



MILLENA MIRELLA VIEIRA TAVEIRA

**IMPACTOS DE ATERROS SANITÁRIOS DE
TRÊS MUNICÍPIOS DE MINAS GERAIS NA
QUALIDADE DA ÁGUA**

LAVRAS - MG

2012

MILLENA MIRELLA VIEIRA TAVEIRA

**IMPACTOS DE ATERROS SANITÁRIOS DE TRÊS MUNICÍPIOS DE
MINAS GERAIS NA QUALIDADE DA ÁGUA**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos em Sistemas Agrícolas, para a obtenção do título de Mestre.

Orientador

Dr. Antônio Marciano da Silva

LAVRAS - MG

2012

**Ficha Catalográfica Preparada pela Divisão de Processos Técnicos da
Biblioteca da UFLA**

Taveira, Millena Mirella Vieira.

Impactos de aterros sanitários de três municípios de Minas Gerais na qualidade da água / Millena Mirella Vieira Taveira. – Lavras : UFLA, 2012.

111 p. : il.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Lavras, 2012.

Orientador: Antônio Marciano da Silva.

Bibliografia.

1. Chorume. 2. Águas subterrâneas e superficiais. 3. Poluição. 4. Contaminação. 5. Resíduos sólidos. I. Universidade Federal de Lavras. II. Título.

CDD – 363.728

MILLENA MIRELLA VIEIRA TAVEIRA

**IMPACTOS DE ATERROS SANITÁRIOS DE TRÊS MUNICÍPIOS DE
MINAS GERAIS NA QUALIDADE DA ÁGUA**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos em Sistemas Agrícolas, para a obtenção do título de Mestre.

APROVADA em 15 de fevereiro de 2012.

Dr. Luciano dos Santos Rodrigues UFMG

Dr. Fátima Resende Luiz Fia UFLA

Dr. Antônio Marciano da Silva
Orientador

LAVRAS - MG

2012

Aos meus pais, Antonio e Alzira e aos meus irmãos, Víctor e Larissa, pelo amor,
força e incentivo que recebi em todas as decisões e momentos, principalmente
nos difíceis.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, por me proporcionar a superação dos obstáculos.

À Universidade Federal de Lavras e ao programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos em Sistemas Agrícolas, pela formação e estrutura oferecida ao desenvolvimento deste trabalho.

Ao Professor Antônio Marciano, pessoa com a qual aprendi grandes ensinamentos que levarei por toda a vida, meus sinceros agradecimentos, não apenas pela orientação, mas principalmente pela paciência, confiança e amizade ao longo destes anos.

Ao professor Luciano Rodrigues, pela amizade, colaboração e auxílio dado durante todo o tempo.

À professora Fátima, pela ajuda prestada na realização deste trabalho.

Aos laboratoristas e ao Laboratório de Análises de Água do Departamento de Engenharia da UFLA, pelas análises e aprendizado.

Aos colegas e amigos Geovane, Vinícius, Leandro, Léo, Rafael, Sérgio, Waina, pelo apoio e convívio.

Aos colegas de turma, funcionários e professores, pela convivência e amizade ao longo do curso.

Aos amigos Maurício, Rosângela, Camila, Silvio e Marseile, pela amizade e ajuda de quem sempre obtive apoio.

À FEAM, pelo apoio financeiro ao projeto e pela bolsa de mestrado concedida, em especial, ao Francisco e Ivan.

À Prefeitura Municipal de Três Corações, por permitir a realização dos estudos na área do aterro sanitário.

Aos meus pais e irmãos, Antonio, Alzira, Víctor e Larissa e vovó Preta, pelo apoio recebido mesmo a distância.

À Thauan, pela motivação e carinho durante toda a jornada.

A todos que de alguma maneira contribuíram para a realização deste trabalho.

MUITO OBRIGADA!

RESUMO

A presente pesquisa teve como principal objetivo avaliar o impacto sobre a qualidade da água subterrânea e superficial nas proximidades dos aterros sanitários localizados nos municípios de Três Corações, Uberlândia e Betim, no estado de Minas Gerais, por meio de análises físicas, químicas e bacteriológicas. Os resultados foram comparados com valores de referência preconizados pela portaria nº2914/2011 do Ministério da Saúde, a Resolução CONAMA nº396/2008 e nº420/2009 para as águas subterrâneas e a Deliberação Normativa COPAM/CERH nº01/2008 para enquadramento da água superficial como classe 1. O impacto do aterro de Três Corações na qualidade da água foi monitorado de janeiro a novembro de 2011 por meio de coleta de água subterrânea em quatro poços e água superficial em três pontos e, além disso, foi feita uma caracterização detalhada da área com análise do solo. Os demais aterros foram avaliados por meio de dados de água subterrânea concedidos pela FEAM. Os resultados mostraram fortes indícios de contaminação pelo chorume devido às alterações de algumas características nos aterros de Três Corações e Betim, não sendo possível afirmar que este fato esteja sendo ocasionado apenas devido ao aterro, uma vez que os poços a montante também apresentaram alterações. Já o aterro do município de Uberlândia apresentou-se com características adequadas. Constatou-se a necessidade de ações mitigadoras nas áreas impactadas e a continuidade do monitoramento.

Palavras-chave: Águas subterrâneas e superficiais. Aterros sanitários. Chorume.

ABSTRACT

This study aimed to assess the impact on the quality of groundwater and surface water near the landfills located in the towns of Três Corações, Betim and Uberlândia, in the state of Minas Gerais, by means analysis of physical, chemical and bacteriological. The results were compared with reference values recommended by the decree n ° 2914/2011 of the Ministry of Health, CONAMA Resolution n°396/2008 and n°420/2009 to groundwater and Normative Deliberation COPAM / CERH n° 01/2008 for framework of surface water as a class 1. The impact of the landfill of Três Corações in the water was monitored from January to November of 2011 through collection in four groundwater wells and three points of surface water, moreover, it was made a detailed characterization of the area with soil analysis. The remaining landfills were evaluated using data of groundwater provided by FEAM. The results showed strong evidence of contamination by manure due to changes of some characteristics in landfills of Três Corações and Betim, it was not possible to say that this fact is being caused only due to the landfill because the upstream wells also showed changes. The landfill of the city of Uberlândia presented with appropriate characteristics. It was noted the need for mitigating actions in the areas impacted and the continued of monitoring.

Keywords: Groundwater and surface water. Landfills. Manure.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Coleta de amostras indeformadas de solo	44
Figura 2	Localização dos poços de monitoramento do aterro sanitário.....	46
Figura 3	Coleta da amostra de água subterrânea com amostrador.....	47
Figura 4	Armazenamento de uma amostra em coletor universal esterilizado	48
Figura 5	Análise da turbidez por meio de um turbidímetro portátil	49
Figura 6	Medição do nível de água no poço de monitoramento	49
Figura 7	Coleta de água superficial e medição da temperatura	51
Figura 8	Poço de monitoramento 3.....	65

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1	Série histórica de precipitação para o município de Três Corações do período estudo	52
Gráfico 2	Variação do nível de água nos quatro poços ao longo do período de monitoramento	55
Gráfico 3	Variação da temperatura da água subterrânea ao longo do período de monitoramento	63
Gráfico 4	Valores de DBO_5 (mg L^{-1}) nas amostras dos poços analisados.....	64
Gráfico 5	Concentração de OD (mg L^{-1}) nos poços de monitoramento	66
Gráfico 6	Variação do NMP/100 ml de coliformes totais nos poços de monitoramento	67
Gráfico 7	Concentração de cloreto (mg L^{-1}) nos poços de monitoramento....	68
Gráfico 8	Valores de condutividade ($\mu\text{s cm}^{-1}$) nos poços de monitoramento	69
Gráfico 9	Valores de dureza (mg L^{-1}) nos poços de monitoramento.....	70
Gráfico 10	Valores de alcalinidade (mg L^{-1}) nos poços de monitoramento	70
Gráfico 11	Variação da concentração de nitrogênio amoniacal (mg L^{-1}).....	71
Gráfico 12	Concentração fósforo total (mg L^{-1}) nos poços de monitoramento	72
Gráfico 13	Valores de pH nos pontos de amostragem de água superficial	82
Gráfico 14	Concentração de OD (mg L^{-1}) nos pontos de amostragem de água superficial	83
Gráfico 15	Valores de DBO_5 (mg L^{-1}) nas amostras dos pontos analisados.....	83
Gráfico 16	Valores de alcalinidade (mg L^{-1}) nos pontos de amostragem de água superficial	84
Gráfico 17	Concentração de cloreto (mg L^{-1}) nos pontos de amostragem de água superficial	85

Gráfico 18	Valores de turbidez (UNT) nos pontos de amostragem de água superficial	86
Gráfico 19	Concentração de dureza (mg L^{-1}) nos pontos de amostragem de água superficial	87
Gráfico 20	Concentração de nitrato (mg L^{-1}) nos pontos de amostragem de água superficial	88
Gráfico 21	Concentração de nitrogênio amoniacal (mg L^{-1}) nos pontos de amostragem de água superficial	89
Gráfico 22	Concentração de fósforo total (mg L^{-1}) nos pontos de amostragem de água superficial	89

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Principais fontes de elementos químicos de resíduos municipais	24
Tabela 2	Faixas de variação de alguns parâmetros para chorumes em aterros brasileiros	25
Tabela 3	Valores referenciais de algumas substâncias químicas para solos e águas subterrâneas	36
Tabela 4	Padrões de qualidade de água para enquadramento como classe 1 ..	37
Tabela 5	Padrão de potabilidade para substâncias químicas que representam risco à saúde.....	38
Tabela 6	Padrão de aceitação para consumo humano	38
Tabela 7	Composição gravimétrica dos RS	43
Tabela 8	Descrição e localização dos poços de monitoramento	47
Tabela 9	Descrição e localização dos pontos de monitoramento	51
Tabela 10	Valores médios da concentração de metais pesados encontrados no solo nas camadas de 0-20 cm e de 20-40 cm de profundidade....	56
Tabela 11	Tratamento estatístico através da distribuição “t” de Student para análises do solo.....	57
Tabela 12	Análise descritiva da densidade do solo (Ds) e densidade de partículas (Dp).....	58
Tabela 13	Análise granulométrica do solo analisado (dag Kg ⁻¹)	58
Tabela 14	Estatística descritiva das amostras de água subterrânea.....	59
Tabela 15	Resultados do Teste estatístico “t” para a água subterrânea.....	62
Tabela 16	Resultados das análises química de metais pesados e substâncias inorgânicas do poço de monitoramento 1.....	73
Tabela 17	Resultados das análises química de metais pesados e substâncias inorgânicas do poço de monitoramento 2.....	74

Tabela 18 Resultados das análises química de metais pesados e substâncias inorgânicas do poço de monitoramento 3.....	75
Tabela 19 Resultados das análises química de metais pesados e substâncias inorgânicas do poço de monitoramento 4.....	76
Tabela 20 Estatística descritiva das amostras de água superficial	78
Tabela 21 Resultado do Teste estatístico “t” para a água superficial.....	81
Tabela 22 Resultado das análises químicas de metais pesados e substâncias inorgânicas no ponto 1	90
Tabela 23 Resultado das análises químicas de metais pesados e substâncias inorgânicas no ponto 2	91
Tabela 24 Resultado das análises químicas de metais pesados e substâncias inorgânicas no ponto 3	92
Tabela 25 Caracterização da água subterrânea a montante da área do aterro sanitário de Uberlândia.....	94
Tabela 26 Caracterização da água subterrânea a jusante da área do aterro sanitário de Uberlândia.....	95
Tabela 27 Caracterização da água subterrânea sob influência do aterro sanitário de Betim.....	97

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
2	REFERENCIAL TEÓRICO	16
2.1	Resíduos Sólidos Urbanos	16
2.1.1	Geração dos Resíduos Sólidos	17
2.1.2	Aterros Sanitários	20
2.2	Líquido Lixiviado	22
2.2.1	Caracterização do líquido lixiviado	23
2.3	Águas Subterrâneas e Superficiais	26
2.3.1	Uso sustentável dos recursos hídricos	33
2.3.2	Monitoramento	34
2.3.3	Valores e indicadores de qualidade	35
2.4	Aspectos legais	38
2.4.1	Órgãos gestores atuantes	39
3	MATERIAL E MÉTODOS	41
3.1	Aterro sanitário de Três Corações	41
3.1.1	Caracterização da área: Hidrografia, Vegetação, Clima e Geologia	41
3.1.2	Histórico da área de estudo	42
3.1.3	Caracterização do solo	43
3.1.4	Caracterização das águas subterrâneas	46
3.1.5	Água superficial	50
3.2	Aterros Sanitários de Betim e Uberlândia	52
3.3	Tratamento dos Dados	53
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	55
4.1	Aterro sanitário de Três Corações	55
4.1.1	Análise descritiva das águas subterrâneas	58
4.1.2	Análise química de metais pesados e substâncias inorgânicas na água subterrânea	72
4.1.3	Análise descritiva das águas superficiais	78
4.1.4	Análise química de metais e substâncias inorgânicas da água superficial	90
4.2	Aterro sanitário de Uberlândia	93
4.3	Aterro sanitário de Betim	97
5	CONCLUSÃO	99
	REFERÊNCIAS	101
	ANEXOS	110

1 INTRODUÇÃO

A produção de resíduos sólidos (RS) tem aumentado de forma considerável principalmente devido ao aumento populacional, crescimento industrial e incremento na produção de bens e serviços, acompanhados da mudança de hábitos de consumo da população. A geração dos resíduos é inesgotável, uma vez que toda e qualquer atividade humana, seja social, econômica ou cultural produz rejeitos que precisam ser coletados, transportados, tratados, adequadamente dispostos e reaproveitados (MACÊDO, 2006).

Na maioria das vezes o solo tem sido utilizado como forma de disposição final desses RS. Entretanto, o uso e a ocupação do solo para a disposição final desses resíduos na maioria das cidades brasileiras ainda não são feitos de forma adequada, o que compromete a qualidade ambiental. Segundo a Pesquisa Nacional de Saneamento Básico (PNSB) apesar de o quadro estar mudando nos últimos anos, principalmente nas regiões Sul e Sudeste do país, em 50,8% dos municípios brasileiros a destinação final dos resíduos ainda é sob a forma de vazadouros a céu aberto, ou seja, os lixões (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE, 2008).

A disposição inadequada dos RS compromete a qualidade da água subterrânea e superficial, podendo ser fonte de contaminação devido à substância produzida pela deterioração do material disposto no solo, o chorume. Este líquido apresenta uma alta carga poluidora podendo conter muitos contaminantes inorgânicos e orgânicos.

As águas subterrâneas apresentam algumas propriedades que tornam o seu uso mais vantajoso em relação às águas superficiais, como excelente qualidade, o que na maioria das vezes dispensa tratamentos prévios. O uso dessas águas vem crescendo gradativamente, incluindo-se aí o abastecimento de várias cidades brasileiras.

As águas subterrâneas são menos vulneráveis à contaminação do que as águas superficiais. Mas, uma vez afetadas demandam elevado dispêndio para a sua remediação, o que de modo geral só é alcançado ao final de um longo período e muitas vezes sem a certeza da eficácia dos procedimentos adotados.

Em face disso percebe-se a importância do monitoramento da qualidade dessas águas, não somente como uma forma de preservação ambiental, mas também como um monitoramento preventivo para se ter o controle, fazer um diagnóstico e prognóstico do risco de contaminação.

Neste contexto, objetivou-se monitorar e avaliar a qualidade da água subterrânea e superficial em uma área sob influência direta de aterro sanitário, por associação com as substâncias encontradas nesta área, que possam indicar possível contaminação pelo chorume. Além disso, avaliou-se de forma geral a água subterrânea sob influência dos aterros sanitários dos municípios de Betim e Uberlândia, no estado de Minas Gerais.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Resíduos Sólidos Urbanos

O lixo pode ser definido como todo e qualquer resíduo que resulte das atividades diárias do homem e sociedade (LIMA, 2004). Tendo composição bem variada, o lixo pode conter agentes biológicos patogênicos ou resíduos químicos tóxicos, os quais podem alcançar o homem, por via direta ou indireta, prejudicando-lhe a saúde (CALIJURI et al., 2007).

Diversos países em acelerado processo de desenvolvimento, como o Brasil, apresentam grandes problemas em relação à disposição inadequada de RS, sendo este um dos graves problemas da atualidade. São diversos e incalculáveis os efeitos negativos do lançamento dos rejeitos na natureza, o que contribui significativamente com o aumento dos danos ao meio ambiente, a saúde e o bem-estar da população.

A possibilidade de contaminação ambiental, associada à necessidade de grandes áreas para a disposição e tratamento, tornou a solução para o problema do lixo urbano um dos mais sérios desafios para as administrações públicas municipais (SOUSA; ROESER; MATOS, 2002).

O aumento da quantidade de resíduos (e de produtos) reflete a velocidade com que se tiram recursos da natureza sem repor, consumindo parte deles e transformando a outra parte em sobras com características prejudiciais, superando a capacidade de absorção e reposição da natureza (STRAUCH; ALBUQUERQUE, 2008). Com este aumento, a gestão de resíduos tem ganhado espaço devido à preocupação ambiental de diferentes agente públicos, a fim estabelecer diretrizes para minimizar os efeitos negativos que estes resíduos possam causar no meio ambiente.

O principal objetivo com as medidas de política ambiental é influenciar o comportamento dos diferentes atores sociais (cidadãos, instituições, empresas) de forma a tornar esse comportamento mais sustentável (STRAUCH; ALBUQUERQUE, 2008).

Uma forte preocupação com a preservação da qualidade dos recursos hídricos tem dirigido a atenção dos órgãos públicos e instituições de pesquisa para as áreas de disposição de lixo urbano (CAVALCANTI; LIMA; SATO, 1999). O que tem se mostrado crescente o interesse em estudar os RS.

2.1.1 Geração dos Resíduos Sólidos

Conforme a Lei nº 12.305, de 2 de Agosto de 2010 (BRASIL, 2010), os RS são definidos como:

Material, substância, objeto ou bem descartado resultante de atividades humanas em sociedade, a cuja destinação final se procede, se propõe proceder ou se está obrigado a proceder, nos estados sólido ou semissólido, bem como gases contidos em recipientes e líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou em corpos d'água, ou exijam para isso soluções técnica ou economicamente inviáveis em face da melhor tecnologia disponível.

Os RS podem ser classificados de diversas maneiras, tais como:

- a) Quanto à natureza ou origem (RIO DE JANEIRO, 2001);
 - Resíduo doméstico ou residencial: São os resíduos gerados nas atividades diárias em casas, apartamentos, condomínios e demais edificações residenciais;

- Resíduo comercial: São os resíduos gerados em estabelecimentos comerciais, cujas características dependem da atividade ali desenvolvida;
 - Resíduo público: São os resíduos presentes nos logradouros públicos, em geral resultantes da natureza, tais como folhas, galhadas, poeira, terra e areia, e também aqueles descartados de forma irregular e indevidamente pela população, como entulho, bens considerados inservíveis, papéis, restos de embalagens e alimentos. Nas atividades de limpeza urbana. Os resíduos domiciliares junto com o resíduo público representam a maior parcela dos resíduos sólidos produzidos nas cidades;
 - Resíduo domiciliar especial: Grupo que compreende os entulhos de obras, pilhas e baterias, lâmpadas fluorescentes e pneus;
 - Resíduo de fontes especiais: São resíduos que, em função de suas características peculiares, passam a merecer cuidados especiais em seu manuseio, acondicionamento, estocagem, transporte ou disposição final. Dentro da classe de resíduos de fontes especiais, merecem destaque: resíduo industrial, resíduo radioativo, resíduo de portos, aeroportos e terminais rodoviários e ferroviários, resíduos agrícolas e resíduos de serviços de saúde.
- b) Quanto aos riscos ambientais do meio ambiente (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT, 2004);
- Classe I ou perigosos: Aqueles que apresentam periculosidade ou em função de suas características de inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade ou patogenicidade, apresentam riscos à saúde pública, provocando mortalidade, incidência de doenças ou acentuando seus índices ou ainda riscos ao meio ambiente, quando o resíduo for gerenciado de forma inadequada,

- Classe II-A ou não-inertes: Aqueles resíduos que podem apresentar características de biodegradabilidade, combustibilidade ou solubilidade em água, com possibilidade de acarretar riscos à saúde ou ao meio ambiente, não se enquadrando nas classificações de resíduos Classe I-perigosos ou II-B- inertes,
- Classe II-B ou inertes: Quaisquer resíduos que, quando amostrados de uma forma representativa, segundo a ABNT NBR 10.007, e submetidos a um contato dinâmico ou estático com água destilada ou deionizada, à temperatura ambiente, conforme ABNT NBR 10.006, não tiverem nenhum de seus constituintes solubilizados a concentrações superiores aos padrões de potabilidade da água.

A composição dos Resíduos Sólidos é bastante variada e normalmente os vários resíduos gerados estão sob responsabilidade do poder municipal. Nesta classe estão incluídos os resíduos de origem domiciliar ou aqueles com características similares como os comerciais e os resíduos da limpeza pública, como resíduos de varrição, de poda e capina e de feiras livres.

A quantidade de resíduos produzida por uma população é bastante variável e depende de uma série de fatores, como renda, época do ano, modo de vida, movimento da população nos períodos de férias e fins de semana e novos métodos de acondicionamento de mercadorias, com a tendência mais recente de utilização de embalagens não retornáveis (CUNHA; CAIXETA FILHO, 2002).

A composição gravimétrica dos RS é um dado essencial. Expressa a presença de cada componente, dada em porcentagem, em relação ao peso total do lixo. É obtida através da análise de seus componentes mais comuns, tais como: vidro, plástico, metais, papel, matéria orgânica e outros (SANTOS, 2004). De acordo com Padilla (2007), a escolha dos componentes da

composição gravimétrica é função direta do tipo de estudo que se pretende realizar e deve ser cuidadosamente feita para não acarretar distorções.

A degradação dos RS é um processo longo, função da velocidade de degradação dos diferentes substratos e sequencial, em razão dos metabolismos distintos que se sucedem ou se superpõem (CASTILHOS JÚNIOR et al., 2003). A velocidade de degradação depende da natureza do componente, que pode ser classificado em duas categorias básicas, a rapidamente biodegradável como restos de alimentos, papel e papelão, e lentamente biodegradável (CATAPRETA, 2007).

Os processos de degradação ou decomposição dos RS são, em essência, processos de nutrição e respiração (aeróbia, em presença de oxigênio livre e anaeróbia, na ausência deste) dos microrganismos (COELHO et al., 2005).

2.1.2 Aterros Sanitários

Em se tratando das alternativas de disposição final do lixo, quando manejados adequadamente o aterro sanitário é uma das técnicas que causam menos impactos ambientais sem causar danos ou riscos à saúde pública. Um dos impactos mais nocivos de um aterro que não seja controlado é a geração de lixiviados e sua migração subterrânea, bem como aos recursos hídricos superficiais (YOUSUF; RAHMAN, 2009).

De acordo com a norma da NBR 8419 (ABNT, 1992, p. 01), o aterro sanitário é considerado como:

Técnica de disposição de resíduos sólidos urbanos no solo sem causar danos à saúde pública e à sua segurança, minimizando os impactos ambientais, método este que utiliza princípios de engenharia para confinar os resíduos sólidos à menor área possível e reduzi-los ao menor volume permissível, cobrindo-os com uma camada de terra na conclusão de cada jornada de trabalho, ou a intervalos menores, se for necessário.

Esta técnica de disposição de RS se caracteriza por um processo planejado através do emprego de normas específicas de engenharia, devendo ser localizado em área devidamente projetada e adequada para receber os resíduos de acordo com a Legislação Ambiental vigente do estado.

Neste processo de disposição ocorre a decomposição do material originalmente disposto devido à ação da microbiota nativa tanto por processo aeróbio, que ocorre nas regiões mais superficiais das células de confinamento, quanto em anaeróbio, estabelecida nas regiões mais profundas (OLIVEIRA; JUCÁ, 2004).

Os aterros sanitários são projetados para reduzir ao máximo os impactos que os resíduos possam causar, como a captação e o tratamento do lixiviado, a impermeabilização do solo, construção de sistemas de canais de drenagem superficiais, coleta e tratamento dos gases produzidos pela decomposição do chorume, sistema de monitoramento e além do recobrimento diário dos resíduos.

Além do chorume, o escoamento das águas das chuvas e a erosão são outros problemas que podem ocorrer em aterros sanitários mal manejados. Tendo em vista a própria natureza desta atividade, que promove a retirada da cobertura vegetal e o frequente revolvimento da cobertura pedológica, torna desprotegido o solo e o dispõe facilmente ao transporte sobre a topografia, se o sistema de cobertura do aterro não for adequado e o sistema de drenagem superficial das águas da chuva não for eficiente (LIMA et al., 2004).

De acordo com Magalhães (2005), a interação dos elementos que compõem o projeto de aterro sanitário é dependente de características locais específicas, como a precipitação que é o fator climático que mais afeta a cobertura final, pois está relacionado principalmente à infiltração de água e, conseqüentemente, na perda de material que foi utilizado para a própria cobertura. E além do clima, podem-se citar os tipos de resíduos, tipo de solo e a hidrogeologia do local onde o aterro está instalado.

O número crescente de aterros de disposição de RS, atualmente desativados, em desativação ou em processo de remediação aumenta a preocupação quanto ao uso futuro destas áreas e sua recuperação para benefício da população, a qual deve ser compensada pelos prejuízos sofridos durante o período de operação do aterro, com a melhoria de seu conforto ambiental (MAGALHÃES et al., 2005).

Em termos gerais, a grande maioria dos aterros possui sistemas falhos de manejo do lixo e quase nenhum tem sistema de drenagem de líquidos percolados (COELHO et al., 2002). Deveria ser depositado no aterro somente o rejeito, ou seja, os materiais que não podem ser reaproveitados ou reciclados, pois assim a vida útil do aterro seria prolongada, os recursos naturais seriam poupados e o consumo de energia muito reduzido, e, isto se viabilizaria se o princípio dos 3R's (reduzir, reciclar e reutilizar) fosse seguido (SANTOS, 2008).

2.2 Líquido Lixiviado

Em aterros, seja sanitário ou não, quando há a precipitação sobre os resíduos ao atingir a superfície do aterro, parte da água escoar superficialmente ou acumula-se na superfície e parte infiltra-se sofrendo posteriormente evaporação ou caso o aterro não tenha impermeabilização de base realmente efetiva, a água contaminada percola para o subsolo, abaixo dos resíduos (LAUREANO, 2007). Este líquido lixiviado constitui o chamado chorume, que apresenta cor escura e turva e odor desagradável.

No lixiviado podem ser encontradas substâncias tóxicas que podem acarretar danos ambientais se atingirem o aquífero freático ou água superficial e também podem ser prejudiciais em caso de emissões de gases voláteis para atmosfera (SANTOS, 2008).

De acordo com Gomes (2009), o processo de geração do lixiviado pode ser influenciado por vários fatores:

- a) climáticos: precipitação pluvial, evapotranspiração e temperatura;
- b) hidrogeológicos: escoamento superficial, infiltração, topografia, geologia e recirculação do lixiviado;
- c) características da camada de cobertura: umidade, vegetação, declividade;
- d) características dos resíduos: composição gravimétrica, compactação, peso específico, granulometria, permeabilidade etc;
- e) método de impermeabilização do local.

A composição do chorume geralmente muda de um aterro para outro em função da qualidade e características dos RS. Sabe-se que o tempo de aterramento pode influir sobre a qualidade dos lixiviados e acredita-se que o seu potencial poluidor seja inversamente proporcional ao tempo de aterramento, a despeito do fato de que em aterros em operação essa constatação não seja tão evidente (GOMES, 2009).

2.2.1 Caracterização do líquido lixiviado

As características físicas, químicas e biológicas dos lixiviados dependem de diversos fatores como o grau de decomposição, quantidade de umidade e idade do aterro. Sendo que um dos principais fatores que influenciam na composição do lixiviado é o tipo de resíduo depositado. Na Tabela 1 encontram-se as principais fontes de elementos químicos de resíduos municipais (RODRIGUES, 2002).

Tabela 1 Principais fontes de elementos químicos de resíduos municipais

Íons	Principais fontes
Na ⁺ , K ⁺ , Ca ²⁺ e Mg ²⁺	Matéria orgânica e entulho de construção
PO ₄ ³⁻ , NO ₃ ⁻ e CO ₃ ²⁻	Matéria orgânica
Cl ⁻	Matéria orgânica e tubo de PVC
Br ⁻ e Ag ⁺	Negativos de filmes e raios X
Al ³⁺	Objetos metálicos que contêm alumínio e alguns cosméticos
Cd ²⁺	Ligas metálicas, baterias, pilhas alcalinas, tintas e pigmentos
Cr ^{x+}	Ligas metálicas, solventes, peças cromadas, vidros esverdeados
Fe ²⁺	Peças metálicas, material eletrônico
Hg ²⁺	Pilhas, baterias de relógios, lâmpadas fluorescentes e termômetros
Mn ²⁺	Pilhas, lâmpadas fluorescentes, tintas, pigmentos e ligas metálicas
Ni ²⁺	Ligas metálicas, peças revestidas, baterias e pilhas alcalinas
Pb ²⁺	Baterias de automóveis, baterias recarregáveis, tintas, pigmentos
Sn ²⁺	Material eletrônico, latas e tampas de garrafa
Zn ²⁺	Ligas metálicas, peças galvanizadas, tintas e pilhas comuns

Fontes: Rodrigues (2002).

Do ponto de vista de qualidade o chorume apresenta altas concentrações de matéria orgânica, bem como quantidades consideráveis de substâncias inorgânicas, os metais pesados. Entre as classes de poluentes encontradas no chorume, a amônia tem causado preocupação especial devido seu elevado poder tóxico, pois concentrações consideráveis de nitrogênio na forma amoniacal tornam-se tóxicas para os organismos principalmente quando presente em ambientes aquáticos (BRITO-PELEGRINI et al., 2009).

O impacto produzido pelo chorume sobre o meio ambiente está diretamente relacionado com a fase de decomposição do lixo, sendo o chorume de aterro novo, quando recebe boa quantidade de águas pluviais é caracterizado por pH ácido, alta Demanda Bioquímica de Oxigênio, alto valor de Demanda Química de Oxigênio e diversos compostos potencialmente tóxicos (SANTOS, 2004). Com o passar dos anos há uma redução significativa da

biodegradabilidade por parte dos componentes biodegradáveis devido à conversão da matéria orgânica, em gás metano e CO₂ (SANTOS, 2004). Observa-se então uma variação da concentração dos parâmetros em aterros novos, que são mais elevadas, em relação a aterros mais velhos. Na Tabela 2, é apresentada faixa de variações de alguns parâmetros em aterros brasileiros.

Tabela 2 Faixas de variação de alguns parâmetros para chorumes em aterros brasileiros

Parâmetros	Faixa de Variação	
	Mínimo	Máximo
pH	5,9	8,7
Nitrogênio total-Kjeldahl	15,0	3.140,0
Nitrogênio nitrato	0,0	5,5
Nitrogênio Nitrito	0,0	0,1
Nitrogênio amoniacal	6,0	2900,0
DQO	966,0	28.000,0
DBO ₅	480,0	19.800,0
Cloretos	50,0	11.000,0
Sulfatos	0,0	1.800,0
Fósforo total	3,7	14,3
Cobre	0,0	1,2
Chumbo	0,0	2,3
Ferro	0,2	6.000,0
Manganês	0,1	26,0
Zinco	0,1	35,6
Cádmio	0,0	0,2
Cromo total	0,0	3,9
Coliformes fecais (NMP/100mL)	$4,9 \times 10^1$	$4,9 \times 10^7$
Coliformes totais (NMP/100mL)	$2,30 \times 10^2$	$1,7 \times 10^8$

Fonte: Rio de Janeiro (2001, p. 174).

Nota: Todas as unidades em mg L⁻¹ exceto onde indicado.

Santos (2004) destaca que é imprescindível o tratamento do chorume em qualquer aterro, uma vez que este possui um alto potencial poluente com composição química extremamente complexa e variável, principalmente em função das condições ambientais, características físico-químicas dos resíduos e idade dos aterros. Uma das origens da contaminação do subsolo em aterros é a infiltração dos lixiviados através das camadas impermeabilizantes.

2.3 Águas Subterrâneas e Superficiais

Segundo Hespanhol (2009), quando se utiliza o termo “qualidade da água”, é necessário compreender que esse termo não se refere, necessariamente, a um estado de pureza, mas simplesmente às características químicas, físicas e biológicas e são estipuladas diferentes finalidades para a água.

O conjunto de variáveis que discriminam a qualidade da água é diretamente influenciado pela variação sazonal, sendo o regime de chuvas um dos agentes de maior importância para rios e córregos (GODOI, 2008). A qualidade da água subterrânea é decorrente de processos físicos, químicos e biológicos que determinam uma grande variedade de substâncias presentes na água, decorrentes dos tipos litológicos e da atividade antropogênica, originária principalmente de cargas pontuais domésticas e industriais e de cargas difusas de origem urbana e rural (COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL – CETESB, 2010). As atividades sócio-econômicas desenvolvidas pelas populações provocam impactos não só nas águas subterrâneas como também nas superficiais.

A seguir algumas características físicas, químicas e bacteriológicas das águas, superficiais e subterrâneas:

Temperatura

A temperatura influi em processos biológicos, reações químicas e bioquímicas que ocorrem na água e também em outros processos como a solubilidade dos gases dissolvidos (MACÊDO, 2006).

A amplitude térmica anual da água subterrânea em geral é baixa, em torno de 1 a 2 °C, e independe da temperatura atmosférica, a não ser nos aquíferos freáticos pouco profundos onde a temperatura é um pouco superior a da superfície (FEITOSA et al., 2008).

Turbidez

Pode ser definida como sendo o grau de redução que a luz sofre ao atravessar a água por efeito da presença de sólidos em suspensão, como microorganismo, detritos orgânicos, coloides orgânicos ou inorgânicos como ferro e manganês (BRANCO; ROCHA, 1977).

Condutividade Elétrica

A condutividade elétrica é a capacidade da água em conduzir a corrente elétrica. Este parâmetro está diretamente associada ao teor de íons dissolvidos na água, ou seja, quanto maior for a quantidade de íons dissolvidos, maior será a condutividade elétrica na água.

pH

O pH (potencial hidrogeniônico) é utilizado para expressar o grau de acidez, neutralidade ou alcalinidade da água, ou seja, representa a concentração de íons de hidrogênio. A escala de pH varia de 0 a 14, os quais valores abaixo de 7 indicam acidez, enquanto valores acima de 7 indicam condições básicas e valor igual a 7 neutralidade. De acordo com Godoi (2008), as águas brasileiras

apresentam valor de pH entre 6 e 9, sendo ligeiramente alcalinas em muitos casos, devido à composição geológica dos solos da bacia hidrográfica.

Alcalinidade

É a capacidade de uma água neutralizar ácidos, a capacidade tampão, não significando necessariamente que o pH do meio deva ser superior a 7, podendo ocorrer casos em que as águas subterrâneas com pH abaixo de 7 contenha alguns sais que neutralizam ácidos e, nesse caso, haver alguma alcalinidade mensurável (CARVALHO, 2001).

Não tem significado sanitário para a água potável, mas em elevadas concentrações confere um gosto amargo para a água (VON SPERLING, 1996).

Dureza

Pode ser definido como à dificuldade da água em dissolver (fazer espuma) sabão pelo efeito do cálcio, magnésio ou outros elementos como Fe e Mn. Não há evidências de que a dureza cause problemas sanitários. A dureza das águas subterrâneas naturais geralmente varia entre 10 e 300 mg L⁻¹, podendo chegar a 2000 mg.L⁻¹ ou mais (INSTITUTO GEOLÓGICO Y MINERO DE ESPAÑA – IGME, 1985).

Cloreto

O cloreto é um dos ânions mais comuns em águas naturais. Em águas superficiais são fontes importantes de despejos industriais e esgotos sanitários e em águas subterrâneas tem como fonte os solos e rochas. O registro contínuo do teor de cloretos das amostras de águas dos poços fornece informações da ocorrência ou não da contaminação do aquífero (CARVALHO, 2001).

Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO₅)

É definida como a quantidade de oxigênio necessária para consumir a matéria orgânica sob condições aeróbicas, ou seja, avalia a quantidade de oxigênio dissolvido consumido. Geralmente nas águas subterrâneas a DBO₅ é inferior a 5 mg L⁻¹ de oxigênio, sendo que valores superiores a esse indicam contaminação (FEITOSA et al., 2008). O elevado teor de matéria orgânica pode provocar em águas superficiais o consumo de Oxigênio Dissolvido e ocasionar a mortandade de peixes e outros organismos.

Oxigênio Dissolvido (OD)

É um indicador da concentração de OD na água. É considerado o principal parâmetro de caracterização dos efeitos da poluição das águas por despejos orgânicos, uma vez que durante a estabilização da matéria orgânica, as bactérias fazem usos do oxigênio nos seus processos respiratórios, podendo a vir causar a redução da sua concentração no meio (VON SPERLING, 1996).

A maioria das águas subterrâneas apresenta teores entre 0 e 5 mg L⁻¹ (FEITOSA et al., 2008). Em águas superficiais o teor de oxigênio pode variar em função de vários fatores como a temperatura e altitude, sendo que ao nível do mar, na temperatura de 20 °C, a concentração de saturação é igual a 9,2 mg L⁻¹. Valores de OD bem inferiores à saturação são indicativos da presença de matéria orgânica e valores superiores são indicativos de presença de algas (fotossíntese).

Fósforo

É um nutriente essencial para o crescimento dos microorganismos responsáveis pela estabilização da matéria orgânica (VON SPERLING, 1996). Ocorre em águas naturais na forma de fosfato. O fósforo devido a ações antrópicas pode ser acrescido às águas subterrâneas por derivados de fertilizantes, efluentes domésticos, detergentes, pesticidas e inseticidas e teores

acima de 1,0 mg L⁻¹ normalmente são indicativos de poluição (FEITOSA et al., 2008).

Nitrogênio

O nitrogênio ocorre em diversas formas e estado de oxidação. As principais formas que se apresentam nas águas são: nitrogênio orgânico, nitrogênio amoniacal, nitrito e nitrato. Um dos principais problemas devido à alta concentração de nitrogênio em águas superficiais é a eutrofização, uma vez que este elemento é indispensável para o crescimento de algas.

De acordo com Feitosa et al. (2008), nas águas subterrâneas valores acima de mg L⁻¹ podem ser indicativos de contaminação por atividades antrópicas como aterros de resíduos, sendo que resíduos de produtos proteicos são ricos em nitrogênio e se decompõem em nitratos na presença de oxigênio, seguindo o ciclo do nitrogênio. O nitrogênio amoniacal pode ser um constituinte natural de águas subterrâneas ou superficiais provenientes da decomposição da matéria orgânica.

Metais pesados e substâncias inorgânicas

Parte dos micropoluentes inorgânicos, como os metais pesados, é tóxica. Apesar de muitos metais serem essenciais para o crescimento de vários tipos de microorganismos, quando em altas concentrações podem provocar alterações no metabolismo por apresentarem características bioacumulativas.

A importância dos metais pesados está relacionada com a função potencialmente inibidora que podem transmitir para o processo de digestão anaeróbica (GADOTTI, 1997). Apresenta-se a seguir algumas considerações a respeito de alguns metais:

- a) Cádmiu: É considerado um iônico tóxico e carcinógeno e seu excesso pode provocar hipertensão arterial, anemia, retardamento de crescimento e morte. É um metal relativamente raro na natureza, sendo que nas águas subterrâneas possui teores inferiores a 20 mg L^{-1} (FEITOSA et al., 2008). E em águas superficiais não poluídas contêm menos do que 1 mg L^{-1} (DAMASCENO, 1996);
- b) Chumbo: As águas subterrâneas apresentam quantidades médias em torno de 20 mg L^{-1} , sendo o limite tolerado para o consumo humano o valor de $0,5 \text{ mg L}^{-1}$ (FEITOSA et al., 2008). Já em rios e lagos encontra-se na faixa de 1 a 10 mg L^{-1} (DAMASCENO, 1996). Segundo Macêdo (2006), o chumbo é um poluente ambiental extremamente tóxico e penetrante, sendo os sintomas clássicos da exposição a esse elemento a encefalopatia em crianças e a neurotoxicidade periférica em adultos;
- c) Cobre: Apresenta baixa solubilidade e elevada persistência na água. Ocorre nas águas subterrâneas com teores inferiores a 1 mg L^{-1} . Quase todo o cobre ingerido pelo homem é eliminado, entretanto altas concentrações podem provocar hemocromatose;
- d) Manganês: O manganês assemelha-se ao ferro, tanto quimicamente como em termos de ocorrência nas águas subterrâneas, porém é menos comum a sua concentração nas águas naturais do que o ferro. O manganês e seus compostos são altamente persistentes na água, podendo levar mais de 200 dias para ser degradado. Estão geralmente, presentes em baixos valores, menores que $0,2 \text{ mg L}^{-1}$. Macêdo (2006) ressalta que o manganês é um metal traço essencial, embora a exposição humana e animal a níveis altos podem causar problemas graves.

- e) Mercúrio: É o mais volátil de todos os metais, seu vapor é extremamente tóxico e é usado em centenas de aplicações, muitas delas (por exemplo, interruptores elétricos) tiram proveito de sua propriedade incomum de ser um líquido que conduz bem a eletricidade (BAIRD, 2002). Raramente é encontrado no estado elementar. O mercúrio pode se acumular principalmente no cérebro, causando uma série de deficiências, desde a cegueira e paralisia até a morte (MACÊDO, 2006);
- f) Sódio: É um dos metais mais importantes e abundantes nas águas subterrâneas, sendo o principal responsável pelo aumento da salinidade das águas naturais e a concentração encontrada nas águas subterrâneas varia de 1 a 150 mg L⁻¹ (FEITOSA et al., 2008). Sua ocorrência está associada a várias características entre elas a ampla distribuição em minerais fontes;
- g) Alumínio: De acordo com Krieger (2000), a importância ambiental do alumínio tem aumentado consideravelmente nos últimos anos devido ao aumento de sua mobilidade a partir da acidificação das águas e tal fato tem promovido a formação e/ou ressolubilização de complexos inorgânicos e orgânicos de alumínio nas águas superficiais. Estudos mais recentes relacionados ao alumínio indicam o agravamento da doença de Alzheimer.

Coliformes Totais e Termotolerantes

Os coliformes totais são um grupo de bactérias presentes no intestino do homem e de animais de sangue quente, entretanto podem também estar associados à vegetação e ao solo e os coliformes termotolerantes constituem um subgrupo das bactérias coliformes, comumente utilizadas como indicador de contaminação fecal, dada a sua ocorrência em fezes humanas e de outros

animais de sangue quente (CARVALHO, 2001). Geralmente, as águas subterrâneas naturais não apresentam bactérias patogênicas e vírus, mas microorganismos não patogênicos podem habitar o meio.

2.3.1 Uso sustentável dos recursos hídricos

Apesar de o Brasil ser um país privilegiado em relação a quantidade de água doce disponível, a distribuição desta abundância é desigual uma vez que a maior parte desta água está na Bacia Amazônica onde está a menor parte da população, que se concentra em grandes centros urbanos na região sudeste.

L'Apicciarella (2009), destaca que a utilização de água subterrânea no tocante á sustentabilidade de aquíferos requer medidas de proteção e mecanismos de gerenciamento de uso da água. O mesmo autor destaca que as principais medidas estão associadas às próprias condições de construção de poços e ao tipo de ocupação do solo nas zonas de contribuição ao aquífero, além do monitoramento de quantidade e qualidade da água subterrânea. Segundo Llamas e Martínez-Santos (2005), durante a última metade do século passado o desenvolvimento das águas subterrâneas rendeu grandes benefícios econômicos e sociais em muitos aspectos, entretanto a participação de órgãos governamentais no planejamento e controle destes desenvolvimentos geralmente tem sido escassas.

O uso sustentável da água subterrânea, ou seja, a preservação deste recurso hídrico para as gerações futuras depende de um bom conhecimento do aquífero, de planejamento integrado de exploração, de atitudes adequadas na operação e manutenção dos poços, mas também da responsabilidade social e de consciência sobre a escala do tempo geológico (L'APICCIRELLA, 2009). Ressalta-se a importância também do acompanhamento e controle das condições das águas superficiais.

Estudos de poluição das águas têm mostrado que todo lixão pesquisado provoca algum tipo de poluição nas mesmas, desta forma é de se presumir que muitos aterros sanitários, mal construídos ou manejados, podem estar afetando a qualidade das águas subterrâneas. Mas em locais planejados e devidamente operados, os resíduos sólidos podem ser enterrados sem oferecer praticamente nenhum risco as águas subterrâneas e desde que um estudo hidrogeológico prévio da escolha do local seja realizado (FEITOSA et al., 2008).

Considerando a importância da água para a manutenção da vida no planeta, é preciso que haja o controle da qualidade e acompanhamento sistemático da condição da água, realizado por meio de programas de monitoramento estruturados e capazes de representar a realidade do corpo de água, produzindo informações necessárias para a gestão dos recursos hídricos de qualquer região (GODOI, 2008).

2.3.2 Monitoramento

A noção clássica de contaminação das águas e de sua avaliação envolve a determinação da presença e da concentração de substâncias potencialmente nocivas, baseada na identificação de poluentes específicos em pontos amostrais determinados por meio de análises físicas, químicas e biológicas (BOLLMANN; EDWIGES, 2008).

Segundo Hespanhol (2009), o monitoramento da qualidade da água visa realizar a medição ou verificação de parâmetros de qualidade e quantidade de água, que pode ser contínuo ou periódico utilizado para acompanhar a evolução das condições da qualidade da água ao longo do tempo. Segundo a mesma autora, o monitoramento é importante para averiguar as tendências na qualidade do meio aquático e para observar como este é afetado por contaminantes e/ou atividades antrópicas.

A localização dos pontos de amostragem de monitoramento da água superficial e subterrânea deve ser efetuada em localização estratégica, que ofereça subsídios para o diagnóstico da situação em estudo.

Carvalho (2001) cita que o método de monitoramento da água subterrânea constitui basicamente na perfuração de poços que interceptam o aquífero, permitindo a retirada de amostras para a realização de análises em laboratório e para isto, deve-se instalar poços a montante e a jusante em relação ao possível ponto de contaminação, seguindo-se a direção de fluxo do aquífero.

A localização da instalação dos poços de monitoramento possui papel importante para a caracterização das condições do aquífero, especialmente em relação às condições químicas da água subterrânea (SUMI, 2009). É necessário que as construções dos poços de monitoramento sigam algumas normas construtivas.

Segundo Carvalho (2001), para amostras coletadas diretamente de um corpo de água, deve-se procurar selecionar pontos de amostragens bem representativos do todo, evitando-se a coleta de amostras em águas estagnadas ou em locais muito próximos às margens.

2.3.3 Valores e indicadores de qualidade

A qualidade que a água deve apresentar para ser considerada adequada em determinada atividade é definido por padrões de qualidade de diversos parâmetros físicos, químicos e biológicos descritos em legislação ambiental e da saúde (TUCCI; MENDES, 2006). De acordo com Cotrim (2006), os padrões de qualidade de água são utilizados para regulamentar os níveis de qualidade a serem mantidas em um corpo de água, dependendo do uso a que ela está destinada. São valores de referência de qualidade que servem de instrumento para dar suporte as ações de controle e prevenção das águas subterrâneas. Alguns instrumentos legais são utilizados para avaliar a qualidade das águas.

Desta forma a Resolução do Conselho Nacional de Meio Ambiente – CONAMA n°396, criada em 3 de abril de 2008, dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento segundo os usos preponderantes, prevenção e controle da poluição das águas subterrâneas. Além desta resolução, em 2009, foi publicada a Resolução CONAMA n°420, que lista valores orientados de qualidade do solo e águas subterrâneas quanto à presença de substâncias químicas para o gerenciamento de áreas contaminadas. A seguir algumas substâncias e seus valores orientados para solo e água subterrânea (Tabela 3).

Tabela 3 Valores referenciais de algumas substâncias químicas para solos e águas subterrâneas

Substâncias	Solo (mg Kg ⁻¹ de peso seco)	
	Prevenção	Investigação
Alumínio	-	3500**
Cádmio	1,3	5*
Chumbo	72	10*
Cobalto	25	70
Cobre	60	2000*
Cromo	75	50*
Ferro	-	2450**
Manganês	-	400**
Mercúrio	0,5	1*
Zinco	300	1050**

Fonte: BRASIL (2009).

* Padrões de potabilidade de substâncias químicas que representam risco à saúde definidos na Portaria n°518/2004 do Ministério da Saúde.** Valores calculados com base em risco à saúde humana, de acordo com o escopo desta Resolução. Diferem dos padrões de aceitação para consumo humano definidos na Portaria no 518/2004 do Ministério da Saúde e dos valores máximos permitidos para consumo humano definidos no Anexo I da Resolução CONAMA n° 396/2008.

A Deliberação Normativa COPAM/CERH-MG 01/2008, dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para água superficial. A Tabela 4 mostra alguns valores máximos de alguns parâmetros para enquadramento como classe 1.

Tabela 4 Padrões de qualidade de água para enquadramento como classe 1

Parâmetro	VMP (mg L ⁻¹)
Alumínio	0,1
Cádmio	0,001
Chumbo	0,01
Cobalto	0,05
Cobre	0,009
Cromo	0,05
Ferro	0,30
Lítio	2,5
Manganês	0,1
Mercúrio	0,0002
Zinco	0,18

Fonte: Conselho Estadual de Política Ambiental – COPAM (MINAS GERAIS, 2008).

O Ministério da Saúde (MS) por meio da portaria n.º 2914, de 12 de dezembro de 2011, estabeleceu os padrões de potabilidade de água e consumo humano cujos parâmetros microbiológicos, físicos, químicos e radioativos não ofereça riscos à saúde. A seguir alguns desses parâmetros com o valor máximo permitido (VMP) para substâncias químicas que oferecem risco a saúde (Tabela 5) e o padrão de aceitação para consumo humano em que a água potável deve estar em conformidade (Tabela 6).

Tabela 5 Padrão de potabilidade para substâncias químicas que representam risco à saúde

Parâmetro	VMP (mg L ⁻¹)
Cádmio	0,005
Chumbo	0,01
Cobre	2
Cromo	0,05
Mercúrio	0,001

Fonte: Brasil (2011a).

Tabela 6 Padrão de aceitação para consumo humano

Parâmetro	VMP (mg L ⁻¹)
Alumínio	0,2
Ferro	0,3
Manganês	0,1
Sódio	200
Zinco	5

Fonte: Brasil (2011a).

A CETESB aprovou valores orientados para solos e águas subterrâneas no Estado de São Paulo que são definidos e tem a sua utilização como valor de referência de qualidade, valor de prevenção e valor de intervenção, que são utilizadas no gerenciamento de áreas contaminadas (CETESB, 2005a).

2.4 Aspectos legais

Em Agosto de 2010 foi instituída a Política Nacional de Resíduos Sólidos que dispõe sobre seus princípios, objetivos, instrumentos, diretrizes, metas e ações adotadas pelo Governo Federal, isoladamente ou em regime de cooperação com estados, Distrito Federal, municípios ou particulares, relativas à gestão integrada e ao gerenciamento dos resíduos sólidos. A proteção da saúde

pública e da qualidade ambiental e a não geração, redução, reutilização, reciclagem e tratamento dos resíduos sólidos, bem como disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos estão entre os objetivos da Política Nacional.

Um aspecto importante desta política em relação à gestão e gerenciamento de resíduos sólidos é que deve ser observada como ordem de prioridade a não geração, redução, reutilização, reciclagem, tratamento dos resíduos sólidos e disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos. E em se tratando das Políticas de Resíduos Sólidos dos estados, Distrito Federal e dos municípios, as mesmas devem ser compatíveis com a Política Nacional, que fornece as diretrizes e determinações no que deve constar dos planos de gerenciamento dos RS.

2.4.1 Órgãos gestores atuantes

Os principais órgãos gestores atuantes na tomada de ações para medidas adequadas do uso da água e do solo, no que se refere a RS no estado de Minas Gerais são a Fundação Estadual do Meio Ambiente (FEAM) e Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM).

A FEAM é um órgão gestor vinculado à Secretaria Estadual de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável (SEMAD) e em termos federais integra o Sistema Nacional de Meio Ambiente (SISNAMA). É um dos órgãos seccionais de apoio do Conselho Estadual de Política Ambiental (COPAM).

A FEAM, com o objetivo de apoiar os municípios mineiros no atendimento às normas de gestão de RS urbanos definidas pelo COPAM está à frente do projeto Minas sem Lixões, que representa uma das ações do projeto estruturador RS do Governo de Minas e tem como objetivo promover e fomentar a não geração, o reaproveitamento, a reciclagem e a disposição adequada de

resíduos sólidos em Minas Gerais (MINAS GERAIS, 2011b). Para isso, este órgão atua principalmente com a publicação de Deliberações Normativas, fiscalizações e orientação para o licenciamento, formalização de apoio técnico realizado por meio de parceria com a Fundação Israel Pinheiro (FIP) e convênio com as Universidades Federais de Lavras (UFLA) e a Universidade Federal de Viçosa (UFV) e na busca de recursos junto aos órgãos financiadores (MINAS GERAIS, 2011b).

O IGAM é um instituto vinculado a SEMAD, além de ser integrado ao SISNAMA e o Sistema Nacional de Recursos Hídricos (SNGRH). Este órgão gestor tem como diretriz uma administração compartilhada e descentralizada que envolve todos os segmentos sociais. É responsável pela concessão de direito de uso dos recursos hídricos estaduais pelo planejamento e administração de todas as ações voltadas para a preservação da quantidade e da qualidade de águas em Minas Gerais. Coordena, orienta e incentiva a criação dos comitês de bacias hidrográficas, entidades que de forma descentralizada, integrada e participativa gerenciam o desenvolvimento sustentável da região onde atuam (MINAS GERAIS, 2011a).

Em se tratando em termos federais o Conselho Estadual do Meio Ambiente (CONAMA) é um órgão consultivo e deliberativo do SISNAMA, presidido pelo Ministro do Meio Ambiente e dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente.

São atos do CONAMA as resoluções, quando se tratar de deliberação vinculada a diretrizes e normas técnicas, critérios e padrões relativos à proteção ambiental e ao uso sustentável dos recursos ambientais; moções, quando se tratar de manifestação, de qualquer natureza, relacionada com a temática ambiental; recomendações, quando se tratar de manifestação acerca da implementação de políticas, programas públicos e normas com repercussão na área ambiental; proposições e decisões (BRASIL, 2011b).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Aterro sanitário de Três Corações

O aterro sanitário em estudo está localizado no município de Três Corações, região sul do estado de Minas Gerais, que possui uma área de 828,038 Km² e uma população de 72.765 habitantes (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE, 2010). O município apresenta diversas atividades econômicas, entre elas a pecuária, com gado de leite e de corte, plantio de diversas culturas como café e milho e indústrias, como de fertilizantes, couro, produtos derivados do leite, metalúrgicas, fábrica de ração, produtos químicos e móveis.

O aterro localiza-se no Km 1 da LMG-862, estrada de acesso a Três Corações – São Bento do Abade, à aproximadamente 4 Km do centro da cidade.

3.1.1 Caracterização da área: Hidrografia, Vegetação, Clima e Geologia

O Município é banhado pelo Rio Verde, do Peixe, Palmela e Lambari, além de vários ribeirões e córregos, como dois que atravessam o aterro sanitário.

De acordo com a classificação Koppen, o clima do município de Três Corações é Cwb, ou seja, possui um clima mesotérmico, com temperatura média do mês mais quente inferior a 22 °C.

Em relação à geologia o município de Três Corações se encaixa regionalmente na Província Mantiqueira, representando o extremo sul da Faixa Brasília Meridional (Orógeno Brasília), estando inserida no chamado Domínio Alóctone II (TROUW, 2008).

O aterro sanitário é caracterizado por três vegetações no entorno: mata nativa, área cultivada por batata e pastagem. Além dessas vegetações, próximo

ao aterro passa uma estrada de terra e uma estrada de ferro, há um presídio e cultivos de mudas de algumas culturas em viveiros. O aterro de Três Corações possui área de 20,73 ha e solo classificado como Latossolo Vermelho-Amarelo.

3.1.2 Histórico da área de estudo

O Aterro Sanitário de Três Corações foi construído em 2001 com vida útil estimada em 34 anos, a fim de solucionar o problema dos RS do município que eram depositados em um lixão próximo de um córrego, que funcionava em condições precárias com presença de catadores, inclusive crianças.

A coleta do lixo domiciliar atende 98% da população urbana, porém na zona rural não há coleta do lixo. A operação das atividades do aterro sanitário é coordenada pela Secretaria de Meio Ambiente, sendo os equipamentos utilizados na manutenção das atividades alugados uma vez que a prefeitura não dispõe de máquinas e equipamentos para este fim.

Em 2007, os catadores do município formaram a Associação dos Catadores de Materiais Recicláveis de Três Corações (ACAMTC), porém continuam trabalhando de forma isolada, pois ainda não possuem sede própria e a coleta seletiva ainda não existe formalmente no município. Entretanto, o aterro já possui estrutura para a instalação de uma Usina de Triagem e Compostagem (UTC) que deverá servir de sede para ACAMTC.

No município não há forma adequada para a disposição de outros resíduos, como os de construção civil. Já quanto a resíduos como pilhas e baterias usadas, a secretaria de Meio Ambiente realiza parceria com outros municípios campanhas de coleta para destinação adequada.

O volume de lixo coletado pela prefeitura para o aterro sanitário é em média de 905 ton/mês de lixo residencial e 3,5 ton/mês lixo hospitalar. Alguns estabelecimentos de saúde mantêm contrato com empresa terceirizada que

recolhe os estes resíduos que na maior parte são encaminhados para incineração. O caminhão para coleta do lixo opera de segunda a sábado e recebe RS diariamente, constituído de resíduos de domiciliares, comerciais e públicos, como de poda e varrição.

Na Tabela 7 são apresentados os principais tipos e quantidades de resíduos domiciliares destinados para o aterro sanitário do município de Três Corações, ou seja, a composição gravimétrica. Os resultados apresentados indicam que a maior parte dos RS encaminhados ao aterro é composta por matéria orgânica, principalmente restos de alimentos e jardins, seguidos dos materiais recicláveis.

Tabela 7 Composição gravimétrica dos RS

Componentes	%
Orgânico total	53,5
Rejeitos	29,7
Recicláveis	16,5
Perigosos	0,3

3.1.3 Caracterização do solo

Algumas propriedades do solo têm sido utilizadas como indicadores para aferir os impactos sofridos pelo solo, como a textura, densidade do solo, condutividade hidráulica. Assim, foram realizadas algumas análises na área do aterro sanitário em estudo. As amostras para as análises físicas e químicas do solo foram coletadas a montante, a jusante e dentro da plataforma já encerrada do aterro, utilizando-se um trado.

A montante e a jusante da área da plataforma foram coletadas 3 amostras compostas na camada de 0 – 20 cm da superfície do solo e 3 amostras de 20 – 40 cm de profundidade para análise de metais pesados para cada uma das áreas.

Dentro da plataforma encerrada do aterro, onde já houve o recobrimento dos RS, foram coletadas 9 amostras simples para análise de densidade de partículas e 3 amostras composta para a análise de textura e de metais, todas na camada de 0-20 cm de profundidade. Além disso, foram coletados mais 9 amostras indeformadas com um amostrador de solo tipo uhland com anéis volumétricos para a análise da condutividade hidráulica e densidade global (Figura 1).



Figura 1 Coleta de amostras indeformadas de solo

Todas as amostras foram acondicionadas em sacos plásticos transparentes, devidamente etiquetados e levados para análises, como descritos a seguir:

Densidade do solo e densidade de partículas

Densidade do solo é uma propriedade que reflete o arranjo das partículas do solo, é como um indicador da compactação, assim como medida de alterações da estrutura e porosidade do solo. A análise foi feita utilizando-se do método do anel volumétrico. Já a densidade de partículas é uma propriedade física que expressa a relação entre a quantidade de massa de solo seco por unidade de volume de sólido do solo, assim não inclui a porosidade. A sua determinação foi feita pelo método do balão volumétrico. Ambas as análises foram realizadas no Laboratório de Água e Solo do Departamento de Engenharia da UFLA.

Condutividade Hidráulica

É uma das propriedades físicas do solo mais importantes na determinação quantitativa e qualitativa do movimento de água no solo. A determinação da condutividade hidráulica do solo saturado foi realizada no Laboratório de Água e Solo da UFLA pelo método do permeâmetro de carga constante, que consistiu basicamente em manter uma carga hidráulica constante utilizando-se um Frasco de Mariotte, medindo o volume da solução drenado em função do tempo.

Textura

A análise granulométrica é uma das características físicas mais estáveis e define a proporção relativa das classes de tamanho de partículas de um solo. As análises da textura foram realizadas utilizando-se o método da pipeta. As análises foram realizadas pelo Laboratório do Departamento de Ciência do Solo da UFLA.

Metais Pesados

Com o intuito de avaliar possível contaminação do solo por metais pesados foi realizada coleta de amostras de solo em plataforma encerrada e na área próxima a esta. Foram analisados os seguintes parâmetros: Zn, Pb, Ni, Hg, Cd, Cr e Cu. As análises foram realizadas pelo Laboratório do Departamento de Ciência do Solo da UFLA, conforme os seus procedimentos seguindo o protocolo recomendado pela USEPA 3051.

3.1.4 Caracterização das águas subterrâneas

Foram analisados quatro poços de monitoramento distribuídos estrategicamente pela área, que já faziam parte do aterro sanitário (Figura 2).



Figura 2 Localização dos poços de monitoramento do aterro sanitário

Fonte: Adaptado de Google Earth © Digital Globe © 2012MapLink/Tele Atlas.

Os poços estão distribuídos segundo a localização e descrição a seguir (Tabela 8).

Tabela 8 Descrição e localização dos poços de monitoramento

Poços de	Descrição	Profundidade	Coordenadas
Poço 1	Localizado a jusante da plataforma de RS	7,8	21° 40' 58" S 45° 13' 02" W
Poço 2	Localizado a jusante da plataforma de RS	9,4	21° 40' 56,6" S 45° 13' 08" W
Poço 3	Localizado a jusante da plataforma de RS	7,2	21° 40' 56" S 45° 13' 12" W
Poço 4	Localizado a montante da plataforma de RS	33,5	21° 41' 08" S 45° 13' 10" W

A fim de reduzir o risco de contaminação na operação de coleta de amostras de água, os amostradores eram previamente lavados, envolvidos em papel alumínio e esterilizados em autoclave por cerca de 30 minutos. Sendo que, para cada poço havia um amostrador e o papel alumínio removido no ato da coleta (Figura 3).



Figura 3 Coleta da amostra de água subterrânea com amostrador

Para o armazenamento das amostras de análises físicas e químicas foram utilizados frascos de polietileno lavados e para análises de metais pesados e

bacteriológicos foram utilizados coletores universais esterilizados de 80 mL (Figura 4). Buscou-se preservar as amostras conservando-as em temperatura de 4 °C até a fase de análise em laboratório.



Figura 4 Armazenamento de uma amostra em coletor universal esterilizado

O período de monitoramento teve início em janeiro de 2011 e ocorreu até o mês de novembro de 2011, sendo que em alguns meses foram feitas duas coletas com intervalo de 15 dias.

As variáveis temperatura e turbidez foram analisadas no momento da coleta, utilizando um termômetro digital de marca INCOTERM e um turbidímetro da marca Digimed, respectivamente (Figura 5).



Figura 5 Análise da turbidez por meio de um turbidímetro portátil

O monitoramento do nível de água dentro dos poços foi feito com auxílio de uma régua metro, conforme pode ser observado pela Figura 6.



Figura 6 Medição do nível de água no poço de monitoramento

Os parâmetros pH, condutividade elétrica, SDT, sólidos fixos, sólidos voláteis, OD, DBO₅, cloreto, alcalinidade, dureza, coliformes totais e termotolerantes foram analisados no Laboratório de Análises da Água do Departamento de Engenharia da UFLA, conforme descrito no Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA..., 1998), sendo que para os parâmetros condutividade e pH foram utilizados respectivamente os aparelhos de marca PHTEK CD203 e HEXI SENSION 4.

As análises dos metais pesados foram analisadas periodicamente pelo o método de absorção atômica de acordo com Método 1060 do Standart Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA..., 1998). As amostras foram preservadas com ácido nítrico até pH menor que 2 e encaminhadas ao Laboratório Ecosystem – Preservação do Meio Ambiente para análise. Foram avaliados os seguintes parâmetros: alumínio, cádmio, chumbo, cromo, cobre, cobalto, ferro, lítio, manganês, mercúrio, potássio, sódio e zinco.

Os parâmetros nitrato e fosfato foram analisados pelo laboratório de Saneamento da Escola de Veterinária da UFMG de acordo com o Standart Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA..., 1998). A preservação das amostras foram feitas com 2 mL ácido sulfúrico para cada 300 mL de amostra.

3.1.5 Água superficial

A análise da água superficial foi realizada em três pontos, conforme mostra a Tabela 9.

Tabela 9 Descrição e localização dos pontos de monitoramento

Local	Descrição	Coordenadas geográficas
Ponto 1	Manancial superficial localizado a montante da área de influência do aterro sanitário.	S 21° 40' 55,4" W 45° 13' 22,6"
Ponto 2	Manancial superficial na direção da plataforma encerrada do aterro sanitário	S 21° 40' 55" W 45° 13' 1,5"
Ponto 3	Manancial superficial a jusante da área de influência do aterro sanitário	S 21° 40' 43,2" W 45° 13' 6,5"

As coletas e análises de amostra de águas superficiais seguiram os mesmos procedimentos para as coletas das águas subterrâneas, entretanto não se fez uso dos amostradores, pois as amostras foram coletadas nos próprios recipientes de polietileno (Figura 7). E nas análises de metais pesados e substâncias inorgânicas também foi realizada a avaliação da presença de cálcio e magnésio na água.



Figura 7 Coleta de água superficial e medição da temperatura

O monitoramento da água superficial consistiu em quatro campanhas, de Agosto a Novembro de 2011, sendo uma em cada mês.

Os dados pluviométricos referentes à localidade foram fornecidos pela defesa civil e prefeitura, encontrando-se no Gráfico 1 a série histórica de precipitação do período estudado.

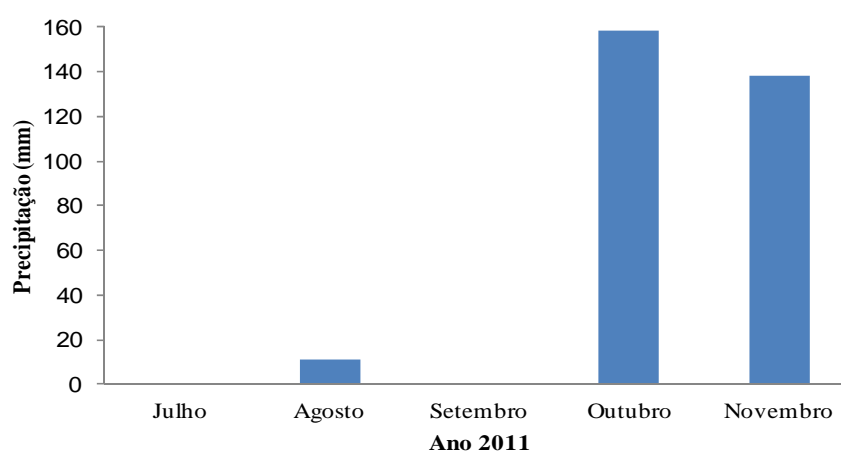


Gráfico 1 Série histórica de precipitação para o município de Três Corações do período estudo

3.2 Aterros Sanitários de Betim e Uberlândia

O estudo concentrou no levantamento e avaliação de dados disponíveis e já coletados pela FEAM e de estudos realizados sobre a qualidade das águas subterrâneas em áreas sob influência da disposição de resíduos sólidos no estado de Minas Gerais. Como referências, para avaliar a qualidade da água subterrânea, foram considerados limites de potabilidade e consumo humano da Portaria n° 2915, de 2011, do Ministério da Saúde e a resolução CONAMA n°396/2008.

Aterro sanitário de Uberlândia

O município de Uberlândia está localizado na região do Triângulo Mineiro, possui população de 604.013 habitantes (IBGE, 2010). Segundo Coelho et al. (2002), nos últimos anos o município teve três áreas distintas para destinação final dos seus resíduos sólidos, um aterro controlado um lixão e o atual aterro sanitário localizado às margens do Rio Uberabinha. O aterro conta com três poços a montante e três poços a jusante do aterro. Por meio de um relatório de condicionantes para a obtenção da renovação da licença de operação do aterro sanitário foi possível avaliar parâmetros hidrogeoquímicos da área.

Aterro sanitário de Betim

Betim é um município localizado na região metropolitana de Belo Horizonte (MG) e possui 378.089 habitantes (IBGE, 2010). O aterro sanitário de Betim foi o primeiro aterro licenciado pela FEAM no estado de Minas Gerais e iniciou suas operações em 1996 com fechamento previsto pra 2016. O aterro recebe resíduos domiciliares e comerciais, além de restos de poda e capina. A área do aterro conta com cinco poços de monitoramento, sendo um a montante do maciço de resíduos na área interna do aterro (M1) e quatro a jusante, dois internos a área (J1 e J2) e dois externos (J3 e J4).

3.3 Tratamento dos Dados

O estudo baseou-se na análise da estatística descritiva com a organização, sumarização e descrição de dados, por meio de cálculos de medidas médias, valores máximos e mínimos e desvio padrão.

Procurou-se descrever o comportamento dos diferentes parâmetros avaliados, estabelecendo comparações com os valores preconizados pela portaria n°2914/2011 do MS, a Resolução CONAMA n°396/2008 e n°420/2009 para as

águas subterrâneas e a Deliberação Normativa COPAM/CERH nº01/2008 para enquadramento da água superficial como classe 1. Além da comparação dos pontos de amostragem a montante com os pontos a jusante, onde há possível influência da área de disposição dos RS.

Para avaliação das possíveis variações dos valores encontrados foi aplicado o teste estatístico “t” de student no nível de 5% de significância, tendo sido comparados todos os parâmetros determinados em cada poço de monitoramento a jusante com os valores obtidos no poço a montante para água subterrânea e para água superficial, foi comparado entre todos os pontos analisados.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Aterro sanitário de Três Corações

No Gráfico 2 pode ser visto as variações do nível de água nos poços de monitoramento de água subterrânea no período da amostragem. Observa-se a pouca variação dos níveis de água nos quatro poços de monitoramento.

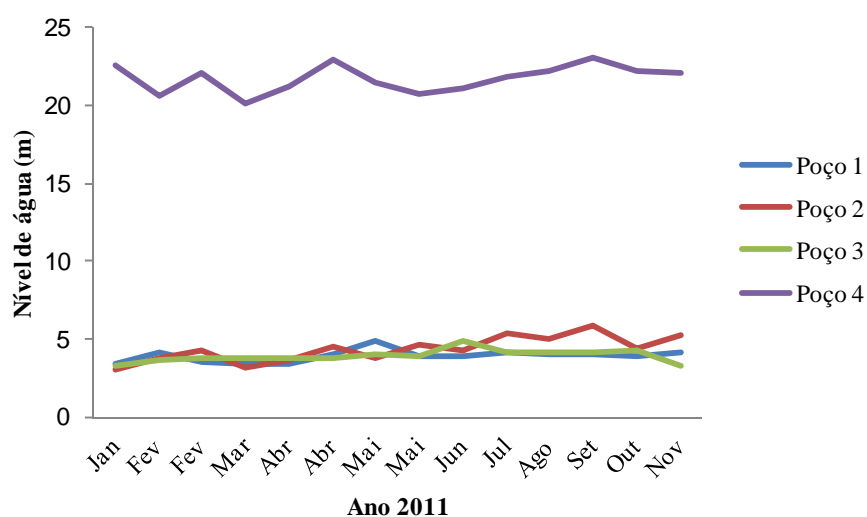


Gráfico 2 Variação do nível de água nos quatro poços ao longo do período de monitoramento

A Tabela 10 mostra os valores médios dos metais pesados analisados no aterro sanitário, na plataforma encerrada de disposição de RS (aterro), a montante e a jusante da plataforma, de 0 a 20 cm e de 20 a 40 cm de profundidade.

Tabela 10 Valores médios da concentração de metais pesados encontrados no solo nas camadas de 0-20 cm e de 20-40 cm de profundidade

Ponto	Metais Pesados (mg.k ⁻¹ de peso seco)						
	Cu	Zn	Cd	Pb	Ni	Cr	Hg
Aterro	17,76	11,11	0,02	27	12,99	74,83	< 0,01
Montante 0-20	11,66	4,39	< 0,01	19,2	3,67	63,19	< 0,01
Montante 20-40	12,19	4,21	< 0,01	19,67	3,49	71,5	< 0,01
Jusante 0-20	22,01	10,81	0,01	21,13	8,75	63,77	< 0,01
Jusante 20-40	22,67	9,61	0,01	25,6	7,72	63,61	< 0,01

Valores em negrito superam os de referência recomendados pela CETESB (2005a).

De acordo com os valores de referência recomendados pela CETESB (2005a), os elementos chumbo e cromo estão acima da recomendação, que são da ordem de 17 e 40 mg k⁻¹, respectivamente. Pode-se inferir ainda que de acordo com Resolução CONAMA n° 420/2009 na área do aterro, o elemento cromo está próximo do valor de prevenção, que é da ordem de 75 mg k⁻¹. Este valor de prevenção indica a concentração acima da qual podem ocorrer alterações prejudiciais à qualidade da água subterrânea e do solo.

Savazzi (2008) salienta que o chumbo e o cromo, cujas presenças no solo são esperadas, podem se movimentar entre os compartimentos ambientais e atingir as águas subterrâneas por meio da lixiviação através do solo contaminado pelo armazenamento e manuseio de produtos e pela disposição inadequada de resíduos. Esses dois elementos encontrados no solo são provenientes dos resíduos depositados no aterro, principalmente devido à alta quantidade de matéria orgânica.

A seguir podem ser encontrados os resultados da estatística do Teste “t” Student para os pontos amostrados a montante, na área da plataforma encerrada e a jusante do aterro (Tabela 11).

Tabela 11 Tratamento estatístico através da distribuição “t” de Student para análises do solo

Parâmetro	Montante e Aterro	Montante e Jusante	Aterro e Jusante
Cobre	0,352	0,000	0,352
Zinco	0,118	0,000	0,118
Cádmio	0,422	0,686	0,741
Chumbo	0,012	0,095	0,012
Níquel	0,088	0,000	0,258
Cromo	0,533	0,288	0,509
Mercúrio	1,000	0,170	0,170

Valor em negrito representa significância estatística.

A partir do teste “t” estatístico, pode-se observar que para o elemento chumbo o aterro está exercendo influência na contaminação do solo, uma vez que, o teste apresentou diferença significativa entre as posições montante e aterro e entre o aterro e a jusante. Pode-se dizer ainda, que entre as posições montantes e jusantes apresentaram diferenças significativas os elementos cobre, zinco e cromo.

Para a análise de densidade do solo observou-se uma variação de 1,20 a 1,50 g cm⁻³. Já a densidade de partículas apresentou valores variando de 2,10 a 2,78 g cm⁻³. A seguir, na Tabela 12, uma análise descritiva dos dados encontrados. Como se pode observar, houve pouca variação entre os resultados obtidos, tanto para a densidade do solo como para a densidade aparente.

Tabela 12 Análise descritiva da densidade do solo (Ds) e densidade de partículas (Dp)

Análise	Ds	Dp
Média	1,33	2,56
Desvio Padrão	0,1	0,17
CV (%)	7,25%	6,53

CV: Coeficiente de Variação.

A condutividade hidráulica estimada para a área da plataforma encerrada foi da ordem de $4,6 \times 10^{-5}$ a $2,3 \times 10^{-3} \text{ cm.s}^{-1}$.

Na Tabela 13 é apresentada o resultados das análises de textura avaliadas na área.

Tabela 13 Análise granulométrica do solo analisado (dag Kg^{-1})

Identificação	Areia	Silte	Argila
Ponto 1	26	27	47
Ponto 2	23	30	47
Ponto 3	29	25	46

Como se pode observar o solo apresentou-se com textura argilosa em todos os pontos amostrados, com aproximadamente 47% de argila, 27% de silte e 26% de areia, ou seja, a maior parte do solo é constituída por partículas com dimensões menores que 0,002 mm.

4.1.1 Análise descritiva das águas subterrâneas

A seguir são apresentados na Tabelas 14, os resultados das variáveis físicas, químicas e bacteriológicas das 14 amostragens de água subterrânea e a avaliação dos mesmos. Na Tabela 15 consta a análise da estatística “t” de

student para os poços a jusante amostrados em comparação ao poço 4 a montante.

Durante a pesquisa, o poço 4 serviu como controle por estar situado a montante da área da plataforma encerrada e de operação dos RS, em um ponto alto topográfico, praticamente sem influência da poluição provocada pelo depósito dos RS.

Tabela 14 Estatística descritiva das amostras de água subterrânea

Parâmetro	Estatística	Poços				VMP
		1	2	3	4	
Temperatura da água (°C)	Mínimo	17,6	21,8	21,6	22,3	-
	Máximo	25,1	24,9	27	25,2	
	Média	23,45	23,46	23,61	23,76	
	DP	1,87	0,82	1,55	0,83	
Temperatura do ar (°C)	Mínimo	21,9	18,4	22,2	17,2	-
	Máximo	38,9	35,8	33,4	37,1	
	Média	27,51	26,38	26,83	26,06	
	DP	4,52	4,49	3,16	5	
pH	Mínimo	3,77	4,04	3,52	4,22	6 a 9,5
	Máximo	7,63	5,65	5,2	5,74	
	Média	5,33	4,92	4,44	5,05	
	DP	1,16	0,46	0,42	0,48	
DBO ₅ (mg L ⁻¹)	Mínimo	0,51	0,95	8,5	0,35	-
	Máximo	20	55	317,24	4,05	
	Média	4,26	15,13	76,07	2,34	
	DP	-	-	-	-	
Oxigênio Dissolvido (mg L ⁻¹)	Mínimo	6,1	3,9	3,7	5,6	-
	Máximo	12	10	13,3	12,9	
	Média	8,65	7,27	7,19	8,89	
	DP	2,02	1,56	2,02	2,16	

“Tabela 14, continuação”

Parâmetro	Estatística	Poços				VMP
		1	2	3	4	
Cloreto (mg L ⁻¹)	Mínimo	12	10	6	6	250
	Máximo	22	29	30	30	
	Média	15,5	18,29	16,71	14,93	
	DP	2,38	5,69	6,64	6,24	
Turbidez (UNT)	Mínimo	2,13	1,4	28,5	2,99	5
	Máximo	54,5	1015	1000	59,4	
	Média	12,78	198,77	441,81	15,93	
	DP	14,34	297,56	371,57	18,08	
Dureza (mg L ⁻¹)	Mínimo	10	8	10	12	500
	Máximo	48	42	40	40	
	Média	24,86	22,57	26,14	26	
	DP	8,44	10,54	9,88	8	
Alcalinidade (mg L ⁻¹)	Mínimo	6,1	5	5,1	8,4	-
	Máximo	23	20	20	20	
	Média	10,34	10,96	11,02	11,45	
	DP	4,67	5,04	5,52	3,31	
Condutividade ($\mu\text{s cm}^{-1}$)	Mínimo	3,2	25,2	4,3	13	-
	Máximo	16	79,5	31,3	41,5	
	Média	9,19	49,2	12,36	26,99	
	DP	3,33	14,92	6,98	7,5	
Sólidos Totais (mg L ⁻¹)	Mínimo	40	53,33	361,67	15	-
	Máximo	535	1833,33	17873,33	180	
	Média	151,19	581,72	3021,67	91,43	
	DP	138,97	593,21	4428,42	48,43	
Sólidos Fixos (mg L ⁻¹)	Mínimo	5	40	236,67	5	-
	Máximo	453,33	1441,67	3955,66	98,33	
	Média	97,46	447,97	1546,36	57,32	
	DP	115,85	481,6	1047,84	31,1	
Sólidos Voláteis (mg L ⁻¹)	Mínimo	3,33	6,67	125	2,5	-
	Máximo	201,67	391,67	16908,33	105	
	Média	53,87	133,75	1475,31	34,11	
	DP	57,91	119,19	4443,86	31,64	

“Tabela 14, conclusão”

Parâmetro	Estatística	Poços				VMP
		1	2	3	4	
Sólidos Dissolvidos (mg L ⁻¹)	Mínimo	2,05	16,13	2,75	8,32	1000
	Máximo	10,24	50,88	20,03	26,56	
	Média	5,88	31,49	7,91	17,27	
	DP	2,13	9,55	4,46	4,8	
Coliformes Totais (NMP/100 mL)	Mínimo	0	0	0	0	Ausente
	Máximo	9,5 x 10⁴	1,1 x 10⁶	1,1 x 10⁶	2,5x10⁵	
	Média*	2,2 x 10⁻³	5,0 x 10⁻⁵	6,3x10²	1,9x10⁻³	
	DP	-	-	-	-	
Coliformes Termotolerantes (NMP/100 mL)	Mínimo	0	0	0	0	Ausente
	Máximo	4,5x10⁴	1,1x10⁴	7,0x10⁴	2,5 x10⁵	
	Média*	4,0x10⁻⁶	3,0x10⁻⁶	9,1x10⁻³	5,0x10⁻⁶	
	DP	-	-	-	-	
Nitrogênio Amoniacal (mg L ⁻¹)	Mínimo	7,84	6,72	5,04	5,6	1,5
	Máximo	15,68	15,12	13,44	13,44	
	Média	9,52	9,68	8,36	9,16	
	DP	2,06	2,23	2,07	2,22	
Nitrato (mg L ⁻¹)	Mínimo	0,8	0,4	0,8	0,5	10
	Máximo	3,5	3,2	4,5	2,2	
	Média	2,11	1,66	2,04	1,2	
	DP	0,9	0,82	0,91	0,44	
Fósforo Total (mg L ⁻¹)	Mínimo	0,4	0,5	0,4	0,4	-
	Máximo	1,2	2,1	1,2	1,2	
	Média	0,88	1,13	0,74	0,81	
	DP	0,25	0,43	0,26	0,31	

*Média Geométrica;

DP: Desvio Padrão; VMP: Valores Máximos Permitidos pela Portaria n°. 2914/2011 do Ministério da Saúde.

Valores em negrito superam os VMP.

Tabela 15 Resultados do Teste estatístico “t” para a água subterrânea

Parâmetros	Poços		
	Poço 4 e 1	Poço 4 e 2	Poço 4 e 3
pH	0,400	0,208	0,000
Oxigênio Dissolvido	0,709	0,005	0,021
Condutividade	0,000	0,000	0,000
Turbidez	0,526	0,042	0,000
Cloreto	0,668	0,022	0,017
Alcalinidade	0,348	0,709	0,745
Dureza	0,704	0,340	0,963
DBO ₅	0,234	0,022	0,006
Nitrogênio Amoniacal	0,678	0,597	0,342
Nitrato	0,010	0,083	0,009
Fósforo Total	0,550	0,012	0,423

*Valores em negrito significam que houve diferença entre os resultados.

pH

De acordo com a Portaria nº 2914/2011 do MS a faixa recomendada de pH na água distribuída é de 6,0 a 9,5. Todos os poços apresentaram pH médio abaixo de 6, o que indica a necessidade de um tratamento prévio da água do aquífero para que esteja dentro do padrão de aceitação para consumo humano. Não houve variação significativa nos resultados das amostras analisadas nos poços de monitoramento 1 e 2 com o de montante (Tabela 15).

Observa-se ainda um caráter ácido das mesmas. De acordo com Krieger (2000), este fato favorece a lixiviação de metais, concentrando-os dissolvidos na fase aquosa.

Temperatura

A temperatura das águas subterrâneas é geralmente pouco variável. Observou-se nos poços analisados diferença mínima na média das temperaturas

no período analisado, sendo o mês de janeiro o mais quente e de junho representando o mês com menores temperaturas (Gráfico 3).

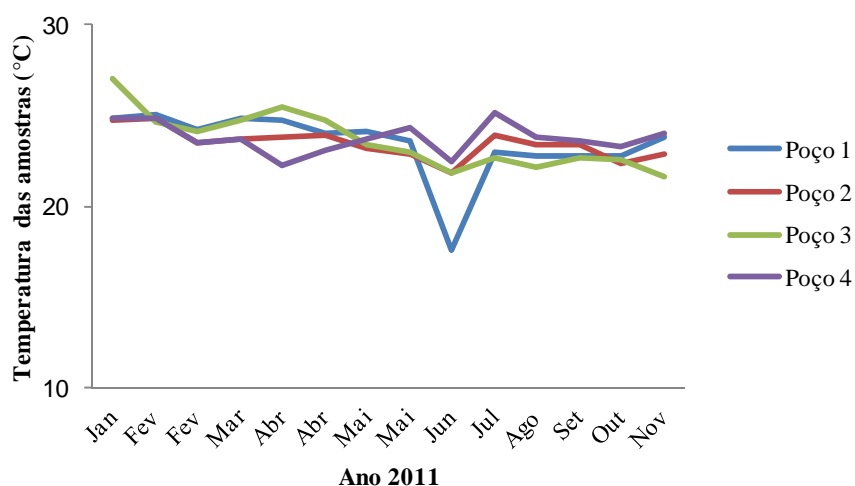


Gráfico 3 Variação da temperatura da água subterrânea ao longo do período de monitoramento

Demanda bioquímica de oxigênio (DBO₅), turbidez e sólidos totais

Em relação a DBO₅ todos os poços indicaram a presença de carga orgânica. Assim, não se pode concluir que este indício de contaminação dos poços a jusante da plataforma sejam apenas da carga orgânica infiltrada devido ao chorume produzido pelos RS no aterro sanitário. E ainda, há de se ressaltar que o poço de monitoramento 3 foi o que apresentou maior concentração de matéria orgânica, principalmente nos meses de janeiro a abril, como pode ser visto pela Gráfico 4. Lopes, Brigante e Schalch (2007) em estudo realizado em uma área de influência do aterro sanitário de São Carlos (SP) também constataram DBO₅ elevada nas amostras dos poços inclusive a jusante do aterro, superando o valor de 5 mg L⁻¹.

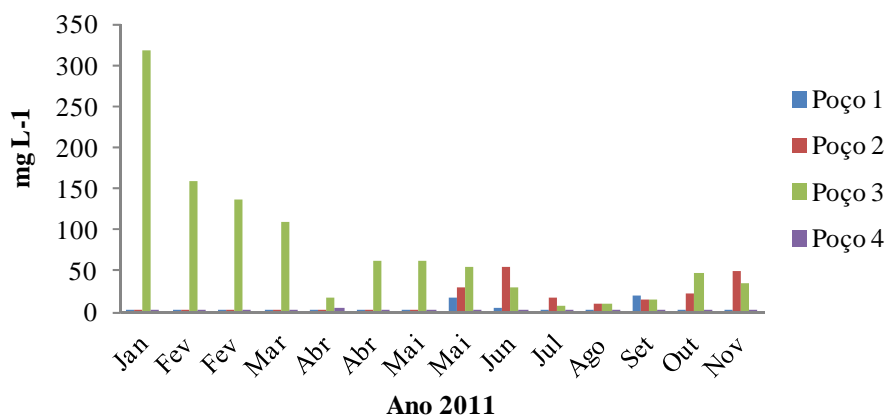


Gráfico 4 Valores de DBO₅ (mg L⁻¹) nas amostras dos poços analisados

Este indício de poluição também se reflete nos elevados valores de turbidez. O poço 3 apresentou uma água barrenta em todo o período de amostragem. Os demais poços, a média e a máxima foram superiores ao permitido para a água potável, mas com valores inferiores ao poço 3. Observa-se ainda pela Tabela 15, que houve uma variação significativa entre o poço a montante e os poços 2 e 3 para a DBO₅ e a turbidez.

Os valores de sólidos totais apresentaram ampla variação sazonal, sendo o poço 3 com elevada concentração de carga sólida. O que pode ser resultado da proximidade do poço com o mau funcionamento de um sistema de drenagem que pode estar provocando a sedimentação do material (Figura 8).



Figura 8 Poço de monitoramento 3

Oxigênio dissolvido (OD)

As concentrações de OD apresentaram-se com valores elevados com uma variação de 3,7 a 13,3 mg L⁻¹ (Gráfico 5), sendo que alguns valores se encontraram na faixa típica de águas subterrâneas, entre 0 e 5 mg L⁻¹, conforme citam Feitosa et al. (2008). Em relação aos dados analisados apenas não apresentaram variação significativa dos resultados o poço 1 com o de montante (Tabela 15).

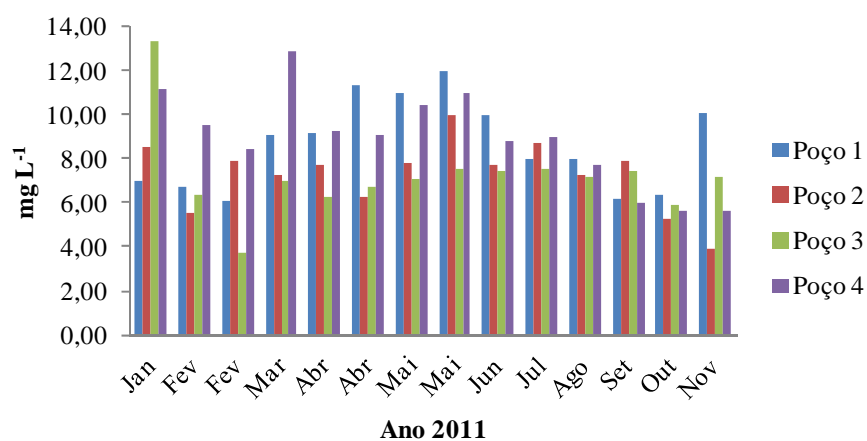


Gráfico 5 Concentração de OD (mg L⁻¹) nos poços de monitoramento

Coliformes totais e termotolerantes

A maioria das amostras de água proveniente dos poços apresentou-se com contagens elevadas do grupo coliforme totais, principalmente no período chuvoso onde houve um aumento significativo, com grande variação ao longo de todo o monitoramento, conforme se observa no Gráfico 6. Resultado semelhante foi obtido em estudo realizado no aterro sanitário de Cuiabá, onde também se observou grande variação dos coliformes totais (SANTOS, 2008).

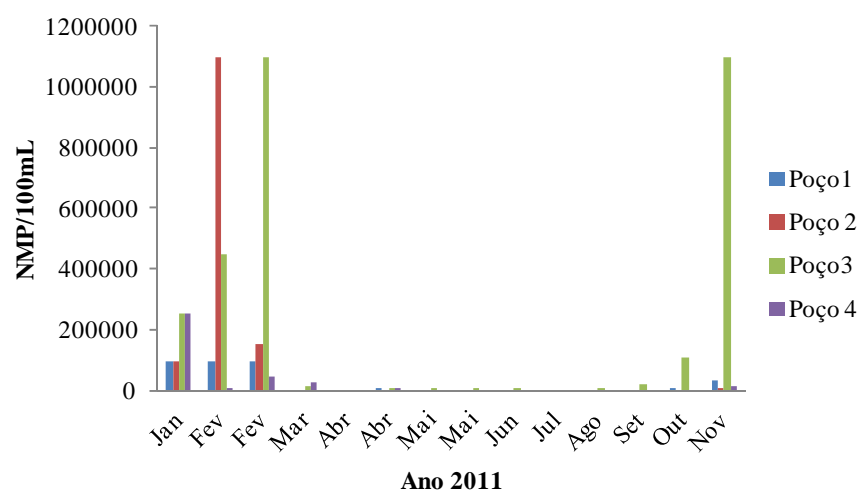


Gráfico 6 Variação do NMP/100 ml de coliformes totais nos poços de monitoramento

Elevada concentração de coliformes termotolerantes também se mostrou presente em algumas amostragens. A presença das variáveis estudadas, coliformes termotolerantes e totais, pode ter associação com de materiais oriundos de banheiro, como papéis higiênicos usados e fraldas descartáveis depositados no aterro. Fato este que pode ser explicado pelo transporte de bactérias no solo até ao lençol freático. Alguns estudos realizados mostraram que as distâncias percorridas por esses organismos podem chegar a quilômetros. Entretanto, Coelho (2007) salienta que é difícil fazer generalizações a respeito da distância percorrida por microorganismos no solo, uma vez que o movimento está relacionado diretamente com os valores de carga hidráulica.

Os períodos de sobrevivência de bactérias termotolerantes relatados em estudos realizados variam amplamente e os dados são frequentemente complicados pela possibilidade de reprodução das mesmas bactérias (BRASIL, 2007). Tem-se como pacífica a teoria de que o período de sobrevivência desses

organismos, de forma geral, é mais longo em águas subterrâneas do que em águas superficiais, em virtude da ausência de luz do sol e da baixa intensidade de competição por nutrientes disponíveis (COELHO, 2007).

Cloreto, condutividade e sólidos dissolvidos totais (SDT)

Segundo a Resolução CONAMA n°396/2008, para ter como uso preponderante o consumo humano, o cloreto na água subterrânea deve ter como valor máximo de 250 mg L⁻¹. Das amostras coletadas, nenhuma apresentou valor acima do permitido, como pode ser observado no Gráfico 7. Não houve diferença significativa entre as análises realizadas entre os poços 1 e a montante (Tabela 18).

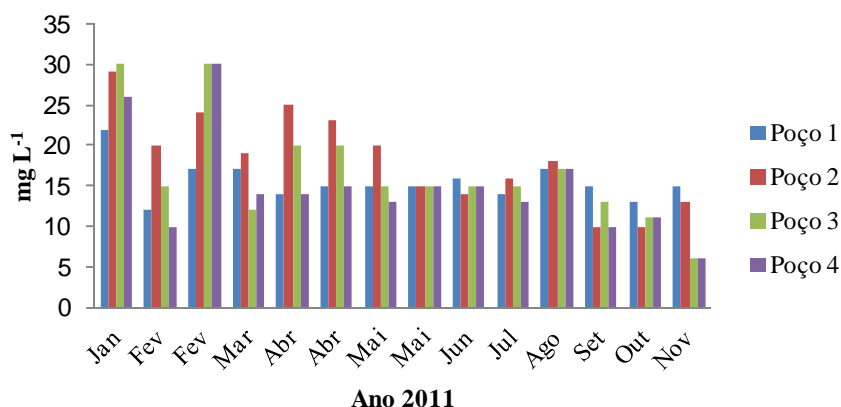


Gráfico 7 Concentração de cloreto (mg L⁻¹) nos poços de monitoramento

A condutividade não se apresentou com resultados elevados em nenhum dos poços monitorados, variando entre 3,2 e 79,5 $\mu\text{s cm}^{-1}$. Não há padrão de potabilidade estabelecido pelo MS, entretanto segundo a CETESB (2005b) valores acima de 100 $\mu\text{s cm}^{-1}$ representam ambientes impactados.

Em todos os poços, houve diferença significativa dos resultados em relação ao poço de montante (Tabela 15). O Gráfico 8 mostra os valores de condutividade para os poços amostrados. Observa-se que os maiores valores de condutividade ocorreram no Poço 2, assim como as altas concentrações de cloreto, demonstrando a presença de sais na água.

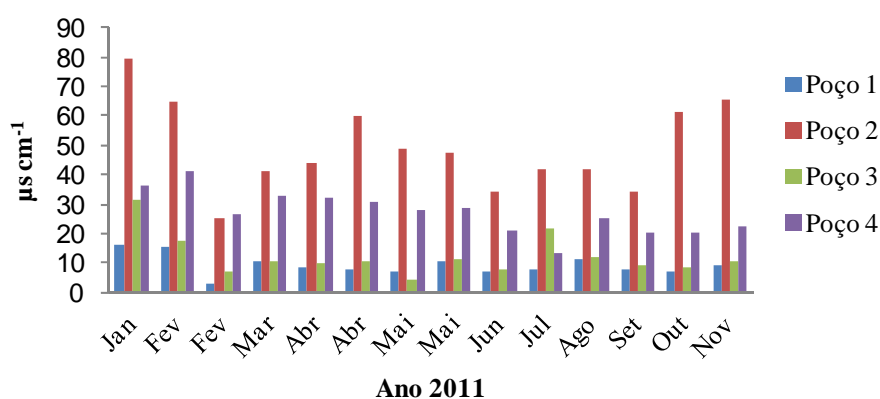


Gráfico 8 Valores de condutividade ($\mu\text{s cm}^{-1}$) nos poços de monitoramento

Em relação aos SDT, nenhum dos poços superou o valor máximo permitido de 1000 mg L^{-1} pelo MS e pela Resolução n° 396/2008 para se ter como uso o consumo humano. Houve uma variação entre 2,05 e $50,88 \text{ mg L}^{-1}$ durante o monitoramento para os quatro poços.

Dureza e alcalinidade

Nenhum dos poços apresentou diferença significativa para os parâmetros dureza e alcalinidade, entre os poços a jusante com o de montante (Tabela 15).

O parâmetro dureza, em todos os pontos amostrados, encontrou-se abaixo do padrão estabelecido pela Portaria n°2914/2011 do MS, que é da ordem

de 500mg L^{-1} . Pequena variação entre os quatro poços, de 8 a 48 mg L^{-1} foi observado (Gráfico 9).

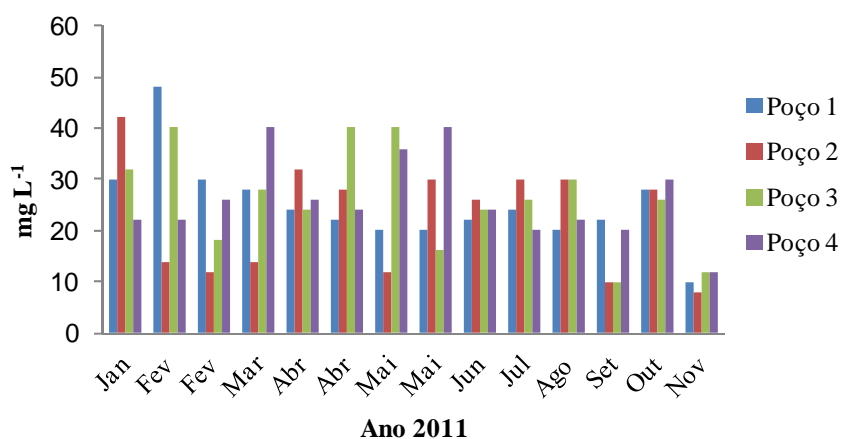


Gráfico 9 Valores de dureza (mg L^{-1}) nos poços de monitoramento

A alcalinidade também apresentou pouca variação entre os pontos amostrados, de 5 a 23 mg L^{-1} (Gráfico 10).

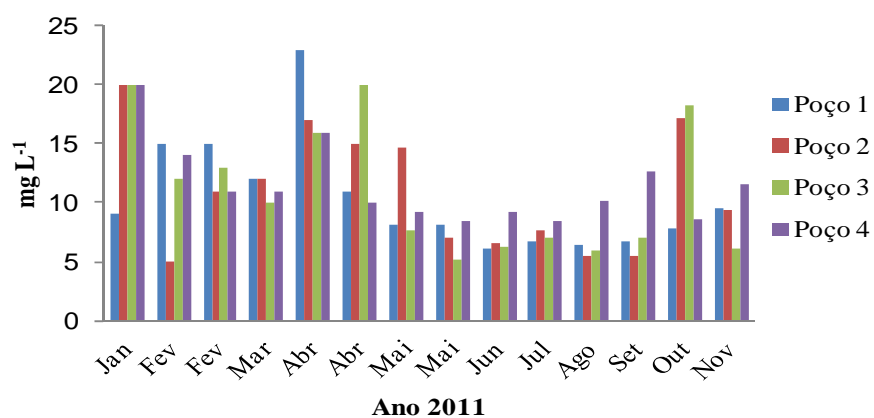


Gráfico 10 Valores de alcalinidade (mg L^{-1}) nos poços de monitoramento

Nitrogênio

A presença de nitrato aparentemente não foi alta levando em consideração a Portaria n°2914/2011 do MS e a Resolução n°420/2009, que tem como limite e valor orientado para investigação 10 mg L^{-1} . Mas pode-se afirmar que houve variação significativa dos resultados obtidos em relação ao poço 4 com os poços 1 e 3 (Tabela 15). Salienta-se que o nitrato é a forma mais oxidada de nitrogênio, indicando poluições não tão recentes.

Em relação ao nitrogênio amoniacal, em todas as amostras das campanhas realizadas, foram detectadas teores elevados, acima de $1,5 \text{ mg L}^{-1}$. O nitrogênio, na forma amoniacal, indica a ocorrência de contaminação direta por matéria orgânica. As amostras analisadas não apresentaram variação significativa entre os resultados (Tabela 15). O Gráfico 11 traz o comportamento dessa variável ao longo dos 4 poços de coleta.



Gráfico 11 Variação da concentração de nitrogênio amoniacal (mg L^{-1})

Fósforo total

A concentração de fósforo nos poços 1, 3 e 4 apresentaram variações idênticas, entre 0,4 a 1,2 mg L⁻¹ e o poço 2 apresentou uma variação entre 0,5 e 1,2 mg L⁻¹ (Gráfico 12). Apenas o poço 2 apresentou variação significativa dos resultados em relação ao poço 4 a montante (Tabela 15).

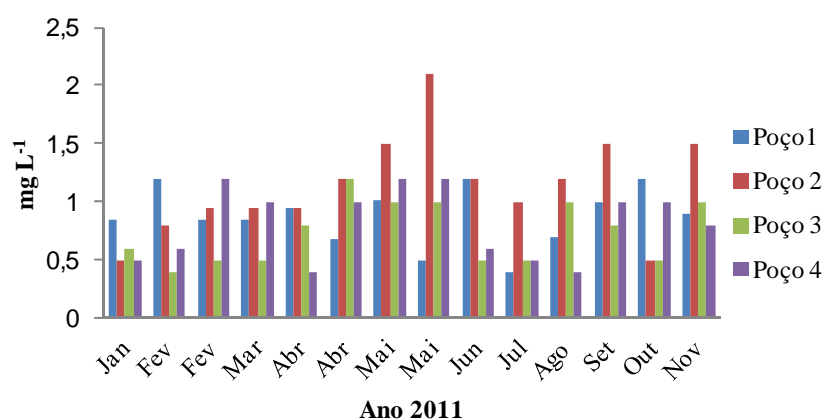


Gráfico 12 Concentração fósforo total (mg L⁻¹) nos poços de monitoramento

4.1.2 Análise química de metais pesados e substâncias inorgânicas na água subterrânea

A seguir são apresentados os resultados das análises de metais pesados realizadas nas amostras de água subterrânea.

Tabela 16 Resultados das análises química de metais pesados e substâncias inorgânicas do poço de monitoramento 1

Parâmetro	Data													Média
	14/2	28/2	23/3	6/4	27/4	10/5	24/5	27/6	19/7	16/8	6/9	18/10	8/11	
Potássio ⁽¹⁾	1,17	1,07	1,94	0,96	2,37	0,51	0,66	1,52	ND	9,4	3,7	3,5	ND	2,44
Alumínio ⁽²⁾	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	170	ND	ND	ND	ND	ND	170
Cádmio ⁽²⁾	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Chumbo ⁽²⁾	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Cobalto ⁽²⁾	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Cobre ⁽²⁾	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	10	ND	ND	ND	ND	ND	10
Cromo ⁽²⁾	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Ferro ⁽²⁾	90	110	80	50	30	30	20	30	ND	ND	0,03	ND	230	67,003
Lítio ⁽²⁾	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Manganês ⁽²⁾	20	20	20	20	20	10	10	10	ND	ND	ND	ND	150	31,11
Mercurio ⁽²⁾	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	ND	ND	ND	ND	ND	0,08
Sódio ⁽²⁾	4890	8850	6410	6910	7500	5900	6580	9110	ND	1240	ND	2500	4300	5835,45
Zinco ⁽²⁾	30	30	40	20	100	50	40	30	0,04	60	0,02	60	60	40,00

(1) mg L⁻¹; (2) µg L⁻¹;

ND: Não detectado, menor do que o limite de quantificação pelo método de análise.

Tabela 17 Resultados das análises química de metais pesados e substâncias inorgânicas do poço de monitoramento 2

Parâmetro	Data													Média
	14/2	28/2	23/3	6/4	27/4	10/5	24/5	27/6	19/7	16/8	6/9	18/10	8/11	
Potássio ⁽¹⁾	3,28	3,77	3,06	3,29	3,38	3,29	2,9	2,28	ND	ND	ND	ND	ND	3,16
Alumínio ⁽²⁾	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	170	ND	ND	ND	ND	ND	170
Cádmio ⁽²⁾	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	30	ND	ND	ND
Chumbo ⁽²⁾	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Cobalto ⁽²⁾	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Cobre ⁽²⁾	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	10	ND	ND	ND	ND	ND	10
Cromo ⁽²⁾	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Ferro ⁽²⁾	50	50	60	80	30	60	60	120	ND	520	ND	ND	40	107
Lítio ⁽²⁾	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Manganês ⁽²⁾	10	10	10	10	10	10	10	10	ND	ND	120	ND	ND	22,22
Mercurio ⁽²⁾	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	ND	ND	ND	ND	ND	0,08
Sódio ⁽²⁾	20150	20320	20820	21080	21410	23020	22760	21410	ND	6800	6200	6200	8050	16518,33
Zinco ⁽²⁾	60	40	40	50	60	60	50	80	780	70	70	40	70	113,08

(1) mg L⁻¹; (2) µg L⁻¹;

ND: Não detectado, menor do que o limite de quantificação pelo método de análise.

Tabela 18 Resultados das análises química de metais pesados e substâncias inorgânicas do poço de monitoramento 3

Parâmetro	Data													Média
	14/2	28/2	23/3	6/4	27/4	10/5	24/5	27/6	19/7	16/8	6/9	18/10	8/11	
Potássio ⁽¹⁾	0,6	0,74	0,78	0,53	0,62	0,86	0,76	0,72	ND	7,5	ND	ND	ND	1,46
Alumínio ⁽²⁾	330	170	170	330	170	330	330	170	ND	ND	ND	ND	ND	250
Cádmio ⁽²⁾	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Chumbo ⁽²⁾	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Cobalto ⁽²⁾	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Cobre ⁽²⁾	10	10	10	10	10	10	10	10	ND	ND	ND	ND	ND	10
Cromo ⁽²⁾	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Ferro ⁽²⁾	510	310	250	620	310	350	280	600	310	620	140	20	ND	360
Lítio ⁽²⁾	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Manganês ⁽²⁾	20	20	20	30	20	40	20	20	ND	120	ND	ND	ND	34,44
Mercurio ⁽²⁾	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	ND	ND	ND	ND	ND	0,08
Sódio ⁽²⁾	3540	2950	2190	2950	3370	2780	2110	2360	ND	ND	ND	ND	ND	2781,25
Zinco ⁽²⁾	10	40	20	40	20	40	40	30	ND	30	30	10	40	29,17

(1) mg L⁻¹; (2) µg L⁻¹;

ND: Não detectado, menor do que o limite de quantificação pelo método de análise.

Tabela 19 Resultados das análises química de metais pesados e substâncias inorgânicas do poço de monitoramento 4

Parâmetro	Data													Média
	14/2	28/2	23/3	6/4	27/4	10/5	24/5	27/6	19/7	16/8	6/9	18/10	8/11	
Potássio ⁽¹⁾	2,67	5,51	2,6	2,53	2,85	2,57	2,75	2,33	3,62	ND	ND	ND	ND	3,05
Alumínio ⁽²⁾	170	ND	ND	ND	ND	ND	ND	330	ND	ND	ND	ND	ND	250
Cádmio ⁽²⁾	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Chumbo ⁽²⁾	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Cobalto ⁽²⁾	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Cobre ⁽²⁾	10	10	10	10	ND	10	ND	10	ND	ND	ND	ND	ND	10
Cromo ⁽²⁾	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Ferro ⁽²⁾	290	90	90	80	90	110	20	30	140	ND	60	ND	0,06	90,91
Lítio ⁽²⁾	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Manganês ⁽²⁾	30	10	20	20	10	10	10	10	ND	ND	30	ND	ND	16,67
Mercúrio ⁽²⁾	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	ND	ND	ND	ND	ND	0,08
Sódio ⁽²⁾	2780	4220	3370	3630	3630	3120	4300	4380	ND	1240	ND	ND	ND	3407,78
Zinco ⁽²⁾	10	80	10	40	170	30	110	20	210	40	20	20	0,04	58,46

(1) mg L⁻¹; (2) µg L⁻¹;

ND: Não detectado, menor do que o limite de quantificação pelo método de análise.

O poço 1 apresentou em apenas um evento o valor de $150 \mu\text{g L}^{-1}$ para o parâmetro manganês, superior ao VMP pela Resolução nº396/2008 para uso humano e o poço 2, para o parâmetro ferro, também apresentou-se acima do permitido no mês de agosto. Entretanto, segundo a Resolução nº420/2009 estes valores são inferiores ao valor orientado para investigação, 400 e $2450 \mu\text{g L}^{-1}$ respectivamente. Apesar destes resultados, os demais parâmetros analisados encontram-se dentro dos padrões estabelecidos pelas normativas. Estes poços de monitoramento não estão sofrendo a influência da decomposição dos resíduos da plataforma encerrada do aterro.

Para o poço de monitoramento 3, observa-se que os valores de alumínio se apresentaram acima ou próximo do padrão estabelecido pelo MS para consumo humano. Existem estudos que associam concentrações elevadas de alumínio no organismo humano com o Mal de Alzheimer. Além do alumínio, o ferro também se apresentou com teores elevados, não sendo possível enquadrá-lo para o consumo humano. Entretanto, salienta-se que de acordo com a Resolução CONAMA nº420/2009, estes valores de alumínio e ferro encontram-se abaixo dos valores orientados de investigação. O ferro ocorre normalmente associado ao manganês e confere a água um sabor amargo adstringente e os altos teores de ferro em águas subterrâneas podem estar ligados à ocorrência de ferrobactérias ou mesmo a corrosão do revestimento ou do filtro do poço.

No poço 4, a montante, também foi constatado a presença de alumínio e ferro em um evento de amostragem fora dos padrões estabelecidos. Lopes, Brigante e Schalch (2007) obtiveram valores de ferro acima do preconizado pelo MS nas amostras de todos os poços inclusive a montante, na água subterrânea sob influência do aterro sanitário de São Carlos (SP).

Como se pode observar, as outras análises de metal realizadas encontraram-se de acordo com o estabelecido pela legislação.

4.1.3 Análise descritiva das águas superficiais

A Tabela 20 mostra os resultados da avaliação das variáveis físicas, químicas e bacteriológicas das 4 campanhas de amostragens de água superficial por meio da média, mínima, máximo e desvio padrão, e na Tabela 21 a análise da estatística “t” de student para os três pontos de monitoramento.

Tabela 20 Estatística descritiva das amostras de água superficial

Parâmetro	Estatística	Pontos			VMP
		1	2	3	
Temperatura da água (°C)	Mínimo	16,3	23,8	20,1	-
	Máximo	19,1	28,1	23,3	
	Média	17,73	25,73	21,95	
	DP	1,53	1,99	1,34	
Temperatura do ar (°C)	Mínimo	25,3	25,1	25,1	-
	Máximo	29,4	34,6	33,5	
	Média	27,38	29,73	30,28	
	DP	1,68	3,94	3,68	
pH	Mínimo	4,89	5,03	4,12	6 a 9,5
	Máximo	6,33	6,6	6,05	
	Média	5,57	5,66	5,22	
	DP	0,59	0,67	0,82	
DBO ₅ (mg L ⁻¹)	Mínimo	0,2	0,5	0,5	-
	Máximo	5,15	3,25	1,7	
	Média	1,9	1,35	1,06	
	DP	-	-	-	
Oxigênio Dissolvido (mg L ⁻¹)	Mínimo	6,1	5,3	5,5	-
	Máximo	7,1	8,9	7	
	Média	6,73	7,88	6,28	
	DP	0,45	1,72	0,69	
Cloreto (mg L ⁻¹)	Mínimo	8	8	6	250
	Máximo	18	19	18	
	Média	11,25	11,75	11,5	
	DP	4,57	4,99	5	

“Tabela 20, continuação”

Parâmetro	Estatística	Pontos			VMP
		1	2	3	
Turbidez (UNT)	Mínimo	4,21	7,3	3,85	5
	Máximo	12,02	47,5	11,78	
	Média	7,95	19,17	6,4	
	DP	4,16	19,09	3,65	
Dureza (mg L ⁻¹)	Mínimo	14	6	8	500
	Máximo	36	28	22	
	Média	23	17,5	15	
Alcalinidade (mg L ⁻¹)	DP	10,13	9	5,77	-
	Mínimo	6,8	7,7	9,9	
	Máximo	10,4	12,1	13,1	
Conductividade ($\mu\text{s cm}^{-1}$)	Média	8,5	9,1	11	-
	DP	1,53	2,03	1,47	
	Mínimo	14	9,4	24	
Sólidos Totais (mg L ⁻¹)	Máximo	17,2	15	28,1	-
	Média	15,45	12,03	25,65	
	DP	1,34	2,3	1,84	
Sólidos Fixos (mg L ⁻¹)	Mínimo	40	141,67	30	-
	Máximo	378,33	255	237,5	
	Média	227,5	175,42	153,54	
Sólidos Voláteis (mg L ⁻¹)	DP	154,54	53,34	88,12	-
	Mínimo	5	20	5	
	Máximo	253,33	160	192,5	
Sólidos Dissolvidos (mg L ⁻¹)	Média	112,08	78,33	62,71	-
	DP	108,32	59,49	88,91	
	Mínimo	35	63,33	25	
Sólidos Dissolvidos (mg L ⁻¹)	Máximo	191,67	130	158,33	-
	Média	115,42	97,08	90,83	
	DP	64,3	27,3	65,68	
Sólidos Dissolvidos (mg L ⁻¹)	Mínimo	8,96	6,02	15,36	1000
	Máximo	11,01	9,6	17,98	
	Média	9,89	7,7	16,42	
	DP	0,86	1,47	1,18	

“Tabela 20, conclusão”

Parâmetro	Estatística	Pontos			VMP
		1	2	3	
Coliformes Totais (NM/100 mL)	Mínimo	7,0 x10³	0	0	Ausente
	Máximo	9,5x10⁴	1,4 x10⁷	4,5x10⁴	
	Média*	2,4x10⁴	2,8x10²	1,8 x10¹	
	DP	-	-	-	
Coliformes Termotolerantes (NMP/100 mL)	Mínimo	7,0 x 10³	0	0	Ausente
	Máximo	9,5 x 10⁴	1,4 x10⁷	2,5 x 10⁴	
	Média*	1,5x10⁴	8,8x10¹	1,5x10¹	
	DP	-	-	-	
Nitrogênio Amoniacal (mg L ⁻¹)	Mínimo	8,96	10,08	9,52	1,5
	Máximo	15,12	11,2	11,76	
	Média	11,34	10,78	10,5	
	DP	2,68	0,54	0,96	
Nitrato (mg L ⁻¹)	Mínimo	1,2	1	1,5	10
	Máximo	3,5	2,5	4,5	
	Média	2,18	1,78	2,5	
	DP	1,04	0,63	1,41	
Fósforo Total (mg L ⁻¹)	Mínimo	0,8	0,8	0,5	-
	Máximo	2	2,2	1,2	
	Média	1,33	1,2	0,98	
	DP	0,54	0,67	0,33	

*Média Geométrica;

DP: Desvio Padrão;

VMP: Valores Máximos Permitidos pela Portaria n° 2914/2011 do Ministério da Saúde.

Valores em negrito superam os VMP pelo MS.

Tabela 21 Resultado do Teste estatístico “t” para a água superficial

Parâmetro	Ponto 1 e 2	Ponto 1 e 3	Ponto 2 e 3
Ph	0,448	0,170	0,112
Oxigênio Dissolvido	0,182	0,460	0,219
Condutividade	0,125	0,000	0,003
Turbidez	0,374	0,474	0,308
Cloreto	0,495	0,824	0,760
Alcalinidade	0,338	0,002	0,010
Dureza	0,115	0,053	0,239
DBO ₅	0,725	0,564	0,752
Nitrogênio Amoniacal	0,689	0,595	0,391
Nitrato	0,483	0,786	0,481
Fósforo Total	0,834	0,474	0,501

Valores em negrito significam que houve diferença entre os resultados.

pH

Os valores de pH variaram entre 4,12 e 6,60, inferindo a acidez do mesmo (Gráfico 13). Verifica-se que a média e o valor mínimo observados deste parâmetro para os três pontos amostrados encontraram-se abaixo do recomendado pela DN COPAM 01/2008 para cursos d'água enquadrados como classe 1, que é entre 6 a 9.

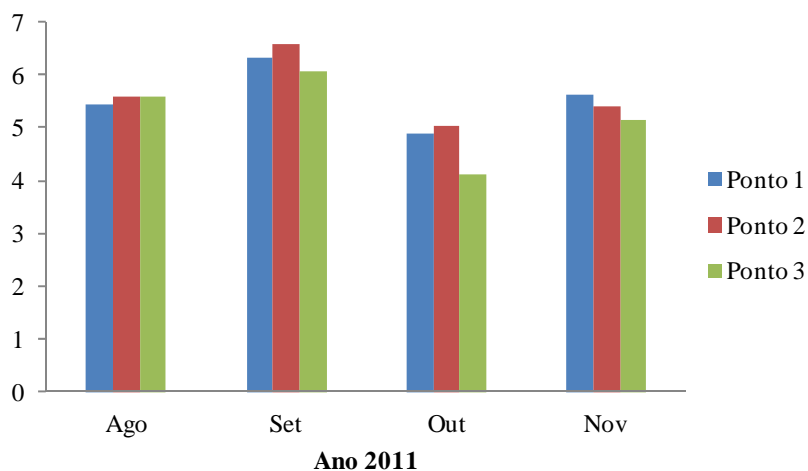


Gráfico 13 Valores de pH nos pontos de amostragem de água superficial

Oxigênio dissolvido(OD)

Observa-se pelo Gráfico 14 que houve uma variação das concentrações de OD durante as amostragens, mas não apresentaram diferença significativa entre os resultados como pode ser visto pelo teste “t” de Student na Tabela 21. Em alguns eventos os valores encontrados para os pontos 2 e 3 estavam em desacordo com o estabelecido pela DN COPAM 01/2008 para o enquadramento do curso em classe 1, que é acima de 6 mg L^{-1} . Lopes (2007), em estudo sobre a qualidade da água no córrego da Cachoeira Grande em Brotas (SP) sob influência de um aterro sanitário, também encontrou variação nos valores de OD com teores abaixo de $6,0 \text{ mg L}^{-1}$.

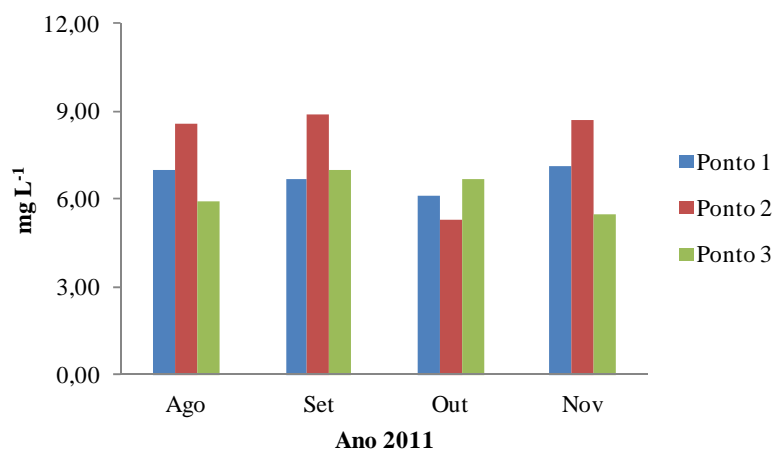


Gráfico 14 Concentração de OD (mg L⁻¹) nos pontos de amostragem de água superficial

Demanda bioquímica de oxigênio (DBO₅)

Em relação à DBO₅, os pontos amostrados apresentaram médias abaixo de 3,0 mg L⁻¹, que é o limite estabelecido pela DN COPAM 01/2008, apesar de que algumas amostragens demonstraram valores superiores a este (Gráfico 15).

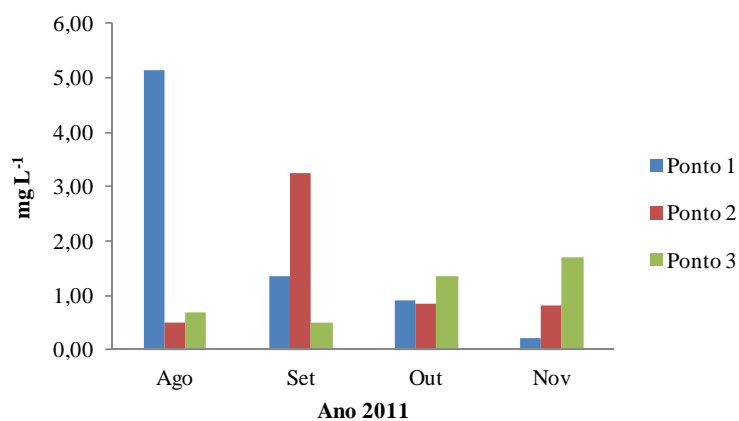


Gráfico 15 Valores de DBO₅ (mg L⁻¹) nas amostras dos pontos analisados

Alcalinidade

A DN COPAM 01/2008 não aponta limites de enquadramento para o parâmetro alcalinidade. A Tabela 21 mostra que houve uma diferença significativa entre os resultados apresentados do ponto 3 em relação aos demais. O Gráfico 16 apresenta o comportamento dessa variável ao longo do período analisado.

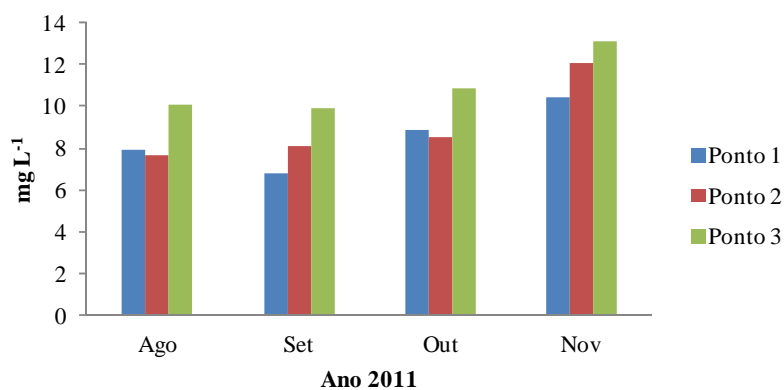


Gráfico 16 Valores de alcalinidade (mg L^{-1}) nos pontos de amostragem de água superficial

Cloreto

Verifica-se que os resultados máximos encontrados para o parâmetro cloreto estão abaixo dos valores preconizados tanto para o consumo humano de acordo com a Portaria n°2914/2011 do MS como para o DN COPAM 01/2008, enquadramento deste curso d'água como classe 1, na ordem de 250 e 100 mg L^{-1} respectivamente. Observa-se ainda pela Tabela 21 que não houve diferença significativa entre os resultados. Pode-se ver pelo Gráfico 17 que o mês de agosto foi o que apresentou maiores concentrações nos três pontos avaliados, o que pode ser devido ao período seco que tende a concentrar mais os sais. Lopes

(2007) avaliou a água no córrego do Galdino em São Carlos (SP) e também encontrou valores baixos de cloreto, entre 0,4 e 11,3 mg L⁻¹.

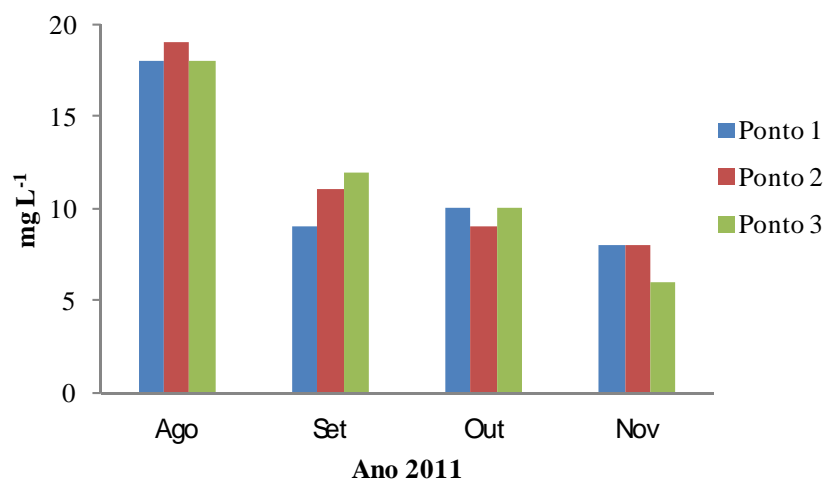


Gráfico 17 Concentração de cloreto (mg L⁻¹) nos pontos de amostragem de água superficial

Turbidez

Outro parâmetro que se encontra fora do padrão estabelecido pelo MS é a turbidez. Mas de acordo com o enquadramento dos cursos d'água para classe 1 da DN COPAM 01/2008, os pontos 1 e 3 atendem a norma com resultados abaixo de 40 UNT. Entretanto, no ponto 2 observou-se um evento acima do recomendado com valor bastante elevado (Gráfico 18).

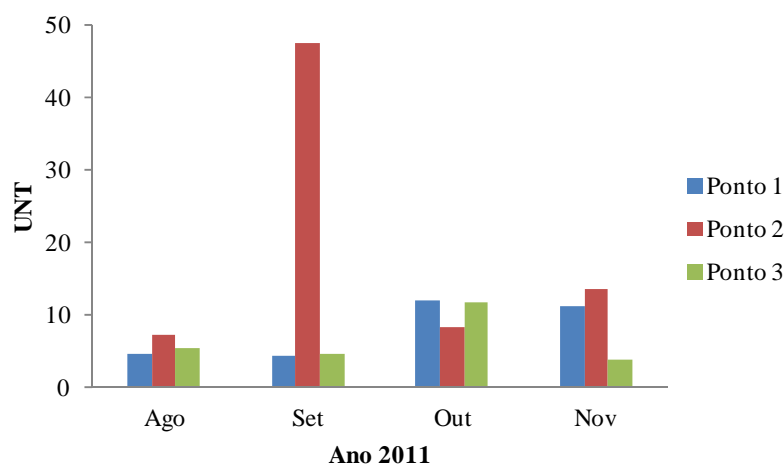


Gráfico 18 Valores de turbidez (UNT) nos pontos de amostragem de água superficial

Sólidos totais e sólidos dissolvidos

Constatou-se que todos os valores de sólidos dissolvidos das amostras analisadas estavam entre 6,02 e 17,98 mg L⁻¹, portanto encontravam-se bem abaixo dos valores estabelecidos pela DN COPAM 01/2008, que é de 500 mg L⁻¹. Já os sólidos totais encontraram-se entre 30 e 378,33 mg L⁻¹, acima dos 50 mg L⁻¹ determinados para enquadramento como classe 1. Os sólidos totais em águas caracterizam o teor de matéria seca das mesmas.

Dureza

Em relação à dureza todas as amostras atenderam ao valor estabelecido pelo MS. A DN COPAM 01/2008 não aponta valores para se enquadrar como classe 1. Por meio do Gráfico 19 podem-se visualizar os valores de dureza obtidos nas quatro campanhas de amostragens.

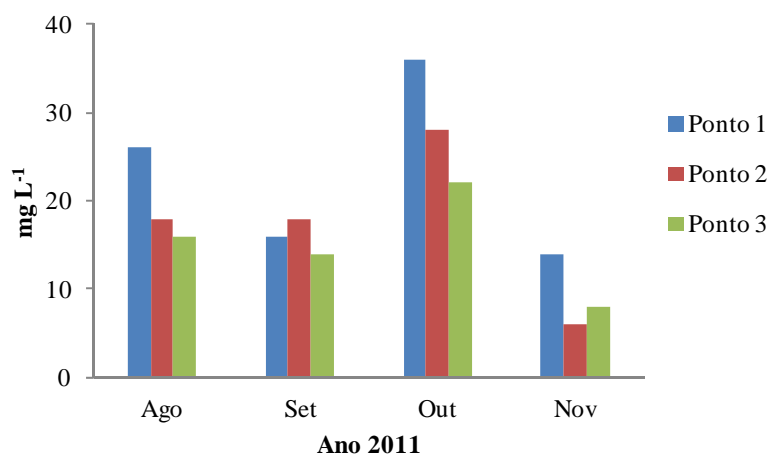


Gráfico 19 Concentração de dureza (mg L^{-1}) nos pontos de amostragem de água superficial

Coliformes totais e termotolerantes

O MS determina que os coliformes totais e termotolerantes devem estar ausentes, mas para serem enquadrados como classe 1 a DN COPAM 01/2008 determina que os coliformes termotolerantes não devem exceder um limite de 200NMP/100 mL. Observa-se que a média do Poço 1 encontra-se com valor de coliformes termotolerantes bastante superior ao limite e os poços 2 e 3 apresentaram-se com médias abaixo, com valores de 88,59 e 15,40NMP/100 mL respectivamente. Isto demonstra que em nenhum dos pontos os coliformes totais foram ausentes, não sendo apropriado para consumo humano.

Nitrogênio

Em relação aos compostos de nitrogênio, o nitrato é incluído com um teor máximo permissível de 10 mg L^{-1} de acordo com o MS e a DN COPAM 01/2008. Nenhum dos pontos analisados apresentou valores superiores ao estabelecido por estas normativas (Gráfico 20).

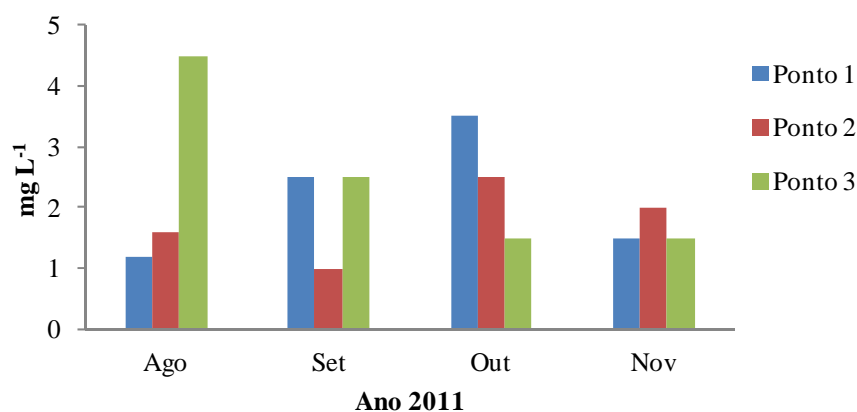


Gráfico 20 Concentração de nitrato (mg L^{-1}) nos pontos de amostragem de água superficial

O nitrogênio amoniacal apresentou valores entre $8,96$ e $15,12 \text{ mg L}^{-1}$ (Gráfico 21). Estas concentrações demonstram que todos os pontos analisados apresentam-se acima dos valores preconizados pelo MS, que é da ordem de $1,5 \text{ mg L}^{-1}$ e pela DN COPAM 01/2008, que estabelece para o enquadramento como classe 1 e corpos d'água com pH menor que 7,5, o limite de concentração de nitrogênio amoniacal de $3,7 \text{ mg L}^{-1}$. Estes resultados mostram que a possível contaminação é recente. Em baixas concentrações, como é comumente encontrada, não causa nenhum dano fisiológico aos seres humanos e animais, já em grandes quantidades pode causar consequências aos peixes (MINAS GERAIS, 2007).

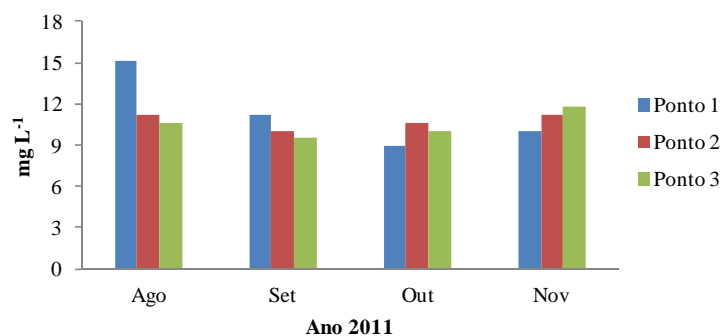


Gráfico 21 Concentração de nitrogênio amoniacal (mg L^{-1}) nos pontos de amostragem de água superficial

Fósforo total

A DN COPAM 01/2008 estabelece que o limite para águas de classe 1, o teor de fósforo total não deve ultrapassar $0,025 \text{ mg L}^{-1}$. Valores elevados com uma variação entre $0,50$ e $2,20 \text{ mg L}^{-1}$ foram observadas nas campanhas realizadas (Gráfico 22).

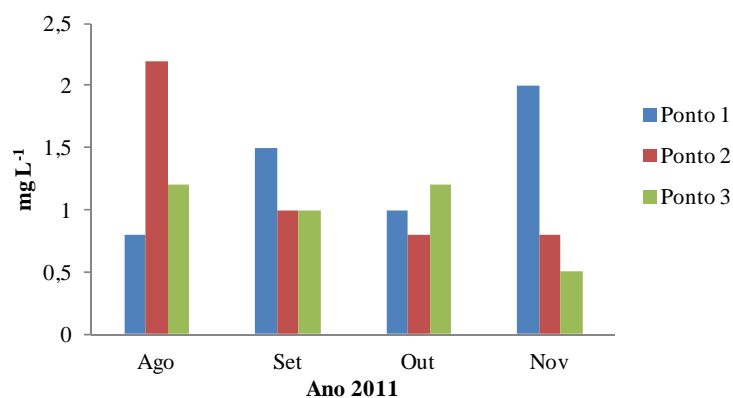


Gráfico 22 Concentração de fósforo total (mg L^{-1}) nos pontos de amostragem de água superficial

4.1.4 Análise química de metais e substâncias inorgânicas da água superficial

Nas Tabelas 22, 23 e 24 encontram-se as análises de metais e substâncias inorgânicas avaliadas na água superficial.

Tabela 22 Resultado das análises químicas de metais pesados e substâncias inorgânicas no ponto 1

Parâmetro (mg L ⁻¹)	Data				Média
	16/8	6/9	18/10	8/11	
Cálcio	1110	850	890	850	925
Magnésio	420	370	350	340	370
Potássio	ND	ND	3,75	1,8	2,775
Alumínio	ND	ND	ND	ND	ND
Cádmio	ND	ND	ND	ND	ND
Chumbo	ND	ND	ND	ND	ND
Cobalto	ND	ND	ND	ND	ND
Cobre	ND	ND	ND	ND	ND
Cromo	ND	ND	ND	ND	ND
Ferro	0,83	0,66	1,05	0,87	0,85
Lítio	ND	ND	ND	ND	ND
Manganês	0,03	0,03	0,03	ND	0,03
Mercurio	ND	ND	ND	ND	ND
Sódio	ND	ND	4,3	ND	4,3
Zinco	ND	0,01	ND	ND	0,01

ND: Não detectado, menor do que o limite de quantificação pelo método de análise.

Tabela 23 Resultado das análises químicas de metais pesados e substâncias inorgânicas no ponto 2

Parâmetro (mg L ⁻¹)	Data				Média
	16/8	6/9	18/10	8/11	
Cálcio	690	870	570	580	677,5
Magnésio	140	100	120	90	112,5
Potássio	ND	ND	ND	3,5	3,5
Alumínio	ND	ND	ND	ND	ND
Cádmio	ND	ND	ND	ND	ND
Chumbo	ND	ND	ND	ND	ND
Cobalto	ND	ND	ND	ND	ND
Cobre	ND	ND	ND	ND	ND
Cromo	ND	ND	ND	ND	ND
Ferro	2,7	1,98	2,02	1,13	1,96
Lítio	ND	ND	ND	ND	ND
Manganês	ND	0,02	ND	ND	0,02
Mercúrio	ND	ND	ND	ND	ND
Sódio	2,48	ND	ND	ND	2,48
Zinco	0,01	ND	ND	ND	0,01

ND: Não detectado, menor do que o limite de quantificação pelo método de análise.

Tabela 24 Resultado das análises químicas de metais pesados e substâncias inorgânicas no ponto 3

Parâmetro (mg L ⁻¹)	Data				Média
	16/8	6/9	18/10	8/11	
Cálcio	1430	2170	1890	2370	1965
Magnésio	380	480	420	520	450
Potássio	ND	ND	3,7	1,9	2,8
Alumínio	ND	ND	ND	ND	ND
Cádmio	ND	ND	ND	ND	ND
Chumbo	ND	ND	ND	ND	ND
Cobalto	ND	ND	ND	ND	ND
Cobre	ND	ND	ND	ND	ND
Cromo	ND	ND	ND	ND	ND
Ferro	0,78	1,48	0,24	0,43	0,73
Lítio	ND	ND	ND	ND	ND
Manganês	ND	0,05	0,08	0,03	0,05
Mercúrio	ND	ND	ND	ND	ND
Sódio	1,86	ND	3,1	3,1	2,69
Zinco	0,05	3,1	0,02	ND	1,06

ND: Não detectado, menor do que o limite de quantificação pelo método de análise.

Observa-se que em quase todas as amostragens dos pontos avaliados o parâmetro ferro encontrou-se elevado, acima do valor máximo permitido de 0,30 mg L⁻¹ para o consumo humano segundo o MS e enquadramento do corpo de água como classe 1 da DN COPAM 01/2008. Este resultado pode estar associado à dissolução de compostos no solo, pela recarga do aquífero que também apresentou considerável concentração de ferro, ou até mesmo pela influência da disposição dos resíduos no solo, onde pode estar ocorrendo o carreamento do mesmo. Oliveira e Santana (2010) analisaram amostras de águas superficiais da circunvizinhança do Aterro Municipal de Manaus e também constataram a presença do ferro em concentrações acima do recomendado. Nota-se ainda que para o ponto 3, o valor médio do parâmetro zinco apresentou-se

acima do VMP segundo a DN COPAM 01/2008, que é de $0,18 \text{ mg L}^{-1}$. Outro ponto que chama a atenção são os altos valores encontrados para os parâmetros cálcio e magnésio em todos as amostragens.

4.2 Aterro sanitário de Uberlândia

Consta nas Tabelas 25 e 26 os resultados das análises realizadas na água subterrânea a montante e a jusante da área do aterro sanitário de Uberlândia.

Tabela 25 Caracterização da água subterrânea a montante da área do aterro sanitário de Uberlândia

Parâmetro	2009						2010					
	3º Trimestre			4º Trimestre			1º Trimestre			2º Trimestre		
	M1	M2	M3	M1	M2	M3	M1	M2	M3	M1	M2	M3
ph	Seco	Seco	5,59	Seco	Seco	5,59	6	Seco	Seco	5,11	5,78	5,91
ph in situ	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5	6	6
Temperatura in situ	-	-	-	-	-	-	-	-	-	26	25	24,5
Alcalinidade total ⁽¹⁾	-	-	-	Seco	Seco	31	29	Seco	Seco	4,95	5,13	5,27
Cloretos ⁽¹⁾	Seco	Seco	<1,0	Seco	Seco	11	<1	Seco	Seco	5,88	6,4	6,57
Nitratos ⁽¹⁾	Seco	Seco	<0,1	Seco	Seco	<0,5	<0,5	Seco	Seco	0,74	0,89	0,95
Nitrogênio amoniacal ⁽¹⁾	Seco	Seco	<0,1	Seco	Seco	<0,1	<0,1	Seco	Seco	0,18	0,27	0,29
Condutividade ⁽²⁾	Seco	Seco	23	Seco	Seco	68	23	Seco	Seco	26	33	41
Cádmio ⁽¹⁾	Seco	Seco	<10 ⁻⁴	Seco	Seco	<10 ⁻⁴	<10 ⁻⁴	Seco	Seco	ND	ND	ND
Chumbo ⁽¹⁾	Seco	Seco	<5.10 ⁻⁴	Seco	Seco	0,0022	<5.10 ⁻⁴	Seco	Seco	ND	ND	ND
Cobre ⁽¹⁾	Seco	Seco	<10 ⁻⁴	Seco	Seco	<10 ⁻⁴	0,006	Seco	Seco	ND	ND	ND
Cromo total ⁽¹⁾	Seco	Seco	<10 ⁻⁴	Seco	Seco	<10 ⁻⁴	<10 ⁻⁴	Seco	Seco	ND	ND	ND
Zinco ⁽¹⁾	Seco	Seco	0,02	Seco	Seco	0,034	0,046	Seco	Seco	0,01	0,018	ND

(1) mg L⁻¹; (2) µS cm⁻¹;

ND: Não detectado, menor do que o limite de quantificação pelo método de análise

Tabela 26 Caracterização da água subterrânea a jusante da área do aterro sanitário de Uberlândia

Parâmetro	2009						2010					
	3° Trimetre			4° Trimetre			1° Trimetre			2° Trimetre		
	J1	J2	J3	J1	J2	J3	J1	J2	J3	J1	J2	J3
ph	6,54	6,38	6,5	Seco	6,33	5,89	6,9	6,9	6,5	6,8	8,29	7,34
ph in situ	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7	7,5	7
Temperatura in situ	-	-	-	-	-	-	-	-	-	25	24	26
Alcalinidade total ⁽¹⁾	-	-	-	Seco	349	130	230	339	138	1089	1782	653
Cloretos ⁽¹⁾	163	169	14,5	Seco	143	11	117	40,1	18,5	10	255	141
Nitratos ⁽¹⁾	17	<0,5	0,2	Seco	<0,5	<0,5	2,1	<0,5	<0,5	3,95	7,41	5,8
Nitrogênio amoniacal ⁽¹⁾	<0,1	1,76	0,21	Seco	<0,1	<0,1	62,5	62,1	0,6	18	23,9	15,3
Condutividade ⁽²⁾	1059	1017	3	Seco	1109	240	<1	9	3	24	35	271
Cádmio ⁽¹⁾	<10 ⁻⁴	<10 ⁻⁴	<10 ⁻⁴	Seco	<10 ⁻⁴	<10 ⁻⁴	<10 ⁻⁴	<10 ⁻⁴	<10 ⁻⁴	ND	ND	ND
Chumbo ⁽¹⁾	<5.10 ⁻⁴	<5.10 ⁻⁴	<5.10 ⁻⁴	Seco	<5.10 ⁻⁴	<5.10 ⁻⁴	<5.10 ⁻⁴	0,004	<5.10 ⁻⁴	ND	ND	ND
Cobre ⁽¹⁾	0,009	<10 ⁻⁴	<10 ⁻⁴	Seco	0,018	0,01	0,01	0,019	<10 ⁻⁴	ND	ND	ND
Cromo total ⁽¹⁾	0,003	<10 ⁻⁴	<10 ⁻⁴	Seco	<10 ⁻⁴	<10 ⁻⁴	<10 ⁻⁴	<10 ⁻⁴	<10 ⁻⁴	ND	ND	ND
Zinco ⁽¹⁾	0,03	0,018	0,037	Seco	0,024	0,046	0,009	0,021	0,016	ND	0,018	ND

(1) mg L⁻¹; (2) µS cm⁻¹;

ND: Não detectado, menor do que o limite de quantificação pelo método de análise

Observa-se que em grande parte das amostragens os poços a montante encontravam-se secos mesmo na época de chuva, não sendo possível a análise da água. Entretanto para os poços amostrados, nenhum dos parâmetros encontrou-se fora do padrão.

Em relação aos poços a jusante, em apenas uma campanha não foi possível fazer a coleta. Praticamente todos os parâmetros estão dentro dos padrões estabelecido pelas normas, exceto o cloreto que na amostragem do segundo Trimestre de 2010, no poço 2, apresentou valor elevado. Entretanto, em campanhas anteriores já haviam sido detectados valores superiores aos outros poços. E em relação ao nitrato, na campanha do terceiro Trimestre de 2009 foi detectado 17 mg L^{-1} , valor este superior ao permitido para consumo humano. Nas campanhas seguintes este valor sofreu um decaimento.

Sendo assim, não se pode afirmar que o aterro sanitário está contaminado o lençol freático, primeiro devido ao número de dados amostrados e aos parâmetros avaliados e, segundo, que os parâmetros encontrados fora do estabelecido ocorreram em apenas um evento.

Entretanto, em estudos realizados nesta mesma área por meio de análises físico-químicas das águas freáticas em piezômetros e do solo, Coelho et al. (2002), constataram que os solos da área do aterro favorecem o processo de contaminação das águas subterrâneas devido à elevada permeabilidade, o que facilita o escoamento de líquidos percolados e também o fato da rocha subjacente ser extremamente fraturada. Além disso, os mesmos autores concluíram que pelas as análises químicas, a matéria orgânica e muitos outros compostos presentes ou produzidos da degradação do lixo enterrado estão sendo solubilizados e transportados pela água da chuva através do solo e subsolo, enriquecendo-se nas zonas de recarga das águas subterrâneas.

4.3 Aterro sanitário de Betim

Seguem na Tabela 27, os resultados obtidos na FEAM por meio de acesso aos dados de monitoramento de uma das campanhas realizadas em 2008.

Tabela 27 Caracterização da água subterrânea sob influência do aterro sanitário de Betim

Parâmetro	Poços				
	M1	J1	J2	J3	J4
Cobre Total	0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005
Cromo Total	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02
Ferro Total	17	0,82	6,9	11	1,7
Zinco Total	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
Oxigênio Dissolvido	6,8	6	6,3	1,7	5,9
Sólidos Dissolvidos	50	226	94	116	44
Sólidos Suspensos	194	38	640	200	18
Sólidos Totais	244	164	734	316	62
Turbidez	152	72	451	38	7,3
Arsênio	<0,01	<0,01	0,03	<0,01	0,04
Coliformes Termotolerantes	<2	<2	<2	63	30
Coliformes Totais	<2	<2	40	200	600
Condutividade	15,9	84,8	30,2	74,4	54,1
DBO	1,2	1,9	1,9	2,3	1,3
Merúrio	0,0006	0,0005	0,0004	<0,0002	0,0008
Alumínio	5,2	3	9	0,23	0,09
Cádmio	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Chumbo	0,023	0,018	0,028	<0,003	<0,003

Por meio dos resultados obtidos na amostragem em 2008, nota-se que alguns parâmetros se encontram fora do padrão estabelecido tanto pela portaria nº2914/2011 do MS quanto pela Resolução CONAMA nº396/2008. Os parâmetros coliformes totais e termotolerantes não se mostraram ausentes em campanhas realizadas desde 2002 nos cinco poços de monitoramento e como se

pode observar continuam fora do estabelecido pela norma. A turbidez e o ferro, em campanhas realizadas desde 2002 apresentaram sempre valores acima de 5 UNT e 5 mg L^{-1} que é o recomendado pela MS.

A presença de metais pesados foi detectada no lençol freático, principalmente o alumínio. Entretanto deve-se dizer que essas alterações estão ocorrendo à montante do maciço de resíduos, não podendo assim afirmar que sejam apenas provocadas pela disposição dos resíduos sólidos na área. Insta salientar, que tais valores apontam a necessidade de se avaliar a forma com que o aterro sanitário está sendo manuseado e prováveis fontes de contaminação externa e interna ao aterro que possam estar alterando ainda mais a qualidade da água.

5 CONCLUSÃO

Aterro Sanitário de Três Corações:

- Embora tenham sido detectados os elementos cromo e chumbo em concentrações elevadas nas camadas de 0 a 40 cm do solo nas proximidades do aterro sanitário de Três Corações, os mesmos não foram detectados nem na água dos poços monitorados e nem na superficial.

- As amostras de água (subterrânea) de todos os poços apresentaram concentrações alteradas de turbidez, Coliformes, nitrogênio amoniacal e dos metais alumínio e ferro, bem como, teores elevados de DBO₅.

- Na água superficial foram encontrados elevadas concentrações de coliformes totais e termotolerantes, nitrogênio amoniacal, fósforo total e dos metais ferro, cálcio e magnésio e turbidez elevada.

Há, portanto, fortes indícios de que o aterro sanitário de Três Corações está impactando negativamente a qualidade da água sob a sua influência. Entretanto, destaca-se que a partir da análise deste estudo não se pode afirmar que a contaminação tenha origem apenas da migração do lixiviado do aterro, mas também, de fontes externas como as práticas agrícolas no entorno, uma vez que os pontos a montante da plataforma do aterro também apresentaram alterações.

Aterro sanitário de Betim e Uberlândia:

No município de Betim a qualidade da água subterrânea apresenta fortes indícios de que está impactada pelo aterro sanitário, opostamente em Uberlândia, não há indícios de impacto do aterro sobre a qualidade da água, sendo que

alguns fatores podem estar associados a este panorama, como o tempo de funcionamento e práticas operacionais.

REFERÊNCIAS

APHA standard methods: for examination of water and wastewater. 20th ed. Baltimore: APHA/ AWWA/WPCP, 1998. 1325 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8419**: apresentação de projetos de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos: procedimentos. Rio de Janeiro, 1992. 7 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10.004**: resíduos sólidos: classificação. Rio de Janeiro, 2004. 71 p.

BAIRD, C. **Química ambiental**. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2002. 622 p.

BOLLMANN, H. A.; EDWIGES, T. Avaliação da qualidade das águas do Rio Belém, Curitiba-PR, com o emprego de indicadores quantitativos e perceptivos. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v. 13, n. 4, p. 443-452, out./dez. 2008.

BRANCO, S. M.; ROCHA, A. A. **Poluição, proteção e usos múltiplos de represas**. São Paulo: E. Blücher, 1977. 185 p.

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

BRASIL. Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. **Diário Oficial [da] União**, Brasília, DF, 2010. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm>. Acesso em: 24 ago. 2011.

BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria nº 2.914, de 12 de dezembro de 2011. Dispõe sobre os procedimentos de controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. **Diário Oficial [da] União**, Brasília, DF, 2011a. Disponível em: <http://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2011/prt2914_12_12_2011.html>. Acesso em: 24 ago. 2011.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional de Meio Ambiente. Resolução nº 420, de 28 de dezembro de 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. **Diário Oficial [da] União**, Brasília, DF, 30 dez. 2009, n. 249, p. 81-84. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=620>>. Acesso em: 23 ago. 2011.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **O que é CONAMA?** 2011b. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/estr.cfm>>. Acesso em: 24 ago. 2011.

BRITO-PELEGRINI, N. N. et al. Avaliação da redução da poluição do chorume tratado por processo fotoquímico. In: CONGRESSO DE MEIO AMBIENTE DA AUGM, 6., 2009; JORNADA CIENTÍFICA E TECNOLÓGICA, 8., 2009, São Carlos-SP. **Anais...** São Carlos: UFSCar, 2009. p. 1-15.

CALIJURI, M. L. et al. Identificação de áreas alternativas para disposição de resíduos sólidos na região do Baixo Ribeira do Iguape - SP. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v. 12, n. 3, p. 335-342, 2007.

CARVALHO, A. L. de. **Contaminação de águas subsuperficiais em área de disposição de resíduos sólidos urbanos**: o caso do antigo lixão de Viçosa (MG). 2001. 122 p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil)–Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2001.

CASTILHOS JÚNIOR, A. B. et al. (Org.). **Resíduos sólidos urbanos**: aterro sustentável para municípios de pequeno porte. Rio de Janeiro: ABES/RIMA, 2003. 294 p.

CATAPRETA, C. A. A. **Comportamento de um aterro sanitário experimental**: avaliação da influência do projeto, construção e operação. 2007. 316 p. Tese (Doutorado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos)–Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2007.

CAVALCANTI, S. S.; LIMA, O. A. L.; SATO, H. K. Hidrologia subterrânea da área de um aterro sanitário utilizando geofísica elétrica. In: INTERNATIONAL CONGRESS OF THE BRAZILIAN GEOPHYSICAL SOCIETY, 6., 1999, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: SBGF, 1999. p. 1-4.

COELHO, H. M. G. et al. Avaliação do desempenho de camadas de cobertura intermediárias e finais em células experimentais de disposição de resíduos sólidos urbanos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 23., 2005, Campo Grande, MS. **Anais...** Rio de Janeiro: ABES, 2005. p. 1-10.

COELHO, M. G. et al. Contaminação das águas do lençol freático por disposição inadequada de resíduos sólidos urbanos em Uberlândia-MG/Brasil. In: CONGRESSO INTERAMERICANO DE INGENIERÍA SANITARIA Y AMBIENTAL, 28., 2002, Cancún, México. **Anais...** Cancun: AIDIS, 2002. p. 1-8.

COELHO, V. M. T. **Potencial de contaminação de aquífero por esgoto doméstico**: quantificação do decaimento bacteriológico. 2007. 129 p. Tese (Doutorado em Recursos Minerais e Hidrogeologia)–Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL.
Relatório de qualidade das águas subterrâneas do estado de São Paulo: 2007-2009. São Paulo, 2010. 258 p.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL.
Decisão de diretoria nº 195-2005-E, de 23 de novembro de 2005. Dispõe sobre a aprovação dos valores orientadores para solos e águas subterrâneas no estado de São Paulo – 2005, em substituição aos valores orientadores de 2001, e dá outras providências. **Diário Oficial [do] Estado de São Paulo**, Poder Executivo, São Paulo, SP, 3 dez. 2005a. Seção 1, v. 115, n. 227, p. 22-23. Disponível em: <http://www.cetesb.sp.gov.br/Solo/relatorios/tabela_valores_2005.pdf>. Acesso em: 24 ago. 2011.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL.
Relatório de qualidade das águas interiores do Estado de São Paulo 2004.
São Paulo, 2005b. 307 p. (Série relatórios, v. 1).

COTRIM, M. E. B. **Avaliação da qualidade da água na bacia hidrográfica do ribeirão de Iguape com vistas ao abastecimento público.** 2006. 236 p. Tese (Doutorado em Tecnologia Nuclear - Materiais)–Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

CUNHA, V.; CAIXETA FILHO, J. V. Gerenciamento da coleta de resíduos sólidos urbanos: estruturação e aplicação de modelo não linear de programação por metas. **Gestão & Produção**, São Carlos, v. 9, n. 2, p. 143-161, ago. 2002.

DAMASCENO, S. **Remoção de metais pesados em sistemas de tratamento de esgotos sanitários por processo de iodoss ativados e por um reator compartimentado anaeróbio.** 1996. 141 p. Dissertação (Mestrado em Hidráulica e Saneamento)–Universidade de São Paulo, São Carlos, 1996.

FEITOSA, F. A. C. et al. **Hidrogeologia, conceitos e aplicações.** 3. ed. Rio de Janeiro: CPRM/LABHID, 2008. 812 p.

GADOTTI, R. F. **Avaliação da contaminação das águas superficiais e subterrâneas adjacentes ao “lixão” da cidade de São Carlos.** 1997. 150 p. Dissertação (Mestrado em Hidráulica e Saneamento)–Universidade de São Paulo, São Carlos, 1997.

GODOI, E. L. **Monitoramento de água superficial densamente poluída: o córrego Pirajuçara, região metropolitana de São Paulo, Brasil.** 2008. 117 p. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Nuclear - Materiais)–Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.

GOMES, L. P. (Coord.). **Estudos de caracterização e tratabilidade de lixiviados de aterros sanitários para as condições brasileiras.** Rio de Janeiro: ABES, 2009. 360 p. Projeto PROSAB.

HESPANHOL, K. M. H. **Monitoramento e diagnóstico da qualidade da água do ribeirão Morangueiro.** 2009. 138 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana)–Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2009.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Pesquisa nacional de saneamento básico**. 2008. Disponível em:

<http://www.ibge.gov.br/home/presidencia/noticias/noticia_visualiza.php?id_noticia=1691&id_pagina=1>. Acesso em: 15 dez. 2011.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Pesquisa nacional de saneamento básico**. 2010. Disponível em:

<<http://www.ibge.gov.br/cidadesat/topwindow.htm?1>>. Acesso em: 15 dez. 2011.

INSTITUTO GEOLÓGICO Y MINERO DE ESPAÑA. **Calidad y contaminación de las aguas subterráneas en España**. Madrid: IGME, 1985. 385 p. (Informe de Sintesis).

KRIEGER, E. I. F. **Avaliação da contaminação da água subterrânea na área de influência da Usina de Tratamento de Resíduos S/A – UTRESA, em Estância Velha (RS)**. 2000. 158 p. Dissertação (Mestrado em Ecologia)– Universidade do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2000.

L'APICCIRELLA, E. S. P. **Contaminação e áreas de restrições de uso de água subterrânea ao entorno do canal Jurubatuba em São Pulo – SP**. 2009. 136 p. Dissertação (Mestrado em Recursos Minerais e Hidrogeologia)– Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

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

LIMA, L. M. Q. **Lixo, tratamento e biorremediação**. São Paulo: Hemus, 2004. 265 p.

LIMA, S. C. et al. Avaliação das condições topo-geomorfológicas da área do aterro sanitário do município de Uberlândia. **Caminhos de Geografia**, Uberlândia, v. 4, n. 12, p. 67-93, jun. 2004.

LLAMAS, M. R.; MARTÍNEZ-SANTOS, P. Intensive groundwater use: a silent revolution that cannot be ignored. **Water Science and Technology Series**, [S.l.], v. 51, n. 8, p. 167-174, 2005. Disponível em: <<http://www.rac.es/ficheros/doc/00247.pdf>>. Acesso em: 19 jan. 2012.

LOPES, A. A.; BRIGANTE, J.; SCHALCH, V. Influência do aterro sanitário de São Carlos (SP), Brasil, na qualidade das águas superficial e subterrânea. **Journal of the Brazilian Society of Ecotoxicology**, [S.l.], v. 2, n. 2, p. 115-127, 2007. Disponível em: <http://ecotoxbrasil.org.br/index.php?option=com_rokdownloads&view=folder&Itemid=38>. Acesso em: 12 dez. 2011.

LOPES, A. A. **Estudo da gestão integrada dos resíduos sólidos urbanos na bacia Tietê - Jacaré (UGRHI-13)**. 2007. 307 p. Tese (Doutorado em Ciências da Engenharia Ambiental)–Universidade de São Paulo, São Carlos, 2007.

MACÊDO, J. A. B. **Introdução à química ambiental**. 2. ed. rev. Juiz de Fora: Ed. do Autor, 2006. 1027 p.

MAGALHÃES, A. de F. et al. Avaliação das características físicas do solo da camada da cobertura final como substrato para a revegetação de aterros sanitários: estudo de caso para o aterro sanitário de Belo Horizonte, MG. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 23., 2005, Campo Grande. **Anais...** Rio de Janeiro: ABES, 2005. p.1-8.

MAGALHÃES, A. F. **Avaliação do desempenho de técnicas de bioengenharia na proteção e conservação da cobertura final de taludes em aterros de disposição de resíduos sólidos urbanos**: estudo de caso para o aterro sanitário de Belo Horizonte, MG. 2005. 169 p. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos)–Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2005.

MINAS GERAIS (Estado). Instituto Mineiro de Gestão das Águas. **Institucional**: Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM). 2011a. Disponível em: <<http://www.igam.mg.gov.br/instituicao>>. Acesso em: 24 ago. 2011.

MINAS GERAIS (Estado). Instituto Mineiro de Gestão das Águas.
Monitoramento da qualidade das águas superficiais na bacia do Rio Paraopeba em 2006. Belo Horizonte: IGAM, 2007. 152 p.

MINAS GERAIS (Estado). Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável. Conselho Estadual de Política Ambiental. Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG nº 01, de 05 maio de 2008. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes e dá outras providências. **Diário do Executivo**, Belo Horizonte, MG, 13 maio 2008. Disponível em:
<<http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=8151>>. Acesso em: 10 dez. 2011.

MINAS GERAIS (Estado). Secretaria do Meio Ambiente. Fundação Estadual do Meio Ambiente. **Conheça o programa.** 2011b. Disponível em:
<<http://www.minasemlixoes.org.br/>>. Acesso em: 24 ago. 2011.

OLIVEIRA, F. J. S.; JUCÁ, J. F. T. Acúmulo de metais pesados e capacidade de impermeabilização do solo imediatamente abaixo de uma célula de um aterro de resíduos sólidos. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v. 9, n. 3, p. 211-217, jul./set. 2004.

OLIVEIRA, L. O.; SANTANA, G. P. Influência do aterro municipal de Manaus sobre as águas superficiais as circunvizinhança: um enfoque ao estudo de metais pesados. **Caminhos de Geografia**, Uberlândia, v. 11, n. 34, p. 75-83, jun. 2010.

PADILLA, R. S. **Aplicação de um modelo computacional tridimensional para estimativa de balanço hídrico em aterros sanitários.** 2007. 107 p. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos)– Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2007.

RIO DE JANEIRO (Estado). Instituto Brasileiro de Administração Municipal. **Manual de gerenciamento integrado de resíduos sólidos urbanos.** Rio de Janeiro: IBAM, 2001. 200 p.

RODRIGUES, C. L. **Influência da disposição de resíduos sólidos domésticos e infiltração do chorume na região do lixão de Ilha Bela-SP**. 2002. 98 p. Dissertação (Mestrado em Geociências)–Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002.

SANTOS, A. A. **Qualidade das águas superficiais e subterrâneas na área de influência do aterro sanitário de Cuiabá – MT**. 2008. 111 p. Dissertação (Mestrado em Física Ambiental)–Universidade Federal do Mato Grosso, Cuiabá, 2008.

SANTOS, C. B. **Caracterização do impacto na qualidade das águas subterrâneas, causado pela disposição dos resíduos sólidos urbanos no aterro Municipal da cidade de Feira de Santana – BA**. 2004. 169 p. Dissertação (Mestrado em Geoquímica e Meio Ambiente)–Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2004.

SAVAZZI, E. A. **Determinação da presença de bário, chumbo e crômio em amostras de água subterrânea coletadas no Aquífero Bauru**. 2008. 87 p. Dissertação (Mestrado em Toxicologia)– Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto, 2008.

SOUSA, H. A.; ROESER, H. M. P.; MATOS, A. T. Métodos e técnicas aplicados na avaliação ambiental do aterro da BR-040 da Prefeitura Municipal de Belo Horizonte – MG. **REM: Revista da Escola de Minas**, Ouro Preto, v. 55, n. 4, p. 291-300, out./dez. 2002.

STRAUCH, M.; ALBUQUERQUE, P. (Org.). **Resíduos: como lidar com recursos naturais**. São Leopoldo: Oikos, 2008. 220 p.

SUMI, E. M. **Estudo hidrogeológico de um aterro sanitário instalado em uma antiga área de disposição irregular de resíduos sólidos**. 2009. 162 p. Dissertação (Mestrado em Recursos Minerais e Hidrogeologia)–Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

TROUW, R. A. J. et al. **Geologia da folha de Varginha – SF.23-V-D-VI, escala 1:100.000**: nota explicativa integrada a Folha de Itajubá. Brasília: CPRM, 2008. 99 p.

TUCCI, C. E. M.; MENDES, C. A. **Avaliação ambiental integrada de bacia hidrográfica**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2006. 302 p.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 2. ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental/Universidade Federal de Minas Gerais, 1996. 243 p. (Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias, v. 1).

YOUSUF, T. B.; RAHMAN, M. M. Transforming an open dump into a sanitary landfill: a development effort in waste management. **Journal of Material Cycles and Waste Management**, [S.l.], v. 11, p. 277-283, Sept. 2009. Disponível em: <<http://www.springerlink.com/content/c89h246873514628/>>. Acesso em: 19 jan. 2012.

ANEXOS

ANEXO A - Levantamento topográfico

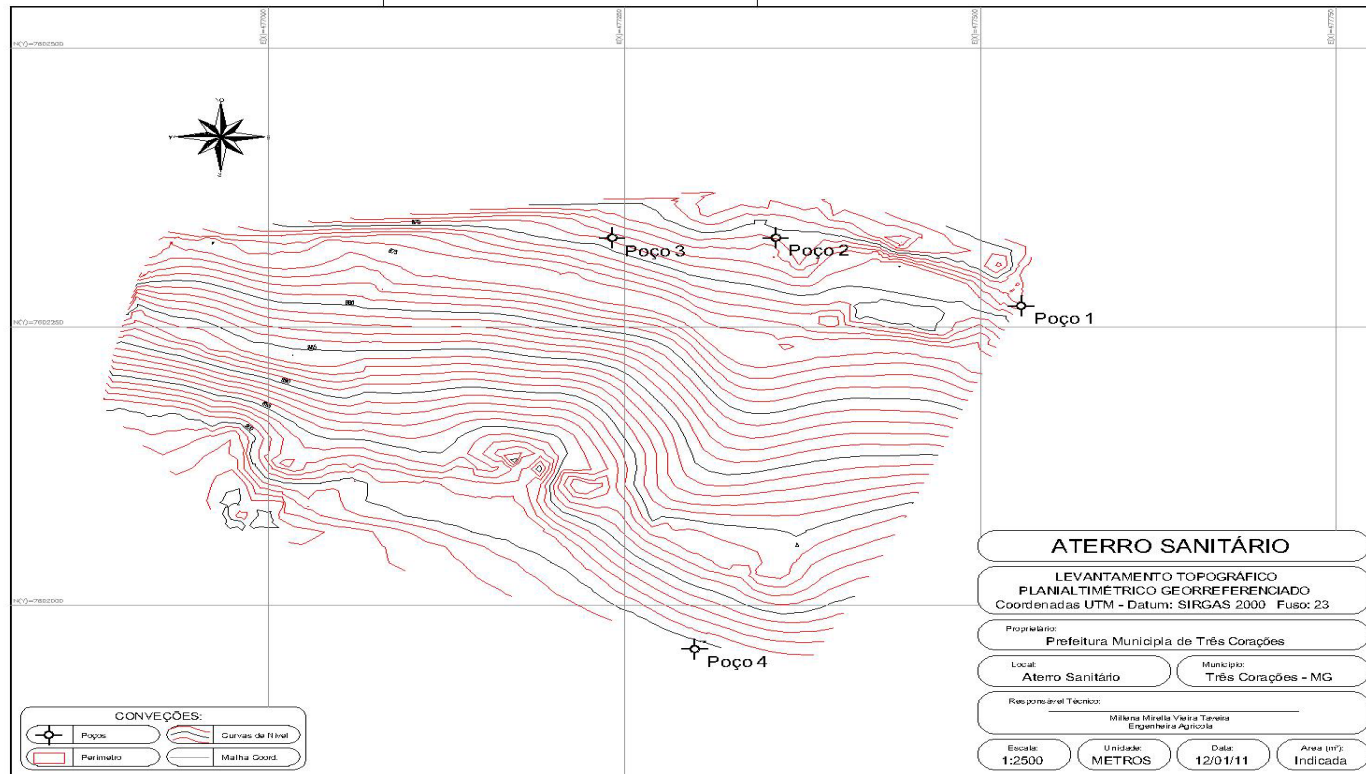


Figura 1A Levantamento topográfico planialtimétrico do aterro do município de Três Corações