R.. Teores de metais pesados e caracterização mineralógica de solos do cemitério municipal de santa cândida, Curitiba (PR). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, nº 32, p. 1763-1773, 2008.

BARLETT, R. J.; KIMBLE, J. M. Behavior of chromium in soils: I. Trivalent forms. **Journal of Environmental Quality**. v.5, p. 379-382, 1976.

BIODIVERSITAS. **Conservação de espécies**. Disponível em: <<http://www.biodiversitas.org.br/conservacao/>> Acesso em: 12 set. 2016.

BOAVENTURA, R. S. et al. Síntese Geomorfológica da RMBH. In: SIMPÓSIO SITUAÇÃO AMBIENTAL E QUALIDADE DE VIDA NA REGIÃO METROPOLITANA DE BELO HORIZONTE – MG. Belo Horizonte. **Anais...**, Belo Horizonte, p. 59-79, 1985.

BORBA, R. P.; FIGUEIREDO, B. R.; CAVALCANTI, J. A. Arsênio na água subterrânea em Ouro Preto e Mariana, Quadrilátero Ferrífero (MG). **Revista Escola de Minas**, Ouro Preto, 57(1), p. 45-51, 2004.

BRAGANÇA, M. T. R. **Bases para a descrição de ambientes na sub-bacia do Córrego Saraiva, Betim (MG)**. Belo Horizonte: PUC MINAS, 2003. 51 p.

BRASIL. LEI FEDERAL n° 6.938, de 31 de agosto de 1981. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, 02 set, 1981.

BRASIL. Resolução CONAMA n° 335, de 3 de março de 2003. Dispõe sobre o licenciamento ambiental de cemitérios. **Diário Oficial da União**, Brasília, 28 mar, 2003.

BRASIL. Resolução CONAMA n° 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, 18 mar, 2005.

CÂMARA MUNICIPAL DE BETIM, 2007. LEI n° 4574, de 2 de outubro de 2007. Dispõe sobre a revisão do plano diretor do município de Betim. Disponível em: <http://www.camarabetim.mg.gov.br/norma_juridica.aspx?id=692> Acesso em 17 abr. 2015.

CAMPOS, A. P. S. **Avaliação do potencial de poluição no solo e nas águas subterrâneas decorrente da atividade cemiterial**. São Paulo: USP, 2007. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/6/6134/tde-25112007-172840/pt-br.php>> Acesso em: 12 nov. 2016.

CARNEIRO, V. S. Impactos causados por necrochorume de cemitérios: meio ambiente e saúde pública. In: I CONGRESSO INTERNACIONAL DE MEIO AMBIENTE SUBTERRÂNEO, 2009. São Paulo. **Anais...** São Paulo: 2009.

CARVALHO, C. F.; FERREIRA, A. L.; STAPELFELDT, F. Qualidade das águas do ribeirão Ubá- MG. **Revista Escola de Minas**, Ouro Preto, v.57, p. 165-172, 2004.

CASTRO, D. L. Caracterização Geofísica e Hidrogeológica Do Cemitério Bom Jardim, Fortaleza – CE. **Revista Brasileira de Geofísica**, v. 26, p. 251–271, 2008.

CURI, N. **Lithosequence and toposequence of Oxisols from Goiás and Minas Gerais States, Brazil**. West Lafayette, Purdue University, 1983. 158p. Disponível em: <<https://dl.sciencesocieties.org/publications/sssaj/abstracts/48/2/SS0480020341?access=0&view=pdf>> Acesso em 22 mar. 2017.

CURI, N.; FRANZMEIER, D. P. Toposequence of Oxisols from the Central Plateau of Brazil. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, 48:341- 346, 1984.

EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 2.ed. Rio de Janeiro, 2006. 306p.

EMATER. **Betim: Caracterização dos Ecossistemas**. Belo Horizonte, jan, 2006
Disponível em:
<http://www.betim.mg.gov.br/ARQUIVOS_ANEXO/relatoriobetim;0724280503;20070213.pdf> Acesso em 10 set. 2016.

ENETÉRIO, N. G. P. **Avaliação da suscetibilidade do aquífero freático à contaminação por necrochorume em Bonito, MS**. Campo Grande, MS, 2009.

FEITOSA F. A. C.; FILHO J. M. **Hidrogeologia: Conceitos e Aplicações**. 2ª edição. Fortaleza: CPRM/REFO, LABHID-UFPE, 2000. 391 p.

FERREIRA, M. M.; FERNANDES, B.; CURI, N. Influência da mineralogia da fração argila nas propriedades físicas de latossolos da região sudeste do Brasil. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, 23:515-524, 1999.

GOMES, E. C. F.; OLIVEIRA, N. N. O.; JÚNIOR, L. G.; CABRAL, F. G. S. . **Diagnóstico ambiental das nascentes do córrego Saraiva, Betim -Minas Gerais**, 2014. Disponível em: <<http://www.ibeas.org.br/congresso/Trabalhos2014/VI-072.pdf>> Acesso em: 03 set. 2016.

FUNDAÇÃO CENTRO TECNOLÓGICO DE MINAS GERAIS – CETEC. **Estudos básicos para diagnóstico ambiental do município de Betim, MG. Relatório Técnico**, 1: 1-214, 1994.

HEM, J. D. **Study and interpretation of the chemical characteristics of natural water**. 3 ed. 263 p.

HINO, T. O necrochorume e a gestão ambiental dos cemitérios. **Revista Especialize On-line IPOG – Goiânia**, n. 10, v.01, dez, 2015. Disponível em:
<<http://www.ipog.edu.br/download-arquivo-site.sp?arquivo=tochime-miguel-hino...pdf>> Acesso em 10 set. 2016.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. Disponível em:<<http://www.cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?lang=&codmun=310670&search=minas-gerais|betim>> Acesso em: 24 fev. 2017.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA - INMET. Disponível em:<<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=tempo2/mapasPrecipitacao>> Acesso em: 12 set. 2016 e 10 nov. 2016.

JÚNIOR, L. G.; NOGUEIRA, N.; ALBUQUERQUE, S.; CARMO, L.; ROCHA, J.; AVELAR, C. **Diagnóstico Socioambiental da Microbacia Hidrográfica do Córrego Saraiva**. Betim, 2014. Disponível em: <<http://www.aguasdosaraiva.org.br/wp-content/uploads/2015/08/Diagn%C3%B3stico-Socioambiental-da-Microbacia-Hidrogr%C3%A1fica-do-C%C3%B3rrego-Saraiva1.pdf>> Acesso em 01 set. 2016.

KABATA P. A.; PENDIAS, H. **Trace elements in soils and plants**. 4 ed. Boca Raton: CRC Press, 2001. 413 p.

LOPES J. L. **Cemitério e seus impactos ambientais**. Estudo de caso: cemitério municipal do Distrito de Catuçaba/SP. São Paulo: Centro Universitário Senac. [2000].

KEMERICH, P. D. C.; BORBA, W. F.; SILVA, R. F.; BARROS, G.; GERHARDT, A. E.; FLORES, C. E. B. Valores anômalos de metais pesados em solo de cemitério. **Revista Ambiente & Água**, Taubaté, v. 7, n. 1, p. 140-156, 2012.

MACEDO, J. A. B. **Águas e águas**. São Paulo: Varela, 2001, 505 p.

MACHADO, P. J. O. Qualidade das águas urbanas em Juiz de Fora. **Revista de Geografia – PPGEO**, v.1, n.1, p.1-7, 2011.

MARTINS, M. T; PELLIZARE, V. H.; PACHECO, A.; MYAKI, D. M.; ADAMS, C.; BOSSOLAN, N. R. S.; MENDES, J. M. B.; HASSUDA, S. Qualidade bacteriológica de águas subterrâneas em cemitérios. **Revista de Saúde Pública**, v. 25, n. 1, p. 47–52, 1991.

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**. São Paulo: USP, 2001. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/44/44133/tde-19122001-082301/pt-br.php>> Acesso em: 13 fev. 2016.

MIGLIORINI, R. B. **Cemitérios como fonte de poluição em aquíferos. Estudo do Cemitério de Vila Formosa na bacia sedimentar de São Paulo**. São Paulo: USP, 1994. Disponível em:<<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/44/44133/tde-02042014-110435/pt-br.php>> Acesso em: 17 abr. 2016.

MIGLIORINI, R. B. Qualidade das águas subterrâneas em áreas de cemitérios. Região de Cuiabá – MT. **Revista Águas Subterrâneas**, v. 20, n.1, p.15-28, 2006.

MINAS GERAIS. Deliberação Normativa COPAM nº 74, de 09 de setembro de 2004. Estabelece critérios para classificação, segundo o porte e potencial poluidor, de empreendimentos e atividades modificadoras do meio ambiente passíveis de autorização ou de licenciamento ambiental no nível estadual, determina normas para indenização dos custos de análise de pedidos de autorização e de licenciamento ambiental, e dá outras providências. **Diário do Executivo**, Belo Horizonte, 2 out, 2004.

MORAES I. P. S.; NETO, C. B.; GLADEK, A. Redução/remoção de cromo hexavalente na água de captações subterrâneas. In: XVII CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS E XVIII ENCONTRO NACIONAL DE PERFURADORES DE POÇOS. São Paulo, **Anais...** São Paulo, 2012. Disponível em: <<https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/27610/17867>> Acesso em 04 mar. 2017.

NAGALLI, A.; NEMES, P. Estudo da qualidade de água de corpo receptor de efluentes líquidos industriais e domésticos. **Revista Acadêmica de Ciências Agrárias e Ambientais**, Curitiba, v. 7, n. 2, p. 131-144, 2009.

NALCO CHEMICAL COMPANY (AE). **The nalco water handbook**. 2. ed. New York: McGraw-Hill, 300 p, 2004.

NEIRA, D. F; TERRA, V. R.; PRATTE-SANTOS, R.; BARBIÉRI, R. S. Impactos do necrochorume nas águas subterrâneas do cemitério de Santa Inês, Espírito Santo, Brasil. **Revista Natureza Online**, 6(I): 36-41, 2008. Disponível em: <http://www.naturezaonline.com.br/natureza/coconteu/pdf/07_NeiraDFetal_3641.pdf> Acesso em 17 abr. 2015.

NETTO, I. P. **Qualidade física e química de um latossolo vermelho-amarelo sob pastagens com diferentes períodos de uso**. Brasília: FAV/UNB, 2008. Disponível em: <http://repositorio.unb.br/bitstream/10482/1737/1/Dissert_IaraTerezinhaPignataroNetto.pdf> Acesso em 04 dez. 2016.

OLIVEIRA T. S.; COSTA, L. M. Metais pesados em solos de uma topolitosseqüência do triângulo mineiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 28:785-796, 2004.

PACHECO, A. Os cemitérios como risco potencial para as águas de abastecimento. **Revista Sistema de Planejamento para a Administração Metropolitana**. São Paulo, v. 4, n. 17, p. 25-31, 1986.

PACHECO, A.; MENDES, J. M. B.; HASSUDA, S. O Problema Geo-Ambiental da Localização de Cemitérios em Meio Urbano. In: V CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS. São Paulo. **Anais...** São Paulo, p.207-215. 1988. Disponível em: <<https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/22667/14870>> Acesso em 12 nov. 2016.

PACHECO, A.; BATELLO, E. A influência dos fatores ambientais nos fenômenos transformativos em cemitérios. **Rev. Engenharia & Arquitetura**. 2:32-39, 2000.

PACHECO, A.; SILVA, F. C. S.; SUGUIO, K. Avaliação ambiental preliminar do cemitério de Itaquera, segundo a resolução CONAMA 335/2003, município de São Paulo. **Revista UnG - Geociências**, São Paulo, v. 7, n. 1, p. 31-47, 2008.

PARENTE, R. C. Ocorrência de arsênio em águas subterrâneas nos municípios de Aquiraz e Pindoretama no estado do Ceará. In: XVIII CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, São Paulo. **Anais...** São Paulo, 2014. Disponível em: <<https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/issue/view/1303>> Acesso em 02 mar. 2017.

PEREIRA, T. T. C.; KER, J. C.; SCHAEFER, E. G. R.; BARROS, N. F.; NEVES, J. C. L.; ALMEIDA, C. C. Gênese de latossolos e cambissolos desenvolvidos de rochas pelíticas do Grupo Bambuí – Minas Gerais. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, 34:1283-1295, 2010.

QUEIROZ, M. M. F.; IOST, C.; GOMES, S. D.; VILAS BOAS, M. A. Influência do uso do solo na qualidade da água de uma microbacia hidrográfica rural. **Revista Verde**. v.5, n.4, p. 200-210, 2010.

REGATTIERI, S. M. Cobalto em Águas Subterrâneas: poluição, anomalia geoquímica, erro analítico ou padrão ambiental restritivo? In: II CONGRESSO INTERNACIONAL DE MEIO AMBIENTE SUBTERRÂNEO. São Paulo. **Anais...** São Paulo, 2011. Disponível em: <<https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/viewFile/28166/18290>> Acesso em 04 mar. 2017.

SABA, E. D. **Avaliação da qualidade das águas subterrâneas dos cemitérios de Brasília e seu entorno**. Goiânia: UFG, 2011. Disponível em: <<http://repositorio.bc.ufg.br/tede/bitstream/tde/1104/1/Dissertacao%20Elias%20D%20aba.pdf>> Acesso em 17 abr. 2015.

SARDINHA, D. S.; CONCEIÇÃO, F. T.; SILVEIRA, A.; JULIO, M.; GONÇALVES, J. C. S. I. Avaliação da qualidade da água e autodepuração do ribeirão do meio, Leme (SP). **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v.13, p.329-338, 2008.

SILVA, L. M. Os cemitérios na problemática ambiental. In: I SEMINÁRIO NACIONAL “CEMITÉRIOS E MEIO AMBIENTE”. São Paulo. **Anais...** São Paulo: SINCESP & ACEMBRA; 1995.

SILVA, L. M. Cemitérios: fonte potencial de contaminação dos aquíferos livres. In: CONGRESSO LATINO AMERICANO DE HIDROLOGIA SUBTERRÂNEA, 4., 1998, Montevideo. **Anais...** Montevideo: ALHSUD. v. 2, p. 667-681. 1998. Disponível em: <<https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/download/27635/17892>> Acesso em: 12 set. 2016

SILVA L. M. A influência dos cemitérios no meio ambiente. In: I FÓRUM SINCEPAR “CEMITÉRIOS – IMPACTO AMBIENTAL”. Curitiba. **Anais...** Curitiba, 1999.

SILVA, R. W; FILHO, W. M. Cemitérios como áreas potencialmente contaminadas. **Revista Brasileira de Ciências Ambientais**, nº 9, 2008.

SILVA R. C. A.; ARAÚJO T. M. Qualidade da água do manancial subterrâneo em áreas urbanas de Feira de Santana, Bahia, **Saúde Coletiva**, 8: 1019-1028, 2003.

SPARKS, D. L. **Environmental soil chemistry**. San Diego: Academic Press, 1995. 267 p.

SPERLING, M. V. **Introdução à qualidade de águas e ao tratamento de esgotos**. 4 ed. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2014, 472 p.

SPONGBERG A.L., BECKS P.M. **Inorganic soil contamination from cemetery leachate**. **Water Air Soil Pollut.** 2000;117:313–327.

SUPERINTENDÊNCIA REGIONAL DE REGULARIZAÇÃO AMBIENTAL CENTRAL METROPOLITANA – SUPRAM. Processo administrativo nº 00227/1995/005/2012. Parecer único nº 448/2012. Disponível em: <http://www.meioambiente.mg.gov.br/images/stories/URCS_SupramCentral/RioParaopeba/61/11.3-icl-pu.pdf> Acesso em 12 nov. 2016.

TERZAGHI, K.; PECK, R. B. **Soil mechanics in engineering practice**. 3 ed. New York: John Wiley & Sons, 1967.

THEBALDI M. S.; SANDRI, D.; FELISBERTO, A. B.; ROCHA, M. S.; NETO, S. A. Qualidade da água de um córrego sob influência de efluente tratado de abate bovino. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.15, n.3, p.302–309, 2011.

ÜÇISIK A.S., RUSHBROOK P. **The impact of cemeteries on the environment and public health: an introductory briefing**. Denmark: World Health Organization - Who; 1998.

VASCONCELOS, F. M. **Avaliação da qualidade de água – Base tecnológica para gestão ambiental**. 1 ed. Editora SMEA. Belo Horizonte, MG, 2009.

VENDRAME, P. R. S.; EBERHARDT, D. N.; BRITO, O. R.; MARCHÃO, R. L.; QUANTIN, C.; BECQUER, T. Formas de ferro e alumínio e suas relações com textura, mineralogia e carbono orgânico em Latossolos do Cerrado. **Revista Ciências Agrárias**, Londrina, v. 32, suplemento 1, p. 1657-1666, 2011

VIDALI, M. Bioremediation. An overview. **Pure Appl. Chem.** 73:1163-1172, 2001.

YIN, R. K. **Estudo de caso – planejamento e métodos**. (2ed.). Porto Alegre: Bookman, 2001.

ZANELLO S.; MELO, V. F.; WOWK, G. I. T. H. Mineralogia e teores de cromo, níquel, cobre, zinco e chumbo nos solos no entorno do aterro sanitário da Caximba em Curitiba-PR. **Scientia Agraria**, Curitiba, v.10, n.1, p.051-060, Jan./Feb. 2009.