

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM SANEAMENTO,
MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS

**CARACTERIZAÇÃO DE LIXIVIADOS DE ATERROS
SANITÁRIO E INDUSTRIAL DA REGIÃO
METROPOLITANA DE BELO HORIZONTE**

Marina Andrada Maria

Belo Horizonte
2010

**CARACTERIZAÇÃO DE LIXIVIADOS DE ATERROS
SANITÁRIO E INDUSTRIAL DA REGIÃO
METROPOLITANA DE BELO HORIZONTE**

Marina Andrada Maria

Marina Andrada Maria

**CARACTERIZAÇÃO DE LIXIVIADOS DE ATERROS
SANITÁRIO E INDUSTRIAL DA REGIÃO
METROPOLITANA DE BELO HORIZONTE**

Projeto apresentado ao Programa de Pós-graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos.

Área de concentração: Meio Ambiente

Linha de pesquisa: Caracterização, prevenção e controle da poluição.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Liséte Celina Lange

Maria, Marina Andrada.

M332c Caracterização de lixiviados de aterros sanitário e industrial da região metropolitana de Belo Horizonte [manuscrito] / Marina Andrada Maria – 2010.
118 f.: il.

Orientadora: Liséte Celina Lange.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Engenharia.

Bibliografia: f. 88-92

1. Engenharia sanitária – Teses. 2. Aterro sanitário – teses. 3. Meio ambiente – Teses. I. Lange, Liséte Celina. II. Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Engenharia. III. Título.

CDU: 628(043)



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS

Escola de Engenharia

Programa de Pós-Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos

Avenida Antônio Carlos, 6627 - 4º andar - 31270-901 - Belo Horizonte – BRASIL

Telefax: 55 (31) 3409-1882 - posgrad@desa.ufmg.br

http://www.smarh.eng.ufmg.br

FOLHA DE APROVAÇÃO

Caracterização de Lixiviados de Aterros Sanitário e Industrial da
Região Metropolitana de Belo Horizonte

MARINA ANDRADA MARIA

Dissertação defendida e aprovada pela banca examinadora constituída pelos Senhores:

Profª. LISÉTE CELINA LANGE

Profª. MÍRIAM CRISTINA SANTOS AMARAL

Prof. VAGNER FERNANDES KNUPP

Aprovada pelo Colegiado do PG SMARH

Versão Final aprovada por

Profª. Mônica Maria Diniz Leão
Coordenadora

Profª. Lisete Celina Lange
Orientadora

Belo Horizonte, 15 de dezembro de 2010.

AGRADECIMENTO

*“Agradeço todas as dificuldades que enfrentei;
não fosse por elas, eu não teria saído do lugar.
As facilidades nos impedem de caminhar.”*

Chico Xavier

A Deus, que permitiu um início inesperado, um percurso de superação e uma conclusão vitoriosa.

A minha mãe Nádia pelo amor e caráter, ao meu irmão Daniel pelo apoio, a minha tia Soraya pela confiança e ao Marcus pelo carinho e compreensão.

A professora Liséte Celina Lange, pela orientação, oportunidade, confiança e ensinamentos.

A Lucilaine, Camila, Danusa, Norma e Olívia e pela ajuda nas análises químicas.

A Cláudia Fróes, Telma e em especial a Jordana, pelo acompanhamento, apoio e tolerância com as minhas análises.

A Bárbara Jardim por compartilhar dos momentos difíceis e pelas contribuições.

A Cláudia Perrou, Sávio e Thaís pela contribuição nas análises microbiológicas.

Ao Vagner Knupp e ao Regis pelo apoio na identificação de compostos orgânicos.

Ao departamento de engenharia química da UFMG e ao professor Emílio pelo apoio na quantificação de metais.

A Olguita e José Antônio pelos ensinamentos e disponibilidade em ajudar.

A Secretaria Municipal de Limpeza Urbana de Belo Horizonte e aos demais aterros e seus representantes, pelo fornecimento do lixo e fornecimento de dados.

Ao Programa de Pós-graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos da UFMG pela oportunidade.

A presidência, diretoria e coordenação da Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais - CETEC, pela permissão de uso dos laboratórios.

A todos aqueles que de alguma forma contribuíram para o enriquecimento desse trabalho.

RESUMO

Os aterros sanitários, apesar de serem obras planejadas de engenharia, acabam por gerar lixiviados, que se mal administrados e tratados podem causar impactos ao meio ambiente e prejuízos ao homem. Esse trabalho visa caracterizar físico-química e biologicamente o lixiviado de quatro aterros sanitários e um industrial, da Região Metropolitana de Belo Horizonte (RMBH). Sua relevância está em conhecer sobre a ecotoxicidade destes efluentes, já que estes dados inexistem para a RMBH. Além disso, este trabalho permite um maior conhecimento sobre as características dos lixiviados dos principais aterros sanitários e um industrial da RMBH. O banco de dados gerado poderá subsidiar o planejamento e a escolha de tratamento mais eficiente para esse efluente. Foram realizadas coletas mensais, no período de novembro de 2009 a outubro de 2010 e os resultados mostraram uma elevada variação para quase todos os parâmetros avaliados, havendo uma predominância na diferença entre o aterro industrial e o aterro finalizado com os demais aterros. Essas diferenças podem indicar como fatores determinantes, o tipo de resíduo e a maturação do lixiviado. Foram feitas análises de comparação entre aterros jovens e velhos, assim como aterro industrial e sanitário. Os resultados apontam que o teor de matéria orgânica recebido pelo aterro direciona as diferenças, uma vez que o aterro velho já não recebe resíduo e o industrial não recebe, ou recebe pouca matéria orgânica. A ecotoxicidade, através da análise de componentes principais e correlação, foi associada à alcalinidade, nitrogênio total, nitrogênio amoniacal, carbono orgânico total, condutividade, metais traços, compostos cíclicos e fenólicos. Os valores de estreptococos fecais foram significativamente maiores que o de coliformes termotolerantes, sugerindo este grupo como um melhor indicador de contaminação fecal para esse efluente, pois apresenta organismos mais resistentes ao calor, às condições alcalinas e altas concentrações de sais. Os metais quantificados estão na sua maioria em concentrações baixas e moderadas, apresentando as maiores concentrações no lixiviado do aterro A1 e as menores no lixiviado dos aterros A3 e A5. Foram identificados 169 compostos orgânicos, sendo a maior quantidade presente no lixiviado do aterro A3 e a menor no lixiviado do aterro A5, porém o predomínio dos compostos potencialmente tóxicos está no lixiviado do aterro A1. Os fármacos, presentes em maior quantidade no lixiviado do aterro A3, parecem apresentar menos toxicidade que os demais compostos.

Palavras-chave: Aterro sanitário, aterro industrial, lixiviado, ecotoxicologia, toxicidade, caracterização físico-química.

ABSTRACT

Despite being planned engineering works, the landfills generate leachate that can cause impacts to the environment and damages to man. This work aims to characterize the physical-chemical and biological the leachate of four sanitary landfills and one industrial landfill of the metropolitan region of Belo Horizonte. Its relevance is to know about the ecotoxicity of the effluents, since for this region these data do not exist. In addition, this study allows a better understanding about the characteristics of leachate from this landfills. The database generated can support the planning and the choice of the most effective treatment for this effluent. Monthly collections were made during the period November 2009 to October 2010 and the results showed a high variation for almost all parameters evaluated, and there were a predominance of the difference between the landfill and the landfill finished with the other sites. These differences may indicate important factors as the type of waste and maturation of the leachate. Comparisons were made between young and old landfills, and industrial and sanitary landfill. The results indicate that the organic matter content received by the landfill directs the differences, since the old landfill is no longer receiving waste and industrial landfill does not receive organic matter. he ecotoxicity, through principal component analysis and correlation, was also associated to the alkalinity, total nitrogen, ammoniacal nitrogen, conductivity, total organic carbon, trace metals and cyclic and phenolic compounds. The values of faecal streptococci were significantly higher than the fecal coliforms, suggesting that this variable is a better indicator of fecal contamination for this type of waste, because it shows organisms more resistant to heat, alkaline conditions and high concentrations of salts. The quantified metals are mostly in low and moderate concentrations, and the highest concentrations were showed in the leachate from the landfill A1 and the smallest concentrations in leachate from landfills A3 and A5. Were identified 170 organic compounds, with the largest amount present in the leachate from the landfill A3 and the lower in the leachate from the landfill A5, but the dominance of potentially toxic compounds was in the leachate from the landfill A1. The drugs, present in bigger quantities in the leachate from the landfill A3 seem to have less toxicity than the other compounds.

Key-words: sanitary landfill, industrial landfill, leachate, ecotoxicology, toxicity, physicochemical characterization.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1: Panorama da disposição final de RSU coletado, no Brasil.	5
FIGURA 2: Panorama da disposição final de RSU coletado, no Estado de Minas Gerais.	5
FIGURA 3: Panorama da disposição final de RSU coletado, segundo as Grandes Regiões, Unidades da Federação, Regiões Metropolitanas e Municípios das Capitais.	5
FIGURA 4: Frascos de coleta e armazenamento de amostra.	34
FIGURA 5: injetor automático de amostra e analisador de COT e NT.	36
FIGURA 6: Cromatógrafo iônico (a esquerda vista frontal e a direita vista interna).	36
FIGURA 7: Cromatógrafo gasoso acoplado ao espectrofotômetro de massa.	37
FIGURA 8: Etapas da extração: (a) adição de clorofórmio (b) pós agitação (c) filtração (d) evaporação.	38
FIGURA 9: (a) adulta (aum. 50x + zoom); (b) teste de toxicidade aguda; (c) espécime jovem de <i>D. similis</i>	39
FIGURA 10: (a) adulta (aum. 100x + zoom); (b) teste de toxicidade crônica; (c) espécime jovem de <i>C. dúbia</i>	41
FIGURA 11: Meios de cultura utilizados: Meios presuntivos: CDA para estreptococos e Lauril para coliformes (a) verde brilhante, confirmativo para coliformes totais (b) EC, confirmativo para coliformes termotolerante (c) Bile esculin, confirmativo para estreptococos fecais.	41
FIGURA 12- Box-whisker e 'p' de Mann-Whitney para os parâmetros com diferença significativa entre seca e chuva no lixiviado do aterro A1	46
FIGURA 13- Perfil da pluviosidade versus vazão do lixiviado no aterro A1 durante o período de amostragem.....	47
FIGURA 14- Representação gráfica da quantificação de metais no lixiviado do aterro A1	48
FIGURA 15- Distribuição por classe dos 52 compostos orgânicos identificados no lixiviado do aterro A1	48
FIGURA 16- Box-whisker e 'p' de Mann-Whitney para os parâmetros com diferença significativa entre seca e chuva no lixiviado do aterro A2	50
FIGURA 17- Perfil da pluviosidade versus vazão do lixiviado no aterro A2 durante o período de amostragem.....	51
FIGURA 18- Representação gráfica da quantificação de metais no lixiviado do aterro A2	52
FIGURA 19- Distribuição por classe dos 57 compostos orgânicos identificados no lixiviado do aterro A2	52
FIGURA 20- Box-whisker e 'p' de Mann-Whitney para os parâmetros com diferença significativa entre seca e chuva no lixiviado do aterro A3	54

FIGURA 21- Perfil da pluviosidade versus vazão do lixiviado no aterro A3 durante o período de amostragem.....	54
FIGURA 22- Representação gráfica da quantificação de metais no lixiviado do aterro A3	55
FIGURA 23- Distribuição por classe dos 73 compostos orgânicos identificados no lixiviado do aterro A3.....	56
FIGURA 24- Box-whisker e 'p' de Mann-Whitney para os parâmetros com diferença significativa entre seca e chuva no lixiviado do aterro A4	58
FIGURA 25- Perfil da pluviosidade versus vazão do lixiviado no aterro A4 durante o período de amostragem.....	58
FIGURA 26- Representação gráfica da quantificação de metais no lixiviado do aterro A4	59
FIGURA 27- Distribuição por classe dos 59 compostos orgânicos identificados no lixiviado do aterro A4	60
FIGURA 28- Box-whisker e 'p' de Mann-Whitney para parâmetros com diferença significativa entre seca e chuva no lixiviado do aterro A5.....	62
FIGURA 29- Perfil da pluviosidade versus vazão do lixiviado no aterro A5 durante o período de amostragem.....	62
FIGURA 30- Representação gráfica da quantificação de metais no lixiviado do aterro A5	63
FIGURA 31- Distribuição por classe dos 48 compostos orgânicos identificados no lixiviado do aterro A5	64
FIGURA 32- Série temporal e Box-whisker para alguns parâmetros analisados no lixiviado dos cinco aterros.....	71
FIGURA 33- Análise de componentes principais (CP) para o lixiviado dos cinco aterros	74
FIGURA 34- Análise de Cluster para o lixiviado dos cinco aterros	75
FIGURA 35- Comparação entre as concentrações de metais presentes no lixiviado dos cinco aterros	76
FIGURA 36- Percentuais de cada classe de compostos orgânicos identificados no lixiviado dos cinco aterros, obtidos pela razão da soma do número de compostos de cada classe pela soma do número total de compostos	77
FIGURA 37- Percentuais de grupos de composto orgânico identificado no lixiviado dos cinco aterros, obtidos pela razão da soma do número de compostos de cada grupo pela soma do número total de compostos.....	78
FIGURA 38- Comparação entre vazão média dos lixiviados e o volume de resíduo aterrado para os cinco aterros	79
FIGURA 39- Box-Whisker para os grupos de microrganismos em cada um dos cinco aterros	83

LISTA DE TABELAS

TABELA 1: Condições e padrões de lançamento de efluentes nos corpos de água	14
TABELA 2: Parâmetros e limites para lançamento de efluentes líquidos na RPCE da T. 187/0 da COPASA	16
TABELA 3: Características mais prováveis do lixiviado de aterros sanitários brasileiros	17
TABELA 4: Valores de resultados de ensaios de toxicidade para lixiviados de aterros sanitários encontrados na literatura.	18
TABELA 5: Valores de resultados de ensaios microbiológicos para lixiviados de aterros sanitários encontrados na literatura.	19
TABELA 6: Valor médio de concentração de alguns metais quantificados em lixiviado de aterro, encontrados na literatura.....	21
TABELA 7: Possíveis origens de alguns íons encontrados em lixiviados de aterros sanitários.....	21
TABELA 8: Compostos identificados em lixiviado de aterro, em diferentes literaturas	23
TABELA 9: Características dos aterros de onde foram coletadas as amostras de lixiviado...	33
TABELA 10: Condições de operação do absorção atômica.	36
TABELA 11: Condições de operação do CG/EM.....	37
TABELA 12- Análise descritiva dos parâmetros analisados no lixiviado do aterro A1	44
TABELA 13- Matriz de correlação de Spearman entre parâmetros monitorados no lixiviado do aterro A1	47
TABELA 14- Análise descritiva dos parâmetros analisados no lixiviado do aterro A2	49
TABELA 15- Matriz de correlação de Spearman entre parâmetros monitorados no lixiviado do aterro A2	51
TABELA 16- Análise descritiva dos parâmetros analisados no lixiviado do aterro A3	53
TABELA 17- Matriz de correlação de Spearman entre os parâmetros monitorados no lixiviado do aterro A3	55
TABELA 18- Análise descritiva dos parâmetros analisados no lixiviado do aterro A4	56
TABELA 19- Matriz de correlação de Spearman entre os parâmetros monitorados no lixiviado do aterro A4	59
TABELA 20- Análise descritiva dos parâmetros analisados no lixiviado do aterro A5	60
TABELA 21- Matriz de correlação de Spearman entre os parâmetros monitorados no lixiviado do aterro A5	63
TABELA 22- Análise descritiva dos parâmetros analisados no lixiviado dos cinco aterros	64

TABELA 23 – Médias encontradas para cada um dos parâmetros nos cinco aterros	65
TABELA 24- Resultados de Kruskal-Wallis e comparações múltiplas para os parâmetros analisados entre o lixiviado dos cinco aterros	73
TABELA 25- Resultados de Kruskal-Wallis e comparações múltiplas para os metais analisados entre o lixiviado dos cinco aterros	76
TABELA 26- Resultados dos testes de comparação entre o lixiviado dos dois aterros sanitário.....	80
TABELA 27- Resultados dos testes de comparação entre o lixiviado dos dois aterros sanitário.....	82
TABELA 28- Resultados dos testes de comparação entre os dois grupos de organismos, para o lixiviado dos aterros avaliados	83

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

ACP	Análise de Componentes Principais
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABRELP	Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais
CENO	Concentração de Efeito Não Observado
CEO	Concentração de Efeito Observado
CETEC	Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais
CETESB	Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental
CE ₅₀	Concentração Efetiva mediana
CL ₅₀	Concentração Letal mediana
CG	Cromatografia Gasosa
CONAMA	Conselho Nacional de Meio Ambiente
COPAM	Conselho Estadual de Política ambiental
COPASA	Companhia de Saneamento de Minas Gerais
COT	Carbono Orgânico Total
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
DQO	Demanda Química de Oxigênio
EDTA	Ácido Etilenodiamino Tetra Acético
ELL	Extração Líquido-Líquido
EM	Espectrometro de Massas
IBAM	Instituto Brasileiro de Administração Municipal
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
NMP	Número Mais Provável
NT	Nitrogênio Total
pH	Potencial Hidrogeniônico
POPs	Poluentes Orgânicos Persistentes
RMBH	Região Metropolitana de Belo Horizonte
RPCE	Rede Pública Coletora de Esgotos
RSU	Resíduos Sólidos Urbanos
SPE	Sistema Público de Esgotos
SSF / SF	Sólidos Suspensos Fixos / Sólidos Fixos
SST / ST	Sólidos Suspensos Totais / Sólidos Totais
SSV / SV	Sólidos Suspensos Voláteis / Sólidos Voláteis
VC	Valor Crônico

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	1
2.	OBJETIVOS	3
2.1	Objetivo geral	3
2.2	Objetivos específicos.....	3
3.	REVISÃO DA LITERATURA.....	3
3.1	Geração e panorama da disposição final de resíduos sólidos	3
3.2	Lixiviado de resíduos sólidos	6
3.3	Impactos ambientais causados pelo lixiviado	9
3.4	Legislação correlata.....	10
3.5	Caracterização do lixiviado	17
3.5.1	Caracterização físico-química convencional.....	19
3.5.2	Identificação de compostos orgânicos	21
3.5.3	Caracterização ecotoxicológica	25
3.5.4	Caracterização microbiológica	31
4	MATERIAIS E MÉTODOS	33
4.1	Locais de amostragem	33
4.2	Coleta e armazenamento.....	33
4.3	Caracterização do lixiviado	35
4.3.1	Caracterização físico-química convencional.....	35
4.3.2	Identificação de compostos orgânicos	37
4.3.3	Caracterização ecotoxicológica	38
4.3.4	Caracterização microbiológica	41
4.4	Análise estatística	41
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	43
5.1	Caracterização do lixiviado do aterro A1	44
5.2	Caracterização do lixiviado do aterro A2	49
5.3	Caracterização do lixiviado do aterro A3	53

5.4	Caracterização do lixiviado do aterro A4	56
5.5	Caracterização do lixiviado do aterro A5	60
5.6	Análise de comparação entre o lixiviado dos cinco aterros	64
5.7	Análise de comparação entre o lixiviado dos aterros A4 e A5	79
5.8	Análise de comparação entre o lixiviado dos aterros A3 e A4	81
5.9	Análise de comparação entre os grupos microbiológicos	82
6	CONCLUSÃO	84
7	RECOMENDAÇÕES	87
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	88
	APÊNDICES	93

1. INTRODUÇÃO

O crescimento populacional, principalmente em área urbana, leva ao aumento do consumo e da produção, o que também acarreta o aumento da geração de resíduos sólidos, que atualmente, no Brasil, na maioria das vezes são destinados a aterros sanitários e industriais.

Apesar de aterros eliminarem alguns impactos das velhas práticas de disposição de resíduos sólidos, novos impactos surgiram, principalmente devido à geração de gás e lixiviado. Além de riscos para a saúde, riscos de incêndios e explosões, danos a vegetação, odores desagradáveis, recalque de aterros, poluição de águas subterrâneas, poluição atmosférica e aquecimento global (EL-FADEL, FINDIKAKIS e LECKIE, 1997).

O termo Lixiviado engloba o líquido gerado a partir da combinação da umidade inicial dos resíduos, com a água gerada durante o processo de decomposição biológica e a água de infiltração na camada de cobertura da célula do aterro.

O lixiviado é caracterizado pelas altas concentrações de compostos orgânicos e inorgânicos. Pode conter altas concentrações de sólidos suspensos, metais pesados e compostos orgânicos originados da degradação de substâncias que são metabolizadas, como carboidratos, proteínas e gorduras. Por apresentar substâncias altamente solúveis, pode contaminar as águas do subsolo nas proximidades do aterro sanitário (MOREIRA, LANGE e FLORA, 2007).

Oman e Junestedt (2008), ao caracterizar compostos de lixiviado de aterro, encontraram um grande número de compostos perigosos, tanto ao homem quanto a vida aquática, o que tem um impacto significativo nas avaliações de risco de aterro e no desenvolvimento de métodos de tratamento de lixiviados, sendo ainda que muitos outros compostos ainda não são conhecidos e/ou não foram identificados.

A qualidade do lixiviado produzido depende do tipo de resíduo depositado, do regime pluviométrico da região e da idade e tipo de operação do aterro, de forma que a toxicidade do lixiviado pode variar não só entre aterros, como também dentro do próprio aterro. Porém a complexa química envolvida na formação dos lixiviados ainda tem de ser delineada em termos de respostas toxicológicas (KOSKY et al., 2007).

A caracterização do lixiviado, assim como de efluentes em geral, apresenta grande importância por fornecer informações práticas para subsidiar a seleção do melhor sistema de

tratamento, assim como para fornecer subsídio para implementação de obras mais eficientes que minimizem a contaminação por esse resíduo.

Como já mencionado por Souto e Povinelli (2007), entre os problemas encontrados pelos projetistas nacionais está à dificuldade de se encontrar uma descrição das características usuais do lixiviado de aterros sanitários brasileiros. As tabelas disponíveis na literatura usualmente apresentam dados oriundos do exterior, principalmente de países de clima temperado. Faz-se, portanto, necessário elaborar uma caracterização do lixiviado de aterros do Brasil. Os pesquisadores, Souto e Povinelli, em seu trabalho publicado em 2007 apresentam dados sobre aterros sanitários brasileiros e entre esses dados não há referência à ecotoxicidade destes efluentes.

Esse trabalho avalia conjuntamente o lixiviado bruto de cinco aterros, sendo esses com características bastante variadas. A avaliação é realizada por dados primários, gerados pela própria pesquisa, o que permite uma melhor correlação entre eles. O estudo avalia os seus compostos orgânicos, presença de metais, características físico-químicas convencionais, ecotoxicidade e contaminação microbiana, o que é de suma importância, por se tratar de um efluente com risco potencial de contaminação de ambientes naturais, aquáticos e terrestres, que deve ser amplamente conhecido.

A relevância maior deste trabalho está em conhecer um pouco da ecotoxicidade desse efluente, que apesar de ser um parâmetro já exigido pela legislação de lançamento de efluentes, ainda não é comumente avaliada em monitoramentos, nem se tem conhecimento da sua magnitude em lixiviados de aterros em geral. Em nível regional, tem-se também importância por permitir que se conheça melhor o lixiviado de um maior número de aterros sanitários e especialmente um industrial da região metropolitana de Belo Horizonte, através da caracterização de fatores físicos, químicos e biológicos. Com esses dados será possível formar um banco de dados que possa subsidiar o planejamento e a escolha de tratamento mais eficiente para esse efluente, servindo para cobrir a lacuna de conhecimento em países tropicais. As associações e correlações entre os aterros e os fatores determinantes na produção do lixiviado, também geram informações importantes para a compreensão da sua variação e dinâmica.

2. OBJETIVOS

O trabalho apresenta um objetivo geral que permitiu a efetivação de alguns objetivos específicos de grande relevância.

2.1 *Objetivo geral*

Caracterizar físico-química e biologicamente lixiviados de aterros sanitários e industrial da Região Metropolitana de Belo Horizonte (RMBH).

2.2 *Objetivos específicos*

- Avaliar a ecotoxicidade, a contaminação microbiana e os compostos presentes em lixiviados de aterros sanitários e industrial da RMBH;
- Avaliar se a concentração de metais, presença de compostos orgânicos e ecotoxicidade dos lixiviados, podem ser influenciadas pela chuva, idade e tipo de resíduos aterrados;
- Apontar possíveis correlações entre dados de toxicidade, identificação de compostos e físico-químicos;
- Avaliar a utilização de *Estreptococos* fecais como indicador ambiental em lixiviados de aterros.

3. REVISÃO DA LITERATURA

A revisão da literatura norteia os temas e conceitos importantes para compreensão e melhor aproveitamento da pesquisa.

3.1 *Geração e panorama da disposição final de resíduos sólidos*

A ABNT NBR 10.004 considera como resíduos todos os produtos não aproveitáveis das atividades humanas (doméstico, comercial, industrial, de serviços de saúde) ou aqueles gerados pela natureza, tais como, galhos, folhas e areia.

Os resíduos sólidos resultam, dentre outras, da atividade urbana e industrial que gera resíduos em quantidades e com características tais que necessitam de disposição final adequada. Por apresentarem riscos de poluição ambiental e de saúde pública, esta disposição final deve

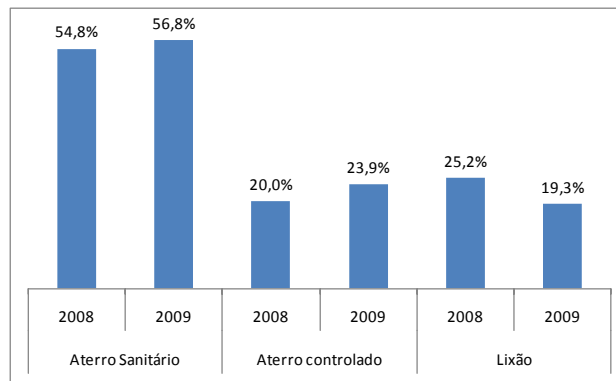
ocorrer em aterros sanitários ou industriais, que são obras de engenharia preparadas para o tratamento e disposição final destes resíduos de forma a gerar o mínimo impacto sobre o ambiente e a saúde humana (FLOHR, 2005).

O crescimento da população em áreas urbanas e o aumento do consumo de produtos industrializados têm aumentado a geração de resíduos sólidos, que na maioria das vezes são destinados a aterros sanitários (LANGE et al., 2006).

Além disso, os hábitos da espécie humana se modificaram, principalmente após a Revolução Industrial, quando novos produtos começaram a ser desenvolvidos com base nos avanços da ciência e da tecnologia. Esses fatos favoreceram, não só o aumento da geração de resíduos, mas também a dificuldade de tratá-los, pois vários materiais perigosos, sobretudo produtos químicos e não biodegradáveis vêm sendo desenvolvidos e introduzidos ao nosso cotidiano (RODRIGUES, 2004).

A gestão e a destinação final do resíduo sólido urbano (RSU) constituem um dos grandes problemas a ser enfrentado pela humanidade. No Brasil, este é um problema de grande dimensão, ante o grande volume gerado e a forma, na maior parte das vezes, inadequada em que o resíduo tem sido gerenciado e disposto (CARVALHO et al., 2006).

Atualmente a solução mais utilizada para a questão do resíduo sólido no Brasil é o destino final em aterro sanitário. A comparação entre os dados de 2009 e 2008, apresentados pela ABRELPE (2009), evidencia que houve um crescimento na destinação final adequada dos resíduos sólidos urbanos coletados, consolidando-se assim o fato positivo de que mais da metade dos resíduos urbanos coletados no Brasil são corretamente tratados, indicando uma gradual evolução dessa atividade (FIG 1). No entanto, a constatação de que 43,2% (quase 22 milhões de toneladas) dos resíduos coletados no país ainda são destinados de maneira inadequada, pois aterros controlados pouco se diferenciam de lixões, uma vez que ambos não possuem o conjunto de sistemas necessários para proteção do meio ambiente contra danos e degradações, demonstra que a universalização destes serviços ainda está bem distante (ABRELPE, 2009).

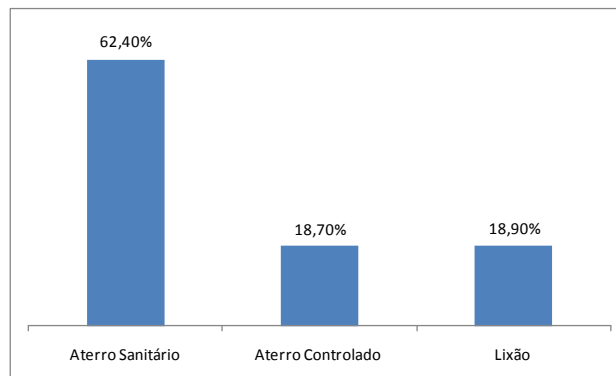


Adaptado de ABRELPE (2009)

FIGURA 1: Panorama da disposição final de RSU coletado, no Brasil.

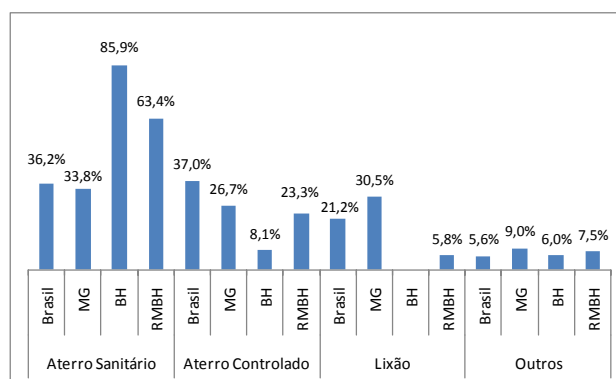
O Estado de Minas Gerais ocupa uma área total de 586.528,29 Km² e seus 853 municípios geram, segundo ABRELPE (2009), 15.478 t/dia RSU e coletam 14.747 t/dia de RSU. Sua destinação final apresenta o mesmo panorama apresentado para o Brasil, como pode ser visto na Figura 2.

Os dados gerados pelo IBGE (2002), apesar de manter o aterro sanitário como maior sistema de fim de tubo, para os resíduos coletados, apresenta porcentagens com diferenças mais tênues (FIG 3).



Adaptado de ABRELPE (2009)

FIGURA 2: Panorama da disposição final de RSU coletado, no Estado de Minas Gerais.

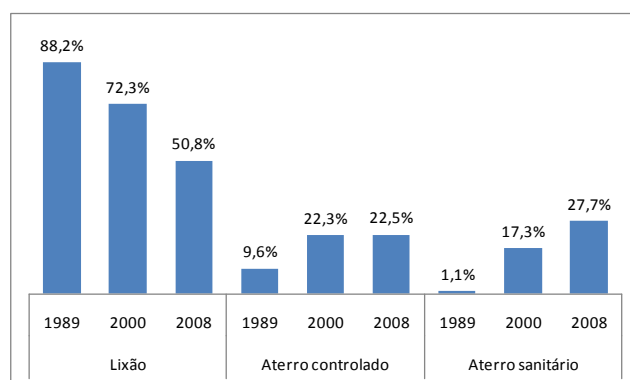


Adaptado de IBGE (2002)

FIGURA 3: Panorama da disposição final de RSU coletado, segundo as Grandes Regiões, Unidades da Federação, Regiões Metropolitanas e Municípios das Capitais.

Segundo dados da Síntese de Indicadores Sociais - 2000 - do IBGE, 85% dos 34.870.828 domicílios brasileiros localizados na área urbana foram beneficiados com a coleta realizada por empresa pública ou privada (coleta direta), contra 8,8% cujo resíduo foi depositado em caçamba, tanque ou depósito para depois ser removido (coleta indireta). E em apenas 3,4% do total, o resíduo foi queimado ou enterrado na propriedade ou ainda jogado em terreno baldio, rua, rio ou mar. Esses dados mostram que o resíduo está sendo destinado ao lugar certo, evitando assim a proliferação de doenças e a poluição do solo e do ar (IBGE, 2002).

No entanto os dados da Pesquisa Nacional de Saneamento Básico (PNSB) apresentado pelo IBGE em 2010, referente a 2008, mostram que quando a análise é feita por número de municípios e não por resíduo coletado, os valores mudam de figura, mostrando que a maioria dos municípios ainda tem lixões, sendo que em 50,8% dos municípios brasileiros a destinação final dos resíduos sólidos é em vazadouros a céu aberto (lixões). Esse quadro vem se alterando desde 1989, sobretudo nas regiões sudeste e sul do país, porém esse cenário é inadequado e exige solução urgente e estrutural para o setor, que irá requerer mudanças sociais, econômicas e culturais da sociedade (FIG 4).



Adaptado de IBGE (2010)

FIGURA 4 – Destino final dos resíduos sólidos por município do Brasil – 1989/2008

3.2 Lixiviado de resíduos sólidos

Apesar de aterros eliminarem alguns impactos das velhas práticas de disposição de resíduos sólidos, a geração de gás e lixiviado permanecem como importantes impactos. Aterros também proporcionam riscos para a saúde, riscos de incêndios e explosões, danos a vegetação, odores desagradáveis, assentamento de aterros, poluição de águas subterrâneas, poluição atmosférica e aquecimento global (EL-FADEL, FINDIKAKIS e LECKIE, 1997).

Segundo Moreira, Lange e Flora (2007), o lixiviado de aterro sanitário é um líquido escuro, odor nauseante, caracterizado pelas altas concentrações de compostos orgânicos e inorgânicos, resultante da percolação da água através dos resíduos, dispostos em aterros sanitários, em processo de decomposição. Podem conter altas concentrações de sólidos suspensos, metais pesados e compostos orgânicos originados da degradação de substâncias que são metabolizadas. Por apresentar substâncias altamente solúveis, pode contaminar as águas do subsolo nas proximidades do aterro sanitário.

Como já descrito por vários autores, o lixiviado é gerado pela umidade natural contida nos resíduos, eliminada devido a compactação e pela infiltração e percolação de água de precipitação, irrigação ou subterrânea, através massa de resíduo aterrado (PEDROSO, 2007; CARVALHO et al., 2006; MORAVIA, 2007).

As reações bioquímicas que ocorrem no interior da massa de resíduo em decomposição modificam as substâncias, tornando-as mais ou menos suscetíveis ao arraste pelo líquido que percola pelo resíduo. Dessa forma, a composição do lixiviado se altera, dependendo bastante da fase em que se encontra o processo (AMARAL, 2007).

A produção de lixiviado depende das condições peculiares de cada aterro, principalmente da topografia, geologia, regime e intensidade das chuvas (SEGATO e SILVA, 2000). A qualidade do lixiviado é altamente dependente da fase de fermentação no aterro, a composição dos resíduos, procedimentos operacionais, e co-disposição dos resíduos industriais (KOSKY, et al, 2007). Já a quantidade de lixiviado gerado é específico do local e uma função da disponibilidade de água e condições climáticas, bem como as características dos resíduos, a superfície do aterro e do solo subjacente (EL-FADEL, FINDIKAKIS e LECKIE, 1997).

São gerados resíduos diferentes com o passar dos anos, influenciando dessa forma na formação do lixiviado, sendo necessários estudos periódicos a respeito desse efluente de forma a ter sempre estruturas de construção e tratamento realmente eficazes e aplicáveis ao lixiviado em questão. Lembrando mais uma vez que esse efluente é altamente variável devido às diferentes fases de degradação do resíduo, devendo os projetos contar com esse coeficiente de variação, ou serem adaptáveis com o tempo, possibilitando a melhoria contínua do sistema (PEDROSO, 2007).

Os aterros sanitários mais comuns recebem uma mistura de resíduos domésticos, comerciais e resíduos industriais mistos, mas excluem quantidades significativas de resíduos químicos específicos. Desta maneira, os lixiviados podem ser caracterizados como uma solução aquosa com quatro grupos de poluentes: material orgânico dissolvido (ácidos graxos voláteis e compostos orgânicos mais refratários como ácidos húmicos e fúlvicos), macro componentes inorgânicos (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , NH_4^+ , Fe^{2+} , Mn^{2+} , Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^-), metais pesados (Cd^{2+} , Cr^{3+} , Cu^{2+} , Pb^{2+} , Ni^{2+} , Zn^{2+}) e compostos orgânicos xenobióticos originários de resíduos domésticos e químicos presentes em baixas concentrações (hidrocarbonetos aromáticos, fenóis, pesticidas etc.) (CHRISTENSEN et al., 1994 *apud* MORAVIA, 2007).

De forma geral, o processo de decomposição do resíduo se dá em três fases: aeróbia, acetogênica e metanogênica. Na primeira fase há uma grande liberação de calor e o lixiviado produzido nesta fase apresenta elevadas concentrações de sais de alta solubilidade, inclusive alguns contendo metais. Os microrganismos aeróbios dão início à decomposição do resíduo. Esta fase é relativamente curta, durando em média um mês, uma vez que a quantidade limitada de oxigênio presente no meio é consumida rapidamente. Após a diminuição da quantidade de oxigênio, começam a predominar microrganismos anaeróbios facultativos. Esses microrganismos são chamados de bactérias acetogênicas. Essas bactérias convertem o material orgânico particulado em dissolvido a partir do processo de hidrólise. Em seguida dá-se o processo fermentativo. Durante esta segunda fase, que pode perdurar por alguns anos, são produzidos compostos orgânicos simples e de alta solubilidade, principalmente ácidos graxos voláteis, como o ácido acético, e também amônia. Estes ácidos se misturam com a água percolada pela massa de resíduo, fazendo com que o pH do lixiviado caia consideravelmente, para valores que podem variar de 4 a 6. Nesta fase, em geral a demanda bioquímica de oxigênio (DBO) é alta (RODRIGUES, 2004). Na terceira e última fase, os compostos orgânicos formados na fase acetogênica começam a ser consumidos por microrganismos estritamente anaeróbios, denominados arqueas metanogênicas. Com o consumo dos ácidos voláteis, o valor do pH volta a subir, favorecendo o aparecimento desses organismos que se desenvolvem preferencialmente em meios com pH próximo ao neutro (7,0). As arqueas metanogênicas transformam os compostos orgânicos em metano (CH_4) e gás carbônico (CO_2). Nesta última fase, a DBO tende a diminuir. Além das fases da decomposição do resíduo, o tipo de material disposto no aterro também vai influenciar sobremaneira na composição do lixiviado. Portanto, a caracterização dos resíduos contribui para um melhor entendimento dos compostos presentes no lixiviado (RODRIGUES, 2004).

Na maior parte dos aterros de RSU no Brasil é incomum que as referidas fases se processem nos primeiros 3 a 5 anos de vida da instalação. Durante a primeira fase, que pode durar alguns dias ou semanas, mas que geralmente não excede um mês, a umidade contida nos resíduos e libertada devido à sua compactação assume um papel importante na formação inicial dos lixiviados. A decomposição biológica da componente orgânica biodegradável do RSU ocorre em condições aeróbias graças ao ar que fica retido no aterro. O solo usado na cobertura diária dos resíduos é a principal fonte de microorganismos responsáveis por esta decomposição (PEDROSO, 2007).

3.3 Impactos ambientais causados pelo lixiviado

O lixiviado deve ser gerenciado e tratado adequadamente, evitando impactos ambientais. As consequências ambientais de descarga do lixiviado nas águas naturais são diversos e podem ser determinantes para a manutenção da vida aquática, além de apresentar risco até mesmo a espécie humana que pode utilizar dessa fonte para abastecimento próprio.

O lixiviado de resíduos sólidos é uma matriz que apresenta elevada Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), em função da constante concentração de material orgânico em decomposição, o que pode também ser representada através do teor de Carbono Orgânico Total (COT). Os compostos orgânicos são originados, em grande parte, da degradação de substâncias que facilmente são metabolizadas como carboidratos, proteínas e gorduras. Em aterros com idade superior a 10 anos, é comum apresentar compostos orgânicos derivados de decomposição rápida, de médio tempo de vida e materiais resistentes a biodegradação (recalcitrantes), dificultando a degradação de certas substâncias químicas por vias microbianas (PELEGRINI, PELEGRINI E PATERNIANI, 2007). Segundo o IBAM (2001), o resíduo sólido do Brasil é composto em 65% por matéria orgânica.

Lixiviados possuem elevadas concentrações de nitrogênio amoniacal, acarretando a elevação do mesmo, no ambiente aquático, sendo tóxico a partir de determinadas concentrações. Também pode levar a toxicidade do meio por conter metais pesados, além da já referida liberação de substâncias recalcitrantes (BRENTANO, 2006).

O lixiviado apresenta coloração escura, devido à presença de substâncias húmicas. A cor pode ser altamente interferente nos processos fotossintéticos naturais, provocando alterações na biota aquática (KNAPP et al., 1997; KAPDAN et al., 2000; KIRBY et al., 2000 *apud* PELEGRINI, PELEGRINI e PATERNIANI, 2007).

Devido às atividades metabólicas intensas, o lixiviado apresenta temperaturas elevadas, podendo elevar também a temperatura do ambiente onde for lançado, o que pode acarretar queda de oxigênio, morte de alguns organismos e alterações de processos químicos e bioquímicos.

O descarte de lixiviados com elevadas concentrações de fósforo, sem tratamento adequado, pode provocar o fenômeno de eutrofização aos corpos receptores, por ser um importante nutriente. Outro parâmetro também de muita importância ambiental são as determinações dos valores de pH, pois segundo Werker & Hall (1999) *apud* Pelegrini, Pelegrini e Paterniani (2007) os ecossistemas sempre estão sujeitos aos impactos provocados por suas variações. Muitos organismos vivos não podem sobreviver e/ou proliferar em níveis de pH abaixo de 4,0 ou acima de 9,5.

3.4 Legislação correlata

Tendo o lixiviado de aterro sanitário e industrial como foco desse trabalho, direcionamos o estudo para a legislação que abranja a disposição final de resíduos sólidos, sendo ele o gerador do lixiviado, assim como as legislações das possíveis formas de disposição do lixiviado bruto ou tratado. Avaliaremos então a política federal e estadual de resíduos sólidos; as condições e padrões de lançamento de efluentes em corpos de água a nível federal e estadual (serão apresentadas juntas devido a sua extrema semelhança) e por fim o lançamento de efluentes líquidos na rede pública coletora de esgotos.

3.4.1 Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010 - dispõe sobre a Política Nacional de Resíduos Sólidos

São princípios da Política Nacional de Resíduos Sólidos: a prevenção e a precaução; o poluidor-pagador e o protetor-recebedor; a visão sistêmica, na gestão dos resíduos sólidos, que considere as variáveis ambiental, social, cultural, econômica, tecnológica e de saúde pública; o desenvolvimento sustentável; a ecoeficiência, mediante a compatibilização entre o fornecimento, a preços competitivos, de bens e serviços qualificados que satisfaçam as necessidades humanas e tragam qualidade de vida e a redução do impacto ambiental e do consumo de recursos naturais a um nível, no mínimo, equivalente à capacidade de sustentação estimada do planeta; a cooperação entre as diferentes esferas do poder público, o setor empresarial e demais segmentos da sociedade; a responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos; o reconhecimento do resíduo sólido reutilizável e reciclável como um bem econômico e de valor social, gerador de trabalho e renda e promotor de cidadania; o respeito

às diversidades locais e regionais; o direito da sociedade à informação e ao controle social; a razoabilidade e a proporcionalidade.

São objetivos da Política Nacional de Resíduos Sólidos: proteção da saúde pública e da qualidade ambiental; não geração, redução, reutilização, reciclagem e tratamento dos resíduos sólidos, bem como disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos; estímulo à adoção de padrões sustentáveis de produção e consumo de bens e serviços; adoção, desenvolvimento e aprimoramento de tecnologias limpas como forma de minimizar impactos ambientais; redução do volume e da periculosidade dos resíduos perigosos; incentivo à indústria da reciclagem, tendo em vista fomentar o uso de matérias-primas e insumos derivados de materiais recicláveis e reciclados; gestão integrada de resíduos sólidos; articulação entre as diferentes esferas do poder público, e destas com o setor empresarial, com vistas à cooperação técnica e financeira para a gestão integrada de resíduos sólidos; capacitação técnica continuada na área de resíduos sólidos; regularidade, continuidade, funcionalidade e universalização da prestação dos serviços públicos de limpeza urbana e de manejo de resíduos sólidos, com adoção de mecanismos gerenciais e econômicos que assegurem a recuperação dos custos dos serviços prestados, como forma de garantir sua sustentabilidade operacional e financeira, observada a Lei nº 11.445, de 2007; integração dos catadores de materiais reutilizáveis e recicláveis nas ações que envolvam a responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos; estímulo à implementação da avaliação do ciclo de vida do produto; incentivo ao desenvolvimento de sistemas de gestão ambiental e empresarial voltados para a melhoria dos processos produtivos e ao reaproveitamento dos resíduos sólidos, incluídos a recuperação e o aproveitamento energético; estímulo à rotulagem ambiental e ao consumo sustentável.

São instrumentos da Política Nacional de Resíduos Sólidos, entre outros: os planos de resíduos sólidos; os inventários e o sistema declaratório anual de resíduos sólidos; a coleta seletiva, os sistemas de logística reversa e outras ferramentas relacionadas à implementação da responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos; o incentivo à criação e ao desenvolvimento de cooperativas ou de outras formas de associação de catadores de materiais reutilizáveis e recicláveis; o monitoramento e a fiscalização ambiental, sanitária e agropecuária; a cooperação técnica e financeira entre os setores públicos e privados para o desenvolvimento de pesquisas de novos produtos, métodos, processos e tecnologias de gestão, reciclagem, reutilização, tratamento de resíduos e disposição final ambientalmente adequada de rejeitos; a pesquisa científica e tecnológica; a educação ambiental; os incentivos fiscais, financeiros e creditícios; o Fundo Nacional do Meio Ambiente e o Fundo Nacional de

Desenvolvimento Científico e Tecnológico; o Sistema Nacional de Informações sobre a Gestão dos Resíduos Sólidos; o Sistema Nacional de Informações em Saneamento Básico; os conselhos de meio ambiente e, no que couber, os de saúde; os órgãos colegiados municipais destinados ao controle social dos serviços de resíduos sólidos urbanos; o Cadastro Nacional de Operadores de Resíduos Perigosos; os acordos setoriais; os termos de compromisso e os termos de ajustamento de conduta; o incentivo à adoção de consórcios ou de outras formas de cooperação entre os entes federados, com vistas à elevação das escalas de aproveitamento e à redução dos custos envolvidos.

São proibidas as seguintes formas de destinação ou disposição final de resíduos sólidos ou rejeitos: lançamento em praias, no mar ou em quaisquer corpos hídricos; lançamento in natura a céu aberto, excetuados os resíduos de mineração; queimam a céu aberto ou em recipientes, instalações e equipamentos não licenciados para essa finalidade; outras formas vedadas pelo poder público.

São proibidas, nas áreas de disposição final de resíduos ou rejeitos, as seguintes atividades: utilização dos rejeitos dispostos como alimentação; catação; criação de animais domésticos; fixação de habitações temporárias ou permanentes; outras atividades vedadas pelo poder público. É proibida a importação de resíduos sólidos perigosos e rejeitos, bem como de resíduos sólidos cujas características causem dano ao meio ambiente, à saúde pública e animal e à sanidade vegetal, ainda que para tratamento, reforma, reuso, reutilização ou recuperação.

3.4.2 Lei nº 18.031, de 12 de janeiro de 2009 - dispõe sobre a Política Estadual de Resíduos Sólidos

A política estadual de resíduos sólidos tem por objetivo, entre outros: estimular a gestão de resíduos sólidos no território do Estado, de forma a incentivar, fomentar e valorizar a não geração, a redução, a reutilização, o reaproveitamento, a reciclagem, a geração de energia, o tratamento e a disposição final adequada dos resíduos sólidos. Para alcançar esse objetivo, cabe ao poder público fomentar, entre outros:

- A destinação dos resíduos sólidos de forma compatível com a preservação da saúde pública e a proteção do meio ambiente;
- A adoção de soluções locais ou regionais no equacionamento de questões relativas ao acondicionamento, ao armazenamento, à coleta, ao transporte, ao tratamento e à disposição final de resíduos sólidos;

- A recuperação e remediação de vazadouros, lixões e áreas degradadas pela disposição inadequada de resíduos sólidos;
- As pesquisas epidemiológicas em áreas adjacentes a usinas de reciclagem, aterros sanitários, lixões e pontos de despejos, para monitoramento de agravos à saúde decorrente do impacto causado por essas atividades.

Compete aos geradores de resíduos das atividades industrial e minerária a responsabilidade pelo seu gerenciamento, desde a sua geração até a destinação final. O gerenciamento dos resíduos industriais, especialmente os perigosos, deve ser feito de forma a atender os requisitos de proteção ambiental e de saúde pública, com base no Plano de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos.

São proibidas as seguintes formas de destinação dos resíduos sólidos: lançamento "in natura" a céu aberto, sem tratamento prévio, em áreas urbanas e rurais; queima a céu aberto ou em recipientes, instalações ou equipamentos não licenciados para esta finalidade, salvo em caso de decretação de emergência sanitária e desde que autorizada pelo órgão competente; e lançamento ou disposição em lagoa, curso d'água, área de várzea, cavidade subterrânea ou dolina, terreno baldio, poço, cacimba, rede de drenagem de águas pluviais, galeria de esgoto, duto condutor de eletricidade ou telefone, mesmo que abandonados, em área sujeita a inundação e em área de proteção ambiental integral.

Ficam proibidas, nas áreas de destinação final de resíduos sólidos: a utilização de resíduos sólidos como alimentação animal; a catação de resíduos sólidos em qualquer hipótese; e a fixação de habitações temporárias ou permanentes.

3.4.3 Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005 (Federal) e Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG nº 1, de 05 de maio de 2008 (Estadual) – dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências.

Os órgãos ambientais federais, estaduais e municipais, no âmbito de sua competência, deverão, por meio de norma específica ou no licenciamento da atividade ou empreendimento, estabelecer a carga poluidora máxima para o lançamento de substâncias passíveis de estarem presentes ou serem formadas nos processos produtivos, de modo a não comprometer as metas estabelecidas pelo enquadramento para o corpo de água.

Os efluentes de qualquer fonte poluidora somente poderão ser lançados, direta ou indiretamente, nos corpos de água, após o devido tratamento e desde que obedeçam às

condições, padrões e exigências dispostos na Deliberação Normativa e em outras normas aplicáveis. A tabela 1 apresenta as condições de lançamento mais restritivas determinados pela COPAM e pela CONAMA.

Os efluentes não poderão conferir ao corpo de água características em desacordo com as metas do seu enquadramento.

Nas águas de classe especial é vedado o lançamento de efluentes ou disposição de resíduos domésticos, agropecuários, de aquicultura, industriais e de quaisquer outras fontes poluentes, mesmo que tratados.

O efluente não deverá causar ou possuir potencial para causar efeitos tóxicos aos organismos aquáticos no corpo receptor, de acordo com os critérios de toxicidade estabelecidos pelo órgão ambiental competente. Os critérios de toxicidade devem se basear em resultados de ensaios ecotoxicológicos padronizados, utilizando organismos aquáticos, e realizados no efluente.

No controle das condições de lançamento, é vedada, para fins de diluição antes do seu lançamento, a mistura de efluentes com águas de melhor qualidade, tais como as águas de abastecimento, do mar e de sistemas abertos de refrigeração sem recirculação. Também é vedado nos efluentes, o lançamento dos Poluentes Orgânicos Persistentes (POPs).

TABELA 1: Condições e padrões de lançamento de efluentes nos corpos de água

Condições de lançamento de efluentes		
Parâmetros		Valores
pH	Entre 5 e 9	
Temperatura	Inferior a 40°C, variação do corpo receptor não deverá exceder a 3°C.	
Sólidos sedimentáveis	Até 1 mL/L , para lagos e lagoas deverão ser virtualmente ausentes.	
Vazão	Máxima de até 1,5 vezes a vazão média do período de atividade.	
Óleos minerais	20 mg/L	
Óleos vegetais e gorduras animais	50 mg/L	
Materiais flutuantes	Ausentes	
DBO	60 mg/L ou tratamento com eficiência de redução em no mínimo 60% ou 70%, dependendo da média anual.	
DQO	180 mg/L ou tratamento com eficiência de redução em no mínimo 55% ou 70%, dependendo da média anual.	
Tensoativos que reagem com azul de metileno	2,0 mg/L de LAS, exceto sistemas públicos de tratamento de esgoto sanitário.	
Sólidos em suspensão totais	100 mg/L sendo 150 mg/L no caso de lagoas de estabilização.	
Padrões de lançamento de efluentes		
Parâmetros inorgânicos		Valor máximo
Arsênio total	0,2 mg/L	
Bário total	5,0 mg/L	
Boro total	5,0 mg/L	
Cádmio total	0,1 mg/L	
Chumbo total	0,1 mg/L	
Cianeto total	0,2 mg/L	

Parâmetros inorgânicos (continuação)		Valor máximo
Cobre dissolvido	1,0 mg/L	
Cromo total	0,5 mg/L	
Estanho total	4,0 mg/L	
Ferro dissolvido	15,0 mg/L	
Fluoreto total	10,0 mg/L	
Manganês dissolvido	1,0 mg/L	
Mercurio total	0,01 mg/L	
Níquel total	1,0 mg/L	
Nitrogênio amoniacal total	20,0 mg/L	
Prata total	0,1 mg/L	
Selênio total	0,3 mg/L	
Sulfato	1,0 mg/L	
Zinco total	5,0 mg/L	
Parâmetros orgânicos		Valor máximo
Clorofórmio	1,0 mg/L	
Dicloroetano	1,0 mg/L	
Fenóis totais	0,5 mg/L C ₆ H ₅ OH	
Tetracloroeto de Carbono	1,0 mg/L	
Tricloroetano	1,0 mg/L	
O órgão ambiental competente poderá a qualquer momento acrescentar outras condições e padrões, ou torná-los mais restritivos, de caráter excepcional e temporário, aos efluentes que possam, dentre outras consequências:		
Acrescentar efeitos agudos e organismos aquáticos;		
Inviabilizar o abastecimento das populações.		
Adaptado de CONAMA n.º 357/05 e COPAM n.º 1/08		

3.4.4 Norma Técnica T. 187/0 – Lançamento de efluentes líquidos de indústria na rede pública coletora de esgotos.

Esta norma estabelece condições e critérios para o lançamento de Efluentes Líquidos da indústria na Rede pública de Esgotos da COPASA MG.

Só poderão ser lançados na Rede Pública Coletora de Esgotos (RPCE) os efluentes líquidos que não contenham substâncias que por sua natureza ou quantidade possam: causar danos às unidades ou componentes do Sistema Público de Esgotos (SPE); causar danos à saúde e segurança dos operadores e a população em geral; causar danos ao patrimônio público ou privado; criar situações de riscos ou que possam provocar acidentes; e interferir nos processos de tratamento dos efluentes líquidos e tratamento e disposição do lodo nas estações públicas de tratamento de esgotos.

Os efluentes líquidos que apresentarem parâmetros fora dos limites estabelecidos nessa norma deverão ser adequados ou tratados antes de serem lançados na RPCE.

A opção pelo lançamento de Efluentes líquidos da indústria na rede coletora da COPASA MG não exime o usuário da apresentação ao órgão ambiental devido à documentação de licenciamento pertinente.

É proibido o lançamento na RPCE de: Substâncias que, por razão de sua qualidade ou quantidade, são capazes de causar incêndio ou explosão, ou serem nocivas de qualquer outra maneira na operação e manutenção do SPE; substâncias orgânicas voláteis e semi-voláteis e prejudiciais ao SPE; substâncias que, por si ou por interação com outros despejos, causem prejuízo público, risco à vida, à saúde e segurança ou prejudiquem o processo de tratamento de esgoto, o tratamento e disposição do lodo nas estações públicas de tratamento de esgotos, a operação e a manutenção do SPE; materiais que causem obstrução na RPCE ou outra interferência com a própria operação do SPE, como, por exemplo, cinzas, areias, metais, vidro, madeira, pano, resíduo sólido, asfalto, cera e estopa, entre outros; águas de qualquer origem com a finalidade de diluir Efluentes Líquidos da Indústria; águas pluviais.

Os parâmetros físico-químicos dos Efluentes Líquidos da Indústria lançados na rede pública coletora de esgotos da COPASA MG deverão apresentar as concentrações limitadas ao que estabelece na tabela 2.

TABELA 2: Parâmetros e limites para lançamento de efluentes líquidos na RPCE da T. 187/0 da COPASA

Parâmetro	Unidade	Limite permitido
pH		Entre 6 e 10
Temperatura	°C	< 40
Sólidos sedimentáveis	mg/L	20
Gorduras, óleos e graxas em suspensão		Virtualmente ausente
Gorduras, óleos e graxas solúveis		150
Substâncias inflamáveis	mg/L	Virtualmente ausente
Alumínio total	mg/L	3,0
Arsênio total	mg/L	3,0
Bário total	mg/L	5,0
Boro total	mg/L	5,0
Cádmio total	mg/L	5,0
Chumbo total	mg/L	10,0
Cobalto total	mg/L	1,0
Cobre total	mg/L	10,0
Cromo hexavalente	mg/L	1,5
Cromo total	mg/L	10,0
Estanho total	mg/L	5,0
Ferro solúvel	mg/L	15,0
Mercurio total	mg/L	1,5
Níquel total	mg/L	5,0
Prata total	mg/L	5,0
Selênio total	mg/L	5,0
Vanádio total	mg/L	4,0
Zinco total	mg/L	5,0
Amônio	mg/L	480
Cianetos totais	mg/L	5,0
Índice de fenóis	mg/L	5,0
Fluoreto total	mg/L	10,0
Sulfeto total	mg/L	1,0
Sulfatos	mg/L	1000
Substâncias tenso-ativas que reagem ao azul de metileno	mg/L	5,0

Fonte: Norma Técnica T. 187/0

3.5 Caracterização do lixiviado

Como já mencionado, a bibliografia nacional usualmente apresenta dados oriundos do exterior, tendo com prática recente o estudo de lixiviados de aterros brasileiros. Faz-se, portanto, necessário ampliar o conhecimento das caracterizações de lixiviados de aterros brasileiros, possibilitando o desenvolvimento de projetos mais adaptados à realidade nacional.

A falta de caracterização do lixiviado pode ser considerada como a principal responsável por dificuldades de tratamento. Atualmente, para projeto de sistemas de tratamento de lixiviados são empregados parâmetros de esgoto doméstico, muito embora já se saiba que o lixiviado apresente características distintas dos esgotos domésticos (AMARAL et al, 2007).

O trabalho de Souto e Povinelli é certamente um dos poucos que apresentam dados de lixiviados de aterros Brasileiros (TAB. 3), sendo apresentados por eles como “estimativa de características mais prováveis de lixiviado de aterros brasileiros”, isso porque eles utilizaram dados secundários e têm a consciência de que comparar resultados de fontes distintas é complexo, pois é preciso se ter em mente que métodos diferentes aplicados a uma mesma grandeza podem resultar em valores igualmente diferentes e não comparáveis. Há que se considerar também que análises colorimétricas podem ser prejudicadas pela elevada cor do lixiviado. Seria preciso que houvesse uma uniformização das técnicas de medida usadas pelos pesquisadores.

Podemos observar também que os dados, oriundos do exterior, apresentados pelos trabalhos nacionais, são na grande maioria divididos segundo as fases de estabilização biológica, o que não acontece nos dados apresentados por Souto e Povinelli (2007). Isso se deve provavelmente pela dificuldade de diferenciação dessas fases em aterros de regiões tropicais, onde a transição entre “lixiviado novo” e “lixiviado velho” parece acontecer rapidamente.

TABELA 3: Características mais prováveis do lixiviado de aterros sanitários brasileiros

Variável	Faixa máxima	Faixa mais provável	FVMP
pH	5,7 - 8,6	7,2 - 8,6	78%
Alcalinidade total (mg de CaCO ₃ /L)	750 - 11400	750 - 7100	69%
Dureza (mg de CaCO ₃ /L)	95 - 3100	95 - 2100	81%
Condutividade (µS/cm)	2950 - 25000	2950 - 17660	77%
DBO (mg/L)	< 20 - 30000	< 20 - 8600	75%
DQO (mg/L)	190 - 80000	190 - 22300	83%
Óleos e Graxas (mg/L)	10 - 480	10 - 170	63%
Fenóis (mg/L de C ₆ H ₅ OH)	0,9 - 9,9	0,9 - 4,0	58%
NTK (mg/L)	80 - 3100	não há	-
N-amoniaco (mg/L)	0,4 - 3000	0,4 - 1800	72%
N-orgânico (mg/L)	5 - 1200	400 - 1200	80%
N-nitrito (mg/L)	0 - 50	0 - 15	69%
N-nitrato (mg/L)	0 - 11	0 - 3,5	69%

Variáveis (continuação)	Faixa máxima	Faixa mais provável	FVMP
P-total (mg/L)	0,1 - 40	0,1 - 15	63%
Sulfeto (mg/L)	0 - 35	0 - 10	78%
Sulfato (mg/L)	0 - 5400	0 - 1800	77%
Cloreto (mg/L)	500 - 5200	500 - 3000	72%
Sólidos totais (mg/L)	3200 - 21900	3200 - 14400	79%
Sólidos totais voláteis (mg/L)	630 - 20000	630 - 5000	60%
Sólidos totais fixos (mg/L)	2100 - 14500	2100 - 8300	74%
Sólidos suspensos totais (mg/L)	5 - 2800	5 - 700	68%
Sólidos suspensos voláteis (mg/L)	5 - 530	5 - 200	62%
Ferro (mg/L)	0,01 - 260	0,01 - 65	67%
Manganês (mg/L)	0,04 - 2,6	0,04 - 2,0	79%
Cobre (mg/L)	0,005 - 0,6	0,05 - 0,15	61%
Níquel (mg/L)	0,03 - 1,1	0,03 - 0,5	71%
Cromo (mg/L)	0,003 - 0,8	0,003 - 0,5	89%
Cádmio (mg/L)	0 - 0,26	0 - 0,065	67%
Chumbo (mg/L)	0,01 - 2,8	0,01 - 0,5	64%
Zinco (mg/L)	0,01 - 8,0	0,01 - 1,5	70%

FVMP: frequência de ocorrência dos valores mais prováveis.

Fonte: Souto e Povinelli (2007)

Os dados provenientes da grande maioria das bibliografias, tanto nacionais, como do exterior também se baseiam principalmente em características físico-químicas do lixiviado e como lembrado por Pelegrini, Pelegrini e Paterniani (2007), o monitoramento biológico faz-se necessário, devido à complexidade e diversidade de classes de compostos agressivos aos ecossistemas, presentes nesse efluente.

As Tabelas 4 e 5 foram montadas utilizando valores secundários de resultados de ensaios ecotoxicológicos e microbiológicos, respectivamente. Também é preciso ter em mente que os organismos indicadores, tanto para ensaios de ecotoxicidade, quanto para determinações microbiológicas, são diversos, havendo muita discrepância entre os utilizados em cada bibliografia. As diluições também geram limites de detecções variadas. Outra dificuldade encontrada é quanto à forma de expressão do resultado, que pode ser variada, dificultando também a relação entre trabalhos secundários.

TABELA 4: Valores de resultados de ensaios de toxicidade para lixiviados de aterros sanitários encontrados na literatura.

Organismo teste	Tipo de teste	Expressão do resultado	Média	Mínimo	Máximo	Desvio padrão
<i>Daphnia similis</i>	Agudo	CE ₅₀	3,40%	2,04%	6%	2,23
<i>Brachydanio rerio</i>	Agudo	CE ₅₀	3,30%	2,20%	5,70%	1,15
<i>Ceriodaphnia dubia</i> 48h	Agudo	CE ₅₀	7,30%	1,70%	20,90%	7,77
"CerioFast"	Agudo	CE ₅₀	24,90%	3,40%	90,70%	33
<i>Daphnia magna</i>	Agudo	CE ₅₀	6,20%	6,20%	25,00%	10,8
<i>Vibrio fischeri</i>	Agudo	CE ₅₀	13,14%	11,27%	15,02%	2,65

Fonte dos dados: Carniato et al. (2007); Silva (2002); Sisinno et al. (2000); Ward, Bitton e Townsend (2000); Rodrigues e Pawlowsky (2007) e Finkler (2002) *apud* Brentano (2006)

TABELA 5: Valores de resultados de ensaios microbiológicos para lixiviados de aterros sanitários encontrados na literatura.

Grupo / Microrganismos	Resultado	Média	Mínimo	Máximo	Desvio-padrão
Coliformes totais	NMP/100mL	3,39E+03	1,00E+00	2,00E+04	5,76E+03
Coliformes termotolerantes	NMP/100mL	2,13E+03	1,00E+00	2,00E+04	4,45E+03
Enterococos	NMP/100mL	4,08E+04	1,00E+00	2,50E+05	7,42E+04
<i>Clostridium perfringens</i>	UFC/mL	2,50E+03	5,00E+00	2,70E+04	5,52E+03
<i>Staphylococcus sp.</i>	UFC/mL	6,04E+02	3,40E+02	1,00E+03	2,61E+02
Bactérias aeróbias	UFC/mL	2,21E+04	5,50E+02	5,50E+06	1,32E+06
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	NMP/100mL	4,23E+05	9,20E+01	2,00E+06	7,52E+05

Adaptado de Cussiol (2005)

3.5.1 Caracterização físico-química convencional

As características dos lixiviados de aterros apresentam comportamento variável ao longo do tempo. Esta variabilidade é fortemente verificada para parâmetros físico-químicos como DBO, DQO e sólidos, e em menor grau para os metais pesados (LANGE et al, 2006).

A DQO é o parâmetro preferido para quantificar a matéria orgânica presente em lixiviados, e isso ocorre porque ela permite o balanço de elétrons e energia entre o substrato orgânico, biomassa e oxigênio utilizado. Uma desvantagem do parâmetro DQO é que ele não diferencia a matéria orgânica biodegradável da inerte (AMARAL et al, 2007).

Alta concentração de amônia podem ser gerada pela degradação do material protéico que constitui grande fração da matéria orgânica biodegradável de lixiviados (MORAVIA, 2007).

A relação SSV/SST representa a razão entre a quantidade de sólidos voláteis (fração orgânica) e sólidos suspensos fixos (fração inorgânica). A baixa relação SSV/SSF indica um baixo potencial de degradação biológica, já que os SSV podem ser associados diretamente à biomassa existente (MORAVIA, 2007).

O pH é um parâmetro que retrata o processo de decomposição biológica da matéria orgânica. Em processos de biodegradação anaeróbica, o desenvolvimento dos microorganismos está relacionado diretamente às faixas predominantes de pH (Amaral, 2007). Segundo Cussiol (2005) e Moravia (2007), a prática do uso de entulho da construção civil na cobertura das células, pode influenciar o pH dos lixiviados gerados, pela solubilização de seus compostos, tornando-o mais alcalino. Porém a amônia também pode ser responsável, em maiores proporções, pela elevação do pH.

Segundo Amaral (2007), quanto aos nutrientes, o fósforo e enxofre normalmente estão em pequenas concentrações em lixiviados, diferente do nitrogênio que é elevado na forma amoniacal e também presente como nitrogênio orgânico (nitrito e nitrato). A alta concentração

de N-NH_3 e cloretos contribuem para a elevada toxicidade do lixiviado (RODRIGUES, 2004). A recirculação do lixiviado, se muito recorrente, pode ser uma das causas do aumento na concentração de sais e de amônia. (RODRIGUES, 2004).

A temperatura afeta a velocidade das reações químicas e bioquímicas sob diversas formas, incluindo controle da taxa metabólica, equilíbrio de ionização (amônia, por exemplo), solubilidade do substrato e biodisponibilidade de ferro, haja vista que o aumento da temperatura reduz a solubilidade do oxigênio no meio líquido (AMARAL, 2007).

Os valores de condutividade são associados à temperatura, pois esta favorece a solubilização de sais inorgânicos (disponibilização de íons), devendo então ser menor em células mais antigas e maior em mais recentes (CUSSIOL, 2005).

Pode-se dizer que a condutividade decai ao longo do tempo, em um aterro sanitário, devido à estabilização da matéria orgânica, redução da temperatura, e conseqüentemente redução da solubilização de elementos inorgânicos, uma vez que este parâmetro está relacionado com a presença de íons dissolvidos no líquido lixiviado (MACHADO, 2004).

A concentração de metais, em lixiviados, depende do tipo de resíduo depositado no aterro, sendo relativamente baixas para o resíduo doméstico, podendo aumentar para os despejos industriais e variar de acordo com o estágio de decomposição do resíduo, sendo maiores durante a fase de fermentação ácida, quando estes elementos estão mais solúveis e menores nas últimas fases de estabilização, quando o pH normalmente é mais alcalino (SILVA, 2002).

No que se refere às concentrações de metais pesados no lixiviado de aterros que recebem majoritariamente resíduos de origem doméstica, estas não representam um elevado risco para o ambiente já que são da ordem dos μg – mg . Na base destas baixas concentrações estão as reações de precipitação, adsorção e complexação, verificadas no aterro em condições anaeróbias, a valores de pH elevados. As concentrações de Zinco no lixiviado podem, contudo, assumir valores mais preocupantes. (PEDROSO, 2007)

A concentração de metais como Fe, Mn, Zn, Cu, Pb e Cd são elevadas em aterros jovens devido ao ambiente ácido que permite a solubilização dos íons metálicos. Com o tempo de aterramento, o pH tende a aumentar e estas concentrações tendem a diminuir. O grande problema dos metais pesados é sua capacidade de formar complexos organometálicos por reações de complexação com as moléculas orgânicas. A formação destes complexos facilita o transporte de metais e a mobilidade de diversos contaminantes orgânicos (ANDRADE, 2002)

apud AMARAL, 2007). Fatores físicos, como a temperatura, também são importantes, pois podem influenciar, por exemplo, a solubilidade de íons. A Tabela 6 apresenta valores médios de concentração de alguns metais, encontrados na literatura.

O cádmio é um metal altamente tóxico, utilizado em galvanoplastia e como constituinte de pigmentos e estabilizantes de plástico. O Chumbo é utilizado pela Indústria de tintas, baterias e tubulações, ocorrendo em formas inorgânicas e, menos freqüente, em orgânicas. Já o cobre é utilizado na Mineração, fundição, incineração, fungicidas, bactericidas, algicidas, fertilizantes e tintas antiincrustantes (ZAGATTO e BERTOLETTI, 2006). A Tabela 7 apresenta mais algumas origens possíveis de alguns íons.

Os metais devem ser monitorados com rigor face aos danos ambientais que promovem, chegando a afetar até mesmo o homem (SILVA, 2002).

TABELA 6: Valor médio de concentração de alguns metais quantificados em lixiviado de aterro, encontrados na literatura

Metais	Unidade	Valor médio	Desvio padrão
Cádmio	mg/L	0,008	0,004
Cobre	mg/L	0,070	0,057
Ferro	mg/L	18,887	30,364
Manganês	mg/L	1,640	0,821
Chumbo	mg/L	0,135	0,120
Zinco	mg/L	0,356	2,658
Alumínio	mg/L	1,977	2,658
Cromo	mg/L	0,144	0,805
Níquel	mg/L	0,149	0,237

Fonte dos dados: Amaral et al. (2008); Moravia (2007); Lange et al. (2006); Strelau (2006).

TABELA 7: Possíveis origens de alguns íons encontrados em lixiviados de aterros sanitários.

Íons	Origem
Na ⁺ , K ⁺ , Ca ⁺² , Mg ⁺²	Material orgânico, entulhos de construção, cascas de ovos
PO ₄ ⁻³ , NO ₃ ⁻ , CO ₃ ⁻²	Material Orgânico
Cu ⁺² , Fe ⁺² , Sn ⁺²	Material eletrônico, latas, tampas de garrafas
Hg ⁺² , Mn ⁺²	Pilhas comuns e alcalinas, lâmpadas fluorescentes
Ni ⁺² , Cd ⁺² , Pb ⁺²	Baterias recarregáveis (celular, telefone sem fio, automóveis)
Al ⁺³	Latas descartáveis, utensílios domésticos, cosméticos, embalagens laminadas
Cl ⁻ , Br ⁻ , Ag ⁺	Tubos de PVC, negativos de filmes e raios-X
As ⁺³ , Sb ⁺³ , Cr ⁺³	Embalagens de tintas, vernizes, solventes orgânicos

Fonte: Segato e Silva (2000)

3.5.2 Identificação de compostos orgânicos

A identificação de compostos pode auxiliar na escolha de processos de pré ou pós-tratamento, direcionando-os para remover determinadas substâncias que apresentam, por exemplo, toxicidade ou sejam refratárias, assim como pode também evitar a disposição “*in natura*” de substâncias potencialmente tóxicas no ambiente, principalmente no que diz respeito à contaminação de solos, mananciais hídricos subterrâneos e superficiais. Neste contexto a

caracterização coletiva associada à identificação dos compostos pode fornecer subsídios tanto para o sucesso da seleção racional de tecnologias e procedimentos operacionais adequados, quanto para a otimização das unidades de tratamento assim como pode auxiliar os legisladores ambientais na estipulação de limites de emissão e alternativas de tratamento dentro da realidade do lixiviado e até mesmo na estipulação de limites de emissão de compostos específicos inerentes ao tratamento (AMARAL, 2007).

Para lixiviados provenientes de células não estabilizadas (em relação ao processo de decomposição), em torno de 90% do carbono orgânico dissolvido é devido a ácidos graxos voláteis de cadeia curta. A segunda maior fração corresponde aos ácidos fúlvicos. Com a idade de aterramento ocorre um decréscimo nas frações de ácidos graxos voláteis e um aumento em substâncias fúlvicas (QASIM e CHIANG, 1994 e KJELDSEN et al. 2002 *apud* MORAVIA, 2007).

Öman e Junestedt (2007) detectaram alguns compostos perigosos, incluindo compostos aromáticos, compostos halogenados, fenóis, pesticidas, metais pesados e íon amônio. Muitos desses compostos foram quantificados em concentrações muito baixas, destacando a importância de utilização de procedimentos analíticos adequados, pois um grande número de compostos pode estar presentes em concentrações inferiores ao limite de detecção do método analítico. As baixas concentrações não eliminam as ameaças ambientais, muitos compostos podem ser perigosos mesmo em pequenas concentrações e os efeitos negativos são freqüentemente múltiplos e sinérgicos (ÖMAN e JUNESTEDT, 2007).

Filho, Mühlen e Caramão (2001), revelaram em seus resultados a presença de um grande número de compostos pertencentes a variadas funções químicas, especialmente aquelas contendo átomos de oxigênio, nitrogênio e enxofre. Cetonas, alcoóis, compostos nitrogenados e ácidos carboxílicos são substâncias normalmente encontradas em lixiviados de aterros sanitários, provavelmente resultantes da degradação da matéria orgânica. Entretanto, a presença de outros compostos de largo emprego industrial e com ação ambiental, indica que a degradação do material orgânico por ação bacteriológica pode não ser eficiente, contribuindo para um aumento do potencial toxicológico do lixiviado produzido.

A presença de compostos de menor importância ambiental como ácidos carboxílicos também deve ser avaliada com cuidado, pois é sabido que estes compostos podem promover a lixiviação de metais pesados dos resíduos sólidos ou do próprio terreno onde se encontra o aterro, para o lixiviado (FILHO, MÜHLEN e CARAMÃO, 2001).

Segundo Strelau (2006), o lixiviado de aterros sanitários, não variam significativamente de um aterro para outro, dependendo de fatores como idade do aterro, formação geológica, precipitação pluviométrica e nem mesmo as características dos compostos encontrados variam muito de um aterro sanitário para outro.

Alguns compostos comuns nos trabalhos citados são os hidrocarbonetos ciclênicos, que são encontrados no estado natural, nos organismos vegetais, como líquidos odoríferos e voláteis, tais como o pineno, que se encontra nas essências de terebintina, pinheiro, canela, etc. o limoneno, que se encontra na essência dos cítricos; o dipenteno (mistura de isômeros ópticos do limoneno); o isopreno que é um dieno, líquido incolor é usado na produção de borrachas sintéticas; os esteróis - são substâncias produzidas nas plantas e nos animais. São identificados alguns fitoesteróis, sendo os mais abundantes o sitosterol, o campesterol e o estigmasterol. O beta-sitosterol, um dos sitosteróis, é o principal fitoesterol encontrado nos alimentos. Naftalenos Clorados são usados na preservação de madeira, nos aditivos dos óleos de motores, capacitores, etc. São encontrados alguns hidrocarbonetos policíclicos aromáticos, compostos encontrados em petróleo. Os cresóis ($\text{CH}_3.\text{C}_6\text{H}_4.\text{OH}$), são fenóis derivados do tolueno, encontram-se em proporções variáveis no óleo de alcatrão de hulha (STRELAU, 2006).

A tabela 8 apresenta alguns compostos identificados em diferentes trabalhos da literatura, através de diferentes metodologias, incluindo diferentes métodos de extração e solventes.

TABELA 8: Compostos identificados em lixiviado de aterro, em diferentes literaturas

Compostos	
Álcool de α -etil- α -metilbenzil	Metil 5-acetil-2-metoxibenzoato
Ácido ciclohexano carboxílico	m-tert-butil fenol
Ácido fenil acético	N-etil-4-metil benzeno sulfonamida
Ácido acético Ester	N-butil benzeno sulfonamida
Acetoxilinalol	Nonacosano
Acetofenona	Propanodinitrilo
Ácido benzenopropanóico	Propanodinitrilo:2-[3-(4-clorofeniltio)-3-(4-fluorofenil)-2-propenilideno
Ácido metiléster noninóico	Terpenediol
Ácido Bis (2-metilpropil) ester 1,2-Benzene dicarboxílico	Tolueno
Ácido heptiloctil éster ftálico	Triacotano
Ácido ciclopropanecarboxílico	Tricosano
Ácido octadecil ester tetradecanóico	Tetracosano
Ácido eicosil ester hexadecanóico	Tetracontano
Ácido eicosil ester tetradecanóico	Trimetil-ciclohexeno-carboxaldeído
Ácido dodecanoico ester, tetradecil	Trimetil[(1-metilpentil)oxi]silano
Ácido dodecil ester tetradecanóico	2-metil, 1,3-bis (trimetilsiloxy) propano
Ácido tetradecil ester tetradecanóico	2-etenil-1,3,3-trimetil-ciclo hexeno
Ácido hexadecil ester tetradecanóico	1-Butanol
Ácido 3-formoxi 12-cetocolânico	1-Defenilsililoxihexadecano
Ácido tetracosanóico	9-octil-heptadecano

Compostos (continuação)

Ácido pentadecanóico	9-cedranona
Ácido etanedióico	3(E)-Octadeceno
Ácido 9-haxadecanóico	6(Z)-Ácido octadecenóico
Ácido 2-propenóico	1-Pentanol
Ácido 5-etenil-3,5,9-trimetil metil Ester 8-decenóico	1-acetil piperidina
Ácido 2-(1-piperidil)-[4aminofurazanil-3-(amino)metilidenoamino]ester acético	1-amino,n-butil-N-metil-3Buteno
Ácido 3,7,11,15-tetrametil haxadecil éster acético	3,4-dimetil-2ciclo1pentanona
Ácido pentanóico	3,3'-oxibis-ciclopenteno
Ácido heptanóico	4,4-dimetil-1,3-ciclo hexanodiona
Ácido decanóico	1,2-dietil-3,4,5,6-tetrametil-benzeno
Ácido nonanóico	1-metil-4-(1-metil etenil)-1,2-ciclo hexanodiol
Ácido undecenóico	1,4-dimetil-5-octil-decanohidro naftaleno
Ácido tetradecanóico	3-(metil-2-pyrrolidenil)piridina
Ácido hexadecanóico	5-Eicosano
Ácido octadecanóico	2-amino 4 (1H)-pteridione
Ácido octanóico	2(3H)-benzothiazolone
Acetato de 2,6,6 Trimetil-9-undecen-1-ol	5-metil-2-(1-metil etenil) ciclohexanol
Acetato de E-11 (13,13-dimetil)1-tetradecenol	2-(5-metil-5-vinil tetrahydro-2-furanil)-2-propanol
Benzotiazolona	1-etilidene octahidro 7 α -metil 1H-indene
Bisfenol A	4-metil-1-1(1-metil etil)-, (R)-3-ciclo hexen-1-ol
Bis(2-etilhexil) ftalico	α , α , α , α , tetrametil-1,4-benzeno dimetanol
Bis (2-metilpropil) ester de 1,2-ácido benzeno dicarboxílico	2,3,5-trimetil fenol
Bromo dicloro metano	7-acetil-2-hidroxi-2-metil-5-isopropil biciclo
Butil 2-etil hexil éster de 1,2-ácido	2,3-dimetil fenol
Bezenodicarboxílico	1,7,7-trimetil-, (1S)-biciclo[2.2.1]heptan-2-ona
Cânfora	2,2-dimetil-aziridina
Coeluiu	(1-butil heptil)-benzeno
Cotinino	(1-butil octil)-benzeno
Ciclo hexanamina	(1-metoxietil)-benzeno
Ciclo pentadecano	2-metil fenol
C ₂ - benzosixazola	3,4-dimetil fenol
C ₃ - benzenosulfonamida	4-propil fenol
C ₄ -purina-dihidro-diona	2-(1-metil-2-pirrolidinil)-piridina
Docosano	2-tridecil éster de ácido methoxiacético
Decametil ciclopentassiloxano	3-pentadecil éster de ácido methoxiacético
Diaza-dicetocil-tetradecano	4-tert butil fenol
Diocil adipato	5-metil-2-(1-metiletil) fenol
Dietil toluamida	5-hidroxi-4,7,7-trimetil-biciclo[2.2.1]heptan-2-ona
Eicosano	1,13-bis (trimetilsiloxo) tridecano
Esqualeno	3,3-dimetil ácido heptanóico
Etanol, pentametil	2,2,6-trimetil-1,4-ciclo hexanediona
Estigmasterol	3,3,5 trimetil ciclohexanona
Etil éster de ácido hexadecanóico	1,3,3-trimetil-2-oxabicyclo(2.2.2)octon-6-ol
Etil oleato	2 decino
Etil éster de ácido limonéico	1-iodo-octadecano
Exo-ketoborneal	3-etil ácido heptanóico
Glicerina	1,2,3,4-pentadecametetrol
Heneicosano	2-[2-propenil] ciclohexanona
Hidroxi-neoisolongifolano	8-hexadecine
Hexahidro azepinona	1-(2-methoxipropoxi)-2-propanol
Hexahidro-4,4,7 ^a -trimetil-2 (3H)-benzofuranona	1-[4-(1-hidroxi-1-metil etil)fenil]-etanona
Hexacosano	4-4-[1-metil etilidene] bis-fenol
Hexametil-disiloxane	4,4-dimetil,5 ^a -6-androstanona
Heptacosano	8-ona
Heptadecano	7,9-di-terc-butil-1-oxaspiro(4,5)deca-6,9-dieno-2,8-diona
Hexadecano	

Compostos (continuação)

Hexacloro-etano	4-hidroxi- α - α , 4-trimetil ciclohexano metanol
Hentriacontano	1-metil-4- (1-metiletenil) – 1,2-ciclo hexanodiol etenil
Hidrato de terpinol	2-(4-Clorofenoxi)-N-[2-etil (dietilamino)]acetamida
Isobutil ftalato	1,6-dimetil-4-(1-metileti)-decahidro naftaleno
Isoaromadendreno epóxido	
Metil Ester cetoprofeno	

Fonte dos dados: Amaral (2007); Strelau (2006); Moravia (2007).

3.5.3 Caracterização ecotoxicológica

3.5.3.1 Ecotoxicologia aquática

A ecotoxicologia é hoje uma ciência que estuda o impacto potencialmente deletério de substâncias ou compostos químicos que constituem poluentes ambientais sobre os organismos vivos e muito utilizada no monitoramento da qualidade das águas, na avaliação de nível de periculosidade e de riscos de substâncias químicas e no estabelecimento de limites máximos permissíveis de lançamento de efluentes líquidos nos corpos hídricos (ZAGATTO e BERTOLETTI, 2006). Princípios básicos toxicológicos são frequentemente resumidos em expressões simples, dose-resposta, ou concentração-resposta (RAND, 1995).

Os testes de toxicidade servem de instrumento para uma melhor compreensão das condições ambientais e fornecem respostas às ações que vem sendo empreendidas no sentido de se reduzir a toxicidade do despejo líquido, de seu efeito sobre o corpo receptor e, em última instância, promover a melhoria da qualidade ambiental. Tais testes podem, ainda, avaliar o impacto de efluentes líquidos industriais ou domésticos nos corpos receptores e avaliar a eficiência dos diferentes métodos de tratamento dos efluentes industriais em termos ecotoxicológicos (CETESB, 1995).

Segundo Rand (1995), a toxicologia aquática é a monitorização biológica ou a utilização regular e sistemática de organismos vivos para avaliar as alterações na qualidade ambiental ou água, com medições repetitivas que são tomadas no âmbito de um delineamento estatístico. A monitorização é a medição sistemática de variáveis e processos ao longo do tempo relacionada a um problema específico e inclui observações e medições de produtos químicos, biológicos e parâmetros físicos de acordo com horários preestabelecidos e metodologias comparáveis. O objetivo do monitoramento é a coleta de dados suficientes para avaliar a qualidade do ambiente.

A ecotoxicologia requer uma visão mais ampla do que a simples avaliação de efeito das substâncias sobre os organismos, pois a toxicidade pode não ser o resultado da ação de apenas

uma substância isolada, mas da interação e magnitude de vários agentes presentes num determinado ambiente (ZAGATTO e BERTOLETTI, 2006).

Os bioensaios são úteis para avaliar a toxicidade global misturas químicas para o ambiente aquático, já que componentes individuais, conforme determinado em análises química podem ter aditivos, sinérgicos, bem como efeitos antagônicos sobre a toxicidade de misturas (EL-FADEL, FINDIKAKIS E LECKIE, 1997).

A maioria dos agentes químicos, principalmente os perigosos, são acumulativos no meio aquático, portanto, a biota aquática pode estar sujeita aos efeitos dessas substâncias por prolongados períodos de tempo (FÁTIMA, 1999 *apud* RODRIGUES e PAWLOWSKY, 2007).

Algumas influências e interações de componentes bióticos e abióticos não estão presentes em estudos de laboratório, mas podem ser identificadas em estudos de campo. Os estudos de campo também podem ser usados para validar os estudos de laboratório e modelos matemáticos de ecossistemas e para estimar as concentrações ambientais de produtos químicos, eles podem ser mais úteis para prever o destino potencial e efeitos dos produtos químicos no ambiente aquático. Há, no entanto, as limitações dos estudos de campo, pois as variáveis ambientais não são estáveis, sendo difícil de controlar e impossíveis de replicar, assim como os resultados podem ser atribuídos a vários fatores e a relação causa e efeito são difíceis de definir e interpretar, porque há muitas variáveis que não são devidamente controladas e muitos são indefinidas (RAND, 1995).

Nos estudos de ecotoxicidade, avaliam-se os efeitos causados ao organismo-teste, por meio da exposição de organismos representativos do ambiente às várias concentrações do efluente ou da substância potencialmente tóxica a ser testada, por período determinado. São avaliados os efeitos agudos, onde se observa letalidade e imobilidade, e os efeitos crônicos, em que se observam alterações no crescimento, reprodução e sobrevivência (BRENTANO, 2006).

É importante se trabalhar com diferentes organismos representativos da cadeia trófica, que podem apresentar respostas diferentes aos agentes tóxicos (CARNIATO et al., 2007).

Os testes de toxicidade são realizados com diversos organismos, tais como algas, microcrustáceos, peixes, poligoquetos, oligoquetos e larvas de insetos, moluscos e equinodermos e bactérias, e as metodologias já estão padronizadas pelos órgãos ou institutos ambientais.

Os microcrustáceos de uma forma geral desempenham um papel importante na cadeia alimentar, pois se alimentam de algas e servem de alimento para consumidores secundários, como peixes e outros vertebrados. Assim, mudanças na população e no comportamento destes organismos podem interferir direta ou indiretamente nos outros níveis tróficos do ecossistema aquático (CETESB, 1995).

Os cladóceros, como *Daphnia similis* e *Ceriodaphnia dubia*, são amplamente utilizados na realização de testes, pois são representativos na comunidade zooplânctonica, sensíveis aos agentes tóxicos, possuem certa homogeneidade, estabilidade genética através da reprodução partenogenética e curto ciclo de vida. (CARNIATO et al., 2007)

O teste crônico é importante e complementar ao teste agudo pois a ausência de efeito agudo não caracteriza ausência de efeito sobre a biota. A expressão de muitos agressores ambientais somente torna-se visível quando estão presentes em altas doses. Entretanto, quando eles existem em porções menores seus efeitos na bagagem genética dos indivíduos, interferem nas suas funções fisiológicas, altera a frequência reprodutiva e/ou a qualidade e quantidade de organismos gerados. Nesta situação, a execução de um teste crônico permitiria revelar um efeito mais sensível sobre os organismos, a longo prazo, devido a agentes tóxicos presentes em pequenas doses e seria apropriado quando os testes agudos não revelam toxicidade. A ação lenta de poluentes sobre a biocenose é um aspecto importante a ser considerado e que hoje já se encontra contemplado em legislação nacional (BRENTANO, 2006). Os efeitos de uma substância química pode ser de menor importância tal que o organismo aquático é capaz de exercer as suas funções de forma normal e que apenas sob condições de estresse adicional pode um efeito induzido quimicamente ser detectado (RAND, 1995).

A caracterização físico-química e toxicológica de efluentes líquidos, tanto industriais como domésticos, e de agentes químicos é um procedimento de prevenção à poluição e tem por objetivo final estabelecer limites máximos permissíveis para a proteção da vida aquática. Esses limites, conhecidos como critérios e/ou padrões de emissão de efluentes líquidos e de qualidade de águas, são utilizados mundialmente como valores de referência para o monitoramento ambiental (ZAGATTO e BERTOLETTI, 2006).

A ecotoxicologia permite a detecção do efeito de substâncias a concentrações bem abaixo dos limites de detecção por métodos de análises químicas. Além disto, a matéria viva responde de forma integrada a todos os fatores perturbadores, o que inclui efeitos produzidos por substâncias novas na água, formadas através de interações. Esta resposta, via de regra, se

subtrai da análise química. Assim, os bioensaios permitem, geralmente, uma avaliação bastante segura do potencial tóxico de substâncias ou de meios contaminados, permitindo também deduções indiretas do seu risco para o meio ambiente e, com muita cautela, para o homem. Desta forma, testes toxicológicos vêm a ser ótimas ferramentas para auxiliar na tomada de decisões visando a preservação da biota aquática (BRENTANO, 2006).

Segundo Rand (1995) é imperativo lembrar que os dados de testes de toxicidade devem ser interpretados, ao contrário das propriedades físico-químicas, que muitas vezes são constantes (embora nem sempre fácil de avaliar), a toxicidade é uma medida relativa e uma função da interação de vários fatores que influenciam, relacionados tanto ao agente tóxico, quanto ao organismo. Valores iguais não significam que os processos tóxicos são os mesmos ou que a importância toxicológica é comparável. O uso indiscriminado dos resultados dos testes de toxicidade poderá resultar em conclusões equivocadas.

A grande complexidade das substâncias num mesmo efluente líquido, dificulta a sua completa caracterização, não só do ponto de vista analítico, como econômico. Estudos têm demonstrado que os resultados obtidos através dessas análises dificilmente fornecem informações sobre o conjunto das substâncias que, interagindo entre si, podem afetar deletariamente a biota presente no ambiente aquático (BRENTANO, 2006). Nesse caso são necessários estudos mais profundos, associando procedimentos químicos à ensaios ecotoxicológicos.

Desta forma, estudos ecotoxicológicos são indispensáveis na avaliação de efluentes complexos, contribuindo na busca de medidas mitigadoras e possibilitando não apenas a minimização do impacto ambiental causado por efluentes tóxicos, mas também a garantia da manutenção da vida aquática (BRENTANO, 2006). Lembrando que também é indispensável a avaliação físico-química conjunta aos ensaios ecotoxicológicos, sendo avaliações complementares e conclusivas apenas em conjunto.

3.5.3.2 Ecotoxicidade do lixiviado

Devido a complexidade e a variabilidade apresentada pelos compostos orgânicos e inorgânicos que podem estar presentes no lixiviado, recomenda-se que a caracterização desse efluente seja complementada por testes biológicos para obter informações não reveladas pela simples caracterização física e química. Esta necessidade tem estimulado a realização de testes de toxicidade, atualmente considerados como análises indispensáveis para se obter um controle mais abrangente das fontes de poluição das águas. Através desses testes determina-se o potencial tóxico de um agente químico ou de uma mistura complexa, sendo os efeitos desses

poluentes mensurados através da resposta de organismos vivos. A contaminação química, indubitavelmente, tem merecido maior atenção em nossa sociedade, devido ao aumento, quase exponencial, do número de substâncias sintetizadas pelo homem no último século (SILVA, 2002).

A presença de uma grande diversidade de substâncias que é comum em efluentes derivados de resíduos sólidos torna difícil determinar qual a classe de compostos químicos que contribui mais para a toxicidade (CARNIATO et al., 2007).

Os principais agentes tóxicos verificados em processos anaeróbios, como é o caso dos aterros sanitários, são cátions alcalinos, alcalinos terrosos, amônia, sulfetos, metais pesados, compostos orgânicos (ácidos voláteis), oxigênio e outras substâncias como detergentes, antibióticos, cianetos e produtos químicos dispostos no resíduo (BIDONE e POVINELLI, 1999 *apud* BRENTANO, 2006)

Segundo Carniato et al. (2007), o sinergismo dos compostos presentes em lixiviados, tais como matéria orgânica, ácidos húmicos e fúlvicos, metais pesados, compostos organohalogenados, dentre outros, podem ocasionar elevadas toxicidade mesmo após etapas de tratamentos. Assim como mesmo em pequenas concentrações, pode ocasionar altas porcentagens de inibição para o meio aquático, se lançado aos corpos hídricos, mesmo após etapas de tratamento.

Silva (2002) apontou os componentes inorgânicos do lixiviado como sendo talvez a principal responsável pela toxicidade.

A fase metanogênica propicia condições, para redução do oxigênio a níveis muito baixos, favorecendo o aparecimento dos microorganismos anaeróbios e desfavorecendo quase todos os animais superiores (SILVA, 2002).

A amônia é uma substância tóxica comum em misturas complexas no ambiente aquático, especialmente em áreas de enriquecimento orgânico. Dentre os inúmeros compostos presentes no lixiviado que podem causar toxicidade, o alto teor de amônia tem sido destacado por diversos autores (SILVA, 2002; RODRIGUES, 2004; EL-FADEL, FINDIKAKIS e LECKIE, 1997; SVENSSON et al., 2005, entre outros). A amônia livre, quando em concentrações mais altas, contribui para o aumento de toxicidade dos efluentes, afetando peixes e inibindo o metabolismo de microrganismos. Em alguns estudos foi verificado o aumento da toxicidade

causada pela amônia, que na forma livre é mais tóxica, enquanto que na forma iônica é levemente tóxica para maioria dos organismos (SILVA, 2002).

A toxicidade da amônia pode ser aumentada pela presença de outros produtos químicos no lixiviado, devido aos efeitos cumulativos ou sinérgicos (EL-FADEL, FINDIKAKIS E LECKIE, 1997).

Outro fator de relevância na caracterização do lixiviado é a presença de metais. Não são raros os casos de lixiviados com altas concentrações de metais, sobretudo em aterros que já receberam resíduos industriais (RODRIGUES, 2004).

A alcalinidade é um importante fator que contribuem para a toxicidade do lixiviado, assim como a presença de íons cloreto que também contribui para o aumento da toxicidade (SILVA, 2002).

Segundo Verbel, Bottet e Rosa (2007), a toxicidade do lixiviado é estatisticamente relacionada com a presença de compostos orgânicos e níveis de cádmio, sendo as outras variáveis, tais como condutividade e concentração de níquel, moduladores que codificam a informação sobre a natureza do lixiviado.

Verbel, Bottet e Rosa (2007) encontraram na sua revisão da literatura, que entre o vasto número de poluentes orgânicos que podem contribuir para a toxicidade do lixiviados dos aterros, alguns dos mais freqüentemente encontrados incluem o bisfenol A, ftalatos, fenol, pesticidas, hidrocarbonetos aromáticos policíclicos, bifenilas policloradas, entre outros.

Os resultados apresentados por Svensson et al. (2005), mostraram que a mistura de compostos fenólicos, contribuíram muito pouco para a toxicidade para *Artemia salina* e que amônio e amoníaco parecem ser responsáveis pela maior parte da toxicidade aguda de *Artemia salina* na água de lixiviação. No entanto, é pertinente mencionar que esses resultados podem variar em outras espécies.

Em efluentes complexos, as interações entre os vários tóxicos podem ser sinérgicos, antagônicos ou simplesmente aditivo. Devido à natureza complexa dos lixiviados, análise química não é suficiente para avaliar a potencial tóxico. Alternativamente, os bioensaios podem efetivamente avaliar o potencial tóxico do complexo como uma mistura complexa de substâncias químicas integrando diferentes fatores como pH e solubilidade, antagonismo,

sinergismo e biodisponibilidade do substâncias (FERRARI et al., 1998 *apud* BHARGAV, 2008)

A toxicidade de lixiviado é nociva, não só para os organismos naturais dos ecossistemas, mas também para as bactérias utilizadas na degradação e estabilização de substratos (RODRIGUES, 2004).

3.5.4 Caracterização microbiológica

Visto que os componentes dos resíduos sólidos podem conter uma variedade de bactérias patogênicas, inclusive da microbiota humana e que estas podem sobreviver dentro de um aterro, podendo ser carregadas pelo lixiviado e contaminar os corpos d'águas, deve-se avaliar o potencial de contaminação biológica desses líquidos (MACHADO, 2004).

Os resíduos sólidos urbanos são constituídos de uma variedade de materiais, muito deles similares aos resíduos de serviços de saúde (fraldas, fezes, papel higiênico, absorventes higiênicos, curativos, ataduras, frascos de soros, luvas, etc.). Desta forma os resíduos podem conter uma diversidade de microrganismos patogênicos representando riscos biológicos para a saúde humana e para o ambiente (SISINNO, 2000 *apud* MACHADO, 2004).

As bactérias são organismos relativamente simples, de uma única célula, cujo material genético não está envolto por uma membrana nuclear. Por essa razão são denominados procariotas (bactérias e arqueobactérias). As células bacterianas geralmente aparecem em vários formatos, bacilos, cocos e espirilos. As bactérias podem formar pares, grupos, cadeias ou outros agrupamentos. Elas são envolvidas por uma parede celular rígida, responsável pela forma da célula, que é praticamente composta por um complexo de carboidratos e proteína denominado peptidoglicana. A composição da parede é responsável pela separação das bactérias em gram-negativas e gram-positivas, por permitirem, ou não a sua coloração. Na maioria das bactérias gram-positivas, a parede celular consiste de muitas camadas de peptidoglicana, formando uma estrutura espessa e rígida, em contraste com as paredes celulares de gram-negativas, que contem apenas uma fina camada de peptidoglicana (TORTORA, FUNKE e CASE, 2005).

Segundo Pelczar, Chan e Krieg (1997), cada parte do corpo humano, em condições ambientais especiais, tem uma própria mistura particular de microrganismos. Porém os microrganismos não estão presentes apenas no corpo humano, eles se encontram por toda

parte, incluindo o solo o ar e a água, lembrando que elas podem passar com facilidade de um ambiente para o outro.

Os tipos de microrganismos encontrados em um ambiente aquático são de forma ampla, determinados pelas condições físicas e químicas que prevalecem naquele ambiente. Essas condições ambientais variam de um extremo a outro em relação a fatores como temperatura, luminosidade, pH e nutrientes (PELCZAR, CHAN e KRIEG, 1997).

A principal fonte biológica de poluição da água é constituída por produtos residuais de origem humana (material fecal e resíduo sólido) que possuem grandes quantidades de patógenos (BURTON e ENGELKIRK, 2005).

Os testes de pureza de água utilizados atualmente visam detectar organismos indicadores específicos. Os organismos indicadores servem como um sistema de “alarme”, pois sua presença na água indica possibilidade da presença de microrganismos patogênicos. O termo microrganismos indicadores refere-se a um tipo de microrganismo cuja presença na água é evidencia de que ela está poluída com material fecal de origem humana ou de animais de sangue quente (PELCZAR, CHAN e KRIEG, 1997).

Existem vários critérios para um organismo indicador, sendo o mais importante, que o organismo esteja consistentemente presente em números substanciais nas fezes humanas, de forma que sua detecção seja uma boa indicação de que resíduos humanos estão sendo introduzidos. O organismo indicador também deve viver tão bem quanto os patógenos (TORTORA, FUNKE e CASE, 2005).

A determinação da contaminação e detecção de agentes patogênicos é feita com estudos de organismos indicadores de contaminação fecal. Estes organismos não são necessariamente patogênicos, mas indicam quando a água está contaminada com fezes humanas ou animais, bem como podem determinar o potencial de transmitir doenças. Os organismos mais utilizados para este fim são do grupo coliforme e os principais indicadores são: coliformes totais, coliformes termotolerantes e estreptococos fecais (SANTOS, 2003 *apud* EDUARDO, 2007)

Segundo Tortora, Funke e Case (2005), a *Escherichia coli* é um dos habitantes normais mais comuns do trato intestinal humano e outros animais de sangue quente e provavelmente o organismo mais conhecido da microbiologia, sendo indicador de contaminação fecal. Porém outras bactérias têm sido sugeridas e algumas vezes utilizadas, incluindo *Streptococcus*

faecalis que são habitantes normais do intestino grosso do homem e de outros animais (PELCZAR, CHAN e KRIEG, 1997).

Segundo CETESB (1997), o grupo dos *Streptococos* fecais apresenta organismos mais resistentes ao calor, às condições alcalinas e altas concentrações de sais. A presença desses organismos tem sido sugerida em vários estudos, pois possuem maior resistência que os coliformes, às condições do meio ambiente (NASCIMENTO e FURLANETTO, 1981). Essas características o tornam um bom indicador para o ambiente estudado.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

Os materiais e métodos serão apresentados separadamente para etapas pré-analíticas, análises de caracterização e análise estatística.

4.1 Locais de amostragem

Os locais de amostragem são quatro aterros sanitários e um aterro industrial da RMBH, que apresentam características diferentes entre si, tais como idade, tipo de resíduo aterrado, material utilizado na cobertura e procedimentos operacionais, conforme demonstrado na tabela 9.

TABELA 9: Características dos aterros de onde foram coletadas as amostras de lixiviado.

Aterros	Características
A1	Aterro sanitário, planejado, com 14 anos de operação. Não recebem inertes. Impermeabilizado com argila e coberto com terra. Média de 148,3 t/dia.
A2	Aterro sanitário, planejado, com 13 anos de operação. Não recebem inertes. Impermeabilizado com argila na base e geomembrana nos taludes e coberto com terra. Média de 730 t/dia.
A3	Aterro industrial (resíduos classe I e II), planejado, com 6 anos de operação. Impermeabilizado com argila compactada ou geomembrana de PEAD texturizada. O aterro classe I possui cobertura em lona. Média de 800 t/dia.
A4	Aterro sanitário, planejado, com 5 anos de operação. Recebe inertes. Impermeabilizado com geomembrana de PEAD e coberto com inerte e terra. Média de 3.500 t/dia.
A5	Aterro sanitário adaptado de um aterro controlado. Encontra-se finalizado há 3 anos, após 32 anos de operação. Recebeu resíduo domiciliar e inerte. Impermeabilizado com solo e em algumas áreas com argila. Foram aterrados aproximadamente 26 milhões de toneladas.

4.2 Coleta e armazenamento

Foram realizadas coletas mensais, nos cinco aterros, compreendendo o período de novembro de 2009 a outubro de 2010, com exceção do aterro A3, onde as coletas iniciaram apenas em janeiro de 2010.

A coleta foi realizada, em todos os aterros, na caixa de passagem, de forma a amostrar o lixiviado bruto, sem tratamento.

Momento antes de cada coleta foi feita a rotulagem dos frascos, com o nome do ponto de coleta, data, hora e condição do tempo, enquanto que no momento da coleta foram registrados os metadados, tais como, medidas de vazão e temperatura do lixiviado.

As amostras dos lixiviados foram coletadas diretamente em frascos de amostra, sempre que possível. Somente quando a superfície de lixiviados não poderia ser alcançada, as amostras foram coletadas em balde de coleta e transferidas imediatamente aos frascos de amostragem.

Em cada ponto foram coletados dois frascos, sendo um para análise microbiológica, com capacidade de 200 mL, autoclavado, e com EDTA, (atua como agente quelante, reduzindo a ação tóxica dos metais) e outro de cinco litros que posteriormente, no laboratório, era repartido em mais três frascos, sendo cada um deles com capacidade de 1L, para identificação de compostos, toxicidade e o terceiro para estoque. O restante do volume, 2 litros, era para análises físico-químicas. Optou-se por essa metodologia de repartição em laboratório por questões de logística, facilitando o acondicionamento e transporte no momento da coleta (FIG. 4).

O frasco estoque foi armazenado em freezer, mantendo-o congelado até que fosse necessária a sua utilização ou até o término da pesquisa. Todos os demais foram mantidos sob refrigeração até o momento do ensaio, podendo ser congelado em casos de atraso na execução dos ensaios.



FIGURA 4: Frascos de coleta e armazenamento de amostra.

O procedimento de coleta seguiu duas metodologias diferentes, de acordo com a construção do local, estando elas descritas nos itens 4.2.1 e 4.2.2.

4.2.1 Coleta em dispositivos similares a registros (adaptado de CEMIG, 2009 e ABNT, 2006):

- a. Coletar um frasco por vez;
- b. Abrir o frasco;

- c. Coletar diretamente no frasco, tomando-se o cuidado de não tocar no bocal. O frasco deve ser totalmente preenchido, minimizando a presença de ar.
- d. Em locais com mais de um registro ou calha, deve ser feita uma coleta composta, coletando em todos, na proporção de 1:1;
- e. Tampar novamente o frasco e conferir a identificação.

4.2.2 Coleta em poços (adaptado de CEMIG, 2009 e ABNT, 2006):

- a. Utilize uma corda, com o comprimento adequado, amarrada a um balde de material inerte e limpo;
- b. Sem permitir que o balde toque as paredes laterais do poço, leve-o até o fundo e mergulhe-o o mais próximo possível do local de entrada do efluente, coletando o volume mais fresco e homogêneo possível;
- c. Em locais com mais de uma entrada, o balde deve ser mergulhado e agitado no local de despejo comum de todas elas;
- d. Quando o balde estiver totalmente cheio, puxe a corda para trazê-lo de volta;
- e. Utilize o volume coletado para encher completamente os frascos, que devem ser tampados e conferida a identificação.

4.3 Caracterização do lixiviado

4.3.1 Caracterização físico-química convencional

A caracterização físico-química convencional foi realizada, em maior parte, nos laboratórios do DESA (Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental), apenas a quantificação dos metais foi feita nos laboratórios do DEQ (Departamento de Engenharia Química). Consistiu-se da avaliação dos seguintes parâmetros: demanda química de oxigênio (DQO); potencial hidrogeniônico (pH); alcalinidade; temperatura; condutividade elétrica; carbono orgânico total (COT); nitrogênio total (NT); nitrogênio amoniacal (N-amoniacal), sólidos totais (ST), sólidos fixos (SF), sólidos voláteis (SV), quantificação de ânions (fluoreto, cloreto, nitrito, nitrato, brometo, fosfato e sulfato) e quantificação de metais (cádmio, chumbo, cobre, cromo, ferro, níquel e zinco). Optou-se por não fazer análise de DBO, pela dificuldade de se manter a biomassa para esse efluente.

As análises foram realizadas em conformidade com as recomendações do *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA, 2005).

O pH foi medido utilizando-se um pH-metro de bancada, modelo PM 608, marca Analion, enquanto que a condutividade foi medida com um condutivímetro de campo, modelo LF 325, marca WTW.

As análises de carbono orgânico total e nitrogênio total foram feitas com as amostras filtradas, em membrana GF-3 (0,6 μm), utilizando-se um equipamento composto por um injetor automático de amostra, modelo ASI-V e marca Shimadzu e um analisador modelo TOC-VCPN, da mesma marca. O nitrogênio total foi obtido por um analisador de modelo TNM-1, acoplado ao analisador de COT, que fornece uma análise simultânea de COT/NT (FIG. 5).



FIGURA 5: injetor automático de amostra e analisador de COT e NT.

A quantificação de ânions foi feita nas amostras filtradas, em membrana GF-3 (0,6 μm), em um equipamento de cromatografia iônica modelo ICS-1100, marca Dionex, com RFIC/ER (tecnologia de regeneração de efluentes) (FIG. 6).



FIGURA 6: Cromatógrafo iônico (a esquerda vista frontal e a direita vista interna).

A quantificação de metais foi feita através do equipamento de absorção atômica. O equipamento é da marca GBC e modelo Avanta. A tabela 10 apresenta as condições utilizadas para a determinação.

TABELA 10: Condições de operação do absorção atômica.

Parâmetros	Condições
Gás	Acetileno (Cd, Cu, Ni, Zn, Pb e Fe) e Óxido nitroso (Cr)
Tempo de leitura	1,50s
Calibração	Conc. Least Squares
Temperatura	Acetileno: 2000°C e Óxido nitroso: 3000°C

Enquanto os demais parâmetros foram analisados mensalmente, os metais foram quantificados bimestralmente, devido a dificuldade em fazê-lo, pela falta do equipamento de absorção atômica no departamento, além de ser desnecessária análises mensais devido a baixa concentração normalmente encontrada e a pouca variação desses compostos, quando presentes. Foi realizada a digestão nítrica, segundo as recomendações do *Standard Methods* (APHA, 2005), objetivando a liberação dos metais presentes. Quantificou-se os metais totais, sem filtração, por estarem em baixas concentrações nesse tipo de amostra. Porém devemos lembrar que apenas a porção solubilizada estará disponível para a bioacumulação em organismos vivos.

4.3.2 Identificação de compostos orgânicos

A identificação de compostos foi feita nos laboratórios do CETEC, através da cromatografia gasosa acoplada a espectrometria de massas (CG/EM). O equipamento de CG empregado é da marca Varian e modelo 3800/3380 e o EM também da marca Varian e modelo 4000MS (FIG. 7). Para esse parâmetro foram analisadas as amostras de dezembro de 2009 a julho de 2010. Foram considerados todos os compostos indicados pela biblioteca com uma probabilidade superior a 60%. A tabela 11 apresenta as condições utilizadas para a determinação.

TABELA 11: Condições de operação do CG/EM

Parâmetros	Condições
Modo de injeção	Splitless
Temperatura do injetor	250°C (200-310)
Tempo de injeção	0,15 min
Gás de arraste	Hélio
Varredura de massa	50-450 Da



FIGURA 7: Cromatógrafo gasoso acoplado ao espectrofotômetro de massa.

Foi realizado um pré-tratamento da amostra antes da análise no CG/EM, objetivando uma pré-concentração dos compostos orgânicos presentes no lixiviado. A técnica utilizada para isso é a extração líquido-líquido (ELL), utilizando como solvente o clorofórmio, pois apresentou melhor desempenho para lixiviados, nos pHs 3 e 7, segundo Amaral (2007).

A extração foi feita tomando-se um volume de 250 mL da amostra bruta, sem filtração, acrescentando 25 mL de clorofórmio, em funil de decantação. Agita-se por 60 segundos, removendo a porção com clorofórmio (esse passo deve ser repetido por mais 2 vezes), as três alíquotas são reunidas em um único frasco e neste foi adicionado 10g de sulfato de sódio anidro, mistura-se e filtra-se, deixando o filtrado secar naturalmente, evaporando o clorofórmio (FIG. 8). O material seco foi guardado em congelador e resuspendido em 1,5 mL de acetato de etila no momento da aplicação no cromatógrafo.

A adição de sulfato de sódio anidro é realizada para eliminar qualquer resíduo aquoso que tenha sido carregado junto com o solvente e a filtração tira o material particulado que pode ficar retida e contaminar o injetor do cromatógrafo. O acetato de etila foi utilizado para resuspende e consequentemente como branco por ser menos tóxico que o clorofórmio e os compostos uma vez extraídos costumam ser solúveis em vários tipos e solventes. Métodos da EPA, como o 3520C indicam a troca de solvente se for de interesse.

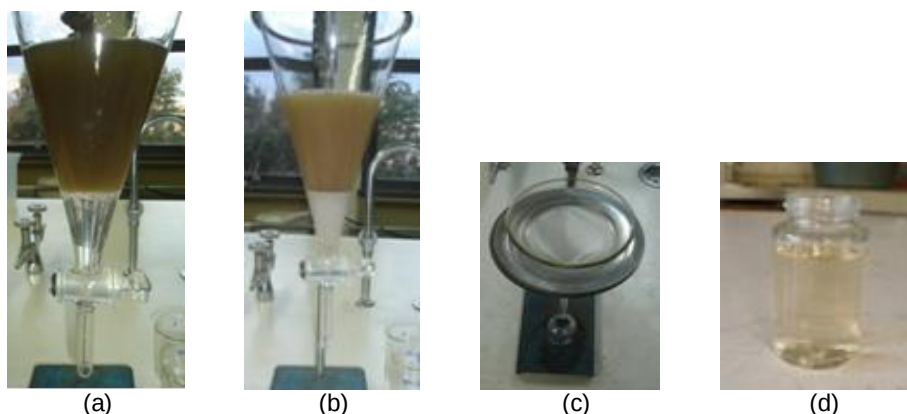


FIGURA 8: Etapas da extração: (a) adição de clorofórmio (b) pós agitação (c) filtragem (d) evaporação.

4.3.3 Caracterização ecotoxicológica

Os ensaios de ecotoxicidade aguda e crônica foram realizados nos laboratórios do CETEC. Utilizou-se para análise o lixiviado bruto. Os ensaios foram realizados com diluições, utilizando água de nascente canalizada (coletada em uma bica situada na rua Petrolina no bairro Horto em BH), que também foi utilizada como controle. As concentrações para as diluições foram determinadas primeiramente com os testes agudos preliminares, através de tentativa e erro, sendo o teste agudo definitivo, utilizado como base para a escolha das concentrações do teste crônico.

4.3.3.1 Toxicidade aguda

O método estabelece a toxicidade aguda do efluente para *Daphnia simillis* através da estimativa da concentração do efluente que causa efeito agudo por imobilidade e/ou

mortalidade a 50% dos organismos, em 48 horas de exposição (concentração efetiva mediana, $CE_{50;48h}$ ou concentração letal mediana, $CL_{50;48h}$).

Tal procedimento consiste na exposição de indivíduos jovens de *D. similis* a várias concentrações do agente tóxico e o efeito é caracterizado por uma resposta severa e rápida a um estímulo, a qual se manifesta nos organismos aquáticos em tempos relativamente curtos, sendo o efeito morte o mais observado (FIG. 9). O método é executado em duas etapas:

- Teste preliminar: Estabelece o intervalo de concentrações a ser utilizada no teste definitivo.
- Teste definitivo: Realizado a partir das concentrações estabelecidas no teste preliminar, determinará a CE_{50} .

A metodologia utilizada segue as normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas, ABNT NBR 12713 (2006), que consistem na utilização de quatro tubos de ensaio por concentração, com 10 mL de solução-teste, onde são adicionados a cada tubo cinco organismos, num total de 20 organismos por concentração. Os organismos utilizados são de 6 a 24 horas de idade. Para cada teste, prepara-se um controle com água de diluição e com o mesmo número de réplicas e organismos. Durante o período do teste os tubos são mantidos a temperatura de $20 \pm 2^\circ\text{C}$ sem alimentação. Ao término de 24 e 48 horas, faz-se a leitura dos organismos mortos e imóveis de cada tubo, obtendo-se um total por contração. Esse valor é então utilizado na análise estatística, através do programa PROBIT 1.5, que fornece o valor da CE_{50} , com o limite de confiança, sendo o limite superior (LS) e inferior (LI). Optou-se, nesse trabalho, por utilizar apenas a nomenclatura de CE_{50} , por ser mais abrangente, considerando também os organismos imóveis e não apenas os mortos.

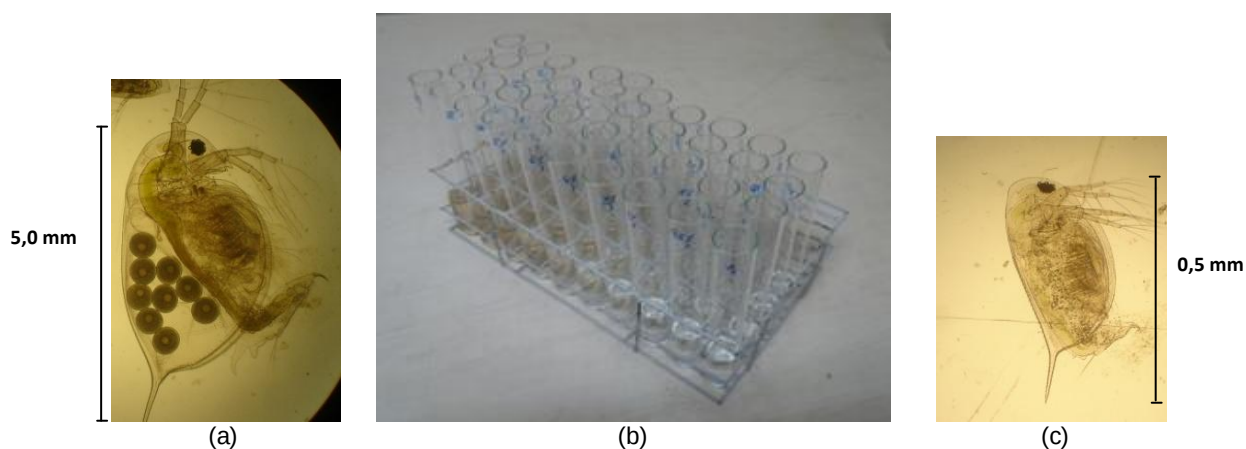


FIGURA 9: (a) adulta (aum. 50x + zoom); (b) teste de toxicidade aguda; (c) espécime jovem de *D. similis*.

4.3.3.2 Toxicidade crônica

O método estabelece a toxicidade crônica do efluente para *Ceriodaphnia dubia* através da determinação da CENO (concentração do efeito não observado) e a CEO (concentração do efeito observado), podendo-se calcular a VC (valor crônico), através da média geométrica entre o CENO e o CEO, sendo estes, obtidos através de análises estatísticas utilizando o programa TOXTAT 3.3.

Tal procedimento consiste na exposição de indivíduos jovens de *C. dubia* a várias concentrações do agente tóxico, onde é observada a reprodução, sobrevivência, crescimento dos organismos e caracteriza-se pela resposta a um estímulo que continua por longos períodos de exposição do organismo ao poluente (FIG. 10). O método é executado em duas etapas:

- Teste preliminar: Estabelece o intervalo de concentrações a ser utilizada no teste definitivo. O teste agudo pode servir como um teste preliminar para o teste crônico.
- Teste definitivo: Sua maior concentração deve ser a menor concentração que causou efeito letal aos organismos no teste preliminar ou no teste agudo. A partir dessa concentração determina-se 5 ou 6 concentrações além do controle.

A metodologia utilizada segue as normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas ABNT NBR 13373 (2006), que consiste na exposição de indivíduos jovens, a várias concentrações do agente tóxico por um período aproximado de 8 dias, representativo do ciclo de vida da espécie, durante os quais a reprodução é avaliada através da contagem e retirada dos filhotes nascidos durante o teste. A contagem é realizada de 48 em 48 horas, até 60% dos organismos tenham tido 15 filhotes. O teste deve ser alimentado nos dias de contagem e mantido a temperatura de $24 \pm 2^{\circ}\text{C}$. Para cada concentração, prepara-se 10 réplicas de béqueres de 30 mL, colocando um organismo por béquer, em um total de 10 organismos por concentração. Para cada teste, prepara-se um controle com água de diluição e com o mesmo número de réplicas e organismos. O número de filhotes nascidos por concentração e no controle são utilizados para execução da análise estatística e definição das concentrações de CENO e CEO. Nesse trabalho focaremos na utilização do VC, que é um resultado representativo da toxicidade crônica e que pode ser utilizado sozinho. Porém Os valores de CENO e CEO estão disponíveis para a consulta nos apêndices de A a E.

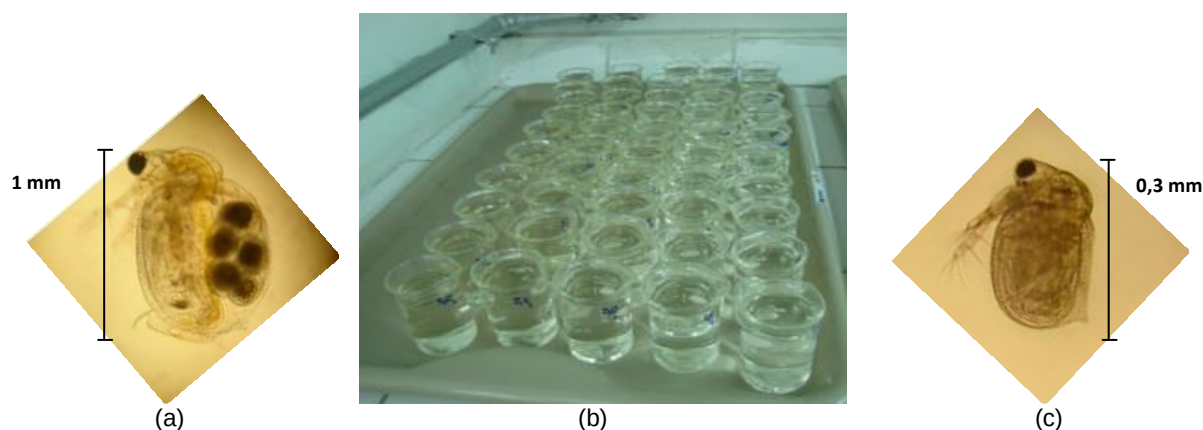


FIGURA 10: (a) adulta (aum. 100x + zoom); (b) teste de toxicidade crônica; (c) espécime jovem de *C. dubia*.

4.3.4 Caracterização microbiológica

As análises microbiológicas também foram realizadas nos laboratórios do CETEC. Foi feita a determinação do número mais provável (NMP) de coliformes totais, coliformes termotolerantes e estreptococos fecais, através de análises por tubos múltiplos de presença e ausência, seguindo as normas técnicas L5.202 e L5.205 (CETESB, 1997), que seguem as recomendações do *Standard Methods* (APHA, 2005). Para essas análises utilizou-se séries de cinco tubos para cada concentração, sendo elas a amostra pura, 10^{-1} , 10^{-2} e 10^{-3} , onde foram inoculados 1 mL por tubo (FIG. 11). As concentrações analisadas, segundo essa metodologia, permitem uma faixa de detecção de < 2 à > 160.000 NMP/100 mL. O resultado é obtido através da tabela da normalização técnica da CETESB. As análises de coliformes termotolerantes e estreptococos fecais foram iniciadas em janeiro de 2010 e a de coliformes totais em março de 2010.

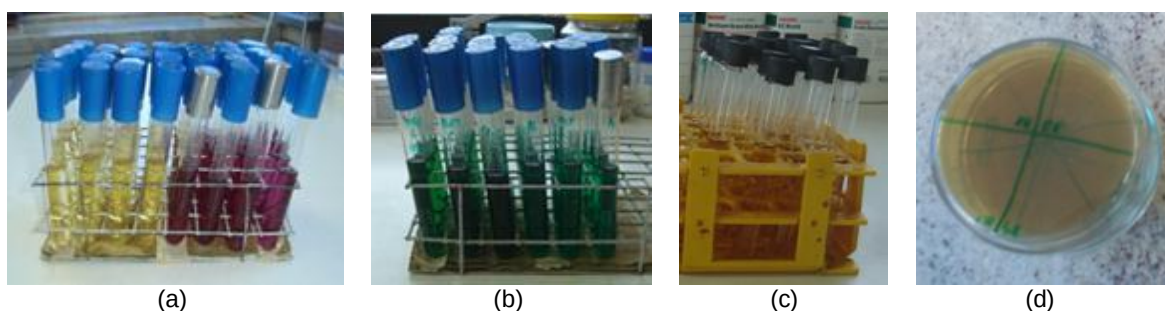


FIGURA 11: Meios de cultura utilizados: Meios presuntivos: CDA para estreptococos e Lauril para coliformes (a) verde brilhante, confirmativo para coliformes totais (b) EC, confirmativo para coliformes termotolerante (c) Bile esculin, confirmativo para estreptococos fecais.

4.4 Análise estatística

Por se tratarem de dados ambientais sem distribuição normal e com um número amostral relativamente pequeno, optou-se pelas análises estatísticas com testes não paramétricos.

Para os resultados de caracterização de cada um dos aterros foi feita análise descritiva, representação gráfica de pluviosidade versus vazão, teste de correlação de Spearman para medir a intensidade das relações entre as variáveis e comparação entre período de seca e de chuva, para os diferentes parâmetros monitorados. Para verificar variações decorrentes do período de seca e de chuva de forma confiável, deve-se ter um número amostral bastante elevado, inclusive com mais de um ano amostral, porém apesar disso foram feitos o teste U de Mann-Whitney, que é utilizado para comparar duas amostras independentes, identificando tendências de variações entre seca e chuva para todos os parâmetros monitorados, com representação gráfica de Box-Whisker para melhor visualização dos dados.

Na análise de comparação entre os cinco aterros foi feito para cada parâmetro, testes de Kruskal-Wallis, por se tratar de diferença entre grupos independentes de amostras múltiplas, associado à testes de comparações múltiplas que identifica entre quais dos aterros encontra-se a diferença, apontando o ranking de valores entre os aterros. Também foram apresentados o Box-whisker e a série temporal, para cada um dos parâmetros permitindo a melhor visualização das diferenças. Ainda foram feitas análises de exploração multivariada, sendo de componentes principais, para combinações lineares entre os parâmetros e análise de cluster, que faz agrupamentos segundo a similaridade dos aterros. Para ambos os testes não foi utilizado os resultados de quantificação de metais, pois como já mencionado apresentou número amostral reduzido e os dados foram padronizados para evitar distorções causadas pelas diferentes unidades numéricas.

As medidas de COT referentes aos meses de dezembro de 2009, janeiro e fevereiro de 2010, foram retiradas das análises estatísticas e tabelas resumo, devido à suspeitas de problemas nas análises, por terem apresentado valores muito baixos. Com isso o número amostral desse parâmetro foi reduzido e assim não pode ser utilizado nas análises multivariadas.

Foram feitas comparações entre o lixiviado dos aterros A4 e A5, para avaliar diferenças causadas pelo tempo de operação do aterro e entre o lixiviado dos aterros A3 e A4, para avaliar diferenças causadas pelo tipo de resíduo aterrado, comparando o aterro industrial à um aterro sanitário com o mesmo tempo de operação. Ainda comparou-se os coliformes termotolerantes e estreptococos fecais no lixiviado de cada aterro. Para todas essas comparações foram utilizados o teste U de Mann-Whitney, Kruskal-Wallis e comparações múltiplas.

Para permitir uma melhor análise dos ânions, aqueles que não foram quantificados por estar abaixo do limite de detecção receberam o valor 0 (zero), sendo que o limite de detecção para fluoreto é 0,06 mg/L, para cloreto, nitrito, brometo, nitrato e sulfato é 0,3 mg/L e para fosfato é 0,6 mg/L.

O tratamento estatístico e elaboração de gráficos e tabelas foi executado com o auxílio do software Microsoft Office Excel 2007 e pelo programa Statistica 7.0, utilizando o nível de significância $\alpha \leq 0,05$.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados e discussão serão apresentados primeiramente de forma individualizada, para cada aterro e posteriormente serão feitas análises conjuntas, buscando correlacionar aterros e parâmetros analisados.

As matrizes de correlação não trabalharão com ânions, por serem menos significativos para a execução de projetos, de forma a facilitar a visualização e interpretação dos dados, porém as planilhas com todos os resultados mensais estão disponíveis nos apêndices de A a E e ainda no apêndice H são apresentados alguns cromatogramas da quantificação de ânions, onde é possível observar a discrepância dos picos de cloreto. Os metais quantificados também serão analisados em separado dos demais parâmetros por possuir um número amostral bem diferente, sendo a metade dos demais parâmetros. Para eles será feita a comparação entre os cinco aterros, através do Kruskal-Wallis. Já os compostos orgânicos serão apresentados sem análise estatística, pois a identificação é apenas qualitativa. A tabela com a listagem dos compostos orgânicos identificados por aterro encontra-se no apêndice F.

Como detalhado na metodologia, a extração dos compostos orgânicos foi feita em dois pHs diferentes (ácido e neutro), visando ampliar a extração, porém esses compostos foram reunidos em uma única listagem para cada aterro. Antes da junção dos compostos, foi possível a visualização de um maior número de compostos identificados no extrato obtido em pH 7,0, segundo Moraiva (2007), isso ocorre provavelmente porquê é mais próximo do pH natural do lixiviado.

Os valores de vazão serão apresentados de forma gráfica juntamente com os dados de pluviosidade para cada aterro, por se tratarem de dados importantes para outros estudos e cálculo de projetos. Porém nesse trabalho não serão feitas menções em nível de carga, uma vez que o objetivo é a avaliação e monitoramento do efluente bruto, sem nenhum interesse em

lançamentos e valores de cargas. Esses dados foram usados apenas para ter uma idéia da eficiência do sistema de drenagem e cobertura dos aterros. Ainda é possível observar a relação do volume de resíduo aterrado por dia, com a vazão, o que será apresentado no item 5.6.

Os resultados de toxicidade crônica serão interpretados apenas pelo VC, que é uma forma mais simplificada, sendo expressa por apenas um valor, calculado pela média geométrica entre o CENO e o CEO, sendo um valor devidamente representativo. Assim como utilizaremos a CE₅₀, ao invés da CL₅₀, por considerar como efeito, além da mortalidade, a imobilidade dos organismos.

5.1 Caracterização do lixiviado do aterro A1

Os valores médios dos parâmetros monitorados, encontrados para o lixiviado desse aterro encontram-se dentro da faixa apresentada por Souto e Povinelli (2007), com exceção do nitrato que está acima da faixa máxima apresentada por eles (TAB. 12).

O fluoreto, fosfato, nitrito, nitrato, brometo, CE₅₀ e VC foram os parâmetros que apresentaram maior coeficiente de variação, sendo que para o CE₅₀ e VC provavelmente foi devido aos maiores valores encontrados nos dois primeiros meses de coleta, devido a elevada pluviosidade. O nitrito também apresentou elevado desvio padrão e coeficiente de variação, pois apresentou apenas a leitura de novembro de 2010, as demais foram abaixo do limite de detecção e consideradas zero, assim como o cádmio e chumbo que apresentaram todas as medidas abaixo do limite de detecção.

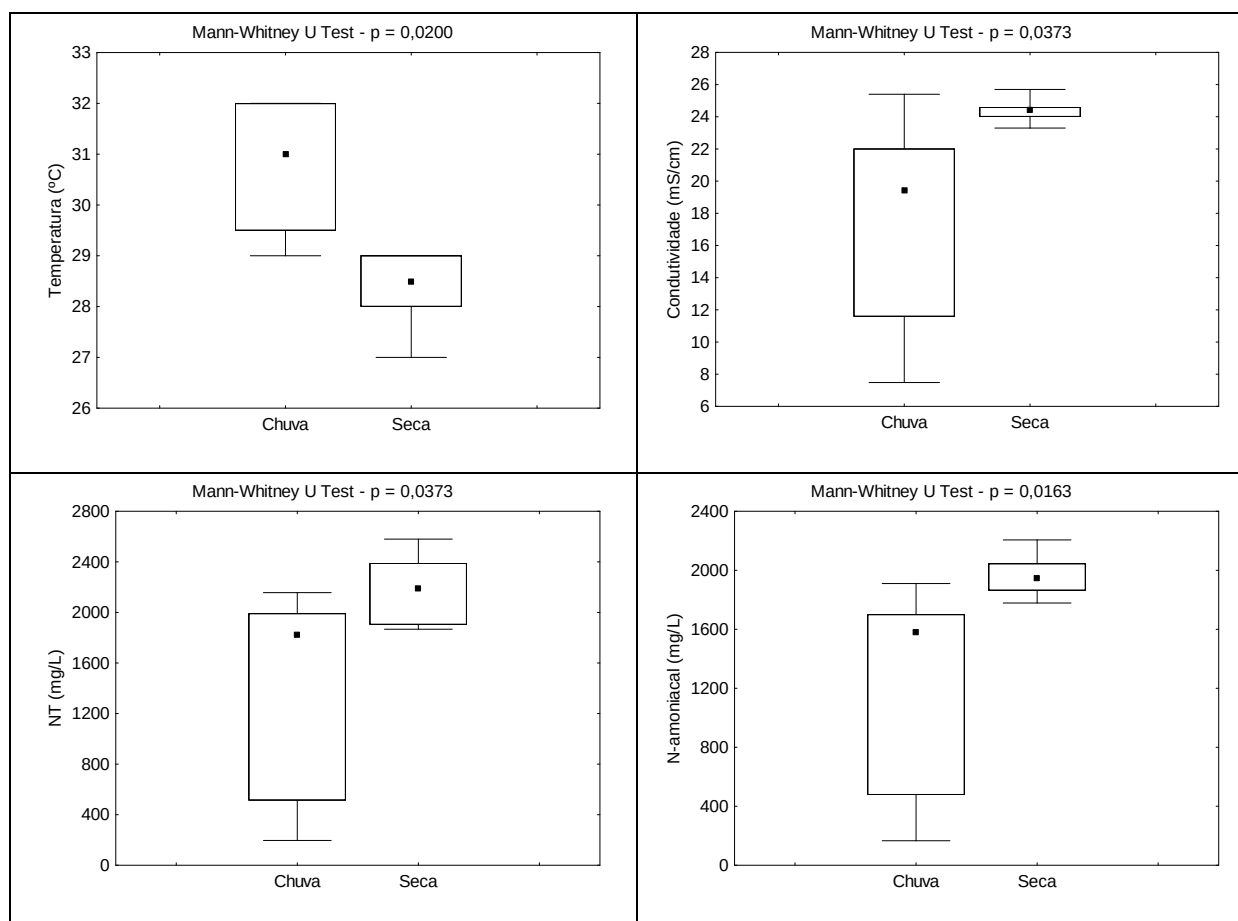
TABELA 12- Análise descritiva dos parâmetros analisados no lixiviado do aterro A1

Parâmetros	Unidade	n	Média	Mínima	Máxima	DP	CV
Temperatura	°C	10	29,3	27,0	32,0	1,6	0,06
Condutividade	mS/cm	12	21,0	7,5	25,7	5,8	0,28
pH	-	12	8,2	7,7	8,4	0,2	0,03
COT	mg/L	9	1365	242	2254	610	0,45
DQO	mgO ₂ /L	12	3817	1341	4814	968	0,25
Alcalinidade	mg de CaCO ₃ /L	12	8755	3050	10825	2447	0,28
NT	mg/L	12	1803	196	2580	718	0,40
N-amoniaco	mg/L	12	1600	166	2206	628	0,39
ST	mg/L	12	10964	4092	13384	2711	0,25
SF	mg/L	12	8339	3028	10116	2207	0,26
SV	mg/L	12	2625	1064	3692	633	0,24
Cloreto solúvel	mg/L	10	2449	860	3616	913	0,37
Fluoreto solúvel	mg/L	10	16,7	4,1	72,4	19,9	1,19
Nitrito solúvel	mg/L	12	3,1	0,0	37,0	10,7	3,46
Sulfato solúvel	mg/L	12	75,7	0,0	115,0	30,9	0,41
Fosfato solúvel	mg/L	12	121,7	0,0	381,1	133,7	1,10
Nitrato solúvel	mg/L	12	40,9	0,0	113,5	40,1	0,98
Brometo solúvel	mg/L	12	27,3	0,0	82,9	35,44	1,30
Cádmio total	mg/L	6	0,0	0,0	0,0	-	-
Chumbo total	mg/L	6	0,0	0,0	0,0	-	-
Cobre total	mg/L	6	0,23	0,15	0,28	0,05	0,23

Parâmetros	Unidade	n	Média	Mínima	Máxima	DP	CV
Cromo total	mg/L	6	0,61	0,30	0,80	0,21	0,34
Ferro total	mg/L	6	32,54	17,05	78,62	23,02	0,71
Níquel total	mg/L	6	0,65	0,32	0,92	0,20	0,31
Zinco total	mg/L	6	1,38	0,96	1,90	0,34	0,25
CE ₅₀	%	12	2,5	1,2	9,0	2,3	0,95
VC	%	12	1,1	0,7	3,7	0,9	0,83
Coliforme total	NMP/100mL	8	1,2x10 ⁵	1,4x10 ⁴	1,6x10 ⁵	6,2x10 ⁴	0,53
Coliforme termotolerante	NMP/100mL	10	3,6x10 ⁴	1,7x10 ²	1,6x10 ⁵	6,6x10 ⁴	1,84
Estreptococos fecais	NMP/100mL	10	1,6x10 ⁵	1,6x10 ⁵	1,6x10 ⁵	0,0	0,00

n= número amostral DP= desvio padrão CV= coeficiente de variação

Foram apresentados na figura 12 apenas os Box-whisker e valor de ‘p’ referente ao teste de Mann-Whitney para os parâmetros onde foi diagnosticada diferença significativa, na tentativa de identificar tendências de variações entre seca e chuva para todos os parâmetros monitorados. A temperatura, pluviosidade, sulfato e VC foram significativamente maiores no período de chuva, lembrando mais uma vez que quanto maior o VC, menor a toxicidade, de forma que podemos ver a chuva como “diluidora” da toxicidade. Já a condutividade, NT, N-amoniacal, ST, SF e alcalinidade foram significativamente menores no período de chuva, mais uma vez configurando o perfil diluidor da chuva. Essa elevada variação entre os parâmetros devido a pluviosidade é mais um indício de que a baixa pluviosidade, mesmo no período chuvoso, é relacionada ao volume de resíduo aterrado e não ao sistema de drenagem pluvial.



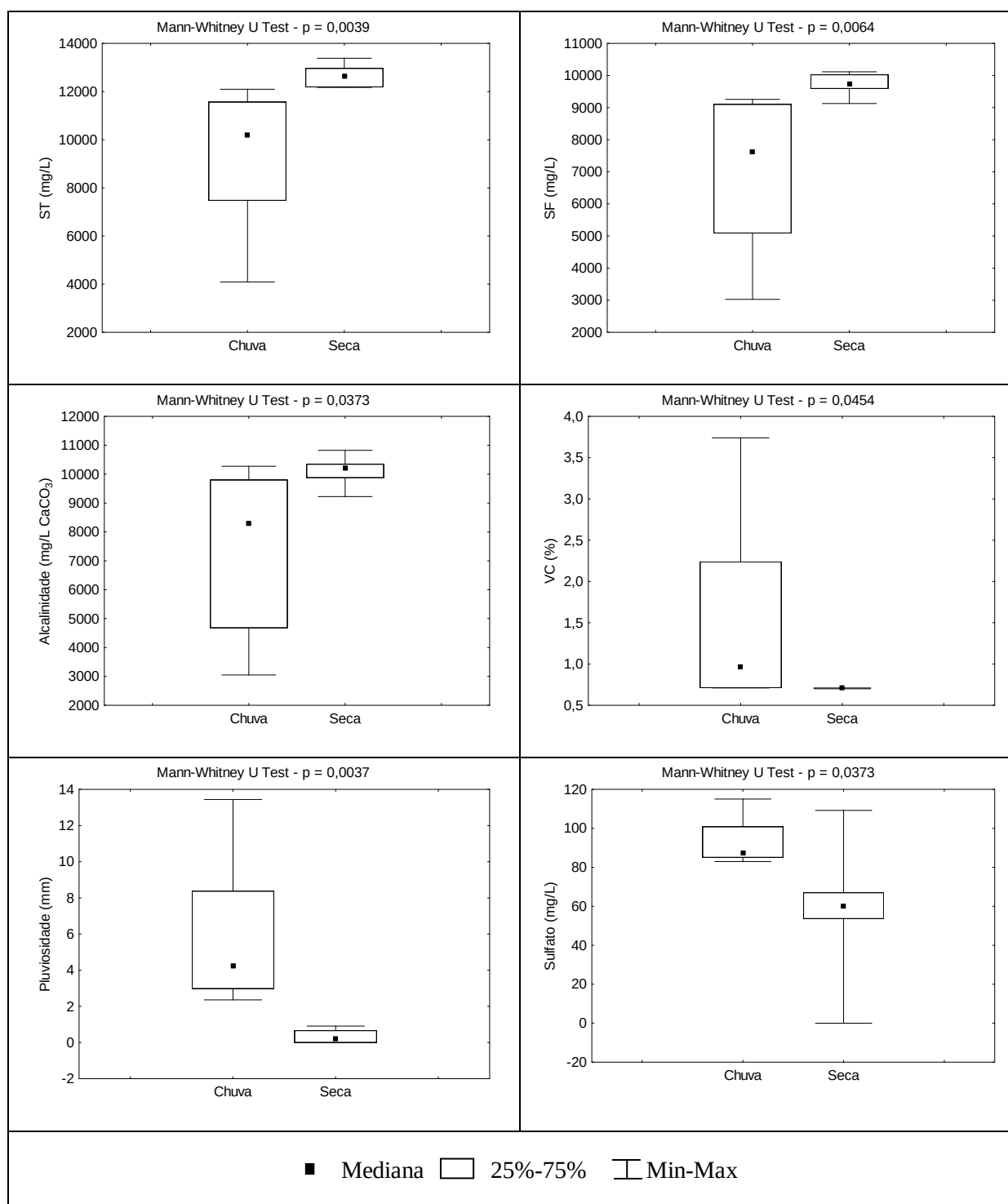


FIGURA 12- Box-whisker e 'p' de Mann-Whitney para os parâmetros com diferença significativa entre seca e chuva no lixiviado do aterro A1

A figura 13 demonstra a influencia da pluviosidade na vazão do lixiviado, devido a infiltração de água na massa de resíduo. Apesar de apresentar um pico maior de vazão, a média apresentada para esse aterro é relativamente baixa, mesmo no período de chuva, o que poderia ser atribuído a um eficiente sistema de drenagem, mas provavelmente ocorre devido ao reduzido volume de resíduo depositado diariamente. Essa relação de vazão versus volume de resíduo pode ser visualizada na figura 37. Não foi encontrada nenhuma razão para a elevação

repentina da vazão de fevereiro a março, uma vez que a pluviosidade de março não se elevou muito.

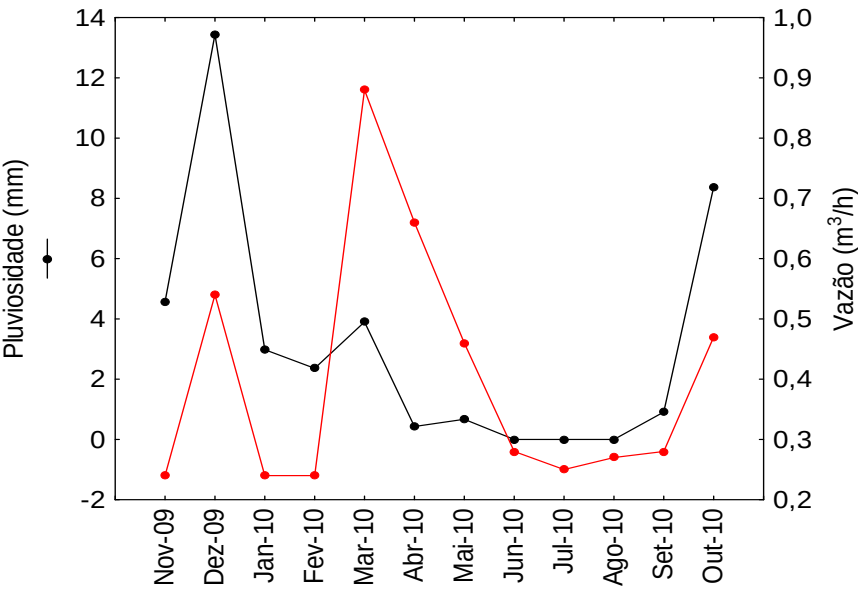


FIGURA 13- Perfil da pluviosidade versus vazão do lixiviado no aterro A1 durante o período de amostragem

A matriz de correlação apresentada na tabela 13, correlaciona negativamente a CE₅₀ e VC à condutividade, pH, NT, N-amonical, ST e SF, além de correlacionarem positivamente entre si, o que corroboram com alguns autores já citados na revisão da literatura, que apontaram a amônia e/ou condutividade como causadores da toxicidade do lixiviado. Os coliformes termotolerantes apresentam correlação negativa com NT e N-amoniacal.

TABELA 13- Matriz de correlação de Spearman entre parâmetros monitorados no lixiviado do aterro A1

Variáveis	Temp	Cond	pH	NT	DQO	N-am	ST	SF	SV	Alc.	CE ₅₀	VC
Temp.							-	-				
Cond.			+	+		+	+	+			-	-
pH		+		+		+	+	+			-	-
NT		+	+			+	+	+	+		-	-
COT		+	+				+	+				
DQO										+		
N-am.		+	+	+			+	+		+	-	-
ST	-	+		+		+		+	+	+	-	-
SF	-	+	+	+		+	+			+	-	-
SV				+			+					
Alc.					+	+	+	+				
CE ₅₀		-	-	-		-	-	-				+
VC		-	-	-		-	-	-			+	
CT	+			-		-						

Cond.= condutividade Alc.= Alcalinidade N-am.= Nitrogênio amoniacal Temp. = Temperatura
CT=Coliformes termotolerantes

A quantificação de metais mostrou que dentre os metais analisados no lixiviado desse aterro, apenas a cromo encontra-se acima do limite permitido pela CONAMA e COPAM. Na figura 14 o ferro é apresentado separadamente, para não prejudicar a visualização dos demais, uma vez que este apresenta valores bem mais elevados. O Cádmio e o Chumbo estavam abaixo do

limite de detecção em todas as amostras analisadas, sendo eles 0,02 mg/L e 0,20 mg/L, respectivamente.

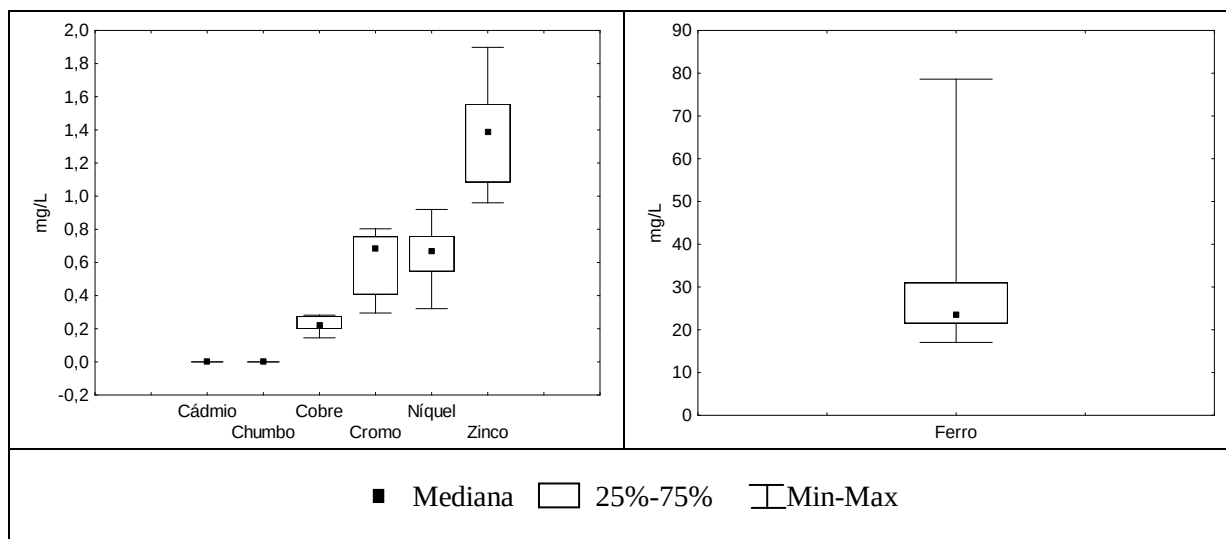


FIGURA 14- Representação gráfica da quantificação de metais no lixiviado do aterro A1

Foram identificados 52 compostos orgânicos de diferentes classes, as quais encontram-se apresentadas na figura 15, onde é possível observar um elevado número de compostos ácidos, mesmo esse não sendo mais um aterro considerado jovem. Dentro dessas classificações, encontramos além de produtos de biodegradação e embalagens, compostos organoclorados, fenólicos, cíclicos e compostos utilizados como fármacos. Muitos desses compostos são responsáveis pela ecotoxicidade apresentada pela amostra, podendo afetar ao ambiente e ao homem de diversas maneiras. Como exemplo de clorados temos o 1,1,2,2-tetracloroetano, Pyridine, 2-cloro-6(2-furanilmetoxy)-4-(triclorometil); os fenólicos foram muitos, tais como fenol e 2-propil; como representantes dos cíclicos, temos o Ciclohexane, dodecametil e ácido ciclohexanecarboxílico; exemplo de fármacos nesse aterro temos o Amifenazole, utilizado como estimulante respiratório.

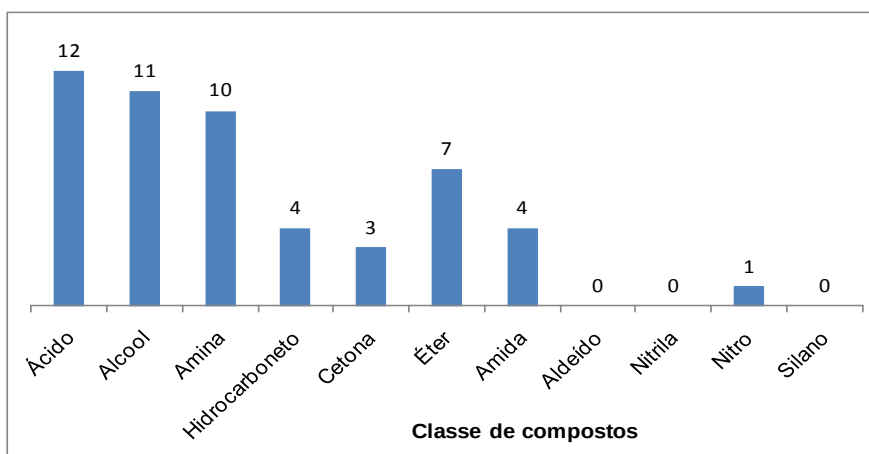


FIGURA 15- Distribuição por classe dos 52 compostos orgânicos identificados no lixiviado do aterro A1

5.2 Caracterização do lixiviado do aterro A2

Os valores médios encontrados para o lixiviado desse aterro encontram-se dentro da faixa apresentada por Souto e Povinelli (2007), com exceção do nitrato que está acima da faixa máxima apresentada por eles (TAB. 14).

O fluoreto, fosfato, nitrito, nitrato, brometo, coliformes totais e coliformes termotolerantes, foram os parâmetros que apresentaram maior coeficiente de variação. Os coliformes apresentaram valores bem baixos em maio e junho, o que provavelmente acarretou esse aumento do CV. O cádmio e chumbo apresentaram todas as medidas abaixo do limite de detecção, por isso não apresentaram DP e CV.

TABELA 14- Análise descritiva dos parâmetros analisados no lixiviado do aterro A2

Parâmetros	Unidade	n	Média	Mínima	Máxima	DP	CV
Temperatura	°C	10	33,8	32,0	38,0	1,9	0,06
Condutividade	mS/cm	12	19,8	14,3	24,0	2,6	0,13
pH	-	12	8,2	7,7	8,4	0,2	0,03
COT	mg/L	9	1184	559	1934	431	0,36
DQO	mgO ₂ /L	12	5040	2853	10978	2416	0,48
Alcalinidade	mg de CaCO ₃ /L	12	7467	5200	8675	1045	0,14
NT	mg/L	12	1531	276	1969	494	0,32
N-amoniaco	mg/L	12	1266	129	1665	453	0,36
ST	mg/L	12	11023	8106	15874	1932	0,18
SF	mg/L	12	8189	5698	13690	1869	0,23
SV	mg/L	12	2834	2002	5612	1048	0,37
Cloreto solúvel	mg/L	10	2571	1529	4367	842	0,33
Fluoreto solúvel	mg/L	10	20,2	4,4	73,0	20,1	0,99
Nitrito solúvel	mg/L	12	2,2	0,0	26,7	7,71	3,46
Sulfato solúvel	mg/L	12	67,1	0,0	117,5	38,7	0,58
Fosfato solúvel	mg/L	12	130,9	0,0	398,7	138,3	1,06
Nitrato solúvel	mg/L	12	23,3	0,0	83,6	31,5	1,35
Brometo solúvel	mg/L	12	33,9	0,0	82,5	36,5	1,08
Cádmio total	mg/L	6	0,0	0,0	0,0	-	-
Chumbo total	mg/L	6	0,0	0,0	0,0	-	-
Cobre total	mg/L	6	0,18	0,10	0,29	0,08	0,43
Cromo total	mg/L	6	0,54	0,14	0,91	0,28	0,51
Ferro total	mg/L	6	12,79	4,98	26,12	7,59	0,59
Níquel total	mg/L	6	0,62	0,34	0,98	0,22	0,36
Zinco total	mg/L	6	0,66	0,41	1,08	0,26	0,39
CE ₅₀	%	12	2,4	1,4	4,7	1,2	0,50
VC	%	12	1,2	0,7	2,2	0,5	0,42
Coliforme total	NMP/100mL	8	5,4x10 ⁴	2,2x10 ³	1,6x10 ⁵	6,8x10 ⁴	1,27
Coliforme termotolerante	NMP/100mL	10	3,6x10 ⁴	0,2x10 ⁴	1,6x10 ⁵	6,6x10 ⁴	1,83
Estreptococos fecais	NMP/100mL	10	1,4x10 ⁵	2,8x10 ⁴	1,6x10 ⁵	4,5x10 ⁴	0,32

n= número amostral

DP= desvio padrão

CV= coeficiente de variação

A figura 16 apresenta gráficos Box-whisker e resultados da análise estatística do teste de Mann-Whitney para os parâmetros onde foi encontrada diferença significativa entre o período de seca e chuva. A temperatura, DQO, pluviosidade, VC e fluoreto, foram significativamente maiores no período de chuva, enquanto que apenas a alcalinidade foi significativamente menor no período de chuva. Neste aterro a vazão sofreu pouca variação, no período amostral,

além de apresentar o efeito da chuva ou da seca cerca de dois meses depois, de forma que apresentou reflexos do período seco já no período chuvoso, o que certamente prejudicou essas análises, apresentado pouca variação entre os períodos.

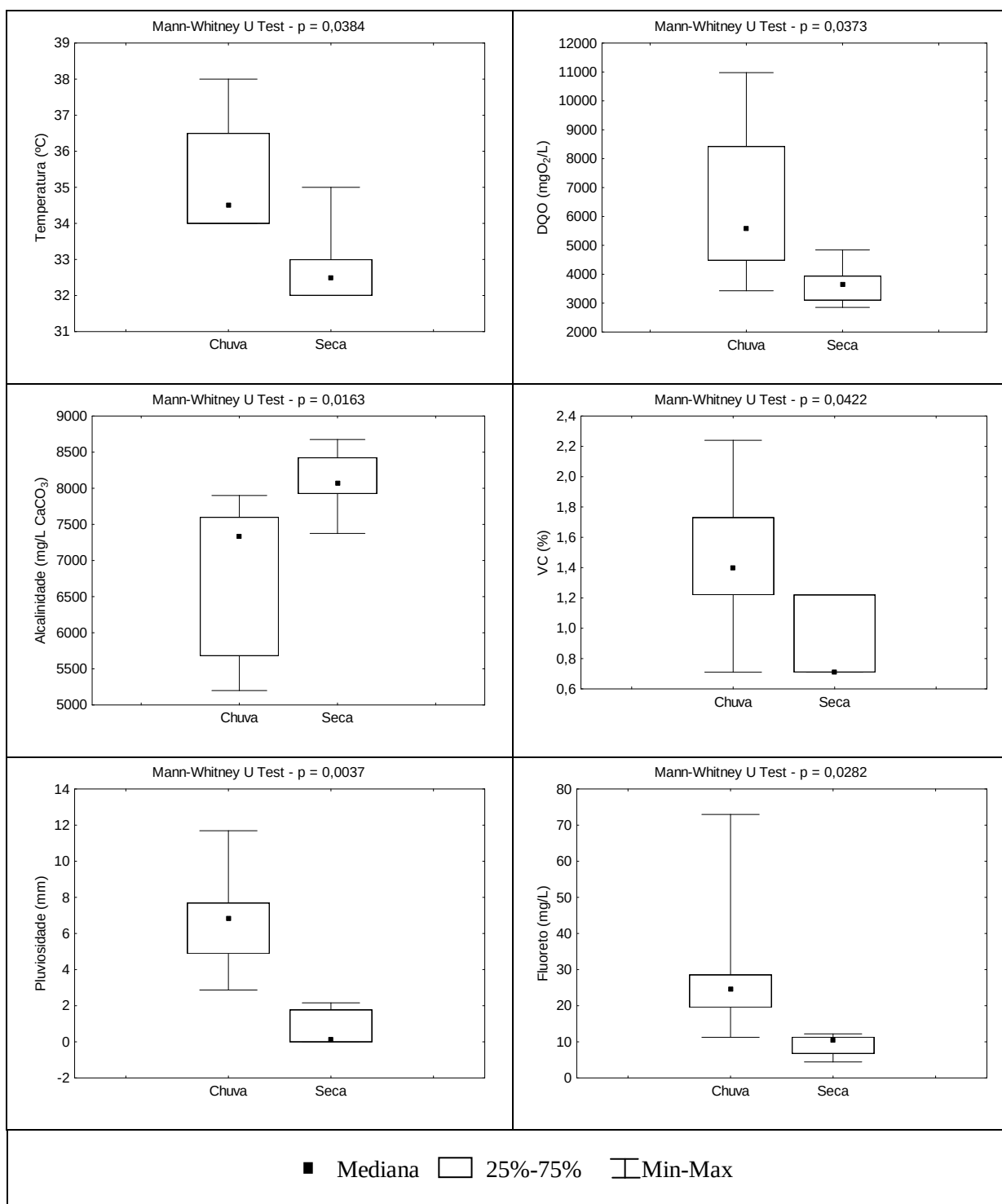


FIGURA 16- Box-whisker e 'p' de Mann-Whitney para os parâmetros com diferença significativa entre seca e chuva no lixiviado do aterro A2

A figura 17 demonstra a influencia da pluviosidade na vazão do lixiviado, devido a infiltração de água na massa de resíduo. Como mencionado anteriormente as variações de vazão são mais sutis, gerando uma curva regular, sem muitos picos.

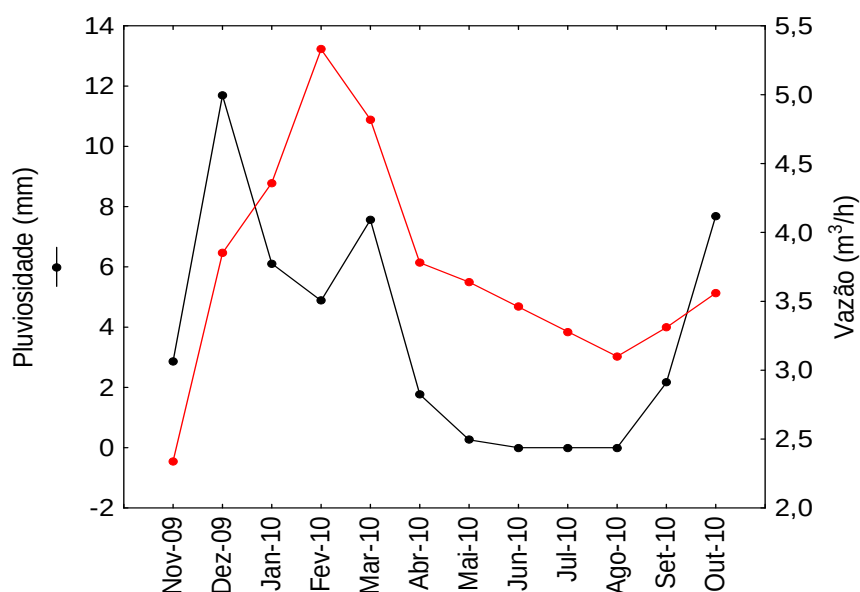


FIGURA 17- Perfil da pluviosidade versus vazão do lixiviado no aterro A2 durante o período de amostragem

A matriz de correlação apresentada na tabela 15, correlaciona negativamente a CE_{50} e VC à condutividade, pH e N-amoniacal, além de correlacioná-las positivamente entre si. Ocorrem outras correlações entre os parâmetros físico-químicos, tais como relações positivas da condutividade com pH, COT, sólidos fixos e alcalinidade, assim como do N-amoniacal com pH e NT.

TABELA 15- Matriz de correlação de Spearman entre parâmetros monitorados no lixiviado do aterro A2

Variáveis	Cond	pH	NT	COT	DQO	N-am	SF	SV	Alc.	CE_{50}	VC
Temp.											
Cond.		+		+	-		+		+	-	-
pH	+					+				-	-
NT						+		-			
COT	+	+							+		
DQO	-								+		+
N-am.		+	+					-		-	-
SF	+								+		-
SV			-			-				+	+
Alc.	+			+	-		+				
CE_{50}	-	-				-		+			+
VC	-	-				-	-	+		+	
CTT							-				
EF	-										

Cond.= condutividade Alc.= Alcalinidade N-am.= Nitrogênio amoniacal Temp. = Temperatura
CTT=Coliformes totais EF=Estreptococos fecais

Assim como no aterro A1, apenas o cromo, dentre os metais quantificados no lixiviado encontra-se acima do limite permitido pela CONAMA e COPAM. O ferro também é

apresentado separadamente (FIG. 18) e o Cádmio e o Chumbo também estavam abaixo do limite de detecção em todas as amostras analisadas. Porém é possível perceber que os valores de zinco e ferro são menores para o lixiviado desse aterro, se comparado com o A1.

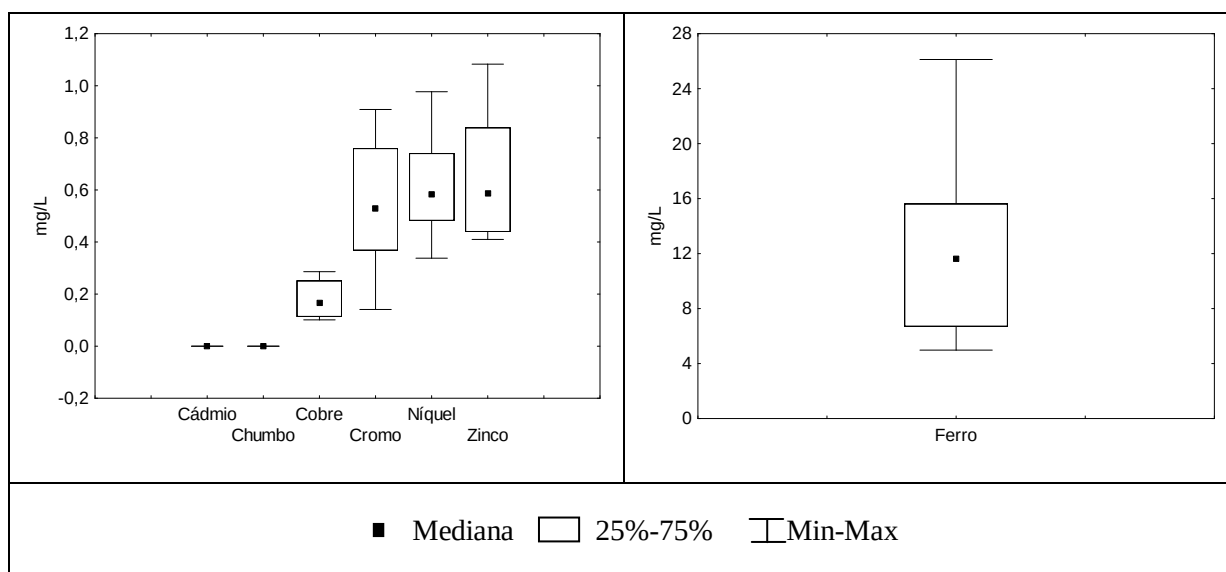


FIGURA 18- Representação gráfica da quantificação de metais no lixiviado do aterro A2

Foram identificados 56 compostos orgânicos de diferentes classes, as quais encontram-se apresentadas na figura 19, apresentando também predomínio dos compostos ácidos. Dentro dessas classificações, também encontramos compostos considerados tóxicos pela literatura, tendo o metil trans-3-cloropropeonato como exemplo de organoclorado; fenol, 2-metoxi-4-(metoximetil), como fenólico; também o ácido ciclohexanecarboxílico, como exemplo de cíclico, que são menos numerosos nesse aterro e ácido benzeneacético compostos utilizados como fármacos, sendo utilizado na produção de hormônio vegetal.

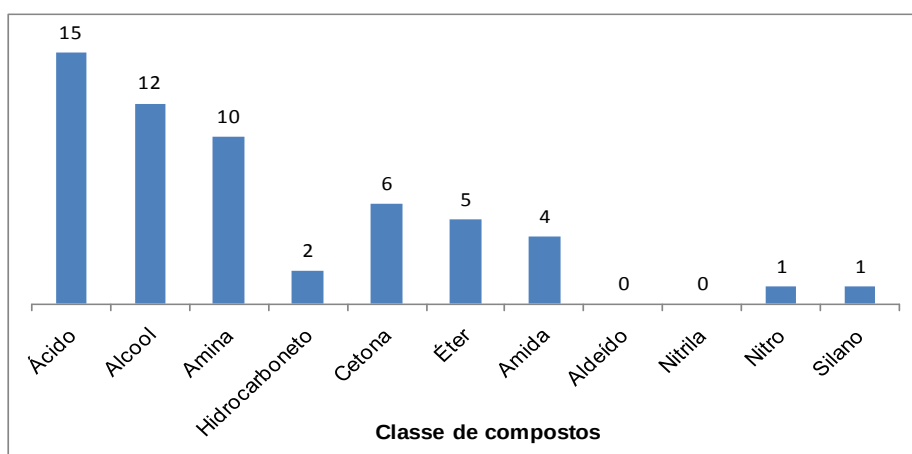


FIGURA 19- Distribuição por classe dos 57 compostos orgânicos identificados no lixiviado do aterro A2

5.3 Caracterização do lixiviado do aterro A3

Os valores médios encontrados para o lixiviado desse aterro encontram-se dentro da faixa apresentada por Souto e Povinelli (2007), com exceção do nitrato e cloreto que estão acima da faixa máxima apresentada por eles (TAB. 16).

O fluoreto, fosfato, nitrito, nitrato, cromo, coliforme termotolerante e estreptococos fecais, foram os parâmetros que apresentaram maior coeficiente de variação, sendo que os coliformes e estreptococos apresentaram valores bem baixos junho e outubro, o que provavelmente acarretou esse aumento do CV. O nitrito apresentou apenas dois valores acima do limite de detecção nos meses de setembro e outubro e por isso os valores de DP e CV foram elevados. O cádmio e chumbo apresentaram todas as medidas abaixo do limite de detecção, por isso não apresentaram DP e CV. O cromo estava muito elevado na amostragem de março, o que elevou o seu coeficiente.

TABELA 16- Análise descritiva dos parâmetros analisados no lixiviado do aterro A3

Parâmetros	Unidade	n	Média	Mínima	Máxima	DP	CV
Temperatura	°C	10	26,7	23,0	33,0	2,7	0,10
Condutividade	mS/cm	10	23,9	20,0	28,1	2,5	0,11
pH	-	10	8,4	8,3	8,5	0,1	0,01
COT	mg/L	8	522	357	1228	287	0,55
DQO	mgO ₂ /L	10	2668	1393	5056	1260	0,47
Alcalinidade	mg de CaCO ₃ /L	10	2945	2000	5500	1098	0,37
NT	mg/L	10	394	291	488	62	0,16
N-amoniaco	mg/L	10	285	229	428	63	0,22
ST	mg/L	10	16955	10714	22830	3317	0,20
SF	mg/L	10	14442	8110	18596	2781	0,19
SV	mg/L	10	2513	1772	4514	1013	0,40
Cloreto solúvel	mg/L	8	6522	3697	9285	1766	0,27
Fluoreto solúvel	mg/L	8	21,7	3,7	81,1	24,7	1,14
Nitrito solúvel	mg/L	10	2,0	0,0	11,9	4,3	2,17
Sulfato solúvel	mg/L	10	442,7	0,0	1058,0	277,6	0,63
Fosfato solúvel	mg/L	10	171,3	0,0	367,5	148,2	0,87
Nitrato solúvel	mg/L	10	94,9	0,0	210,5	73,7	0,78
Brometo solúvel	mg/L	10	54,0	0,0	97,7	35,3	0,65
Cádmio total	mg/L	6	0,0	0,0	0,0	-	-
Chumbo total	mg/L	6	0,0	0,0	0,0	-	-
Cobre total	mg/L	6	0,29	0,19	0,54	0,13	0,44
Cromo total	mg/L	6	2,52	0,36	10,81	4,63	1,84
Ferro total	mg/L	6	4,47	2,43	10,32	3,03	0,68
Níquel total	mg/L	6	0,68	0,48	0,90	0,14	0,20
Zinco total	mg/L	6	0,75	0,34	1,32	0,43	0,57
CE ₅₀	%	10	8,2	2,4	12,1	2,8	0,34
VC	%	10	3,7	0,7	5,7	1,7	0,46
Coliforme total	NMP/100mL	8	1,2x10 ⁵	3,0x10 ³	1,6x10 ⁵	5,8x10 ⁴	0,47
Coliforme termotolerante	NMP/100mL	10	4,6x10 ⁴	2,3x10 ³	1,6x10 ⁵	6,6x10 ⁴	1,45
Estreptococos fecais	NMP/100mL	10	6,8x10 ⁴	2,3x10 ³	1,6x10 ⁵	6,9x10 ⁴	1,01

n= número amostral

DP= desvio padrão

CV= coeficiente de variação

O teste utilizado para comparação do período de chuva e seca, apresentado na figura 20 pelos Box-whisker e valor de 'p', detectaram diferença significativa apenas para os parâmetros de

temperatura e pluviosidade, sendo ambos significativamente maiores no período de chuva. Isso pode ser um indício da eficiência do sistema de drenagem de água pluvial utilizado pelo aterro, assim como da cobertura aplicada, de forma que entre os parâmetros monitorados, apenas a temperatura foi alterada significativamente.

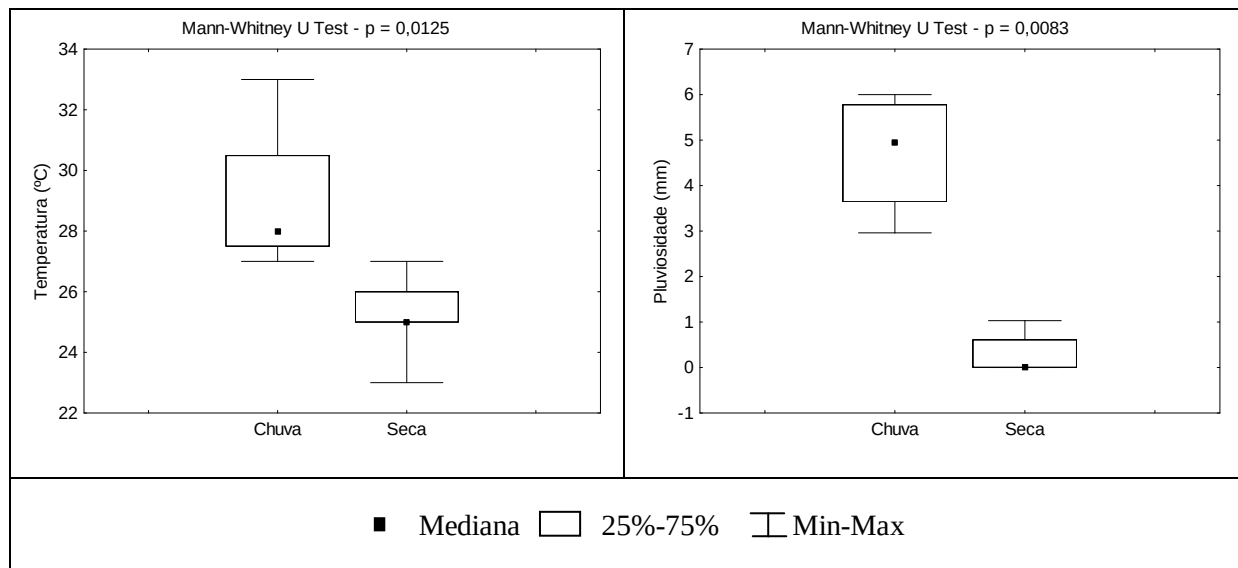


FIGURA 20- Box-whisker e 'p' de Mann-Whitney para os parâmetros com diferença significativa entre seca e chuva no lixiviado do aterro A3

A figura 21 demonstra a influencia da pluviosidade na vazão do lixiviado, devido a possível infiltração de água na massa de resíduo, porém é importante observar que apesar das curvas se assemelharem e a vazão ser influenciada pela pluviosidade, essa vazão é sempre bem baixa, o que sugere uma baixa taxa de infiltração de água pluvial, como já sugerido a cima.

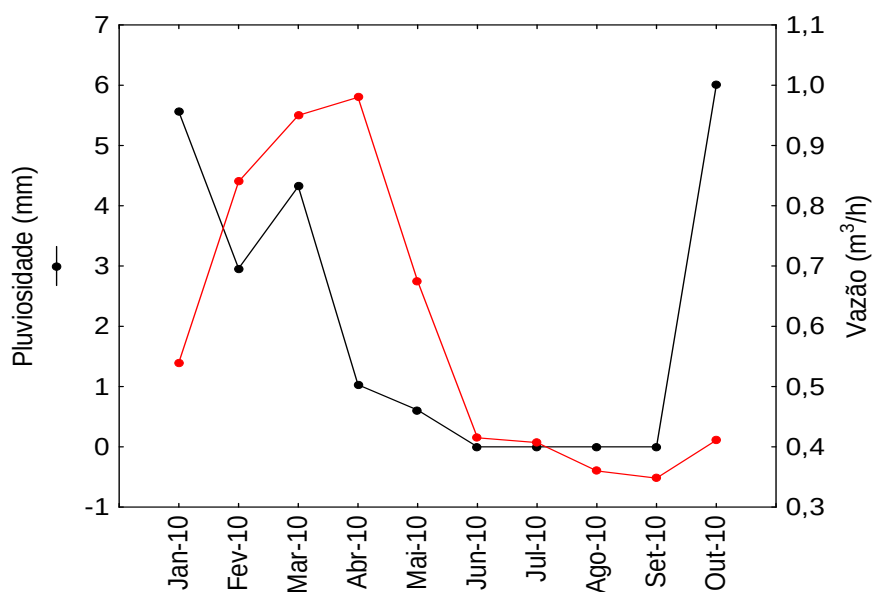


FIGURA 21- Perfil da pluviosidade versus vazão do lixiviado no aterro A3 durante o período de amostragem

A matriz de correlação apresentada na tabela a baixo correlaciona negativamente o VC e CE₅₀ ao N-amoniacal e a alcalinidade, além de correlacionarem positivamente entre si, o que corroboram com alguns autores já citados na revisão da literatura, que apontaram a alcalinidade, assim como a amônia e a condutividade, como causadores da toxicidade do lixiviado. Ainda o VC correlaciona negativamente com o COT.

TABELA 17- Matriz de correlação de Spearman entre os parâmetros monitorados no lixiviado do aterro A3

Variáveis	Temp	Cond	COT	pH	NT	N-am	ST	SF	SV	Alc.	CE ₅₀	VC
Temp.												-
Cond.				+	+	+	+	+				
pH		+										
NT		+										
N-am.		+									-	-
ST		+										
SF		+					+					
SV										+		
Alc.			+						+		-	-
CE ₅₀						-				-		+
VC	-		-			-				-	+	
CT					-							

Cond.= condutividade Alc.= Alcalinidade N-am.= Nitrogênio amoniacal Temp. = Temperatura
CT=Coliformes termotolerantes EF=Estreptococos fecais

A quantificação de metais do lixiviado desse aterro mostra o cádmio e o chumbo abaixo do limite de detecção, porém teve o valor médio de cromo elevado pela amostragem de março, deixando-o fora do enquadramento da legislação CONAMA e COPAM. Para não prejudicar a visualização dos demais metais, o valor máximo do cromo não foi representado. Apesar de elevado, os valores de ferro foram inferiores aos demais aterros (FIG. 22).

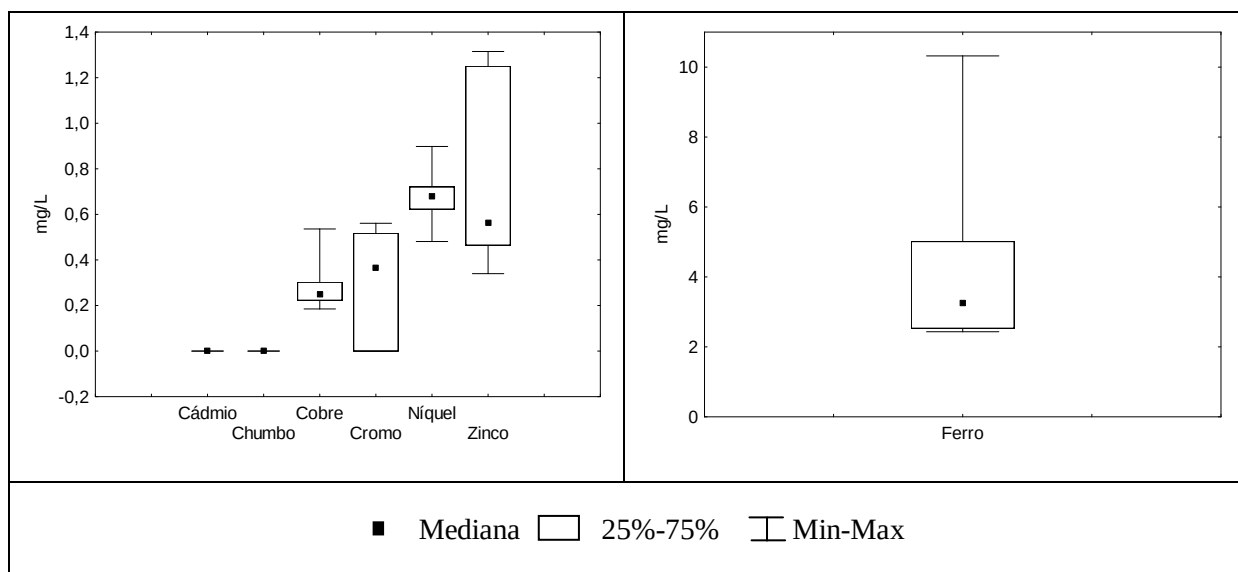


FIGURA 22- Representação gráfica da quantificação de metais no lixiviado do aterro A3

Foi o aterro com o maior número de compostos identificados nas amostras de lixiviado, somando um total de 73 compostos (FIG. 23). Porém apesar do elevado número, estão

presentes menos compostos potencialmente tóxicos, como os fenólicos e cíclicos, apesar de apresentar clorados, benzênicos e dois tipos de ácido ftálico, que segundo Oman e Junestedt (2007), são potencialmente perigosos. Também apresentou um maior número de compostos presentes em fármacos, tais como Phenytoin, Phenobarbital, Phenadoxone, Ibuprofen e Amifenazole. Além disso, mais da metade dos 73 compostos, foram identificados apenas no lixiviado desse aterro.

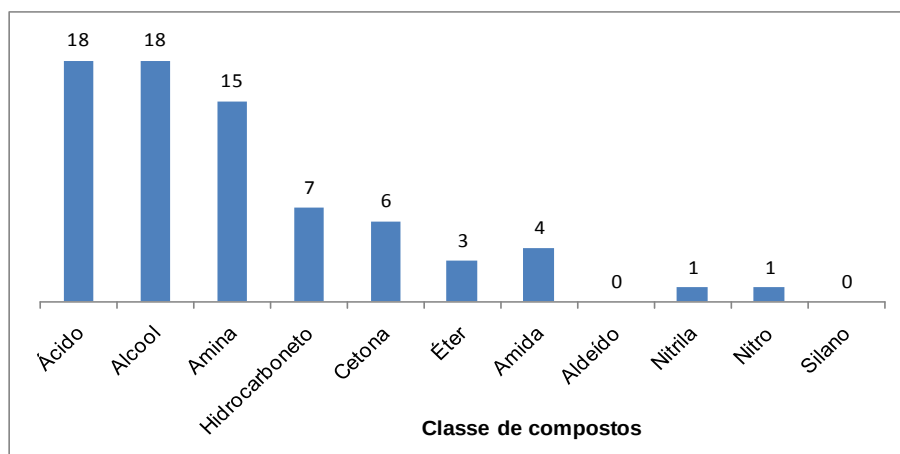


FIGURA 23- Distribuição por classe dos 73 compostos orgânicos identificados no lixiviado do aterro A3

5.4 Caracterização do lixiviado do aterro A4

Os valores médios encontrados para o lixiviado desse aterro encontram-se dentro da faixa apresentada por Souto e Povinelli (2007) (TAB. 18).

O DQO, fluoreto, nitrito, sulfato, fosfato, nitrato, brometo, ferro, coliformes totais e coliformes termotolerantes foram os parâmetros que apresentaram maior coeficiente de variação. O nitrito apresentou elevado desvio padrão e coeficiente de variação, pois apresentou apenas a leitura de novembro de 2010, as demais foram abaixo do limite de detecção e consideradas zero. O cádmio e chumbo apresentaram todas as medidas abaixo do limite de detecção, por isso não apresentaram DP e CV.

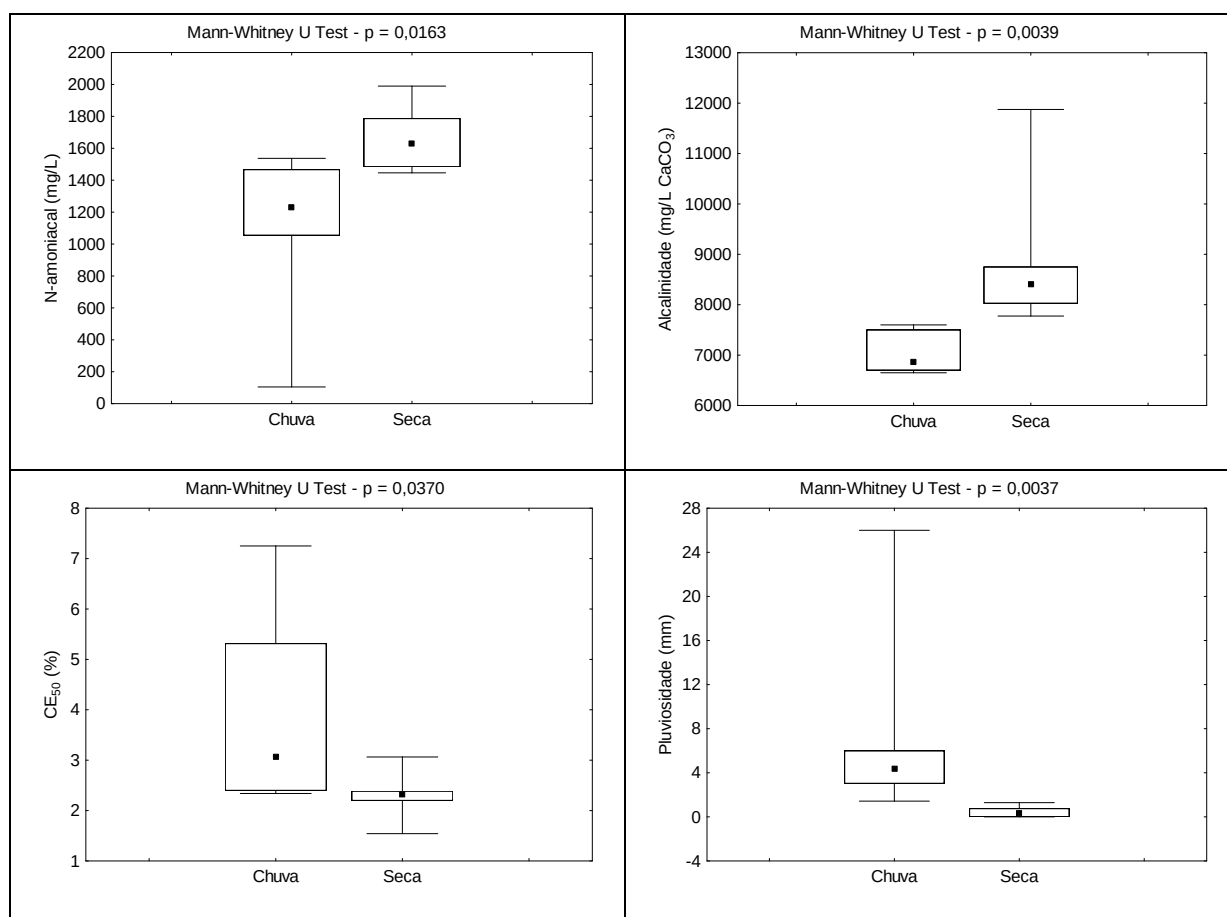
TABELA 18- Análise descritiva dos parâmetros analisados no lixiviado do aterro A4

Parâmetros	Unidade	n	Média	Mínima	Máxima	DP	CV
Temperatura	°C	10	41,0	38,0	44,0	1,5	0,04
Condutividade	mS/cm	12	19,4	16,4	22,9	2,3	0,12
pH	-	12	7,8	7,3	8,1	0,3	0,03
COT	mg/L	9	1208	543	2255	538	0,45
DQO	mgO ₂ /L	12	6611	2052	20792	5754	0,87
Alcalinidade	mg de CaCO ₃ /L	12	7952	6650	11875	1430	0,18
NT	mg/L	12	1609	304	1993	437	0,27
N-amoniacal	mg/L	12	1382	104	1990	481	0,35
ST	mg/L	12	10769	7410	15334	2393	0,22
SF	mg/L	12	7548	6186	8572	718	0,10
SV	mg/L	12	3221	1224	6790	1780	0,55

Parâmetros (continuação)	Unidade	n	Média	Mínima	Máxima	DP	CV
Cloreto solúvel	mg/L	10	2617	1299	6317	1377	0,53
Fluoreto solúvel	mg/L	10	147,6	4,1	840	271	1,84
Nitrito solúvel	mg/L	12	3,4	0,0	40,7	11,8	3,46
Sulfato solúvel	mg/L	12	95,2	0,0	286,3	83,4	0,88
Fosfato solúvel	mg/L	12	164,2	0,0	393,6	145,6	0,89
Nitrato solúvel	mg/L	12	21,1	0,0	85,8	29,4	1,39
Brometo solúvel	mg/L	12	30,6	0,0	82,2	33,5	1,09
Cádmio total	mg/L	6	0,0	0,0	0,0	-	-
Chumbo total	mg/L	6	0,0	0,0	0,0	-	-
Cobre total	mg/L	6	0,16	0,09	0,29	0,08	0,49
Cromo total	mg/L	6	0,67	0,50	1,08	0,24	0,36
Ferro total	mg/L	6	35,76	8,24	144,23	53,77	1,50
Níquel total	mg/L	6	0,54	0,42	0,83	0,15	0,28
Zinco total	mg/L	6	0,76	0,43	1,52	0,40	0,52
CE ₅₀	%	12	3,1	1,5	7,3	1,6	0,52
VC	%	12	1,0	0,2	1,7	0,4	0,40
Coliforme total	NMP/100mL	8	1,5x10 ⁴	3,0x10 ²	5,0x10 ⁴	1,7x10 ⁴	1,11
Coliforme termotolerante	NMP/100mL	10	9,3x10 ³	1,1x10 ²	5,0x10 ⁴	1,7x10 ⁴	1,83
Estreptococos fecais	NMP/100mL	10	1,1x10 ⁵	2,4x10 ⁴	1,6x10 ⁵	6,3x10 ⁴	0,55

n= número amostral DP= desvio padrão CV= coeficiente de variação

A figura 24 apresenta os parâmetros onde foi diagnosticada diferença significativa, na variação entre seca e chuva, através do teste de Mann-Whitney, acompanhado dos Box-whisker, para facilitar a visualização. A pluviosidade, CE₅₀ e fluoreto foram significativamente maiores no período de chuva. Já o N-amoniacal e alcalinidade foram significativamente menores no mesmo período.



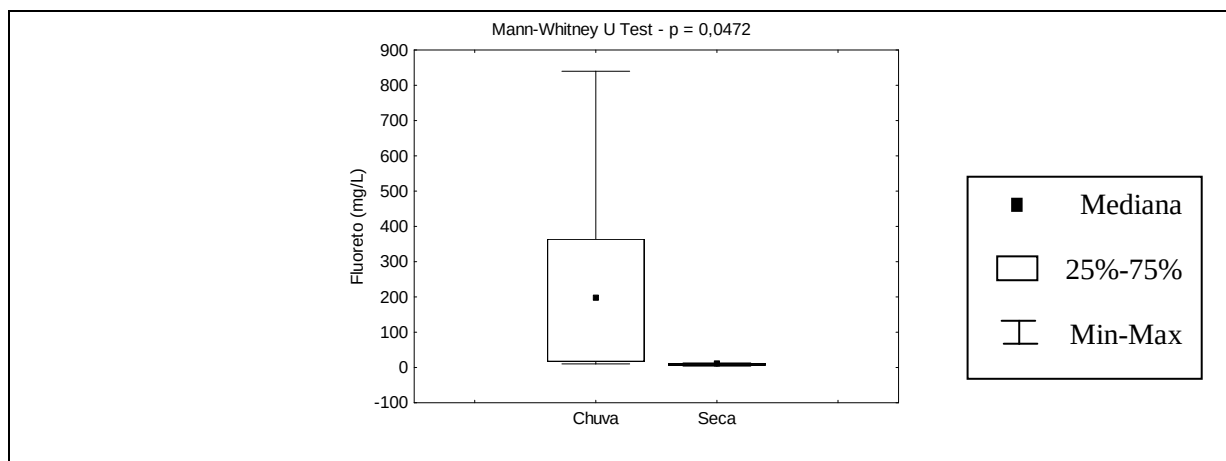


FIGURA 24- Box-whisker e 'p' de Mann-Whitney para os parâmetros com diferença significativa entre seca e chuva no lixiviado do aterro A4

A figura 25 demonstra a influencia da pluviosidade na vazão do lixiviado, devido a infiltração de água na massa de resíduo. A vazão do lixiviado desse aterro é a mais elevada entre o grupo, provavelmente a uma associação da água de infiltração e o volume elevado de resíduo aterrado. Porém não foi possível a medição da vazão em alguns meses do monitoramento, como pode ser observado pelo gráfico.

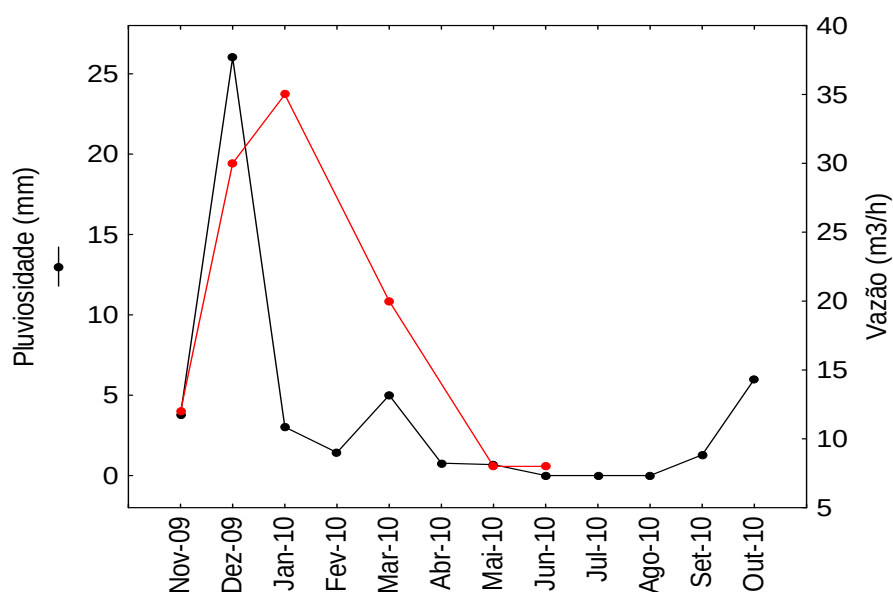


FIGURA 25- Perfil da pluviosidade versus vazão do lixiviado no aterro A4 durante o período de amostragem

A matriz de correlação apresentada na tabela a baixo correlaciona negativamente a CE_{50} à condutividade, pH, N-amoniacal e alcalinidade. Apresenta também a correlação negativa entre coliformes termotolerantes e pH, sendo esse um fator realmente determinante para a manutenção dos organismos desse grupo.

TABELA 19- Matriz de correlação de Spearman entre os parâmetros monitorados no
lixiviado do aterro A4

Variáveis	Temp	Cond	pH	NT	DQO	N-am	ST	SF	SV	Alc.	CE ₅₀	CTT
Temp.		+	+									
Cond.	+		+	+		+			-	+	-	
pH	+			+		+			-	+	-	
NT		+	+			+				+		
COT												
DQO							+	+	+			
N-am.		+	+	+				+	+	+	-	
ST					+			+	+			-
SF					+		+		+			
SV		-	-		+		+	+			+	-
Alc.		+	+	+		+					-	
CE ₅₀		-	-			-			+	-		
CT			-									

Cond.= condutividade Alc.= Alcalinidade N-am.= Nitrogênio amoniacal Temp. = Temperatura
CTT=Coliformes termotolerantes

Assim como no aterro A1 e A2, este também ultrapassa o limite permitido pelo CONAMA e COPAM para cromo. O ferro apesar de apresentar uma máxima bastante elevada, sua mediana permanece aproximada aos demais (FIG. 26). O Cádmio e o Chumbo estavam abaixo do limite de detecção.

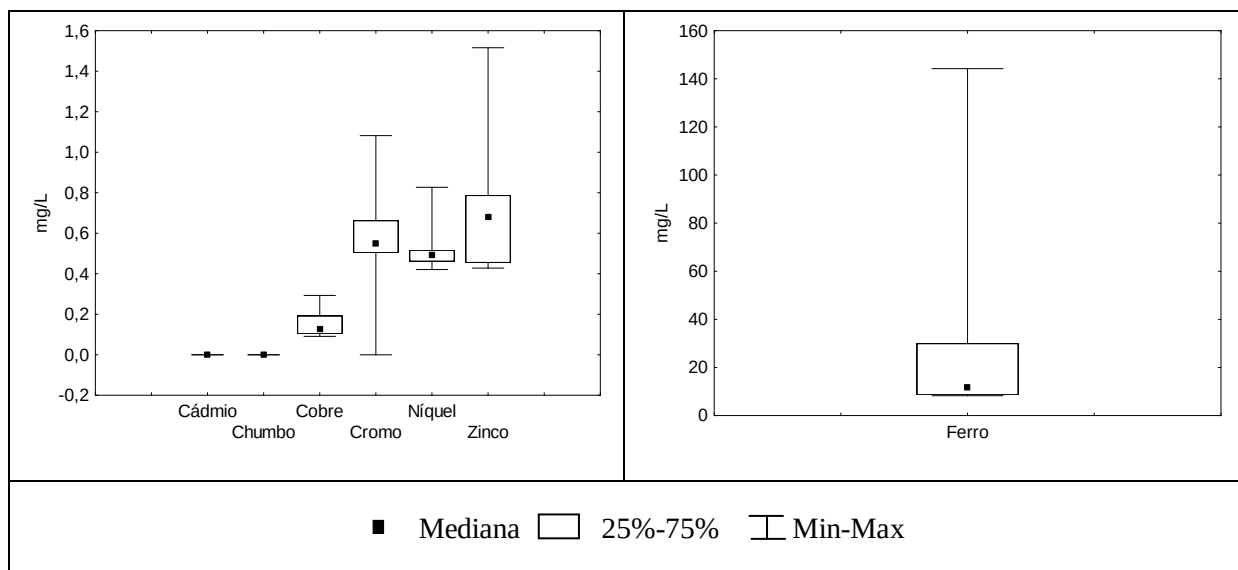


FIGURA 26- Representação gráfica da quantificação de metais no lixiviado do aterro A4

Foram identificados 59 compostos e apesar de ser o aterro mais jovem foi o que apresentou menor número de compostos ácidos em seu lixiviado (FIG.27). Apresenta poucos clorados, cíclicos, benzênicos e fármacos, porém apresenta compostos fenólicos, um ácido ftálico, fertilizantes, pigmentos, produtos de embalagem e de degradação.

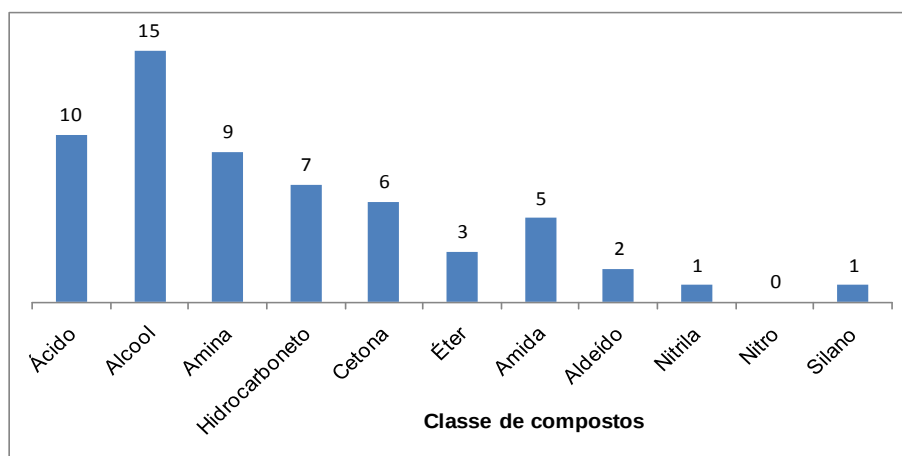


FIGURA 27- Distribuição por classe dos 59 compostos orgânicos identificados no lixiviado do aterro A4

5.5 Caracterização do lixiviado do aterro A5

Os valores médios encontrados para o lixiviado desse aterro encontram-se dentro da faixa apresentada por Souto e Povinelli (2007), com exceção do nitrato que está acima da faixa máxima apresentada por eles (TAB. 20).

O sulfato, fosfato, nitrato, brometo, coliformes totais, coliformes termotolerantes e estreptococos fecais foram os parâmetros que apresentaram maior coeficiente de variação. Os coliformes e estreptococos apresentaram valores bem baixos em maio, junho e outubro, o que provavelmente acarretou esse aumento do CV. O nitrito, cádmio e chumbo apresentaram todas as leituras abaixo do limite de detecção, por isso não apresentaram DP e CV.

TABELA 20- Análise descritiva dos parâmetros analisados no lixiviado do aterro A5

Parâmetros	Unidade	n	Média	Mínima	Máxima	DP	CV
Temperatura	°C	10	36,1	32,0	41,0	2,7	0,07
Condutividade	mS/cm	12	15,2	11,0	18,6	2,4	0,16
pH	-	12	8,1	7,6	8,4	0,2	0,03
COT	mg/L	9	753	257	1097	265	0,35
DQO	mgO ₂ /L	12	2563	1348	4972	1051	0,41
Alcalinidade	mg de CaCO ₃ /L	12	5220	3550	6575	901	0,17
NT	mg/L	12	1331	202	1774	419	0,31
N-amoniaco	mg/L	12	1113	94	1644	390	0,35
ST	mg/L	12	6871	4994	10248	1359	0,20
SF	mg/L	12	5267	3904	7484	962	0,18
SV	mg/L	12	1603	1064	2764	510	0,32
Cloreto solúvel	mg/L	10	1901	818	2679	644	0,34
Fluoreto solúvel	mg/L	10	9,5	2,9	13,1	3,2	0,34
Nitrito solúvel	mg/L	12	0,0	0,0	0,0	0,0	-
Sulfato solúvel	mg/L	12	87,9	0,0	238,4	59,9	0,68
Fosfato solúvel	mg/L	12	138,8	0,0	382,3	141,6	1,02
Nitrato solúvel	mg/L	12	35,1	0,0	84,3	36,1	1,03
Brometo solúvel	mg/L	12	31,8	0,0	83,2	35,1	1,10
Cádmio total	mg/L	6	0,0	0,0	0,0	-	-
Chumbo total	mg/L	6	0,0	0,0	0,0	-	-
Cobre total	mg/L	6	0,09	0,07	0,13	0,03	0,27
Cromo total	mg/L	6	0,39	0,16	0,50	0,12	0,31

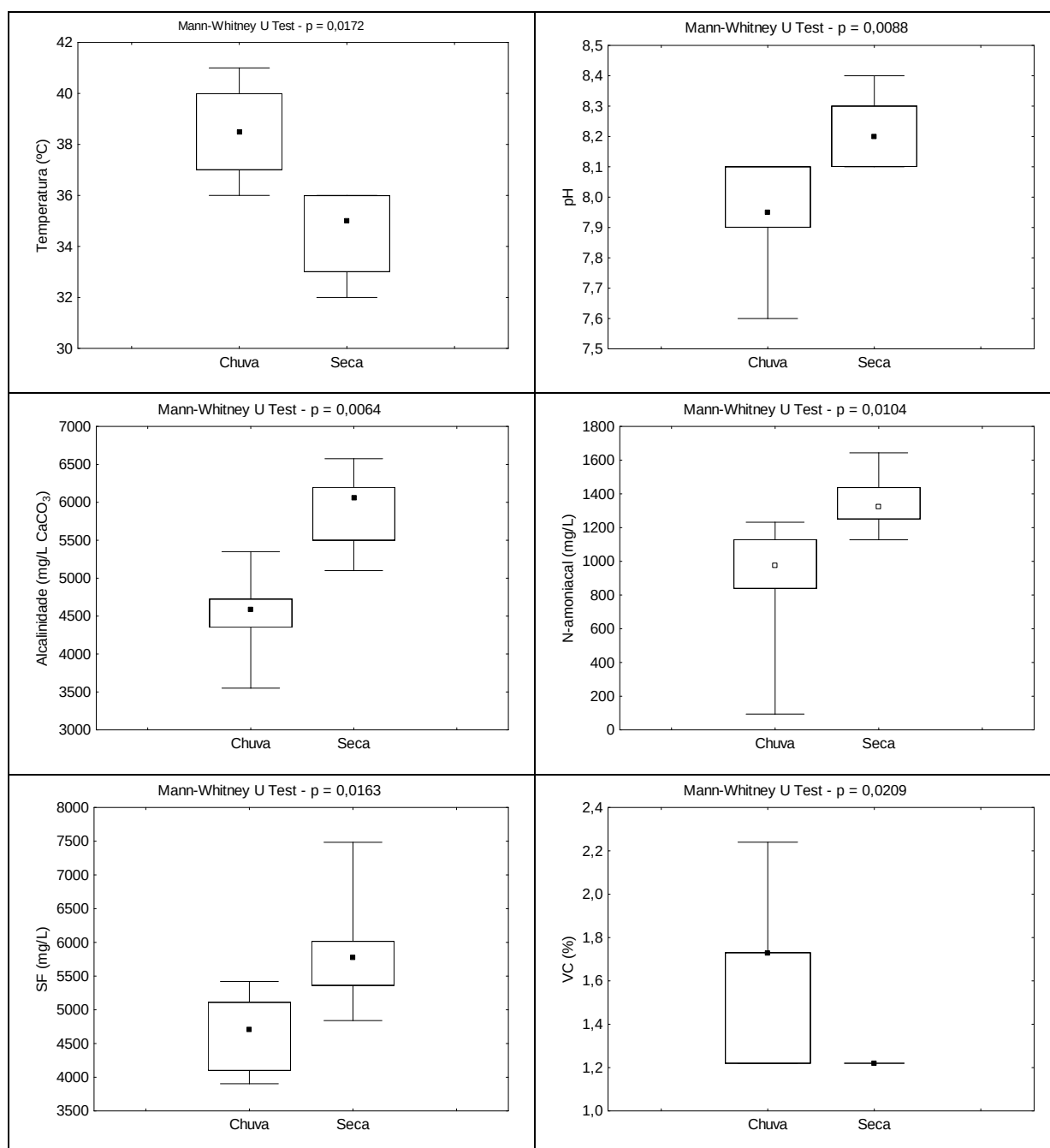
Parâmetros (continuação)	Unidade	n	Média	Mínima	Máxima	DP	CV
Ferro total	mg/L	6	5,76	3,61	6,98	1,33	0,23
Níquel total	mg/L	6	0,53	0,34	0,82	0,17	0,32
Zinco total	mg/L	6	0,07	0,02	0,17	0,05	0,65
CE ₅₀	%	12	2,3	1,3	5,1	1,0	0,42
VC	%	12	1,4	1,2	2,2	0,3	0,24
Coliforme total	NMP/100mL	8	$4,1 \times 10^4$	$5,0 \times 10$	$1,6 \times 10^5$	$7,3 \times 10^4$	1,78
Coliforme termotolerante	NMP/100mL	10	$1,9 \times 10^4$	$0,2 \times 10$	$1,6 \times 10^5$	$5,0 \times 10^4$	2,64
Estreptococos fecais	NMP/100mL	10	$1,9 \times 10^3$	$1,1 \times 10^2$	$9,0 \times 10^3$	$2,7 \times 10^3$	1,42

n= número amostral

DP= desvio padrão

CV= coeficiente de variação

Os parâmetros que apresentaram diferença significativa entre seca e chuva estão apresentados na figura 28. A temperatura, pluviosidade, e VC foram significativamente maiores no período de chuva, já o pH, N-amoniacal, SF e alcalinidade foram menores no mesmo período.



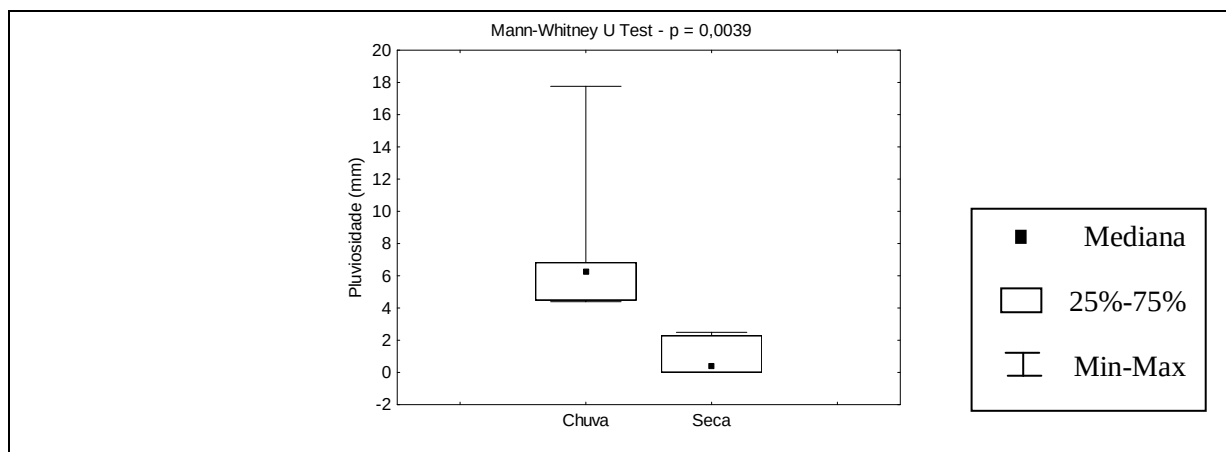


FIGURA 28- Box-whisker e 'p' de Mann-Whitney para parâmetros com diferença significativa entre seca e chuva no lixiviado do aterro A5

A figura 29 demonstra a influencia da pluviosidade na vazão do lixiviado, devido a infiltração de água na massa de resíduo. Esse aterro foi, entre o grupo, o que apresentou variações mais simultâneas entre a vazão e a pluviosidade, uma vez que essa é a única variável, pois já não recebe mais resíduos. Seus valores de vazão são relativamente mais baixos por não receber mais resíduos, porém é semelhante a do aterro A1, que recebe um menor volume de resíduos.

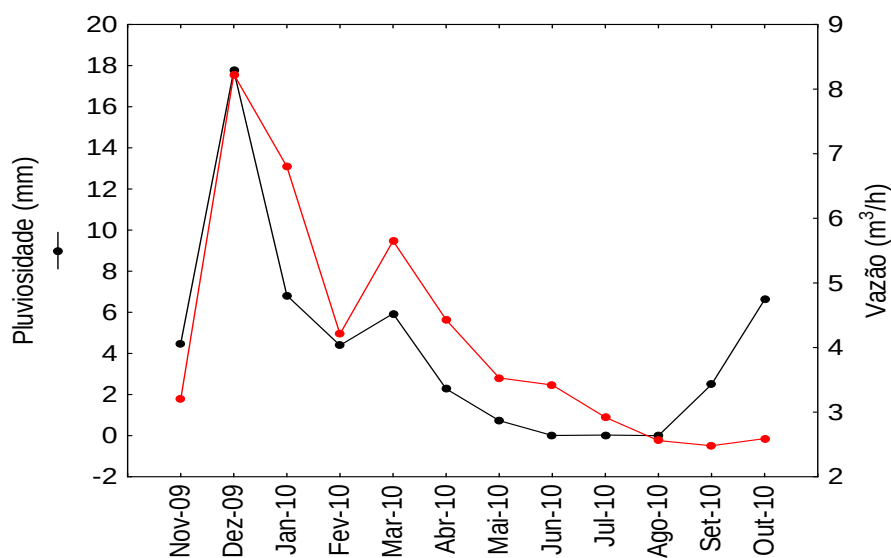


FIGURA 29- Perfil da pluviosidade versus vazão do lixiviado no aterro A5 durante o período de amostragem

A matriz de correlação apresentada na tabela a baixo correlaciona negativamente a CE_{50} apenas com a DQO e VC com a condutividade, pH, N-amoniacal, ST, SF, SV e alcalinidade, o que demonstra a maior sensibilidade dos ensaios de toxicidade crônica.

TABELA 21- Matriz de correlação de Spearman entre os parâmetros monitorados no
lixiviado do aterro A5

Variáveis	Temp	Cond	pH	NT	COT	DQO	N-am.	ST	SF	SV	Alc.	CE ₅₀	VC
Temp.			-				-				-		+
Cond.				+			+	+	+		+		-
pH	-						+		+		+		-
NT		+			+		+				+		
COT	-	+	+				+	+	+		+		
DQO												-	
N-am.	-	+	+	+	+				+		+		-
ST		+							+	+	+		-
SF			+				+	+			+		-
SV								+					-
Alc.	-	+	+	+	+		+	+	+				-
CE ₅₀						-							
VC	+	-	-				-	-	-	-	-		

Cond.= condutividade Alc.= Alcalinidade N-am.= Nitrogênio amoniacal Temp. = Temperatura

É possível observar pela figura 30, que a quantificação de metais no lixiviado desse aterro detectou valores mais baixos que os demais, principalmente para o cobre, níquel e zinco. Com isso os valores de cromo se enquadram nos limites da legislação CONAMA e COPAM. O Cádmio e o Chumbo também estavam abaixo do limite de detecção.

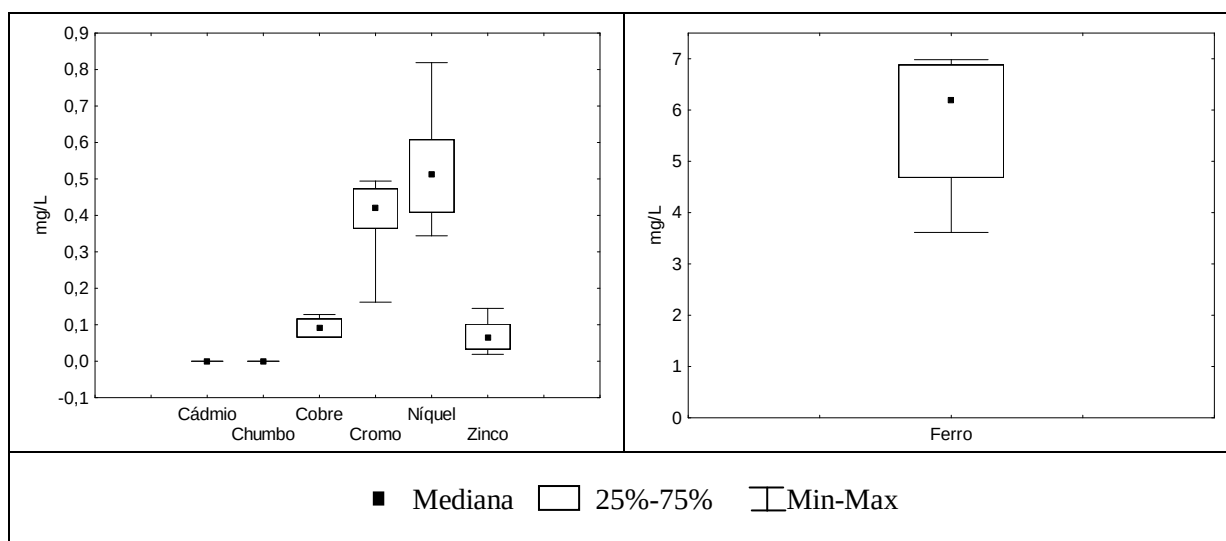


FIGURA 30- Representação gráfica da quantificação de metais no lixiviado do aterro A5

O lixiviado do aterro A5 foi o que apresentou menos compostos, sendo o total de 48, os quais mais uma vez tiveram o predomínio de compostos ácidos (FIG.31). Encontrados poucos fenólicos, se comparado aos demais aterros. Apresenta também alguns compostos clorados, cíclicos e benzênicos, além de compostos plásticos, fármacos e produtos corrosivos.

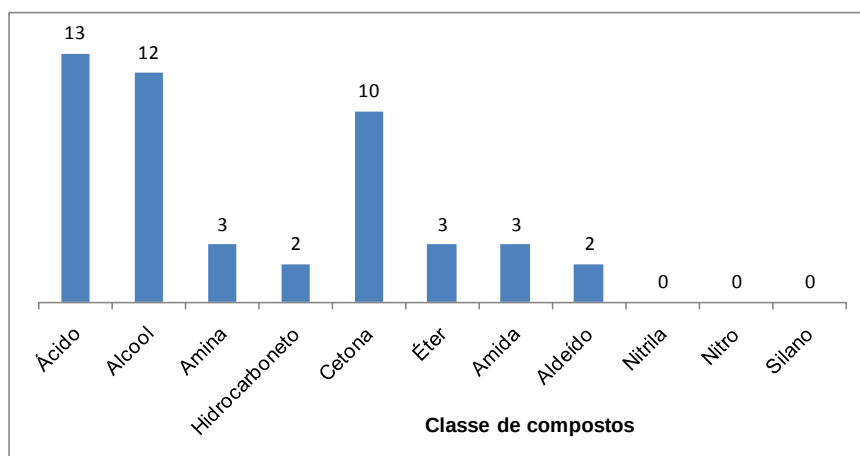


FIGURA 31- Distribuição por classe dos 48 compostos orgânicos identificados no lixiviado do aterro A5

5.6 Análise de comparação entre o lixiviado dos cinco aterros

Os valores médios encontrados para os lixiviados dos aterros estudados encontram-se dentro da faixa apresentada por Souto e Povinelli (2007), com exceção do nitrato que está acima da faixa máxima apresentada por eles. Porém as faixas de mínima e máxima abrangem valores diferentes (TAB. 22).

TABELA 22- Análise descritiva dos parâmetros analisados no lixiviado dos cinco aterros

Parâmetros	Unidade	n	Média	Mínima	Máxima	DP	CV
Temperatura	°C	50	33,4	23,0	44,0	5,5	0,16
Condutividade	mS/cm	58	19,7	7,5	28,1	4,3	0,22
pH	-	58	8,1	7,3	8,5	0,3	0,03
COT	mg/L	44	1017	257	2255	532	0,52
DQO	mgO ₂ /L	58	4190	1341	20792	3246	0,77
Alcalinidade	mg de CaCO ₃ /L	58	6589	2000	11875	2524	0,38
NT	mg/L	58	1420	196	2580	724	0,51
N-amoniacoal	mg/L	58	1158	94	2206	615	0,53
ST	mg/L	58	11122	4092	22830	3892	0,35
SF	mg/L	58	22584	3028	40455	15261	0,68
SV	mg/L	58	2561	1064	6790	1190	0,46
Cloreto solúvel	mg/L	48	3074	818	9285	1924	0,63
Fluoreto solúvel	mg/L	48	44,0	2,9	839,9	131,1	2,98
Nitrito solúvel	mg/L	58	2,1	0,0	40,7	8,0	3,75
Sulfato solúvel	mg/L	58	143,8	0,0	1058,0	183,6	1,28
Fosfato solúvel	mg/L	58	144,5	0,0	398,7	137,6	0,95
Nitrato solúvel	mg/L	58	41,3	0,0	210,5	49,4	1,20
Brometo solúvel	mg/L	58	34,9	0,0	97,7	35,1	1,10
Cádmio total	mg/L	30	0,0	0,0	0,0	-	-
Chumbo total	mg/L	30	0,0	0,0	0,0	-	-
Cobre total	mg/L	30	0,2	0,2	0,5	0,10	0,53
Cromo total	mg/L	30	0,8	0,0	10,8	1,90	2,26
Ferro total	mg/L	30	18,3	2,4	144,2	28,02	1,53
Níquel total	mg/L	30	0,6	0,3	1,0	0,18	0,29
Zinco total	mg/L	30	0,7	0,0	1,9	0,52	0,72
CE ₅₀	%	58	3,5	1,2	12,1	2,81	0,79
VC	%	58	1,6	0,2	5,7	1,3	0,80
Coliforme total	NMP/100mL	40	6,9x10 ⁴	5,0x10	1,6x10 ⁵	7,1x10 ⁴	1,01
Coliforme termotolerante	NMP/100mL	50	2,9x10 ⁴	0,2x10	1,6x10 ⁵	5,5x10 ⁴	1,91
Estreptococos fecais	NMP/100mL	50	9,6x10 ⁴	1,1x10 ²	1,6x10 ⁵	7,2x10 ⁴	0,75

n= número amostral

DP= desvio padrão

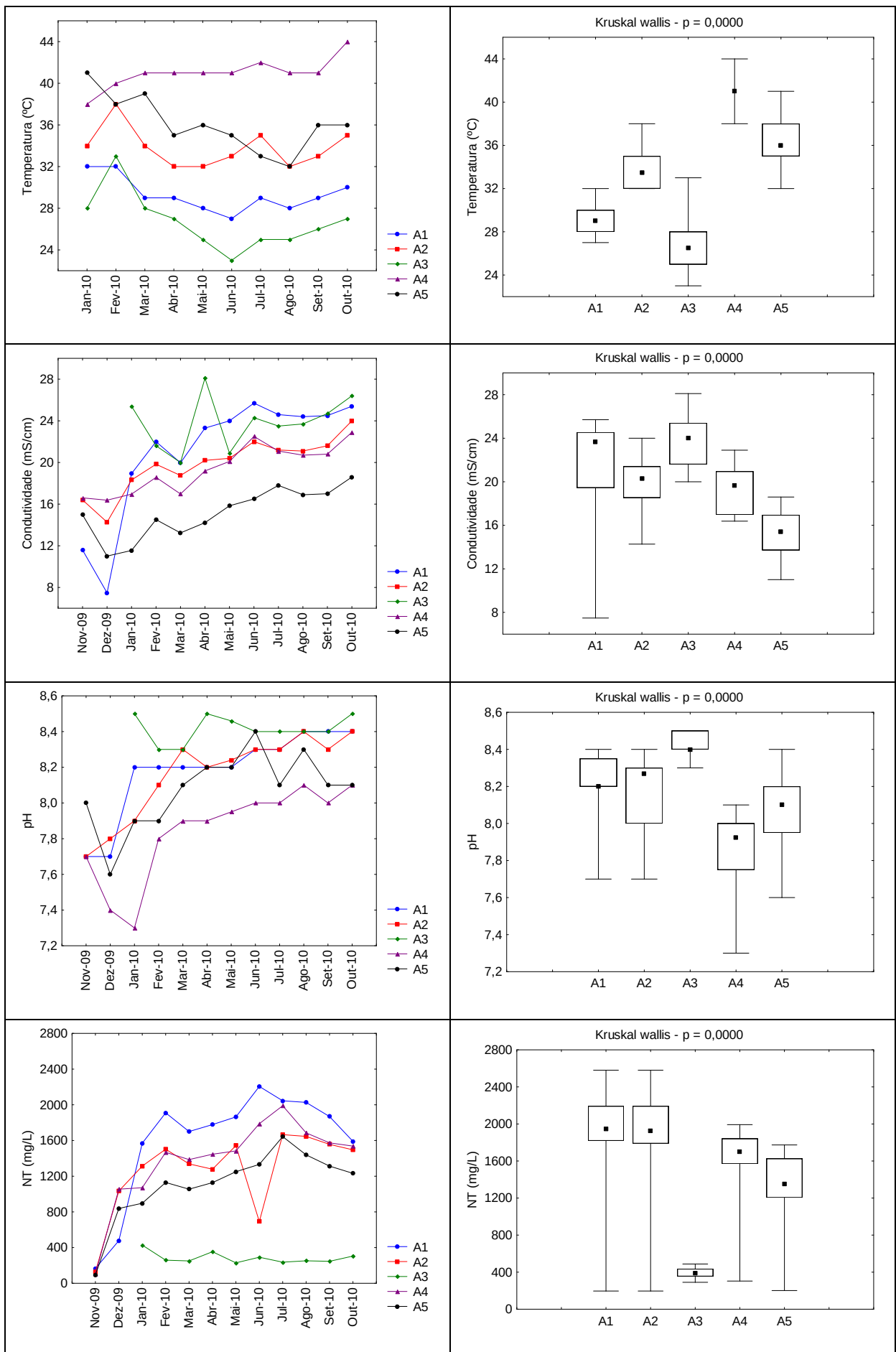
CV= coeficiente de variação

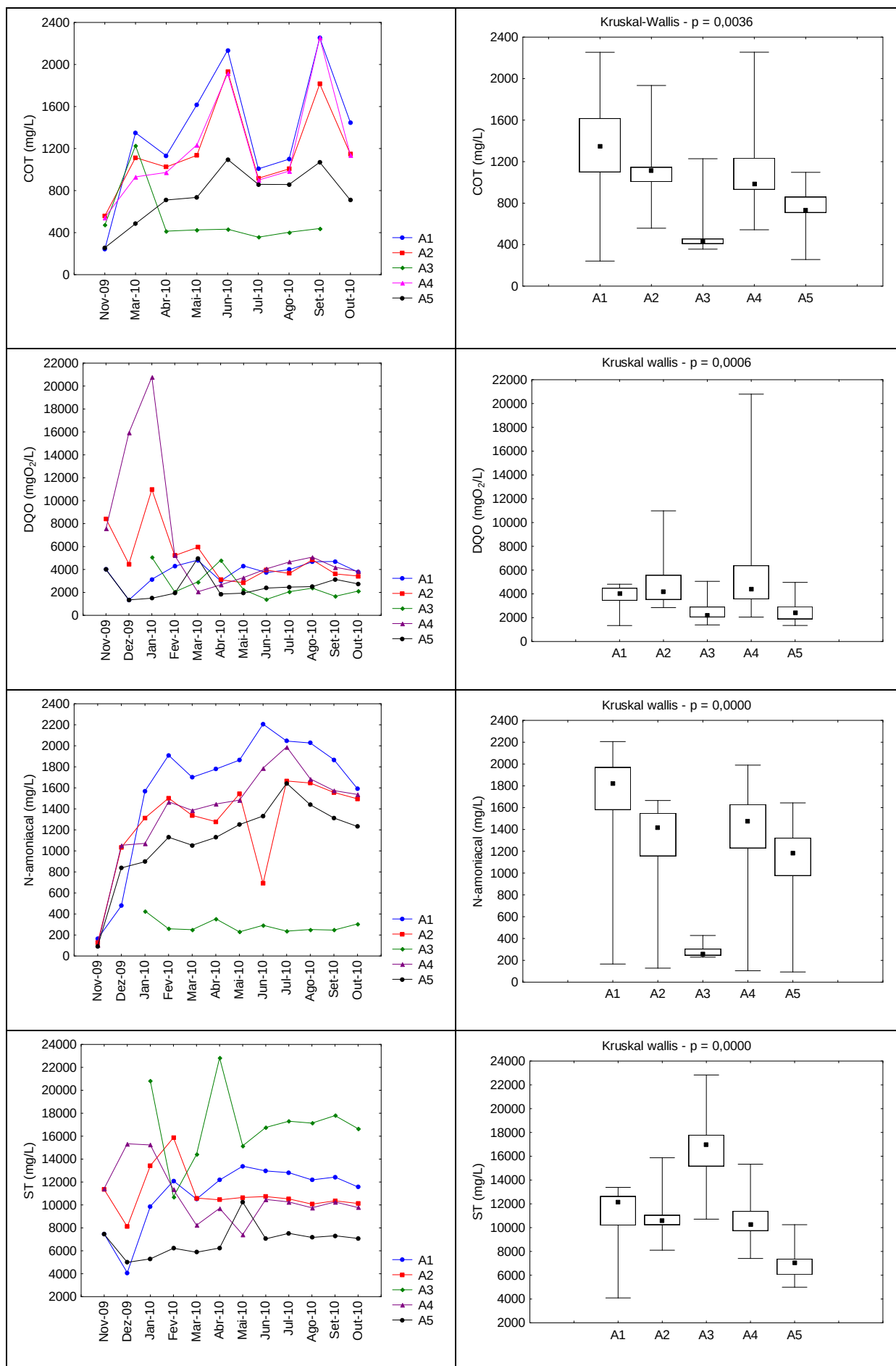
O DQO, fluoreto, nitrito, sulfato, fosfato, nitrato, brometo, cromo, ferro, zinco, CE₅₀, VC, coliformes totais, coliformes termotolerantes e estreptococos fecais foram os parâmetros que apresentaram maior coeficiente de variação. Foram muitos parâmetros devido a variabilidade entre as características dos aterros e por conseguinte dos lixiviados. O nitrito apresentou muitas medidas abaixo do limite de detecção e o cádmio e chumbo apresentaram todas as medidas abaixo do limite de detecção. A tabela 23 apresenta a média de cada um dos parâmetros para os cinco aterros, permitindo uma comparação rápida entre eles.

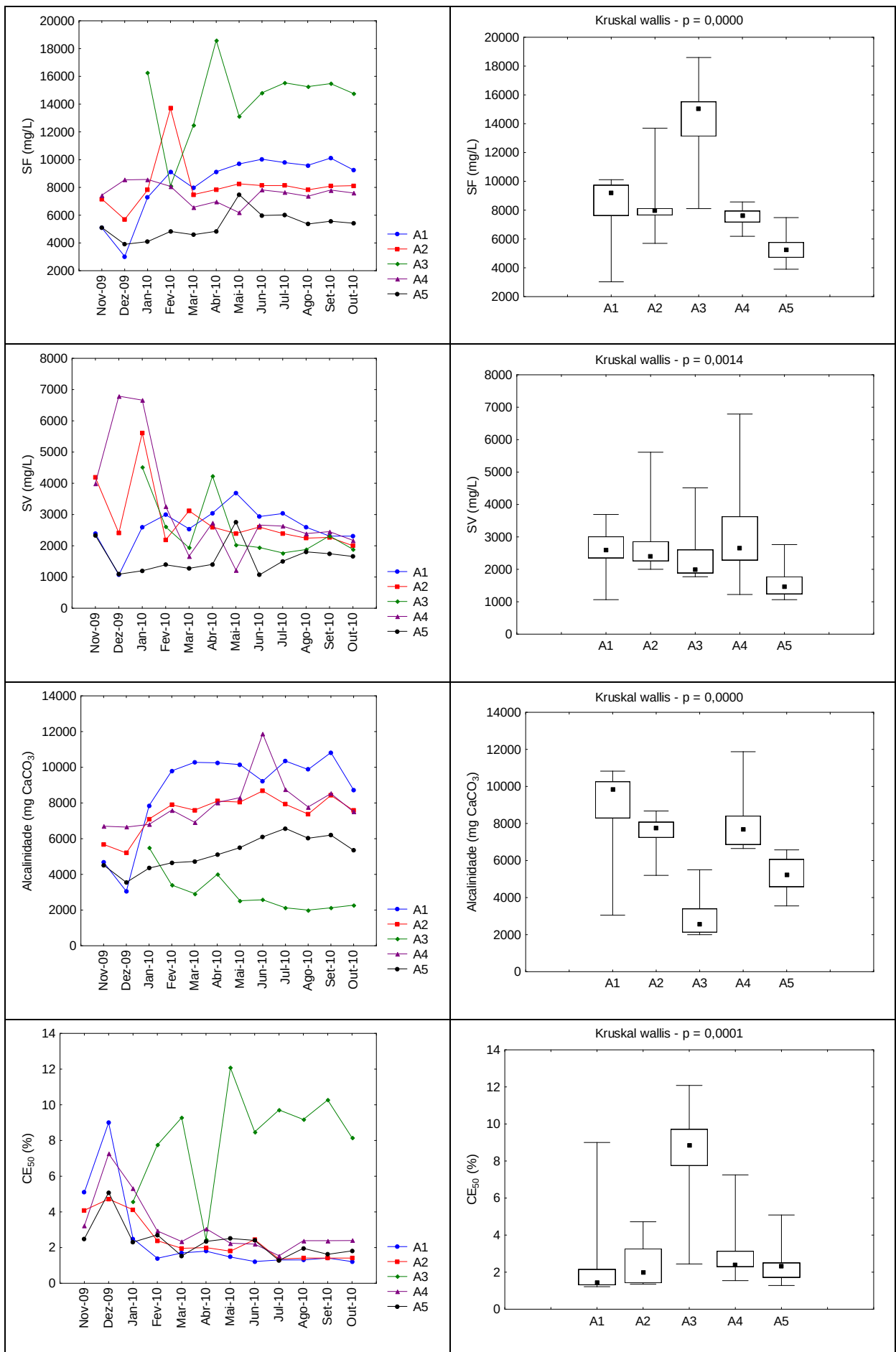
TABELA 23 – Médias encontradas para cada um dos parâmetros nos cinco aterros

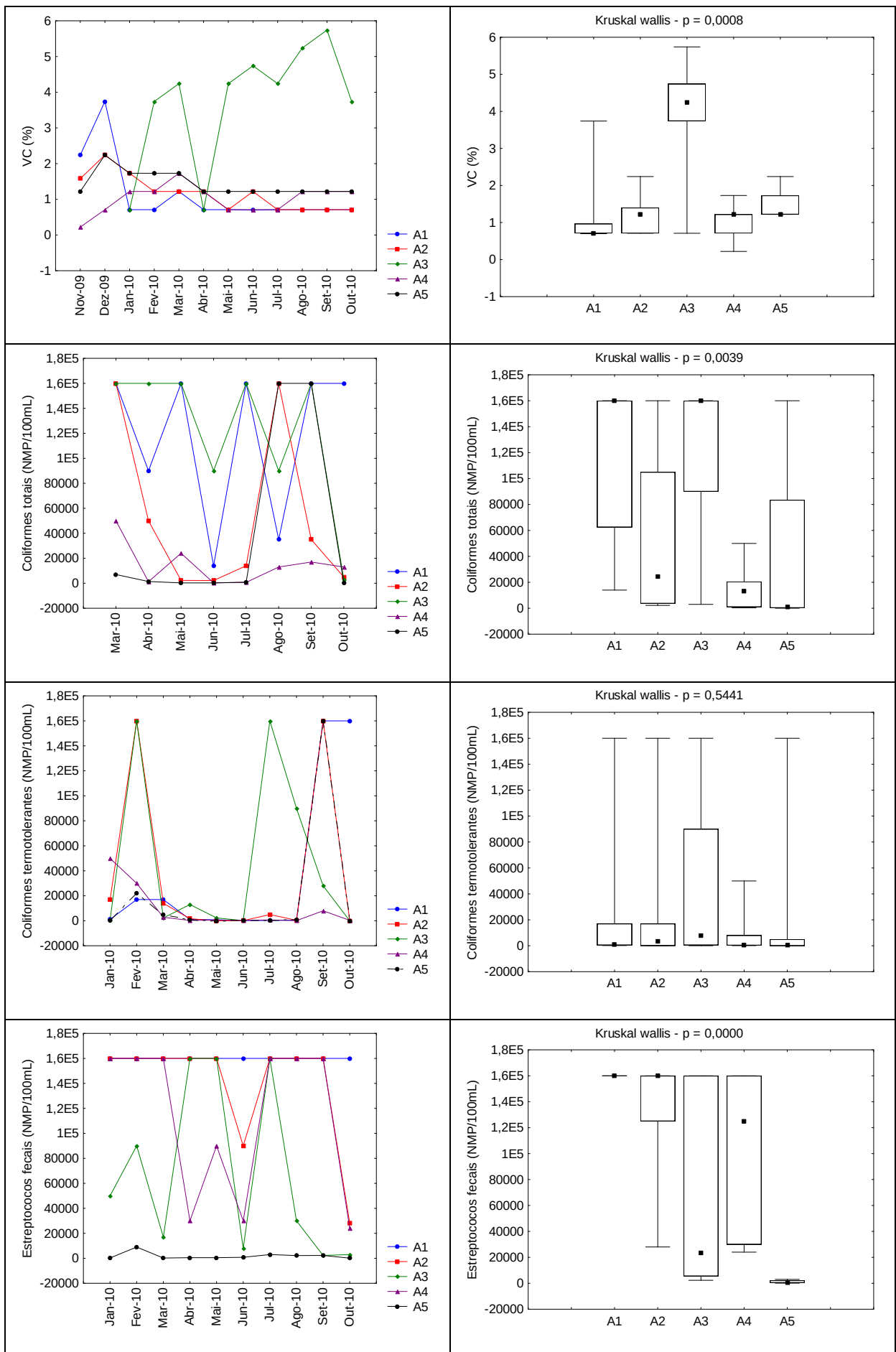
Parâmetros	Unidade	A1	A2	A3	A4	A5
Temperatura	°C	29,3	33,8	26,7	41,0	36,1
Condutividade	mS/cm	21,0	19,8	23,9	19,4	15,2
pH	-	8,2	8,2	8,4	7,8	8,1
COT	mg/L	1365	1184	522	1208	753
DQO	mgO ₂ /L	3817	5040	2668	6611	2563
Alcalinidade	mg de CaCO ₃ /L	8755	7467	2945	7952	5220
NT	mg/L	1803	1531	394	1609	1331
N-amoniaco	mg/L	1600	1266	285	1382	1113
ST	mg/L	10964	11023	16955	10769	6871
SF	mg/L	8339	8189	14442	7548	5267
SV	mg/L	2625	2834	2513	3221	1603
Cloreto solúvel	mg/L	2449	2571	6522	2617	1901
Fluoreto solúvel	mg/L	16,7	20,2	21,7	147,6	9,5
Nitrito solúvel	mg/L	3,1	2,2	2,0	3,4	0,0
Sulfato solúvel	mg/L	75,7	67,1	442,7	95,2	87,9
Fosfato solúvel	mg/L	121,7	130,9	171,3	164,2	138,8
Nitrato solúvel	mg/L	40,9	23,3	94,9	21,1	35,1
Brometo solúvel	mg/L	27,3	33,9	54,0	30,6	31,8
Cádmio total	mg/L	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Chumbo total	mg/L	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Cobre total	mg/L	0,23	0,18	0,29	0,16	0,09
Cromo total	mg/L	0,61	0,54	2,52	0,67	0,39
Ferro total	mg/L	32,54	12,79	4,47	35,76	5,76
Níquel total	mg/L	0,65	0,62	0,68	0,54	0,53
Zinco total	mg/L	1,38	0,66	0,75	0,76	0,07
CE ₅₀	%	2,5	2,4	8,2	3,1	2,3
VC	%	1,1	1,2	3,7	1,0	1,4
Coliforme total	NMP/100mL	1,2x10 ⁵	5,4x10 ⁴	1,2x10 ⁵	1,5x10 ⁴	4,1x10 ⁴
Coliforme termotolerante	NMP/100mL	3,6x10 ⁴	3,6x10 ⁴	4,6x10 ⁴	9,3x10 ³	1,9x10 ⁴
Estreptococos fecais	NMP/100mL	1,6x10 ⁵	1,4x10 ⁵	6,8x10 ⁴	1,1x10 ⁵	1,9x10 ³

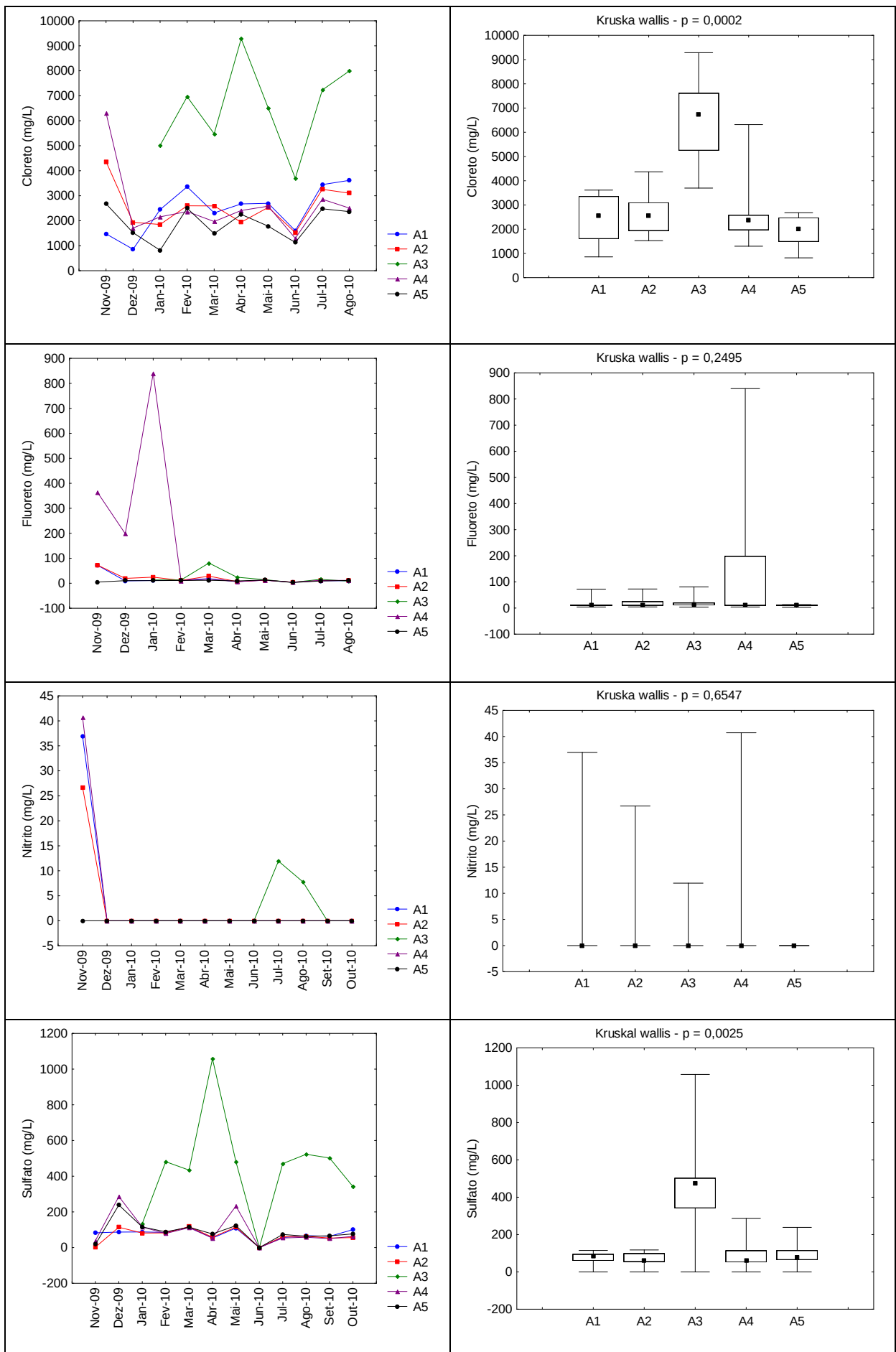
Para cada parâmetro foi feita análise de Kruskal wallis, para verificar a ocorrência de diferenças significativas entre o lixiviado dos aterros. Os valores de ‘p’ foram apresentados juntamente com o Box-whisker, que está conjugado com o gráfico de série temporal, ambos permitindo a melhor visualização dos dados (FIG. 32).











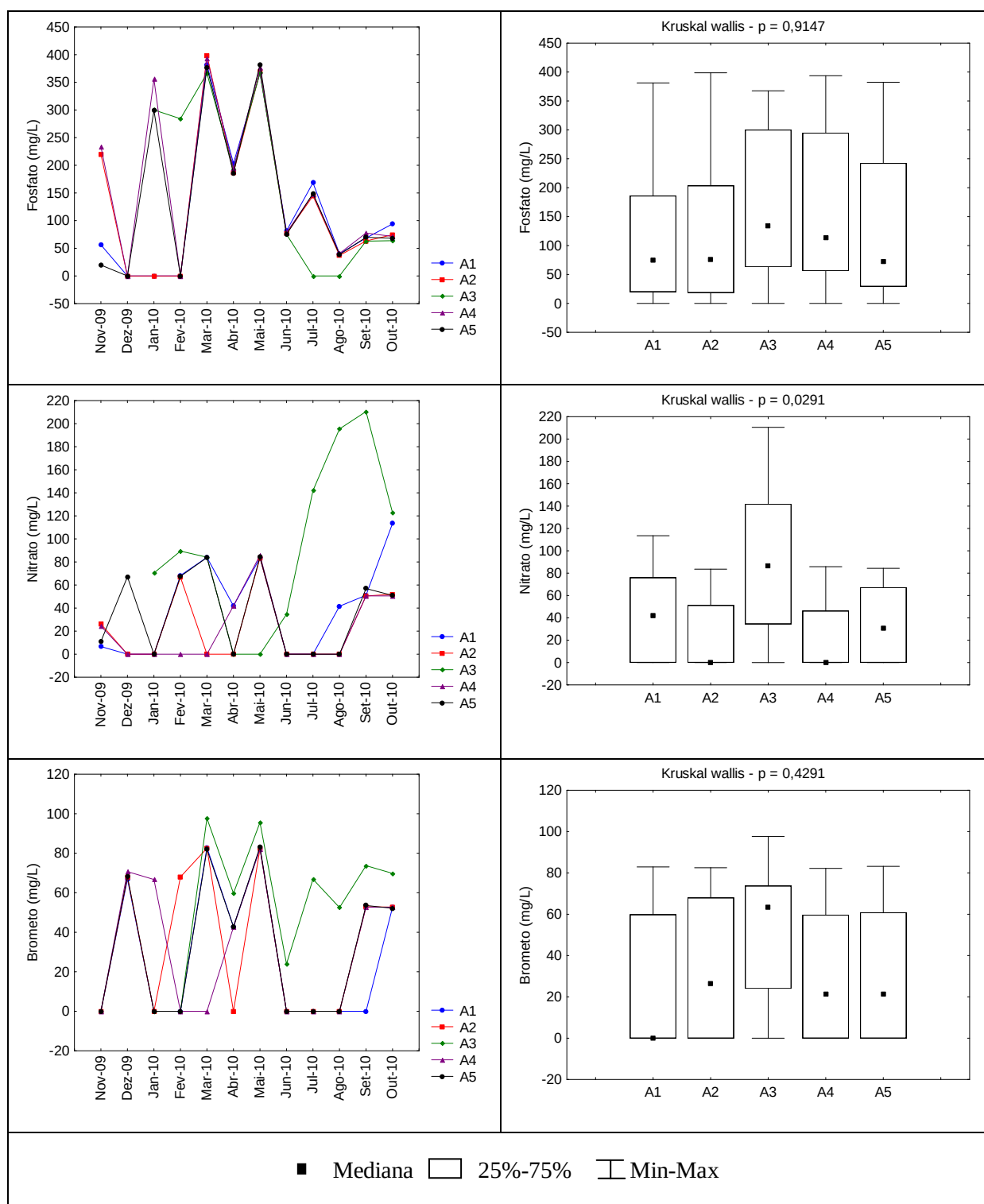


FIGURA 32- Série temporal e Box-whisker para alguns parâmetros analisados no lixiviado dos cinco aterros

A tabela 24 resume detalhadamente os resultados de Kruskal wallis apresentados na figura anterior, através dos resultados de comparações múltiplas. Apenas o fluoreto, nitrito, fosfato, brometo e coliformes termotolerantes não apresentaram diferença significativa entre o lixiviado dos diferentes aterros. Em todos os parâmetros que apresentaram diferença

significativa o A3 e o A5 foram os que se destacaram por ser maior ou menor, o que demonstra que estes são mais diferentes.

O lixiviado do aterro A5 e A3 se destacaram, sendo que o A5 apresentou os menores valores de condutividade, sólidos totais, sólidos fixos, sólidos voláteis, coliformes totais, estreptococos fecais e cloretos, valores esses característicos de fase final de decomposição, decorrentes da finalização do aterro, o que findou a entrada de resíduos e matéria orgânica. Ainda, segundo o ranking apresentado pela análise de comparações múltiplas, o A5 é o segundo menor, depois do A3, para NT, COT, DQO, N-amoniaco e alcalinidade, os quais também caracterizam lixiviados maturados ou com pouca matéria orgânica.

O Lixiviado do aterro A3 apresentou os menores valores para os parâmetros mencionados acima (NT, COT, DQO, N-amoniaco e alcalinidade), além da temperatura. Apresentaram também os maiores valores de CE_{50} , VC, coliformes totais e cloretos. Algumas dessas características são típicas de lixiviados maturados e outras devido as peculiaridades de um aterro industrial, com exceção da contaminação microbiológica elevada, que não é comum nesse tipo de aterro.

O A5 apresenta os valores mais baixos de condutividade, que conforme mencionado pela literatura ocorre provavelmente devido à estabilização da matéria orgânica e redução da solubilização de elementos inorgânicos.

Quanto aos resultados de ecotoxicologia, foi constatada elevada toxicidade crônica e aguda para o lixiviado de todos os aterros, porém a toxicidade aguda e crônica foram significativamente menores no aterro A3, seguida do A5, surpreendendo, pois imaginava-se ser maior no aterro A3, pelo tipo de resíduo e no A5, pela presença de compostos recalcitrantes, porém ela parece estar mais ligada aos valores de condutividade, N-amoniaco e alcalinidade (como demonstrado pelas análises de correlação), os quais foram menores no lixiviado desses dois aterros. Outros parâmetros também influenciam a toxicidade, tais como compostos orgânicos, inorgânicos e metais, que serão apresentados a seguir. Esses resultados corroboraram com Bernard et al. (1996) *apud* Amaral (2007), e outras bibliografias que revelaram que o lixiviado resultante do resíduo doméstico é mais tóxico do que aquele resultante de resíduos industriais. Porém no lixiviado do aterro A5 é possível observar uma diferença entre a toxicidade crônica e aguda, já apresentadas pelo teste de correlação da tabela 21 e confirmada pelos Box-whisker e testes de comparações múltiplas desse subitem, de forma que no ranking de comparação entre os aterros, a toxicidade aguda é a terceira mais

acentuada e influenciada apenas pela DQO, enquanto a toxicidade crônica é a quarta maior entre o grupo e influenciada por mais parâmetros. Esses resultados podem sugerir que a toxicidade aguda seja mais influenciada pela presença de compostos recalcitrantes do que a toxicidade crônica.

Os cloretos também foram citados por diferentes fontes por contribuírem para toxicidade de lixiviados, porém o aterro que apresentou maiores valores desse ânion foi o mesmo que apresentou menor toxicidade (A3), logo, neste estudo os cloretos podem ter apenas influenciado na toxicidade, mas não foram vistos como determinantes da mesma. Pode ser que haja algum contaminante cuja contribuição para toxicidade seja superior à de cloretos.

O nitrato pode indicar presença de matéria orgânica estabilizada e foi encontrado em maiores concentrações principalmente no A3, seguido do A5 e A1, o que é justificável, pois o A3 não deve receber orgânicos com frequência, e com isso esse resíduo já deve estar bem maturado, o mesmo ocorre no A5 por estar finalizado e em menor proporção no A1, por receber menor volume de resíduos.

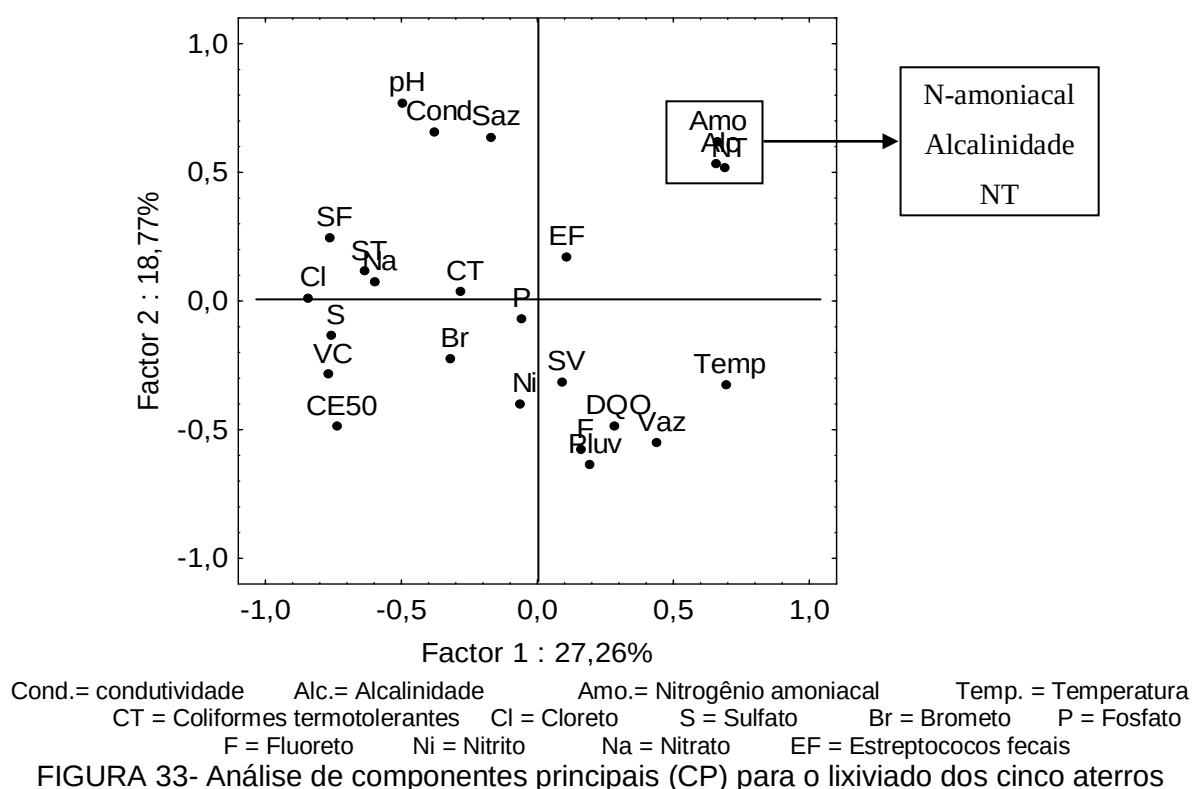
TABELA 24- Resultados de Kruskal-Wallis e comparações múltiplas para os parâmetros analisados entre o lixiviado dos cinco aterros

Parâmetros	Kruskal wallis
Temperatura	A3 é significativamente menor que A2, A4 e A5
Condutividade	A5 é significativamente menor que A1 e A3
pH	A3 é significativamente maior que A4 e A5
COT	A3 é significativamente menor que A1 e A2
DQO	A3 é significativamente menor que A2 e A4
Alcalinidade	A3 é significativamente menor que A1, A2 e A4
NT	A3 é significativamente menor que A1, A2 e A4
N-amoniaco	A3 é significativamente menor que A1, A2 e A4
ST	A5 é significativamente menor que A1, A2 e A3
SF	A5 é significativamente menor que A1, A2 e A3
SV	A5 é significativamente menor que A1, A2 e A4
Cloreto	A3 é significativamente maior que A1, A2, A4 e A5
Fluoreto	Não apresentou diferença significativa entre os aterros
Nitrito	Não apresentou diferença significativa entre os aterros
Sulfato	A3 é significativamente maior que A1, A2 e A4
Fosfato	Não apresentou diferença significativa entre os aterros
Nitrato	A3 é significativamente maior que A1, A2, A4 e A5
Brometo	Não apresentou diferença significativa entre os aterros
CE ₅₀	A3 é significativamente maior que A1, A2 e A5
VC	A3 é significativamente maior que A1 e A4
Coliforme total	A5 é significativamente menor que A1 e A3
Coliforme termotolerante	Não apresentou diferença significativa entre os aterros
Estreptococos fecais	A5 é significativamente menor que A1, A2 e A4

A análise de componentes principais foi usada para demonstrar as principais tendências de variância entre os parâmetros e principais agrupamentos do conjunto de dados, sendo que o CP1 explica 27,61% da variância e tem contribuição positiva principalmente das variáveis de

temperatura, NT, N-amoniacal, alcalinidade e contribuição negativa de ST, SF, CE₅₀, VC, cloreto, sulfato e nitrato. Já o CP2 explica 17,88% da variância, com principalmente participação positiva da condutividade, pH, N-amoniacal e alcalinidade. Os agrupamentos permitiram observações importantes, como a oposição dos valores de CE₅₀ e VC, aos valores de alcalinidade, N-amoniacal, COT e NT, assim como observações de agrupamentos já esperados, tais como condutividade com sólidos e vazão com pluviosidade e temperatura (FIG. 33).

Na utilização da análise de cluster, os agrupamentos foram conectados um ao outro a uma similaridade mínima, tendo sido utilizada a distância euclideana. A maior similaridade encontrada foi entre os aterros A1 e A2 e a menor similaridade a do A5, o que é compreensível, pois os aterros A1 e A2 além de serem ambos sanitários, possuem uma idade de operação aproximada, enquanto o A5 apesar de sanitário encontra-se desativado. O A4 provavelmente se afasta um pouco do A1 e A2 por ser um aterro ainda jovem e o A3 se distancia ainda mais dos aterros A1, A2 e A4 pelo tipo de resíduo aterrado. Gerando a seguinte sequência decrescente de similaridade: A1 → A2 → A4 → A3 → A5 (FIG. 34). Esse resultado reafirma o que foi exposto pela análise de comparações múltiplas, tabela 24, onde os aterros A3 e A5 foram destacados pelas principais diferenças.



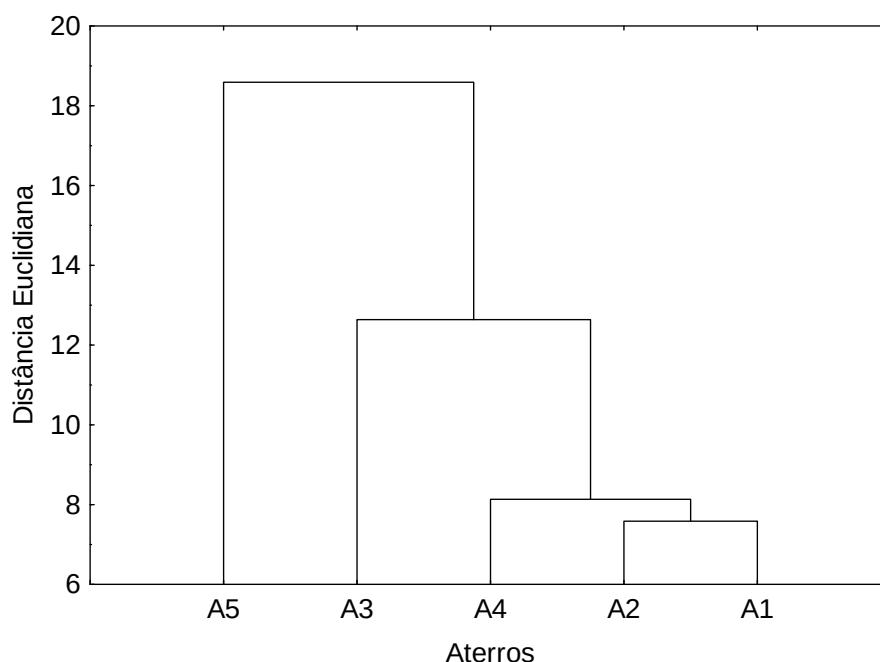


FIGURA 34- Análise de Cluster para o lixiviado dos cinco aterros

O teste de Kruskal-Wallis confirmou as diferenças observadas anteriormente entre a quantificação dos metais para o lixiviado de cada um dos aterros, lembrando que o cádmio e o chumbo não foram avaliados, pois estiveram abaixo do limite de detecção para o lixiviado de todos os aterros (FIG. 35). O lixiviado do aterro A1 foi o que apresentou maior concentração de cromo, ferro e zinco, enquanto que os menores valores ficaram entre o A3 e o A5, sendo no A3 a menor concentração de ferro e no A5 a menor de cromo, cobre, níquel e zinco (TAB. 25). A baixa concentração de metais no lixiviado do aterro industrial pode se dever tanto pela sua maior alcalinidade, que deixa os metais complexados e menos solubilizados, quanto a processos de solidificação e estabilização que podem ser feitos antes do aterramento.

Muitos autores citam os metais traços como causadores de toxicidade e apesar dos organismos utilizados nos ensaios de ecotoxicidade, deste trabalho, não serem apropriados para esse tipo de contaminante, o aterro que apresentou maiores concentração de metais foi o que apresentou maior toxicidade (A1), assim como os que apresentaram menores concentrações, estão entre os menos tóxicos (A3 e A5).

Também é importante lembrar que o ferro encontra-se em concentrações mais elevadas aos demais metais, pois é um dos elementos mais abundantes da crosta terrestre, presente no solo, utilizado na produção de aço e ligas metálicas, faz parte da composição de diversos minerais, sendo facilmente oxidado. De forma que além do resíduo aterrado, o próprio solo utilizado para cobertura também é fonte de ferro.

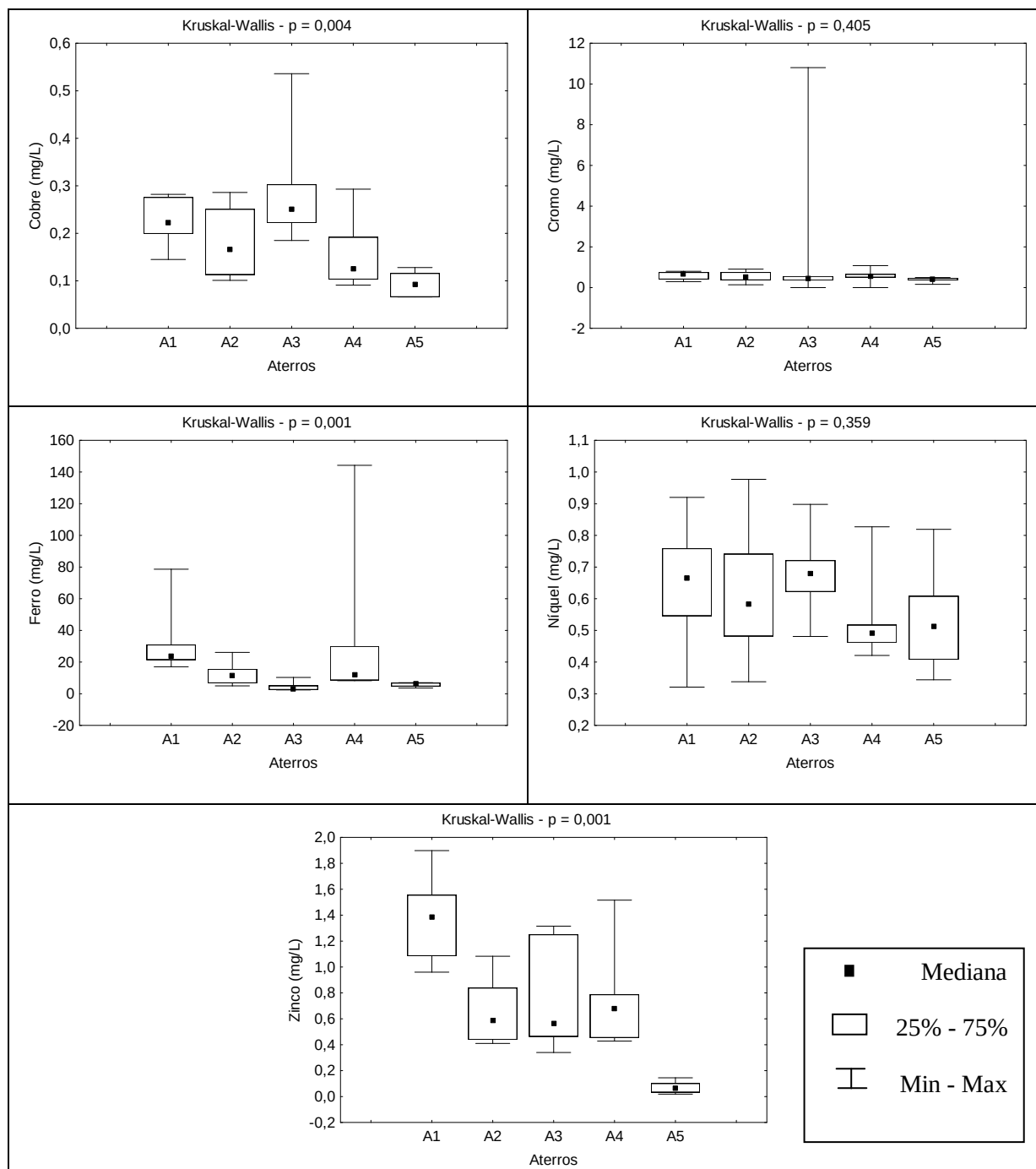


FIGURA 35- Comparação entre as concentrações de metais presentes no lixiviado dos cinco aterros

TABELA 25- Resultados de Kruskal-Wallis e comparações múltiplas para os metais analisados entre o lixiviado dos cinco aterros

Parâmetros	Kruskal wallis
Cádmio	Valores a baixo do limite de detecção
Chumbo	Valores a baixo do limite de detecção
Cobre	A5 é significativamente menor que A1 e A3
Cromo	Não apresentou diferença significativa
Ferro	A1 é significativamente maior que A3 e A5
Níquel	Não apresentou diferença significativa
Zinco	A5 é significativamente menor que A1

O total de compostos orgânicos identificados no lixiviado dos aterros somam 169, sendo que destes, apenas 8 foram identificados nos cinco aterros. As ocorrências eram concomitantes na maioria das vezes em dois, três, ou até quatro aterros. Alguns compostos foram identificados no lixiviado de apenas um aterro, sendo que os aterros A1 e A2 tiveram 23% dos seus compostos identificados nessa situação, enquanto que o aterro A3 teve 53%, o aterro A4 teve 33% e o aterro A5 teve 25%. Esses dados mostram a diversidade entre o lixiviado dos diferentes aterros, com maiores diferenciação dos compostos identificados no lixiviado do aterro A3, seguido do A4.

A figura a baixo demonstra como a distribuição dos compostos orgânicos em classes foi semelhante entre os cinco aterros, tendo pequenas discrepâncias tais como o A4 que apresentou menos compostos ácidos, o A5 que apresentou mais compostos cetônicos e o A1 mais éter.

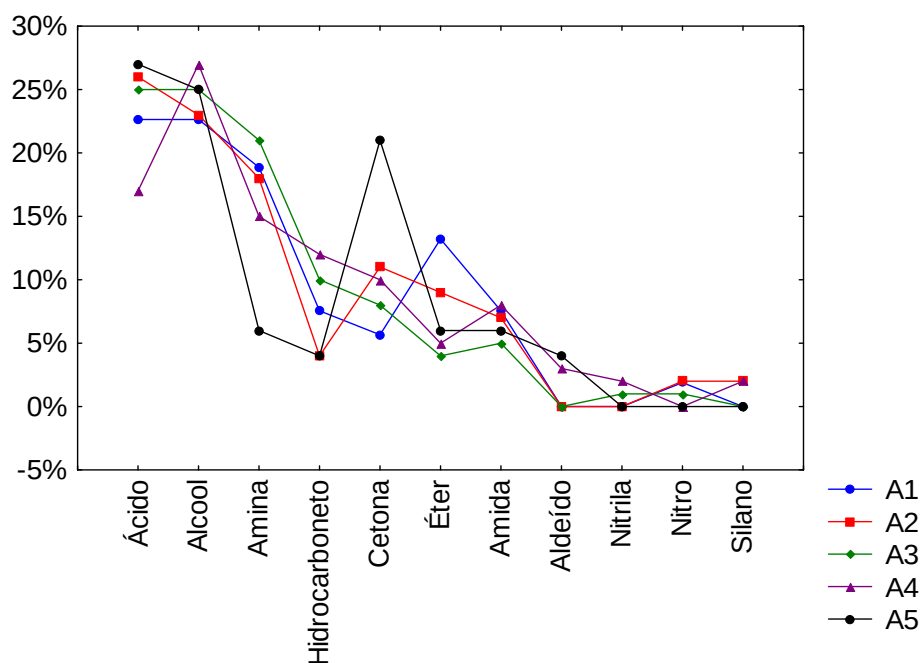


FIGURA 36- Percentuais de cada classe de compostos orgânicos identificados no lixiviado dos cinco aterros, obtidos pela razão da soma do número de compostos de cada classe pela soma do número total de compostos

Na figura 37, os compostos identificados no lixiviado dos cinco aterros foram separados em novos grupos, que segundo a literatura podem ser responsáveis pela elevação da toxicidade. O aterro A1 foi o que apresentou maior toxicidade e também apresentou picos elevados para todos os grupos, quando comparado aos demais aterros, principalmente para os grupos fenólicos e cíclicos, enquanto que o aterro A3, que apresentou menor toxicidade, apresentou os menores picos entre os aterros, para os compostos fenólicos e cíclicos, o que sugere a

maior influência dos compostos fenólicos e cíclicos sobre a toxicidade nos organismos testados, associado aos demais fatores.

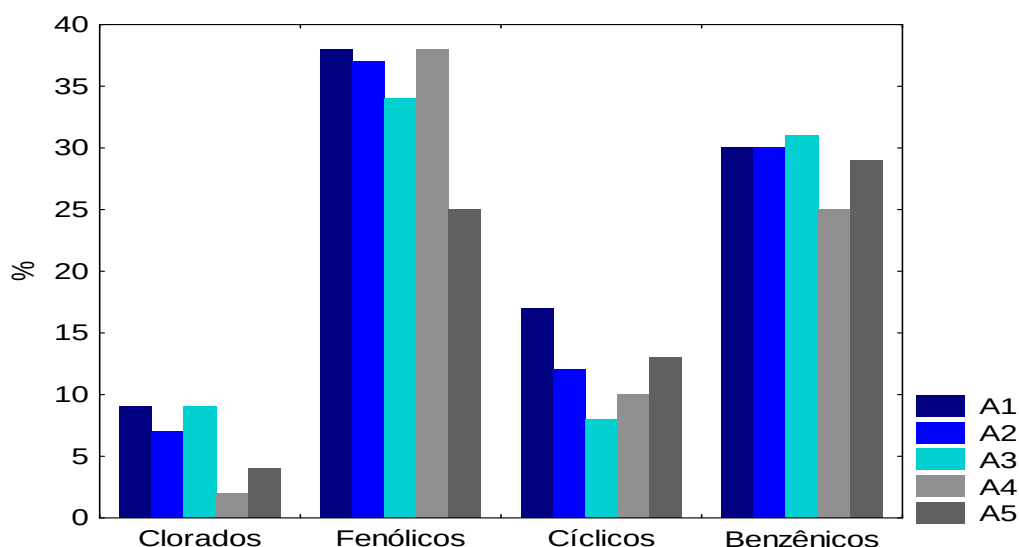


FIGURA 37- Percentuais de grupos de composto orgânico identificado no lixiviado dos cinco aterros, obtidos pela razão da soma do número de compostos de cada grupo pela soma do número total de compostos

É possível observar a relação do volume de resíduo aterrado por dia, com a vazão, pois o A1 é o aterro que recebe o menor volume entre os aterros em operação desse trabalho, sendo também o que apresenta a menor vazão de lixiviado, juntamente com o A3, que recebe pouco orgânico, gera menos lixiviado, sendo esse o que tem a vazão do lixiviado menos influenciada pelo volume de resíduos aterrados. O aterro A4 é o que apresenta maior vazão e recebe o maior volume de resíduos, seguido do A2 e A5 que apresentam vazões intermediárias, o A5 ainda apresenta vazão considerável, mesmo já estando finalizado, devido a grande quantidade de resíduo aterrado e ainda em decomposição, no entanto as variações de vazão para este são influenciadas diretamente pela pluviosidade, uma vez que não há mais variação no volume aterrado. Esses valores estão representados na figura 38, com exceção do volume aterrado no aterro A5, pois este não é apresentado por dia e sim o total aterrado nos 32 anos de operação (26 milhões de toneladas).

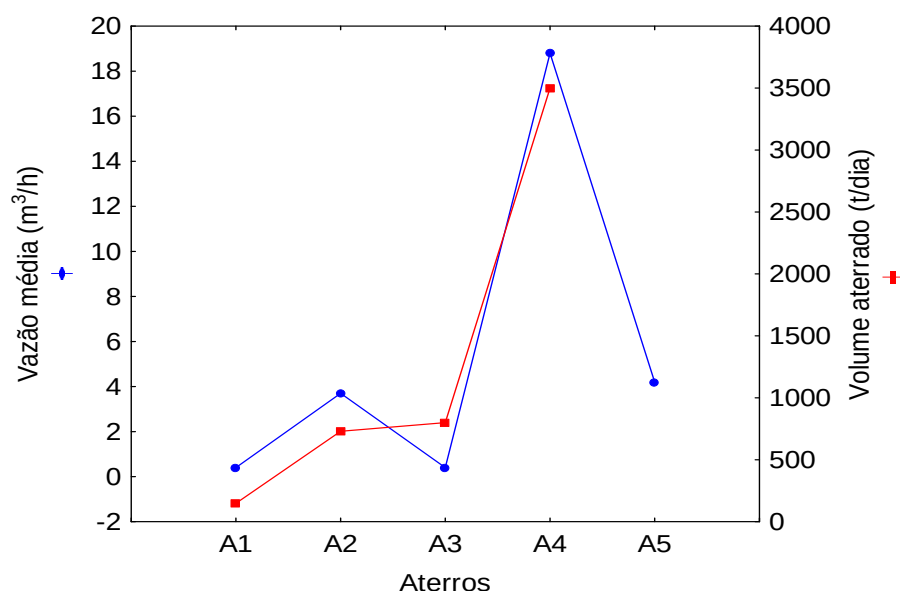


FIGURA 38- Comparação entre vazão média dos lixiviados e o volume de resíduo aterrado para os cinco aterros

5.7 Análise de comparação entre o lixiviado dos aterros A4 e A5

A comparação entre o lixiviado desses dois aterros visa conhecer as possíveis diferenças em lixiviados de aterros de idades diferentes, uma vez que ambos são aterro sanitários, porém o A4 possui 5 anos de operação e o A5 está no terceiro ano de finalização após 32 anos de operação.

A análise comparativa entre os aterros (TAB. 26) evidenciou que as diferenças são significativas para quase a totalidade dos parâmetros avaliados, com exceção dos ânions, CE_{50} e dos coliformes. Acredita-se que a diferença de idade entre os aterros e por conseguinte o grau de estabilidade do lixiviado, pode ter conduzido a esses resultados, uma vez que a característica dos resíduos aterrados são bem próximas. Devido à finalização do aterramento, foi reduzida a taxa de matéria orgânica, o que levou a valores mais baixos de COT, DQO, N-amoniacoal, NT, Sólidos e alcalinidade.

Quanto aos resultados microbiológicos, os coliformes totais e termotolerantes não apresentaram diferença significativa, pois também foram baixas no aterro A4, mesmo em operação, mas provavelmente isso ocorreu por que as características desse aterro são desfavoráveis para a manutenção e crescimento dos coliformes, o que não ocorreu com os estreptococos que são mais resistentes ao calor, às condições alcalinas e altas concentrações de sais. Por isso apenas os estreptococos apresentaram diferenças significativamente maior em A4, que em A5.

Para os grupos de compostos orgânicos apresentados na figura 37, o aterro A4 apresentou porcentagens superiores ao A5 apenas para os compostos fenólicos.

Já na comparação entre os metais, o aterro A4 apresentou maior concentração para todos eles, sendo essa diferença significativa apenas para o ferro e o zinco que tiveram o valor de $p = 0,004$ na análise de Mann-Whitney.

A análise estatística evidenciou que a toxicidade crônica é significativamente maior no lixiviado do aterro A4 (VC menor), provavelmente devido as diversas variáveis vistas anteriormente que são maiores no lixiviado do aterro A4, tais como condutividade, N-amoniacal, pH, COT, compostos fenólicos e metais. Já a toxicidade aguda não apresentou diferença significativa entre os lixiviados, mas é possível perceber através da análise descritiva que o lixiviado do aterro A5 apresentou maior toxicidade aguda, podendo ser justificada pela maior concentração de compostos recalcitrantes, pois nem as variáveis que reduziram a toxicidade crônica foram capazes de reduzir a toxicidade aguda, para esse aterro.

TABELA 26- Resultados dos testes de comparação entre o lixiviado dos dois aterros sanitário

Variáveis	Valores de p	
	Kruskal-Wallis	Teste U de Mann-Whitney
Temperatura	A4 significativamente maior que A5	0,001
Condutividade	A4 significativamente maior que A5	0,001
pH	A4 significativamente menor que A5	0,018
COT	A4 significativamente maior que A5	0,024
DQO	A4 significativamente maior que A5	0,002
Alcalinidade	A4 significativamente maior que A5	0,000
NT	A4 significativamente maior que A5	0,015
N-amoniacal	A4 significativamente maior que A5	0,030
ST	A4 significativamente maior que A5	0,000
SF	A4 significativamente maior que A5	0,000
SV	A4 significativamente maior que A5	0,003
Cloreto	Não apresentou diferença significativa	0,174
Fluoreto	Não apresentou diferença significativa	0,096
Nitrito	Não apresentou diferença significativa	0,317
Sulfato	Não apresentou diferença significativa	0,507
Fosfato	Não apresentou diferença significativa	0,524
Nitrato	Não apresentou diferença significativa	0,254
Brometo	Não apresentou diferença significativa	0,902
CE ₅₀	Não apresentou diferença significativa	0,166
VC	A4 significativamente menor que A5	0,013
Coliforme total	Não apresentou diferença significativa	0,430
Coliforme termotolerante	Não apresentou diferença significativa	0,426
Estreptococos fecais	A4 significativamente maior que A5	0,000

Nível de significância $\alpha \leq 0,05$

5.8 Análise de comparação entre o lixiviado dos aterros A3 e A4

A comparação entre o lixiviado do aterro A3 e A4 visa conhecer as possíveis diferenças entre aterros industriais e sanitários e foram escolhidos por possuir idades aproximadas, sendo 6 e 5 anos respectivamente, tendo o tipo de resíduo como principal diferencial.

A análise comparativa entre os aterros evidenciou que as diferenças são significativas para maioria dos parâmetros avaliados, com exceção dos sólidos voláteis, fluoreto, nitrito, fosfato, brometo, coliformes termotolerantes e estreptococos fecais. Esse resultado era esperado devido à diferença no tipo de resíduo aterrado (TAB. 27).

A reduzida taxa de matéria orgânica no aterro A3 leva a valores reduzidos de COT, DQO, N-amoniacal, NT, e alcalinidade, assim como a presença de matéria orgânica estabilizada leva a maiores valores de nitrato. Os valores das análises de ecotoxicologia, como já mencionados, foram maiores no lixiviado do aterro A3, o que indicou menor toxicidade.

Os resultados microbiológicos apesar de não terem apresentado diferença significativa para coliformes termotolerantes, foram maiores no A3, enquanto que os estreptococos foram em maior quantidade no A4, lembrando que o coeficiente de variação foi elevado para os coliformes termotolerantes, podendo estar mais uma vez relacionado as limitações de crescimento para o grupo.

Os grupos de compostos orgânicos foram variáveis entre os dois aterros, tendo o A3 apresentado mais compostos clorados e benzênicos, enquanto que o A4 apresentou mais fenólicos e cíclicos, sendo estes justificativas para maiores toxicidades.

Apenas o ferro e o cobre apresentaram diferenças significativas pela análise de Mann-Whitney, sendo o A3 significativamente maior para cromo ($p = 0,04$) e o A4 significativamente maior para o ferro ($p = 0,02$).

Entre o lixiviado desses aterros, a maior toxicidade do aterro A4 parece estar ligada aos maiores valores de COT, N-amoniacal, NT, alcalinidade e a mais compostos fenólicos e cíclicos.

TABELA 27- Resultados dos testes de comparação entre o lixiviado dos dois aterros sanitário

Variáveis	Valores de p	
	Kruskal-Wallis	Teste U de Mann-Whitney
Temperatura	A3 significativamente menor que A4	0,001
Condutividade	A3 significativamente maior que A4	0,001
pH	A3 significativamente maior que A4	0,001
COT	A3 significativamente menor que A4	0,003
DQO	A3 significativamente menor que A4	0,008
Alcalinidade	A3 significativamente menor que A4	0,001
NT	A3 significativamente menor que A4	0,001
N-amoniaco	A3 significativamente menor que A4	0,001
ST	A3 significativamente maior que A4	0,001
SF	A3 significativamente maior que A4	0,001
SV	Não apresentou diferença significativa	0,187
Cloreto	A3 significativamente maior que A4	0,001
Fluoreto	Não apresentou diferença significativa	1,000
Nitrito	Não apresentou diferença significativa	0,507
Sulfato	A3 significativamente maior que A4	0,002
Fosfato	Não apresentou diferença significativa	0,843
Nitrato	A3 significativamente maior que A4	0,012
Brometo	Não apresentou diferença significativa	0,120
CE ₅₀	A3 significativamente maior que A4	0,001
VC	A3 significativamente maior que A4	0,005
Coliforme total	A3 significativamente maior que A4	0,004
Coliforme termotolerante	Não apresentou diferença significativa	0,325
Estreptococos fecais	Não apresentou diferença significativa	0,104

Nível de significância $\alpha \leq 0,05$

5.9 Análise de comparação entre os grupos microbiológicos

Neste tópico apresentaremos resultados dos testes de Kruskal-Wallis e Mann-Whitney para comparação entre o grupo de coliformes termotolerantes e estreptococos fecais para o lixiviado de cada um dos aterros (TAB. 28). Sendo que o lixiviado dos aterros avaliados apresentaram elevada contaminação para os três grupos de microrganismos testados.

O coeficiente de variação e Box-Whisker (FIG. 39), demonstraram uma variação elevada para os valores de coliformes termotolerantes, contra uma homogeneidade para os valores de estreptococos fecais. Isso provavelmente pelo fato do grupo dos estreptococos fecais apresentarem organismos mais resistentes ao calor, às condições alcalinas e altas concentrações de sais, o que os propicia uma maior resistência que os coliformes, às condições do lixiviado e por isso atingiram valores mais elevados e quase sempre o limite máximo de detecção.

As análises de comparação mostraram para o lixiviado do aterro A1, A2 e A4 que os valores de Estreptococos fecais são significativamente maiores que os de Coliformes fecais, enquanto que o A3 e A5 mesmo não tendo apresentado diferença significativa, apresentavam também maiores valores para estreptococos. Esse resultado pode sugerir a utilização desse grupo, de forma mais eficiente, para a indicação de contaminação fecal, para esse tipo de ambiente.

TABELA 28- Resultados dos testes de comparação entre os dois grupos de organismos, para o lixiviado dos aterros avaliados

Variáveis	Valores de p	
	Kruskal-Wallis	Teste U de Mann-Whitney
A1	EF significativamente maior que CT	0,001
A2	EF significativamente maior que CT	0,002
A3	Não apresentou diferença significativa	0,158
A4	EF significativamente maior que CT	0,001
A5	Não apresentou diferença significativa	0,650

EF = *Estreptococos fecais* CT = *Coliformes termotolerantes*

Nível de significância $\alpha \leq 0,05$

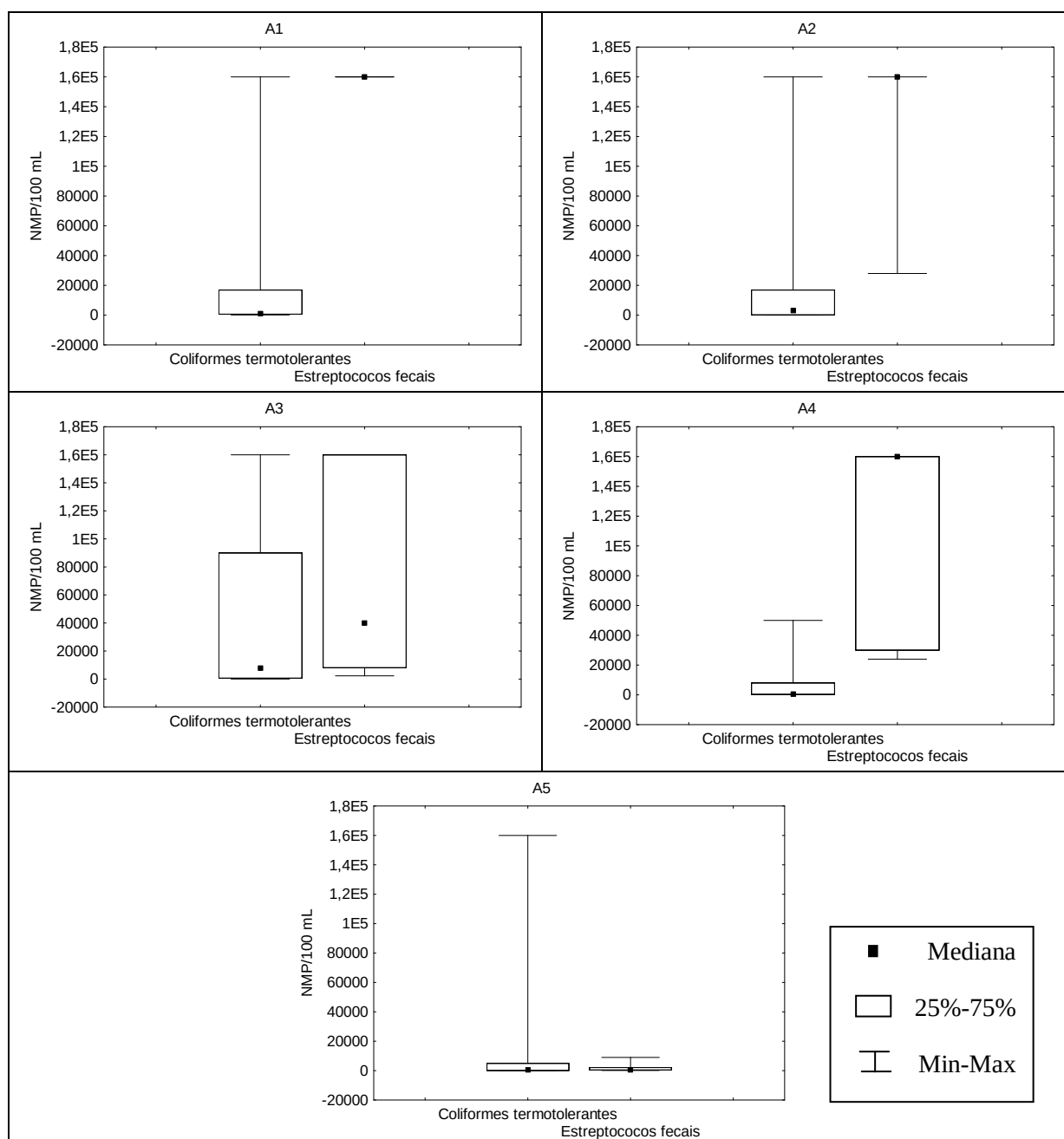


FIGURA 39- Box-Whisker para os grupos de microrganismos em cada um dos cinco aterros

6 CONCLUSÃO

Os valores médios encontrados para todos os parâmetros monitorados no lixiviado dos cinco aterros estão dentro da faixa apresentada por Souto e Povinelli (2007), com exceção do nitrato que na maioria dos aterros estava acima da faixa máxima apresentada por eles. Isso era de se esperar por apresentarem uma faixa ampla de resultados. Porém deve-se lembrar que nem todos os parâmetros apresentados por eles são equivalentes aos monitorados nesse estudo e ainda não apresentaram valores de análises ecotoxicológicas e microbiológicas. Para os padrões de lançamento do CONAMA e COPAM, muitas análises não foram passíveis de comparação, mas o cromo total encontrado no lixiviado dos aterros A1, A2 e A4 estão acima do permitido, assim como o N-amoniaco, sulfato e DQO, além da presença de toxicidade aguda e crônica elevada em todos os aterros. Já a norma técnica da COPASA é menos restritiva, não apresentando parâmetros biológicos e os parâmetros passíveis de comparação atenderam a norma. Quanto a coliformes, os valores médios apresentados por Cussiol (2005) foram inferiores aos encontrados nesse estudo. Cussiol não apresentou valores para *Streptococcus* fecais. A faixa de toxicidade máxima e mínima citados na tabela 4, para *D. similis*, não compreendeu todos os valores encontrados, apesar de aproximar-se. Não foram encontrados valores para teste crônico com *C. dubia*. Os compostos orgânicos identificados nesse estudo também apresentam elevada divergência dos compostos da tabela 8.

É importante lembrar que foram feitas associações ao enquadramento de lançamento CONAMA e COPAM, para simples discussão, pois o objetivo desse trabalho não foi avaliar enquadramentos e/ou lançamentos, por isso foram estudados lixiviados sem tratamento.

Os lixiviados de aterros são efluentes que apresentam variação dentro do próprio aterro para alguns parâmetros, tais como COT e coliformes. Ao comparar os cinco aterros as diferenças ficaram ainda maiores, tendo sido potencializadas para o aterro industrial (A3) e o aterro finalizado (A5), os quais foram apresentados com a menor similaridade do grupo. Ambos apresentaram baixos valores de NT, COT, DQO, N-amoniaco e alcalinidade, que apresentam correlação negativa com VC e CE_{50} , acarretando uma menor toxicidade. O A3 apresentou ainda a maior contaminação microbiológica por coliformes, o que não era esperado para esse tipo de aterro. Os compostos orgânicos, também demonstram a variação entre o lixiviado dos aterros, pois dos 169 compostos identificados, apenas 8 foram encontrados nos cinco aterros, enquanto que o aterro industrial lidera com 53% dos compostos identificados apenas no seu lixiviado.

Os valores de pluviosidade e vazão foram apresentados para fins de projeto, sem maiores extrapolacões em nível de carga, porém foi possível observar pelos gráficos que a vazão é influenciada pela pluviosidade em todos os aterros, devido à infiltração de água pluvial na massa de resíduos, apenas o aterro A3 é afetado em menor proporção, mantendo uma vazão baixa, isso provavelmente devido ao sistema de drenagem pluvial e cobertura utilizada. Também foi possível observar a influência do volume de resíduo aterrado à vazão, sendo que o aterro A5, como já desativado, não apresenta variações de vazão relacionadas ao volume de resíduo aterrado, tendo suas variações de vazão relacionadas diretamente à pluviosidade.

Nas análises de comparação entre seca e chuva observou-se que a temperatura, pluviosidade, fluoreto, sulfato, VC, CE₅₀ e DQO foram significativamente maiores no período de chuva, enquanto que a condutividade, pH, COT, NT, N-amoniaco, ST, SF e alcalinidade foram significativamente menores no mesmo período. Esses resultados mostraram o efeito diluidor da chuva, reduzindo a concentração de alguns parâmetros físico-químicos e, por conseguinte a ecotoxicidade. Praticamente não foram observadas variações no aterro A3, o que reafirma a melhor eficiência no controle da entrada de água na massa de resíduos. Essa análise foi realizada com o intuito de encontrar tendências de variação entre seca e chuva, mesmo tendo sido um período amostral curto para esse tipo de mensuração, além desse ano amostral ter sido predominado pela seca.

As correlações negativas são predominadas pelos resultados das análises de ecotoxicidade, pois a interpretação desses resultados também é inversa, de forma que maiores valores de CE₅₀ e VC representam menor efeito tóxico. A condutividade, pH, N-amoniaco, alcalinidade e COT se relacionam negativamente ao CE₅₀ e VC, o que quer dizer que esses parâmetros estão relacionados ao aumento da toxicidade. Os coliformes totais também apresentam correlação negativa com o pH, NT e N-amoniaco, fatores que também podem ser inibitórios para o crescimento dos organismos pertencentes ao grupo.

A amônia, alcalinidade e condutividade são fatores importantes que contribuem para a toxicidade do lixiviado, como evidenciam alguns resultados encontrados na literatura e confirmados nesse trabalho.

As análises de comparação entre o lixiviado de aterros jovens e velhos, A4 e A5, respectivamente, mostraram que devido à finalização do aterramento, foi reduzida a taxa de matéria orgânica, o que levou a valores mais baixos de COT, DQO, N-amoniaco, NT, sólidos, alcalinidade e, por conseguinte menor contaminação microbiana. Para os grupos de

compostos orgânicos, o aterro A4 apresentou porcentagens superiores ao A5 apenas para os compostos fenólicos. Já na comparação entre os metais, o aterro A4 apresentou maior concentração para todos eles. A toxicidade crônica é significativamente maior no lixiviado do aterro A4 enquanto que a toxicidade aguda apesar de não ser significativa, é maior no A5, provavelmente devido à maior concentração de compostos recalcitrantes. A maior toxicidade do aterro A4 é provavelmente devido aos maiores valores de N-amoniaco, NT, alcalinidade, compostos fenólicos e metais.

A comparação entre o lixiviado de aterros industriais e sanitários, A3 e A4 respectivamente, apresentou para o aterro A3, devido à reduzida taxa de matéria orgânica, valores reduzidos de COT, DQO, N-amoniaco, NT e alcalinidade. Os resultados microbiológicos não apresentaram diferença significativa para coliformes termotolerantes, enquanto que os estreptococos foram significativamente maiores no aterro A4. Para os grupos de compostos orgânicos o aterro A3 apresentou maiores porcentagens de clorados e benzênicos, enquanto que o A4 apresentou mais fenólicos e cíclicos. O aterro A3 apresentou concentração de cromo significativamente maior que o A4, que apresentou concentração de ferro significativamente maior que o A3. O aterro A4 apresentou maior toxicidade, o que pode ser relacionado à maiores valores de N-amoniaco, NT, alcalinidade, grupos fenólicos e cíclicos.

Os valores de *Streptococcus* fecais foram significativamente maiores que o de coliformes termotolerantes, colaborando com outros estudos que sugerem o primeiro grupo como um melhor indicador de contaminação fecal, para esse tipo de resíduo, pois apresenta organismos mais resistentes ao calor, às condições alcalinas e altas concentrações de sais.

A identificação de compostos orgânicos é uma boa ferramenta que permite se conhecer melhor a complexidade do efluente, porém é preciso muito mais estudo para poder fazer afirmações a respeito dos compostos identificados e dos efeitos que podem causar. O próprio método de análise pode gerar interferências, como no caso da extração líquido-líquido, que possibilita a geração de subprodutos devido a reações com o solvente. Ainda a identificação é feita à base de probabilidade, onde cada pesquisador pode utilizar uma margem de corte diferente, existindo sempre uma probabilidade de que o composto não seja corretamente identificado.

Em lixiviados de aterros é comum encontrar compostos que são produtos de biodegradação e produtos de origem sintética, liberados por embalagens, detergentes, solventes, fertilizantes, pesticidas, inseticidas, corantes, hormônios, fármacos, entre outros. Muitos desses compostos

são tidos como tóxicos para microorganismos e danosos ao homem, tais como os compostos cíclicos, fenólicos, ftalatos, benzênicos, tolueno, xileno, organoclorados e compostos recalcitrantes. Nesse estudo foi possível mais uma simples percepção, pois nos meses de maior pluviosidade foram detectados poucos compostos e também foi o mês de menor toxicidade (Apêndice G). Para associar a ecotoxicidade a presença de compostos teriam que ser feitos testes de identificação da ecotoxicidade para cada composto, porém diante dos dados da literatura e da simples comparação entre os aterros é possível identificar a tendência dessa causa.

A ecotoxicidade avaliada neste estudo e com os organismos em questão, parece ser influenciada por vários fatores, sendo eles os parâmetros relacionados à matéria orgânica, metais pesados e pelos compostos orgânicos cíclicos e fenólicos. Os compostos recalcitrantes parecem afetar mais a toxicidade aguda do que a crônica, como pode ser visto no lixiviado do aterro A5. Os fármacos aparentemente possuem menos influencia que os demais compostos, uma vez que o lixiviado do aterro A3 foi o que apresentou maior variedade desses compostos e o que apresentou menor toxicidade, apesar de também ser elevada. O lixiviado do aterro A1 foi o que apresentou menor condutividade, NT, N-amoniaco, e alcalinidade, maior concentração de metais e mais compostos cíclicos e fenólicos, sendo essas as características que parecem justificar a maior toxicidade apresentada nesse aterro.

7 RECOMENDAÇÕES

É importante que as análises ecotoxicológicas sejam mais amplamente utilizadas em monitoramentos de efluentes como esse, servindo não só para conhecer o seu risco, como também para planejar o seu lançamento e tratamento. Assim como a elaboração de trabalhos que identifiquem os compostos responsáveis pela ecotoxicidade.

A identificação de compostos não voláteis também pode ser bastante reveladora, podendo surgir novas associações à toxicidade e aos parâmetros físico-químicos.

Também é importante que sejam realizados trabalhos com um maior número amostral, permitindo análises mais seguras sobre períodos de seca e chuva, além de análises estatísticas mais robustas.

Ainda é recomendado que as análises microbiológicas para esse efluente sejam feitas com mais diluições, permitindo um maior limite de detecção, de forma a se conhecer o nível máximo de contaminação microbiana.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRELPE – Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil**, 2009.

AMARAL, M. C. S. **Caracterização de Lixiviados Empregando Parâmetros Coletivos e Identificação de Compostos**. Dissertação de Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos. Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais (EE/UFGM), Belo Horizonte, 2007.

AMARAL, Míriam Cristina Santos; FERREIRA, Cynthia Fantoni Alves; LANGE, Liséte Celina; AQUINO, Sérgio Francisco de; GONÇALVES, Fabrícia Moreira. **Avaliação da DQO solúvel inerte a processos aeróbio e anaeróbio presente em lixiviados de aterro sanitário**. 24º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Belo Horizonte, 2007.

AMARAL, Míriam Cristina Santos; FERREIRA, Cynthia Fantoni Alves; LANGE, Liséte Celina; AQUINO, Sérgio Francisco de. **Avaliação da Biodegradabilidade anaeróbia de lixiviados de aterro sanitários**. Revista de Engenharia Sanitária e Ambiental. v. 13, nº 1; 2008.

APHA. AWWA. WEF. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 21.ed. Washington, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR13373. **Ecotoxicologia aquática - Toxicidade crônica – Método de ensaio com *Ceriodaphnia* spp (Crustácea, Cladocera)**. 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR12713. **Ecotoxicologia aquática - Toxicidade aguda – Método de ensaio com *Daphnia* spp (Crustácea, Cladocera)**. 2006.

BHARGAV, Devyani; SINGH, Mahendra Pratap; MURTHY, Ramesh Chandra; MATHUR, Divya Misra; SAXENA, Daya Krishna; CHOWDHURI, Debapratim Kar. **Toxic potential of municipal solid waste leachates in transgenic *Drosophila melanogaster* (hsp70-lacZ): hsp70 as a marker of cellular damage**. Ecotoxicology and Environmental Safety 69. 233-245; 2008.

BRENTANO, Débora Monteiro. **Desenvolvimento e aplicação do teste de toxicidade crônica com *Daphnia magna*: avaliação de efluentes tratados de um aterro sanitário**. Dissertação de mestrado, UFSC. Florianópolis-SC. 2006.

BURTON, Gwendolyn R.W; ENGELKIRK, Paul G. **Microbiologia: para as ciências da saúde**. Traduzido por Eiler Fritsch Toros. Rio de Janeiro: 7 ed. Guanabara Koogan, 2005.

CARNIATO, Juliana Graciani; MICHELI, Geraldo Simoni; PELEGRINI, Núbia Natália de Brito; PATERNIANI, José Euclides Stipp; PELEGRINI, Ronaldo Texeira. **Avaliação da toxicidade de percolado de resíduos sólidos pós-tratamento Biológico e Fotocatalítico**. Engenharia Ambiental. Espírito Santo do Pinhal, v. 4, n. 2, p. 092-101; 2007.

CARVALHO, André Luciano de; MATOS, Antonio Teixeira de; HAMAKAWA, Paulo José; AZEVEDO, Roberto Francisco de. **Produção de percolato por resíduos sólidos urbanos de diferentes idades, na presença de resíduos da construção civil e sob recirculação.** Engenharia na Agricultura, Viçosa, MG, v.14, n.2, 131-131 138; 2006.

CETESB – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. Normalização técnica L5.202: **Determinação do número mais provável de Coliformes totais e fecais pela técnica dos tubos múltiplos.** São Paulo, 1997.

CETESB – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. Normalização técnica L5.205: **Determinação do número mais provável de Streptococos fecais pela técnica dos tubos múltiplos.** São Paulo, 1997.

CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. **Métodos de avaliação da toxicidade de poluentes a organismos aquáticos.** São Paulo, 1995.

CEMIG - Companhia Energética de Minas Gerais. **Sistema Cemig de monitoramento e controle de qualidade da água de reservatórios – siságua – manual de procedimentos de coleta e metodologia de análise de água.** Belo Horizonte: Cemig, 85p. ilst.; 2009.

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução Nº 357**, de 17 de março de 2005.

COPAM – Conselho Estadual de Política Ambiental. **Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG Nº 1**, de 05 de maio de 2008.

COPASA – Companhia de saneamento de Minas Gerais. Norma técnica T. 187/0: **Lançamento de Efluentes líquidos de indústria na rede pública coletora de esgotos.**

CUSSIOL, Noil Amorim de Menezes. **Disposição final de resíduos potencialmente infectantes de serviços de saúde em célula especial e por co-disposição com resíduos sólidos urbanos.** Tese de doutorado - Universidade Federal de Minas Gerais, 2005.

EDUARDO, Janaina. **Avaliação das características microbiológicas e físico-químicas do lixiviado (chorume) no processo de tratamento do Aterro Metropolitano de Gramacho (RJ-Brasil).** Dissertação de mestrado – Universidade do Estado do Rio de Janeiro/UERJ. 2007.

EL-FADEL, Mutasem; FINDIKAKIS, Ângelo N.; LECKIE, James O. **Environmental Impacts of Solid Waste Landfilling** Department of Civil Engineering, Stanford University, Stanford, Califórnia, E.U.A. Journal of Environmental Management, 1997.

FILHO, Irajá do Nascimento; MÜHLER, Carin von; CARAMÃO, Elina Bastos. **Estudo de compostos orgânicos em lixiviado de aterros sanitários por EFS e CG/EM.** Quim. Nova, Vol. 24, Nº 4, 554-556, 2001.

FLOHR, Letícia; BRENTANO, Débora Monteiro; PINTO, Cátia Regina Silva de Carvalho; MACHADO, Vanessa Guimarães; MATIAS, William Gerson. **Classificação de resíduos sólidos industriais com base em testes ecotoxicológicos utilizando *Daphnia magna*: uma alternativa.** Biotemas. Florianópolis, Santa Catarina; 2005.

IBAM – Instituto Brasileiro de Administração Municipal. **Manual de gerenciamento integrado de resíduos sólidos**. Rio de Janeiro, 2001.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Pesquisa nacional de saneamento básico 2000**. Rio de Janeiro, 2002.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Pesquisa nacional de saneamento básico 2008**. Rio de Janeiro, 2010.

KOSHY, Lata; PARIS, Emma; LING, Sarah; JONES, Tim; BÉRUBÉ, Kelly. **Bioreactivity of leachate from municipal solid waste landfills — assessment of toxicity**. Science of the Total Environment 384; 171–181. 2007.

LANGE, Liséte Celina; ALVES, Juliana Felisberto; AMARAL, Miriam Cristina Santos; JÚNIOR, Wilson Rodrigues De Melo. **Tratamento de lixiviado de aterro sanitário por processo oxidativo avançado empregando reagente de fenton**. Revista Sanitária e Ambiental. v.11 - nº 2; 2006.

LEI Nº 12.305. **Dispõe sobre a Política Nacional de Resíduos Sólidos**. De 2 de agosto de 2010.

LEI Nº 18.031. **Dispõe sobre a Política Estadual de Resíduos Sólidos**. De 12 de janeiro de 2009.

MACHADO, Célia de Fátima. **Avaliação da presença de microrganismos indicadores de contaminação e patogênicos em líquidos lixiviados do aterro sanitário de Belo Horizonte**. Dissertação de mestrado, UFMG; 2004.

MORAVIA, Wagner Guadagnin. **Estudos de caracterização, tratabilidade e condicionamento de lixiviados visando tratamento por lagoas**. Dissertação de mestrado. Programa de Pós-graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte. 2007.

MOREIRA, Fernando Augusto ; LANGE, L. C. ; FLORA, Renato Silva . **Avaliação da eficiência da remoção de amônia em lixiviados de aterro sanitário através da precipitação como pré e pós tratamento na digestão aeróbia e anaeróbia**. Anais do 24 congresso brasileiro de engenharia sanitaria e ambiental-ABES. Rio de Janeiro, v.1. p.1-10; 2007.

NASCIMENTO, Dirceu do; FURLANETTO, Sirdeia M. P. **Determinação quantitativa de grupos de bactérias em sucos de laranja ao natural**. Revista Saúde Pública v.15 nº.2 São Paulo, 1981.

OMAN, Cecília, B.; JUNESTEDT, Christian. **Chemical characterization of landfill leachates – 400 parameters and compounds**. Waste Management 28; 1876-1891; 2008.

PEDROSO, Marta Alexandra Ribeiro. **Análise do desempenho ambiental de 5 aterros de resíduos não perigosos abrangidos pelo regime PCIP**. Dissertação de Mestrado em Engenharia do Ambiente, Universidade Técnica de Lisboa. Portugal, 2007.

PELCZAR, Michael Joseph; NOEL , R. Krieg. **Microbiologia; conceitos e aplicações**, volume 2, 2. ed. Tradução Sueli Fumie Yamada, Tania Ueda Nakamura, Tereza Cristina R.

- M. Oliveira, Benedito Prado Dias Filho, Lourdes Botelho Garcia; revisão técnica Celso Vataru Nakamura. São Paulo: Education do Brasil, 1997.
- PELEGRINI, Núbia Natália de Brito; PELEGRINI, Ronaldo Teixeira; PATERNIANI, José Euclides Stipp. **Caracterização física, química e biológica do percolado do aterro sanitário da cidade de Limeira-SP.** Engenharia Ambiental - Espírito Santo do Pinhal, v. 4, n. 1, p. 054-066, jan/jun 2007.
- RAND, Gary M. **Fundamentals of Aquatic Toxicology: Effects, Environmental Fate, and Risk Assessment.** 2ª ed. North Palm Beach, Florida: CRC PRESS, 1125p; 1995.
- RODRIGUES, Flávia Simões Ferreira. **Aplicação da ozonização e do reativo de Fenton como pré-tratamento de chorume com os objetivos de redução da toxicidade e do impacto no processo biológico.** Tese de mestrado – Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE; 2004.
- RODRIGUES, Néborá Liz Vendramin Brasil; PAWLOWSKY, Urivald. **Testes de toxicidade aguda através de bioensaios no extrato solubilizado dos resíduos classe IIa – não inertes e classe IIb – inertes.** Eng. sanit. ambient. v.12 - nº 1, 2007.
- SEGATO, Luciana Maturana; SILVA, Celso Luiz da. **III-039 – Caracterização do chorume do Aterro sanitário de Bauru.** XXVII Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental; Porto Alegre. 2000.
- SILVA, Alessandra Cristina. **Tratamento do Percolado de Aterro Sanitário e Avaliação da Toxicidade.** Tese de Mestrado – UFRJ; Rio de Janeiro, 2002.
- SOUTO, G.D.B. ; POVINELLI, Jurandyr . **Características do lixiviado de aterros sanitários no Brasil.** In: 24º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Belo Horizonte; 2007.
- SISINNO, C. L. S.; FILHO, E. C. Oliveira; DUFROYER, M. C.; MOREIRA, J. C.; PAUMGARTTEN, F. J. R. **Toxicity Evaluation of a Municipal Dump Leachate Using Zebrafish Acute Tests.** Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology. 64: 107-113; 2000.
- STRELAU, João Renato de Mendonça. **Estudo comparativo de métodos de extração para determinação de compostos orgânicos em lixiviados de aterros sanitários por cromatografia gasosa acoplada a espectrometria de massa (GC/MS).** Dissertação de mestrado – Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2006.
- SVENSSON, B. M.; MATHIASSEN, L.; MARTENSSON, L.; BERGSTRÖM, S. **Artemia salina as test organism for assessment of acute toxicity of leachate water from landfills.** Environmental Monitoring and Assessment. 102: 309-321; 2005.
- TORTORA, Gerard J.; FUNKE, Berdell R.; CASE, Christine L. **Microbiologia.** Traduzido por Roberta Marchiori Martins. 8. ed. Porto Alegre: Artmed, 2005 (reimpressão 2008).
- VERBEL, Jesús Olivero; BOTTET, Carlos Padilla; ROSA, Orlando De La. **Relationships between physicochemical parameters and the toxicity of leachates from a municipal solid waste landfill.** Ecotoxicology and Environmental Safety 70: 294-299; 2008.

WARD, M.; BITTON, G.; TOWNSEND, T. **Toxicity testing of Municipal Solid Waste Leachates with CerioFAST**. Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology. 64: 100-106; 2000.

ZAGATTO, Pedro A.; BERTOLETTI, Eduardo. **Ecotoxicologia Aquática Princípios e Aplicações**. 2ª ed. Editora Rima. São Paulo. 2006.

APÊNDICES

APÊNDICE A – Tabela de resultados mensais e análise descritiva do lixiviado do aterro A1

APÊNDICE B – Tabela de resultados mensais e análise descritiva do lixiviado do aterro A2

APÊNDICE C – Tabela de resultados mensais e análise descritiva do lixiviado do aterro A3

APÊNDICE D – Tabela de resultados mensais e análise descritiva do lixiviado do aterro A4

APÊNDICE E – Tabela de resultados mensais e análise descritiva do lixiviado do aterro A5

APÊNDICE F – Lista de compostos orgânico por aterro

APÊNDICE G – Cromatogramas de identificação de compostos orgânicos de algumas amostras para todos os aterros

APÊNDICE H – Cromatogramas de quantificação de ânions de uma amostra de cada aterro

APÊNDICE A – Tabela de resultados mensais e análise descritiva do lixiviado do aterro A1

Amostragens	Temperatura (°C)	Condutividade (mS/cm)	pH	NT (mg/L)	COT (mg/L)	CT (mg/L)	CI (mg/L)	DQO (mgO ₂ /L)	N-amoniacoal (mg/L)	ST (mg/L)	SF (mg/L)
5/11/2009	-	11,6	7,7	196,2	242,1	396,7	154,6	4021,0	166,2	7472	5086
10/12/2009	-	7,5	7,7	515,4	14,0	37,8	23,8	1341,0	477,6	4092	3028
12/1/2010	32	18,9	8,2	1992,0	29,0	79,1	50,1	3146,0	1569,6	9880	7284
11/2/2010	32	22,0	8,2	2157,0	43,1	118,5	75,5	4293,0	1910,3	12096	9104
16/3/2010	29	20,0	8,2	1770,5	1350,0	3101,0	1751,0	4814,0	1700,6	10512	7970
13/4/2010	29	23,3	8,2	1867,0	1132,0	2163,0	1031,0	3007,0	1778,1	12172	9128
11/5/2010	28	24,0	8,2	2179,7	1618,0	3597,0	1979,0	4314,0	1864,1	13384	9692
15/6/2010	27	25,7	8,3	2390,0	2135,0	3449,0	1314,0	3736,0	2206,0	12966	10030
13/7/2010	29	24,6	8,3	2579,9	1007,0	2202,0	1196,0	3989,0	2045,3	12818	9786
10/8/2010	28	24,4	8,4	2206,4	1099,0	2307,0	1208,0	4669,3	2027,2	12184	9588
13/9/2010	29	24,5	8,4	1904,4	2254,0	3481,0	1227,0	4704,0	1868,5	12428	10116
4/10/2010	30	25,4	8,4	1875,8	1446,0	3273,0	1826,0	3771,0	1590,4	11564	9256
Análise descritiva											
Médias	29,3	21,0	8,2	1802,9	1030,8	2017,1	986,3	3817,1	1600,3	10964,0	8339,0
Mediana	29,0	23,7	8,2	1948,2	1115,5	2254,5	1202,0	4005,0	1821,1	12134,0	9192,0
Máximo	32,0	25,7	8,4	2579,9	2254,0	3597,0	1979,0	4814,0	2206,0	13384,0	10116,0
Mínimo	27,0	7,5	7,7	196,2	14,0	37,8	23,8	1341,0	166,2	4092,0	3028,0
Amplitude	5,0	18,2	0,7	2383,7	2240,0	3559,2	1955,2	3473,0	2039,8	9292,0	7088,0
Desvio padrão	1,64	5,80	0,24	718,22	796,87	1461,16	729,88	967,55	628,46	2710,79	2207,18
Coeficiente de variação	0,06	0,28	0,03	0,40	0,77	0,72	0,74	0,25	0,39	0,25	0,26

- análise não realizada

Tabela de resultados mensais e análise descritiva do lixiviado do aterro A1 (continuação)

Amostragens	SV (mg/L)	Alcalinidade (mg/L CaCO ₃)	CE50 (%)	CENO (%)	CEO (%)	VC (%)	Coliformes totais (NMP/100 mL)	Coliformes termotolerantes (NMP/100 mL)	Estreptococos fecais (NMP/100 mL)	Pluviosidade (mm)
5/11/2009	2386	4680	5,1	2,0	2,5	2,2	-	-	-	4,57
10/12/2009	1064	3050	9,0	3,5	4,0	3,7	-	-	-	13,44
12/1/2010	2596	7850	2,5	0,5	1,0	0,7	-	1.100	160.000	2,98
11/2/2010	2992	9800	1,4	0,5	1,0	0,7	-	17.000	>160.000	2,36
16/3/2010	2542	10275	1,7	1,0	1,5	1,2	160.000	17.000	160.000	3,90
13/4/2010	3044	10250	1,8	0,5	1,0	0,7	90.000	1.100	>160.000	0,43
11/5/2010	3692	10150	1,5	0,5	1,0	0,7	160.000	800	>160.000	0,67
15/6/2010	2936	9225	1,2	0,5	1,0	0,7	14.000	170	160.000	0,00
13/7/2010	3032	10350	1,3	0,5	1,0	0,71	160.000	300	>160.000	0,00
10/8/2010	2596	9875	1,3	0,5	1,0	0,7	35.000	500	>160.000	0,00
13/9/2010	2312	10825	1,4	0,5	1,0	0,7	>160.000	>160.000	>160.000	0,91
4/10/2010	2308	8725	1,2	0,5	1,0	0,7	>160.000	>160.000	160.000	8,38
Análise descritiva										
Médias	2625,0	8754,6	2,5	0,9	1,4	1,1	117375,0	35797,0	160000,0	3,1
Mediana	2596,0	9837,5	1,4	0,5	1,0	0,7	160000,0	1100,0	160000,0	1,6
Máximo	3692,0	10825,0	9,0	3,5	4,0	3,7	160000,0	160000,0	160000,0	13,4
Mínimo	1064,0	3050,0	1,2	0,5	1,0	0,7	14000,0	170,0	160000,0	0,0
Amplitude	2628,0	7775,0	7,8	3,0	3,0	3,0	146000,0	159830,0	0,0	13,4
Desvio padrão	633,32	2446,90	2,33	0,93	0,93	0,94	62456,70	65800,35	0,00	4,10
Coeficiente de variação	0,24	0,28	0,95	1,01	0,65	0,83	0,53	1,84	0,00	1,31

- análise não realizada

Tabela de resultados mensais e análise descritiva do lixiviado do aterro A1 (continuação)

Amostragens	Vazão média (m ³ /h)	Cloreto (mg/L)	Fluoreto (mg/L)	Nitrito (mg/L)	Sulfato (mg/L)	Fosfato (mg/L)	Nitrato (mg/L)	Brometo (mg/L)	Cádmio (mg/L)	Chumbo (mg/L)	Cobre (mg/L)	Cromo (mg/L)	Ferro (mg/L)	Níquel (mg/L)	Zinco (mg/L)
5/11/2009	0,24	1476,20	72,38	36,96	82,97	56,28	6,61	< LD	-	-	-	-	-	-	-
10/12/2009	0,54	859,70	9,58	< LD	87,11	< LD	< LD	66,90	< LD	< LD	0,145	0,407	78,616	0,321	1,291
12/1/2010	0,24	2446,55	11,15	< LD	87,75	< LD	< LD	< LD	-	-	-	-	-	-	-
11/2/2010	0,24	3357,25	12,20	< LD	85,00	< LD	68,30	< LD	< LD	< LD	0,199	0,295	23,778	0,686	1,085
16/3/2010	0,88	2314,12	18,40	< LD	115,04	381,12	83,96	82,89	-	-	-	-	-	-	-
13/4/2010	0,66	2672,60	6,54	< LD	53,58	203,64	41,96	42,90	< LD	< LD	0,225	0,665	30,997	0,92	1,898
11/5/2010	0,46	2696,52	12,15	< LD	109,20	366,31	83,57	82,56	-	-	-	-	-	-	-
15/6/2010	0,28	1601,91	4,05	< LD	< LD	81,52	< LD	< LD	< LD	< LD	0,22	0,701	21,519	0,647	1,48
13/7/2010	0,25	3445,83	10,07	< LD	56,67	168,48	< LD	< LD	-	-	-	-	-	-	-
10/8/2010	0,27	3615,55	10,28	< LD	67,03	40,15	41,60	< LD	< LD	< LD	0,282	0,803	17,047	0,759	1,556
13/9/2010	0,28	-	-	< LD	63,24	68,58	51,11	< LD	-	-	-	-	-	-	-
4/10/2010	0,47	-	-	< LD	100,85	94,10	113,52	52,67	< LD	< LD	0,276	0,757	23,299	0,546	0,96
Análise descritiva															
Médias	0,4	2448,6	16,7	3,1	75,7	121,7	40,9	27,3	0,0	0,0	0,2	0,6	32,5	0,6	1,4
Mediana	0,3	2559,6	10,7	0,0	84,0	75,0	41,8	0,0	0,0	0,0	0,2	0,7	23,5	0,7	1,4
Máximo	0,9	3615,6	72,4	37,0	115,0	381,1	113,5	82,9	0,0	0,0	0,3	0,8	78,6	0,9	1,9
Mínimo	0,2	859,7	4,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,3	17,0	0,3	1,0
Amplitude	0,6	2755,9	68,3	37,0	115,0	381,1	113,5	82,9	0,0	0,0	0,1	0,5	61,6	0,6	0,9
Desvio padrão	0,21	912,79	19,93	10,67	30,94	133,69	40,08	35,44	0,00	0,00	0,05	0,21	23,02	0,20	0,34
Coeficiente de variação	0,52	0,37	1,19	3,46	0,41	1,10	0,98	1,30	-	-	0,23	0,34	0,71	0,31	0,25
- análise não realizada							LD - limite de detecção								

APÊNDICE B – Tabela de resultados mensais e análise descritiva do lixiviado do aterro A2

Amostragens	Temperatura (°C)	Condutividade (mS/cm)	pH	NT (mg/L)	COT (mg/L)	CT (mg/L)	CI (mg/L)	DQO (mgO ₂ /L)	N-amoniaco (mg/L)	ST (mg/L)	SF (mg/L)
10/11/2009	-	16,4	7,7	196,2	558,6	728,6	170,0	8426,0	128,5	11348,0	7164,0
10/12/2009	-	14,27	7,8	515,4	51,9	85,5	33,5	4478,0	1033,8	8106,0	5698,0
12/1/2010	34	18,32	7,9	1992,0	92,9	117,4	24,6	10978,0	1313,3	13430,0	7818,0
11/2/2010	38	19,83	8,1	2157,0	50,6	100,0	49,4	5216,0	1502,6	15874,0	13690,0
16/3/2010	34	18,75	8,3	1770,5	1114,0	2552,0	1438,0	5938,0	1337,5	10604,0	7484,0
13/4/2010	32	20,2	8,2	1867,0	1024,0	2027,0	1003,0	3100,0	1278,4	10444,0	7846,0
11/5/2010	32	20,4	8,2	2179,7	1136,0	2865,0	1729,0	2853,0	1542,7	10654,0	8260,0
15/6/2010	33	22,0	8,3	2390,0	1934,0	3120,0	1185,0	3940,0	691,7	10732,0	8132,0
13/7/2010	35	21,2	8,3	2579,9	918,1	2021,0	1103,0	3663,0	1665,4	10528,0	8134,0
10/8/2010	32	21,1	8,4	2206,4	1006,0	2063,0	1057,0	4841,0	1646,4	10068,0	7824,0
13/9/2010	33	21,6	8,3	1855,0	1815,0	2953	1138	3616,0	1556,8	10360,0	8092,0
4/10/2010	35	24,0	8,4	1808,0	1146,0	2809	1660	3428	1495,2	10128,0	8126,0
Análise descritiva											
Médias	33,8	19,8	8,2	1793,1	903,9	1786,8	882,5	5039,8	1266,0	11023,0	8189,0
Mediana	33,5	20,3	8,3	1929,5	1015,0	2045,0	1080,0	4209,0	1416,4	10566,0	7969,0
Máximo	38,0	24,0	8,4	2579,9	1934,0	3120,0	1729,0	10978,0	1665,4	15874,0	13690,0
Mínimo	32,0	14,3	7,7	196,2	50,6	85,5	24,6	2853,0	128,5	8106,0	5698,0
Amplitude	6,0	9,7	0,7	2383,7	1883,4	3034,6	1704,5	8125,0	1537,0	7768,0	7992,0
Desvio padrão	1,87	2,62	0,24	717,34	625,51	1197,19	642,34	2415,77	453,18	1932,25	1869,05
Coeficiente de variação	0,06	0,13	0,03	0,40	0,69	0,67	0,73	0,48	0,36	0,18	0,23

- análise não realizada

Tabela de resultados mensais e análise descritiva do lixiviado do aterro A2 (continuação)

Amostragens	SV (mg/L)	Alcalinidade (mg/L CaCO ₃)	CE50 (%)	CENO (%)	CEO (%)	VC (%)	Coliformes totais (NMP/100 mL)	Coliformes termotolerantes (NMP/100 mL)	Estreptococos fecais (NMP/100 mL)	Pluviosidade (mm)
10/11/2009	4184,0	5680	4,1	1,0	2,5	1,58	-	-	-	2,87
10/12/2009	2408,0	5200	4,7	2,0	2,5	2,24	-	-	-	11,69
12/1/2010	5612,0	7100	4,1	1,5	2,0	1,73	-	17.000	160.000	6,11
11/2/2010	2184,0	7900	2,4	1,0	1,5	1,22	-	>160.000	>160.000	4,88
16/3/2010	3120,0	7600	2,0	1,0	1,5	1,22	160.000	14.000	>160.000	7,56
13/4/2010	2598,0	8100	2,0	1,0	1,5	1,22	50.000	1.700	>160.000	1,77
11/5/2010	2394,0	8050	1,8	0,5	1,0	0,71	2.300	<2	160.000	0,26
15/6/2010	2600,0	8675	2,4	1,0	1,5	1,22	2.200	110	90.000	0,0
13/7/2010	2394,0	7925	1,4	0,5	1,0	0,71	14.000	5.000	>160.000	0,0
10/8/2010	2244,0	7375	1,4	0,5	1,0	0,71	>160.000	400	>160.000	0,0
13/9/2010	2268,0	8425	1,4	0,5	1,0	0,71	35.000	>160.000	>160.000	2,16
4/10/2010	2002,0	7575	1,4	0,5	1,0	0,71	5.000	23	28.000	7,69
Análise descritiva										
Médias	2834,0	7467,1	2,4	0,9	1,5	1,2	53562,5	35823,5	139800,0	3,7
Mediana	2401,0	7750,0	2,0	1,0	1,5	1,2	24500,0	3350,0	160000,0	2,5
Máximo	5612,0	8675,0	4,7	2,0	2,5	2,2	160000,0	160000,0	160000,0	11,7
Mínimo	2002,0	5200,0	1,4	0,5	1,0	0,7	2200,0	2,0	28000,0	0,0
Amplitude	3610,0	3475,0	3,4	1,5	1,5	1,5	157800,0	159998,0	132000,0	11,7
Desvio padrão	1048,11	1045,34	1,20	0,47	0,56	0,49	67828,14	65726,56	45022,96	3,83
Coeficiente de variação	0,37	0,14	0,50	0,51	0,38	0,42	1,27	1,83	0,32	1,02

- análise não realizada

Tabela de resultados mensais e análise descritiva do lixiviado do aterro A2 (continuação)

Amostragens	Vazão média (m ³ /h)	Cloreto (mg/L)	Fluoreto (mg/L)	Nitrito (mg/L)	Sulfato (mg/L)	Fosfato (mg/L)	Nitrato (mg/L)	Brometo (mg/L)	Cádmio (mg/L)	Chumbo (mg/L)	Cobre (mg/L)	Cromo (mg/L)	Ferro (mg/L)	Níquel (mg/L)	Zinco (mg/L)
10/11/2009	2,34	4366,76	72,95	26,71	2,66	220,02	26,27	< LD	-	-	-	-	-	-	-
10/12/2009	3,85	1938,20	19,51	< LD	114,13	< LD	< LD	67,91	< LD	< LD	0,101	0,368	12,56	0,338	0,439
12/1/2010	4,36	1849,55	24,55	< LD	81,60	< LD	< LD	< LD	-	-	-	-	-	-	-
11/2/2010	5,33	2598,70	11,25	< LD	82,25	< LD	66,70	68,00	< LD	< LD	0,251	0,141	26,122	0,586	0,61
16/3/2010	4,82	2593,63	28,54	< LD	117,51	398,65	< LD	82,51	-	-	-	-	-	-	-
13/4/2010	3,78	1941,27	6,74	< LD	58,27	186,91	< LD	< LD	< LD	< LD	0,286	0,909	15,615	0,741	0,839
11/5/2010	3,64	2534,38	12,20	< LD	114,25	368,56	83,57	82,35	-	-	-	-	-	-	-
15/6/2010	3,46	1528,84	4,44	< LD	< LD	76,61	< LD	< LD	< LD	< LD	0,203	0,76	10,743	0,977	1,083
13/7/2010	3,28	3256,83	10,44	< LD	60,71	144,66	< LD	< LD	-	-	-	-	-	-	-
10/8/2010	3,10	3103,70	11,35	< LD	63,65	37,07	< LD	< LD	< LD	< LD	0,128	0,57	6,698	0,581	0,565
13/9/2010	3,31	-	-	< LD	53,45	63,24	50,48	52,91	-	-	-	-	-	-	-
4/10/2010	3,56	-	-	< LD	56,15	74,49	52,00	52,74	< LD	< LD	0,113	0,485	4,978	0,482	0,41
Análise descritiva															
Médias	3,7	2571,2	20,2	2,2	67,1	130,9	23,3	33,9	0,0	0,0	0,2	0,5	12,8	0,6	0,7
Mediana	3,6	2564,0	11,8	0,0	62,2	75,6	0,0	26,4	0,0	0,0	0,2	0,5	11,7	0,6	0,6
Máximo	5,3	4366,8	73,0	26,7	117,5	398,7	83,6	82,5	0,0	0,0	0,3	0,9	26,1	1,0	1,1
Mínimo	2,3	1528,8	4,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	5,0	0,3	0,4
Amplitude	3,0	2837,9	68,5	26,7	117,5	398,7	83,6	82,5	0,0	0,0	0,2	0,8	21,1	0,6	0,7
Desvio padrão	0,80	842,29	20,05	7,71	38,74	138,29	31,46	36,48	0,00	0,00	0,08	0,27	7,59	0,22	0,26
Coeficiente de variação	0,21	0,33	0,99	3,46	0,58	1,06	1,35	1,08	-	-	0,43	0,51	0,59	0,36	0,39
- análise não realizada							LD - limite de detecção								

APÊNDICE C – Tabela de resultados mensais e análise descritiva do lixiviado do aterro A3

Amostragens	Temperatura (°C)	Condutividade (mS/cm)	pH	NT (mg/L)	COT (mg/L)	CT (mg/L)	CI (mg/L)	DQO (mgO ₂ /L)	N-amoniaco (mg/L)	ST (mg/L)	SF (mg/L)
12/1/2010	28	25,4	8,5	487,9	42,5	70,0	27,5	5056,0	428,0	20802,0	16288,0
11/2/2010	33	21,6	8,3	290,8	24,3	50,5	26,5	2046,0	259,2	10714,0	8110,0
16/3/2010	28	20,0	8,3	365,1	473,0	1114,0	641,4	2920,0	250,4	14396,0	12460,0
13/4/2010	27	28,1	8,5	409,9	1228,0	1842,0	614,0	4805,0	353,5	22830,0	18596,0
11/5/2010	25	20,9	8,5	358,0	414,1	953,0	539,0	2242,0	229,2	15158,0	13122,0
15/6/2010	23	24,3	8,4	432,5	426,6	977,2	550,6	1393,0	292,2	16762,0	14816,0
13/7/2010	25	23,5	8,4	342,9	433,0	888,3	455,3	2067,0	236,7	17304,0	15532,0
10/8/2010	25	23,7	8,4	354,5	356,8	763,2	406,4	2369,0	252,0	17138,0	15258,0
13/9/2010	26	24,7	8,4	436,3	403,6	855,3	451,7	1664,0	246,4	17794,0	15476,0
4/10/2010	27	26,4	8,5	465,9	439,4	946,6	507,2	2119	305,2	16650,0	14764,0
Análise descritiva											
Médias	26,7	23,9	8,4	394,4	424,1	846,0	422,0	2668,1	285,3	16954,8	14442,2
Mediana	26,5	24,0	8,4	387,5	420,4	917,5	481,3	2180,7	255,6	16950,0	15037,0
Máximo	33,0	28,1	8,5	487,9	1228,0	1842,0	641,4	5056,0	428,0	22830,0	18596,0
Mínimo	23,0	20,0	8,3	290,8	24,3	50,5	26,5	1393,0	229,2	10714,0	8110,0
Amplitude	10,0	8,1	0,2	197,1	1203,7	1791,5	614,9	3663,0	198,8	12116,0	10486,0
Desvio padrão	2,71	2,51	0,08	61,88	326,51	510,59	220,30	1259,91	62,80	3317,17	2780,79
Coeficiente de variação	0,10	0,11	0,01	0,16	0,77	0,60	0,52	0,47	0,22	0,20	0,19

Tabela de resultados mensais e análise descritiva do lixiviado do aterro A3 (continuação)

Amostragens	SV (mg/L)	Alcalinidade (mg/L CaCO ₃)	CE50 (%)	CENO (%)	CEO (%)	VC (%)	Coliformes totais (NMP/100 mL)	Coliformes termotolerantes (NMP/100 mL)	Estreptococos fecais (NMP/100 mL)	Pluviosidade (mm)
12/1/2010	4514,0	5500	4,57	0,5	1,0	0,7	-	500	50.000	5,56
11/2/2010	2604,0	3400	7,748	3,5	4,0	3,7	-	160.000	90.000	2,96
16/3/2010	1936,0	2925	9,282	4,0	4,5	4,2	160.000	2.300	17.000	4,32
13/4/2010	4234,0	4000	2,443	0,5	1,0	0,7	160.000	13.000	>160.000	1,03
11/5/2010	2036,0	2525	12,08	4,0	4,5	4,2	>160.000	2.300	160.000	0,61
15/6/2010	1946,0	2575	8,484	4,5	5,0	4,7	90.000	170	8.000	0,00
13/7/2010	1772,0	2125	9,714	4,0	4,5	4,24	>160.000	>160.000	>160.000	0,00
10/8/2010	1880,0	2000	9,179	5,0	5,5	5,2	90.000	90.000	30.000	0,00
13/9/2010	2318,0	2125	10,267	5,5	6,0	5,7	>160.000	28.000	2.300	0,00
4/10/2010	1886,0	2275	8,154	3,5	4,0	3,7	3.000	23	3.000	6,00
Análise descritiva										
Médias	2512,6	2945,0	8,2	3,5	4,0	3,7	122875,0	45629,3	68030,0	2,0
Mediana	1991,0	2550,0	8,8	4,0	4,5	4,2	160000,0	7650,0	40000,0	0,8
Máximo	4514,0	5500,0	12,1	5,5	6,0	5,7	160000,0	160000,0	160000,0	6,0
Mínimo	1772,0	2000,0	2,4	0,5	1,0	0,7	3000,0	23,0	2300,0	0,0
Amplitude	2742,0	3500,0	9,6	5,0	5,0	5,0	157000,0	159977,0	157700,0	6,0
Desvio padrão	1013,08	1097,90	2,80	1,70	1,70	1,71	57845,70	66201,32	68626,59	2,45
Coefficiente de variação	0,40	0,37	0,34	0,49	0,42	0,46	0,47	1,45	1,01	1,19

- análise não realizada

Tabela de resultados mensais e análise descritiva do lixiviado do aterro A3 (continuação)

Amostragens	Vazão média (m ³ /h)	Cloreto (mg/L)	Fluoreto (mg/L)	Nitrito (mg/L)	Sulfato (mg/L)	Fosfato (mg/L)	Nitrato (mg/L)	Brometo (mg/L)	Cádmio (mg/L)	Chumbo (mg/L)	Cobre (mg/L)	Cromo (mg/L)	Ferro (mg/L)	Níquel (mg/L)	Zinco (mg/L)
12/1/2010	0,35	5017,00	13,20	< LD	134,60	300,10	70,40	< LD	< LD	< LD	0,275	< LD	5,02	0,622	1,251
11/2/2010	0,35	6963,50	13,00	< LD	481,30	284,25	89,45	< LD	< LD	< LD	0,185	0,357	2,526	0,481	0,464
16/3/2010	0,35	5481,07	81,09	< LD	434,11	366,31	84,14	97,68	-	-	-	-	-	-	-
13/4/2010	0,8	9285,22	24,38	< LD	1058,04	192,55	< LD	59,72	< LD	< LD	0,536	10,806	10,319	0,898	1,315
11/5/2010	0,59	6510,75	14,29	< LD	481,84	367,52	< LD	95,60	-	-	-	-	-	-	-
15/6/2010	0,49	3696,88	3,70	< LD	< LD	75,23	34,60	23,99	< LD	< LD	0,222	0,371	3,77	0,687	0,34
13/7/2010	0,42	7232,20	15,50	< LD	470,48	< LD	141,97	66,86	-	-	-	-	-	-	-
10/8/2010	0,3	7992,30	8,64	< LD	522,90	< LD	195,43	52,52	< LD	< LD	0,303	0,518	2,432	0,721	0,479
13/9/2010	0,35	-	-	11,95	502,23	62,93	210,53	73,7	-	-	-	-	-	-	-
4/10/2010	0,41	-	-	7,79	341,92	63,72	122,61	69,82	< LD	< LD	0,227	0,561	2,753	0,674	0,644
Análise descritiva															
Médias	0,4	6522,4	21,7	2,0	442,7	171,3	94,9	54,0	0,0	0,0	0,3	2,1	4,5	0,7	0,7
Mediana	0,4	6737,1	13,7	0,0	475,9	133,9	86,8	63,3	0,0	0,0	0,3	0,4	3,3	0,7	0,6
Máximo	0,8	9285,2	81,1	11,9	1058,0	367,5	210,5	97,7	0,0	0,0	0,5	10,8	10,3	0,9	1,3
Mínimo	0,3	3696,9	3,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	2,4	0,5	0,3
Amplitude	0,5	5588,3	77,4	11,9	1058,0	367,5	210,5	97,7	0,0	0,0	0,4	10,8	7,9	0,4	1,0
Desvio padrão	0,15	1765,80	24,70	4,27	277,60	148,16	73,68	35,29	0,00	0,00	0,13	4,27	3,03	0,14	0,43
Coeficiente de variação	0,34	0,27	1,14	2,17	0,63	0,87	0,78	0,65	-	-	0,44	2,03	0,68	0,20	0,57
- análise não realizada								LD - limite de detecção							

APÊNDICE D – Tabela de resultados mensais e análise descritiva do lixiviado do aterro A4

Amostragens	Temperatura (°C)	Condutividade (mS/cm)	pH	NT (mg/L)	COT (mg/L)	CT (mg/L)	CI (mg/L)	DQO (mg/L)	N-amoniaco (mg/L)	ST (mg/L)
12/11/2009	-	16,6	7,7	304,2	543,3	772,2	228,9	7560,0	104,4	11440,0
11/12/2009	-	16,4	7,4	1709,0	145,6	160,2	14,7	15922,0	1054,1	15334,0
12/1/2010	38	17,0	7,3	1597,0	2993,0	3441,0	447,5	20792,0	1071,6	15234,0
11/2/2010	40	18,6	7,8	1546,3	57,3	111,3	54,0	5216,0	1467,6	11338,0
16/3/2010	41	17,0	7,9	1560,8	930,8	2446,0	1515,0	2052,0	1386,1	8232,0
13/4/2010	41	19,2	7,9	1577,8	972,8	1945,0	972,3	2666,0	1446,3	9706,0
11/5/2010	41	20,1	8,0	1694,6	1235,0	3000,0	1765,0	3295,0	1483,4	7410,0
15/6/2010	41	22,5	8,0	1922,5	1914,0	3106,0	1192,0	4059,0	1788,1	10480,0
13/7/2010	42	21,1	8,0	1992,7	899,7	2026,0	1126,0	4660,0	1989,7	10266,0
10/8/2010	41	20,7	8,1	1724,8	985,6	2048,0	1063,0	5081,3	1685,6	9752,0
13/9/2010	41	20,8	8,0	1890,6	2255	3473	1218	4192,0	1573,6	10262,0
4/10/2010	44	22,9	8,1	1790,0	1135,0	2731,0	1596,0	3833,5	1537,2	9774,0
Análise descritiva										
Médias	41,0	19,4	7,8	1609,2	1172,3	2105,0	932,7	6610,7	1382,3	10769,0
Mediana	41,0	19,6	7,9	1701,8	979,2	2247,0	1094,5	4426,0	1475,5	10264,0
Máximo	44,0	22,9	8,1	1992,7	2993,0	3473,0	1765,0	20792,0	1989,7	15334,0
Mínimo	38,0	16,4	7,3	304,2	57,3	111,3	14,7	2052,0	104,4	7410,0
Amplitude	6,0	6,5	0,8	1688,5	2935,7	3361,7	1750,3	18740,0	1885,3	7924,0
Desvio padrão	1,49	2,30	0,26	436,74	849,76	1188,43	604,67	5754,13	481,01	2393,49
Coefficiente de variação	0,04	0,12	0,03	0,27	0,72	0,56	0,65	0,87	0,35	0,22

- análise não realizada

Tabela de resultados mensais e análise descritiva do lixiviado do aterro A4 (continuação)

Amostragens	SF (mg/L)	SV (mg/L)	Alcalinidade (mg/L CaCO ₃)	CE50 (%)	CENO (%)	CEO (%)	VC (%)	Coliformes totais (NMP/100 mL)	Coliformes termotolerantes (NMP/100 mL)	Estreptococos fecais (NMP/100 mL)	Pluviosidade (mm)
12/11/2009	7440,0	4000,0	6700	3,2	0,3	0,5	0,22	-	-	-	3,8
11/12/2009	8544,0	6790,0	6650	7,3	0,5	1,0	0,71	-	-	-	26,0
12/1/2010	8572,0	6662,0	6800	5,3	1,0	1,5	1,22	-	50.000	>160.000	3,0
11/2/2010	8076,0	3262,0	7600	2,9	1,0	1,5	1,22	-	30.000	>160.000	1,4
16/3/2010	6566,0	1666,0	6925	2,3	1,5	2,0	1,73	50.000	2.800	>160.000	5,0
13/4/2010	6970,0	2736,0	8025	3,1	1,0	1,5	1,22	1.300	300	30.000	0,8
11/5/2010	6186,0	1224,0	8300	2,2	0,5	1,0	0,71	24.000	600	90.000	0,68
15/6/2010	7816,0	2664,0	11875	2,2	0,5	1,0	0,71	300	300	30.000	0,0
13/7/2010	7636,0	2630,0	8750	1,5	0,5	1,0	0,71	700	700	>160.000	0,0
10/8/2010	7360,0	2392,0	7775	2,4	1,0	1,5	1,22	13.000	110	>160.000	0,0
13/9/2010	7810,0	2452,0	8525	2,4	1,0	1,5	1,22	17.000	8.000	>160.000	1,3
4/10/2010	7600,0	2174,0	7500	2,4	1,0	1,5	1,22	13.000	350	24.000	6,0
Análise descritiva											
Médias	7548,0	3221,0	7952,1	3,1	0,8	1,3	1,0	14912,5	9316,0	113400,0	4,0
Mediana	7618,0	2647,0	7687,5	2,4	1,0	1,5	1,2	13000,0	650,0	160000,0	1,4
Máximo	8572,0	6790,0	11875,0	7,3	1,5	2,0	1,7	50000,0	50000,0	160000,0	26,0
Mínimo	6186,0	1224,0	6650,0	1,5	0,3	0,5	0,2	300,0	110,0	24000,0	0,0
Amplitude	2386,0	5566,0	5225,0	5,7	1,3	1,5	1,5	49700,0	49890,0	136000,0	26,0
Desvio padrão	718,00	1780,25	1429,74	1,60	0,36	0,40	0,40	16588,33	17013,48	62787,47	7,22
Coeficiente de variação	0,10	0,55	0,18	0,52	0,44	0,31	0,40	1,11	1,83	0,55	1,81

- análise não realizada

Tabela de resultados mensais e análise descritiva do lixiviado do aterro A4 (continuação)

Amostragens	Vazão média (m ³ /h)	Cloreto (mg/L)	Fluoreto (mg/L)	Nitrito (mg/L)	Sulfato (mg/L)	Fosfato (mg/L)	Nitrato (mg/L)	Brometo (mg/L)	Cádmio (mg/L)	Chumbo (mg/L)	Cobre (mg/L)	Cromo (mg/L)	Ferro (mg/L)	Níquel (mg/L)	Zinco (mg/L)
12/11/2009	12,0	6316,46	364,19	40,72	38,92	233,78	24,32	< LD	-	-	-	-	-	-	-
11/12/2009	30,0	1705,45	198,25	< LD	286,30	< LD	< LD	70,70	< LD	< LD	0,293	< LD	144,234	0,517	1,516
12/1/2010	35,0	2156,20	839,90	< LD	115,80	355,90	< LD	66,70	-	-	-	-	-	-	-
11/2/2010	-	2367,70	10,25	< LD	79,00	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	0,124	0,526	30,005	0,461	0,686
16/3/2010	20,0	1968,82	16,83	< LD	111,50	393,65	< LD	< LD	-	-	-	-	-	-	-
13/4/2010	-	2410,30	6,70	< LD	53,64	194,93	41,88	42,59	< LD	< LD	0,103	0,574	9,757	0,421	0,454
11/5/2010	8,0	2581,70	12,79	< LD	232,60	376,24	85,81	82,20	-	-	-	-	-	-	-
15/6/2010	8,0	1299,24	4,15	< LD	< LD	78,57	< LD	< LD	< LD	< LD	0,091	0,503	8,58	0,47	0,428
13/7/2010	-	2859,81	11,40	< LD	53,87	147,88	< LD	< LD	-	-	-	-	-	-	-
10/8/2010	-	2506,71	11,51	< LD	58,02	40,67	< LD	< LD	< LD	< LD	0,128	0,663	8,237	0,513	0,788
13/9/2010	-	-	-	< LD	50,25	77,63	50,55	52,68	-	-	-	-	-	-	-
4/10/2010	-	-	-	< LD	63,04	71,41	50,56	52,69	< LD	< LD	0,192	1,082	13,743	0,827	0,673
Análise descritiva															
Médias	18,8	2617,2	147,6	3,4	95,2	164,2	21,1	30,6	0,0	0,0	0,2	0,6	35,8	0,5	0,8
Mediana	16,0	2389,0	12,1	0,0	60,5	113,2	0,0	21,3	0,0	0,0	0,1	0,6	11,8	0,5	0,7
Máximo	35,0	6316,5	839,9	40,7	286,3	393,6	85,8	82,2	0,0	0,0	0,3	1,1	144,2	0,8	1,5
Mínimo	8,0	1299,2	4,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	8,2	0,4	0,4
Amplitude	27,0	5017,2	835,8	40,7	286,3	393,6	85,8	82,2	0,0	0,0	0,2	1,1	136,0	0,4	1,1
Desvio padrão	11,57	1376,92	270,88	11,75	83,37	145,55	29,36	33,45	0,00	0,00	0,08	0,35	53,77	0,15	0,40
Coeficiente de variação	0,61	0,53	1,84	3,46	0,88	0,89	1,39	1,09	-	-	0,49	0,62	1,50	0,28	0,52
- análise não realizada								LD - limite de detecção							

APÊNDICE E – Tabela de resultados mensais e análise descritiva do lixiviado do aterro A5

Amostragens	Temperatura (°C)	Condutividade (mS/cm)	pH	NT (mg/L)	COT (mg/L)	CT (mg/L)	CI (mg/L)	DQO (mgO ₂ /L)	N-amoniacoal (mg/L)	ST (mg/L)
19/11/2009	-	15,0	8	201,7	256,6	424,8	168,2	3988,0	93,5	7442,0
10/12/2009	-	11,0	7,6	1217,0	17,1	47,5	30,4	1348,0	838,7	4994,0
12/1/2010	41	11,6	7,9	1273,0	14,1	41,7	27,6	1493,0	896,9	5298,0
11/2/2010	38	14,5	7,9	1565,0	24,1	67,0	42,8	1926,0	1129,9	6222,0
16/3/2010	39	13,2	8,1	1112,4	485,3	1555,0	1070,0	4972,0	1054,1	5874,0
13/4/2010	35	14,2	8,2	1192,1	710,7	1549,0	838,7	1860,0	1127,8	6244,0
11/5/2010	36	15,8	8,2	1309,0	735,2	2059,0	1323,0	1936,0	1250,5	10248,0
15/6/2010	35	16,5	8,4	1390,8	1097,0	2089,0	992,1	2378,0	1332,3	7044,0
13/7/2010	33	17,8	8,1	1773,5	859,8	1876,0	1016,0	2466,0	1643,7	7524,0
10/8/2010	32	16,9	8,3	1540,0	858,0	1817,0	959,4	2506,3	1439,2	7168,0
13/9/2010	36	17,0	8,1	1713,4	1070,0	2053,0	983,0	3136,0	1313,2	7310,0
4/10/2010	36	18,6	8,1	1686,2	708,4	2013,0	1305,0	2742,7	1232,0	7078,0
Análise descritiva										
Médias	36,1	15,2	8,1	1331,2	569,7	1299,3	729,7	2562,7	1112,6	6870,5
Mediana	36,0	15,4	8,1	1349,9	709,6	1686,0	971,2	2422,0	1180,9	7061,0
Máximo	41,0	18,6	8,4	1773,5	1097,0	2089,0	1323,0	4972,0	1643,7	10248,0
Mínimo	32,0	11,0	7,6	201,7	14,1	41,7	27,6	1348,0	93,5	4994,0
Amplitude	9,0	7,6	0,8	1571,8	1082,9	2047,3	1295,4	3624,0	1550,2	5254,0
Desvio padrão	2,69	2,39	0,21	418,82	402,15	875,87	508,78	1051,22	390,17	1359,01
Coeficiente de variação	0,07	0,16	0,03	0,31	0,71	0,67	0,70	0,41	0,35	0,20

- análise não realizada

Tabela de resultados mensais e análise descritiva do lixiviado do aterro A5 (continuação)

Amostragens	SF (mg/L)	SV (mg/L)	Alcalinidade (mg/L CaCO ₃)	CE50 (%)	CENO (%)	CEO (%)	VC (%)	Coliformes totais (NMP/100 mL)	Coliformes termotolerantes (NMP/100 mL)	Estreptococos fecais (NMP/100 mL)	Pluviosidade (mm)
19/11/2009	5112,0	2330,0	4520	2,5	1,0	1,5	1,22	-	-	-	4,49
10/12/2009	3904,0	1090,0	3550	5,1	2,0	2,5	2,24	-	-	-	17,76
12/1/2010	4098,0	1200,0	4350	2,3	1,5	2,0	1,73	-	110	300	6,82
11/2/2010	4830,0	1392,0	4650	2,7	1,5	2,0	1,73	-	22.000	9.000	4,39
16/3/2010	4596,0	1278,0	4725	1,5	1,5	2,0	1,73	7.000	5.000	230	5,94
13/4/2010	4840,0	1404,0	5100	2,3	1,0	1,5	1,22	1.400	900	500	2,28
11/5/2010	7484,0	2764,0	5500	2,5	1,0	1,5	1,22	300	<2	500	0,73
15/6/2010	5980,0	1064,0	6100	2,4	1,0	1,5	1,22	280	50	800	0,01
13/7/2010	6018,0	1506,0	6575	1,3	1,0	1,5	1,22	900	300	3.000	0,03
10/8/2010	5362,0	1806,0	6025	2,0	1,0	1,5	1,22	>160.000	900	2.200	0,00
13/9/2010	5564,0	1746,0	6200	1,6	1,0	1,5	1,22	>160.000	160.000	2.300	2,49
4/10/2010	5420,0	1658,0	5350	1,8	1,0	1,5	1,22	50	23	110	6,62
Análise descritiva											
Médias	5267,3	1603,2	5220,4	2,3	1,2	1,7	1,4	41241,3	18928,5	1894,0	4,3
Mediana	5237,0	1455,0	5225,0	2,3	1,0	1,5	1,2	1150,0	600,0	650,0	3,4
Máximo	7484,0	2764,0	6575,0	5,1	2,0	2,5	2,2	160000,0	160000,0	9000,0	17,8
Mínimo	3904,0	1064,0	3550,0	1,3	1,0	1,5	1,2	50,0	2,0	110,0	0,0
Amplitude	3580,0	1700,0	3025,0	3,8	1,0	1,0	1,0	159950,0	159998,0	8890,0	17,8
Desvio padrão	962,01	509,58	901,23	0,97	0,33	0,33	0,34	73334,08	50030,93	2698,82	4,96
Coefficiente de variação	0,18	0,32	0,17	0,42	0,28	0,20	0,24	1,78	2,64	1,42	1,15

- análise não realizada

Tabela de resultados mensais e análise descritiva do lixiviado do aterro A5 (continuação)

Amostragens	Vazão média (m ³ /h)	Cloreto (mg/L)	Fluoreto (mg/L)	Nitrito (mg/L)	Sulfato (mg/L)	Fosfato (mg/L)	Nitrato (mg/L)	Brometo (mg/L)	Cádmio (mg/L)	Chumbo (mg/L)	Cobre (mg/L)	Cromo (mg/L)	Ferro (mg/L)	Níquel (mg/L)	Zinco (mg/L)
19/11/2009	3,20	2679,19	4,68		18,20	19,74	11,03	< LD	-	-	-	-	-	-	-
10/12/2009	8,23	1521,40	10,35		238,40	< LD	67,10	68,15	< LD	< LD	0,066	0,162	4,68	0,344	0,033
12/1/2010	6,80	817,80	10,50		115,65	299,10	< LD	< LD	-	-	-	-	-	-	-
11/2/2010	4,21	2499,20	11,35		88,50	< LD	67,50	< LD	< LD	< LD	0,094	0,473	6,277	0,608	0,102
16/3/2010	5,65	1483,95	11,96		114,26	377,12	83,80	81,93	-	-	-	-	-	-	-
13/4/2010	4,43	2253,18	9,31		76,40	185,91	< LD	42,78	< LD	< LD	0,066	0,364	3,614	0,408	0,019
11/5/2010	3,53	1782,63	13,09		122,78	382,33	84,33	83,17	-	-	-	-	-	-	-
15/6/2010	3,42	1130,15	2,89		< LD	75,06	< LD	< LD	< LD	< LD	0,116	0,438	6,982	0,819	0,056
13/7/2010	2,92	2478,87	9,13		73,89	148,88	< LD	< LD	-	-	-	-	-	-	-
10/8/2010	2,56	2366,68	11,35		63,41	38,76	< LD	< LD	< LD	< LD	0,128	0,403	6,099	0,447	0,145
13/9/2010	2,48	-	-		66,10	69,79	56,91	53,55	-	-	-	-	-	-	-
4/10/2010	2,59	-	-		76,83	68,34	50,95	52,13	< LD	< LD	0,09	0,494	6,879	0,579	0,072
Análise descritiva															
Médias	4,2	1901,3	9,5	0,0	87,9	138,8	35,1	31,8	0,0	0,0	0,1	0,4	5,8	0,5	0,1
Mediana	3,5	2017,9	10,4	0,0	76,6	72,4	31,0	21,4	0,0	0,0	0,1	0,4	6,2	0,5	0,1
Máximo	8,2	2679,2	13,1	0,0	238,4	382,3	84,3	83,2	0,0	0,0	0,1	0,5	7,0	0,8	0,1
Mínimo	2,5	817,8	2,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,2	3,6	0,3	0,0
Amplitude	5,8	1861,4	10,2	0,0	238,4	382,3	84,3	83,2	0,0	0,0	0,1	0,3	3,4	0,5	0,1
Desvio padrão	1,84	644,45	3,24	0,00	59,88	141,62	36,10	35,09	0,00	0,00	0,03	0,12	1,33	0,17	0,05
Coeficiente de variação	0,44	0,34	0,34	-	0,68	1,02	1,03	1,10	-	-	0,27	0,31	0,23	0,32	0,65
- análise não realizada								LD - limite de detecção							

APÊNDICE F – Lista de compostos orgânico por aterro

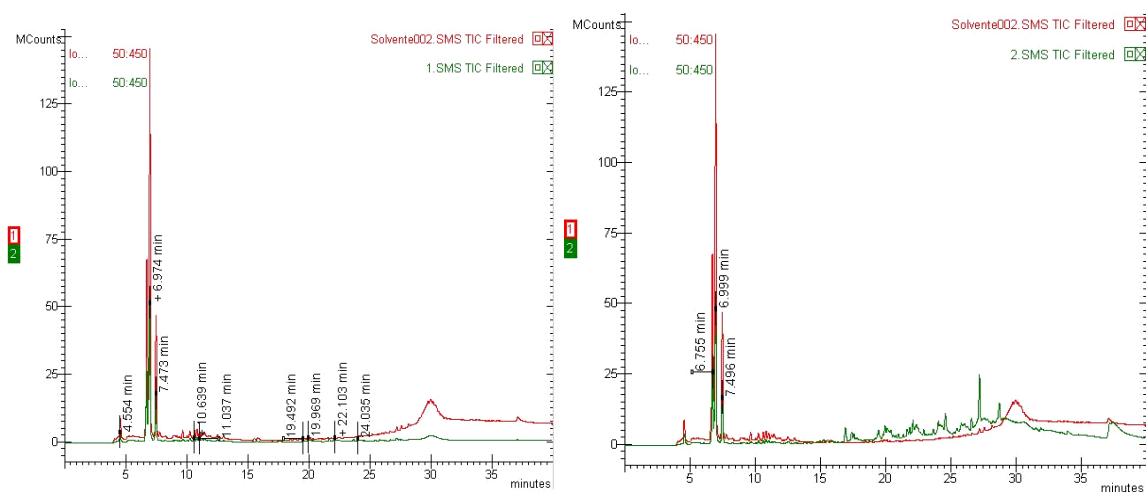
Compostos orgânicos	A1	A2	A3	A4	A5
(6-isopropyl-3,4-bis(methylamino)-2,4,6-cycloheptatrienilidene)malononitrile				X	
.psi.,psi.-carotene, 7,7',8,8',11,11',12,12',15,15'-decahydro-				X	
[1',1':3',1''-Terphenyl]-2'-ol			X		
1,1,2,2-tetrachloroetane	X				X
1,2-Hexanediol, 1,2-diphenyl-					X
1,4:3,6-Dianhydro-.alpha.-d-glucopyranose	X		X		
1,4-Benzenediol, 2,5-bis(1,1-dimethylethyl)-				X	X
1,8-Diazacyclotetradecane-2,7-dione			X		
1-[4-(2-p-Tolylvinyl)phenyl]ethanone					X
1-[4-(4-tertbutyl-spirocyclohexyl)-11-oxa-3-aza-tricyclo[6.2.1.0(1,6)]undec-9-em-3-yl]-2,2,2-trifluoro-ethanone		X			X
13H-Dibenzo[a,i]fluorene, 13-(1-naphthalenyl)-				X	X
1H-Idene-4-acetic acid, 6-(1,1-dimethylethyl)-2,3-dihydro-1,1-dimethyl-	X	X			X
1H-Naphtol[2',1':4,5]indeno[1,2-f]pyrido[1,2-c][1,3]oxazepin-3-ol, 2,3,4,6,6a,6b,7,7a,11,12,13,14,14a,15,15a,16,17,17a,17b-icosahydro-12,15,15b,17b-tetramethyl-		X			
1-methyl-1-(2,2-dimethylpropyl)oxy-1-silacyclobutano				X	
1-Phenanthrenecarboxylic acid,1,2,3,4,4 ^a ,9,10,10 ^a -octahydro-1, 4 ^a -dimethyl-7-(1-methylethyl)-, [1R-(1.alpha.,4 ^a . Beta., 10 ^a . Alpha)]-	X	X		X	
1-Phenoxypropan-2-ol			X		
1-propanol, 2-[[4-(1,1-dimethylethyl)-2,6-dinitrophenyl]amino]-	X				
2(3H)-Benzothiazolone		X	X		
2,2-Bis[4-[[4-cloro-6-(3-ethynylphenoxy)-1,3,5-triazin-2-yl]oxy]phenyl]propane	X	X	X		
2,4-Imidazolidinedione, 5-[3,4-bis[(trimethylsilyl)oxy]phenyl]-3-methyl-5-phenyl-1-(trimethylsilyl)-			X		X
2,5-Cyclohexadiene-1,4-dione, 2,6-bis(1,1-dimethylethyl)-	X	X		X	X
21H,23H-Porphine, 2,3,10,17,18,22-hexahydro-2,2,7,8,12,13,15,17,17-nonamethyl-	X	X			
2-Benzyl-4-metoxypheanol		X		X	X
2-Butenamide, N,N-diethyl-3-methyl-			X		
2-Cyclohexen-1-one, 3,5,5-trimethyl-4-(3-oxobutyl)-				X	
2-Diethylaminomethyl-1-phenyl-butan-1-ol			X	X	
2-Ethyl-2-phenyllaziridine		X			
2H-1,3-Pyrimidine-2-ketene, 2,5-dimethyl-1,6-diphenyl-4-(p-tolyl)-	X	X	X	X	X
2H-1-Benzopyran-2-one,6-(3-hydroxy-3-methyl-1-butenyl)-7-methoxy-(E)-		X			
2H-Indol-2-one, 1-(2,6-dichlorophenyl)-1,3-dihydro-			X		
2-Propanol, 1-[4-(1,1-dimethylethyl)phenoxy]-	X		X		
2-Propanol, 1-chloro-, phosphate(3:1)		X	X		
2-Quinolinecarboxylic acid, 4,8-bis[(trimethylsilyl)oxy]-, trimethylsilyl ester			X		
3-(2-Methylphenyl)propionic acid			X		
3,3,3-Trifluoro-2-hydroxy-2-(4-hydroxy-phenyl)propionic acid methyl ester		X		X	
3,5-dibutoxy-1,1,1,7,7,7-hexamethyl-3,5-bis(trimethylsiloxy)tetrasiloxane	X				
3,5-Di-tert-Butyl-4-hydroxybenzyl alcohol	X	X	X	X	X
3,5-di-tert-Butyl-4-hydroxyphenylpropionic acid	X	X	X	X	X
3,7-Dimethyl-6,7-di(methylthio)octanal				X	X
3,9.beta.;14,15-Diepoxypregn-16-em-20-one,3,11.beta.,18-triacetoxy-	X	X	X		X

Compostos orgânicos (continuação)	A1	A2	A3	A4	A5
3,9-Epoxypregnane-11,14,18-triol-20-one, 16-cyano-3-methoxy-, 11-acetate	X	X			
3-[7-(2,4-Dimethoxy-phenyl)-2,3,6,7-tetrahydro-[1,4]thiazepin-5-yl]-4-hydroxy-6-methyl-pyran-2-one		X			
3-Oxo-4-phenylbutyronitrile			X		
3-Trifluoromethylbenzylamine, N,N-dinonyl					X
3-Trifluoromethylbenzylamine, N,N-diundecyl	X	X	X		
4,25-Secoobscurinervan-4-one, 22-ethyl-15,16-dimethoxy-, (22.alpha.)-		X			X
4,4'-Dimethylbenzoin				X	X
4,7-Ethanoindene-5,6-dicarboxylic acid, 1-(2-methoxyethoxy)methoxy-7a-methyl-9-oxo-octahydro-					X
4-[2-(2-chloro-4-hydroxy-5-methoxy-phenyl)-vinyl]-6-trifluoromethyl-1H-pyrimidin-2-one				X	
4-Chloroaniline			X		
4H-1-Benzopyran-4-one, 3-(3,4-dimethoxyphenyl)-6,7-dimethoxy-	X			X	
4-Methylphenol		X		X	
4-Nitrobenzoylmethyl-beta.-phenylpropionate		X			
6-Chloro-2-ethyl-4-phenylquinoline			X		
7,9-Di-tert-butyl-1-oxaspiro(4,5)deca-6,9-diene-2,8-dione	X	X	X	X	X
9,10-Anthracenedione, 1-(methylamino)-4-[(4-methylphenyl)amino]-		X		X	
9-Desoxo-9-x-acetoxo-3,8,12-tri-O-acetylingol					X
9-Desoxo-9-x-acetoxo-3-desoxy-7.8.12-tri-O-acetylingol-3-one	X	X		X	
9-Octadecanamide, (Z)-Acetamide, N-phenyl-	X			X	X
Acetamide,N-(2,3-dihydro-1,5-dimethyl-3-oxo-2-phenyl-1H-pyrazol-4-yl)-			X		
Amiphenazole	X		X		
Androst-5-em-17-one, 3-hydroxy-16,16-dimethoxy-, (3.beta.)-				X	X
Aneline			X		
Aralionine,debenzoyl-				X	
Benzamide, N, N-diethyl-4-methyl-	X	X		X	
Benzene, (1-butylheptyl)			X		
Benzene, (1-ethylundecyl)-			X		
Benzene, (1-pentylhexyl)			X		
Benzene, (1-propyloctyl)			X		
Benzeneacetic acid		X			
Benzenebutanoic acid			X		
Benzenepropanoic acid		X			
Benzenepropanoic acid, 3,5-bis(1,1-dimethylethyl)-4-hydroxy-, methyl ester	X				X
Benzenesulfonamide, N-ethyl-2-methyl-	X	X		X	
Benzimidazol[2,1-b]benzothiazol-4-amine, 2-trifluoromethyl-			X		
Benzoic acid, 4-methyl-			X		
Benzoic acid			X		
Benzoic acid, 2, 4, 6-trimethyl-	X		X		X
Benzoic acid, 2-methyl-			X		
Benzoic acid, 3,5-dimethyl-	X	X	X		X
Benzoic acid, 4-(1-methylethyl)-		X		X	X
Benzoic acid, 4-[(2,4-dimethoxy-6-pentylbenzoyl)oxy]-2-methoxy-6-pentyl-, methyl ester			X	X	
Benzoic acid, p-tert-butyl-	X	X	X	X	X

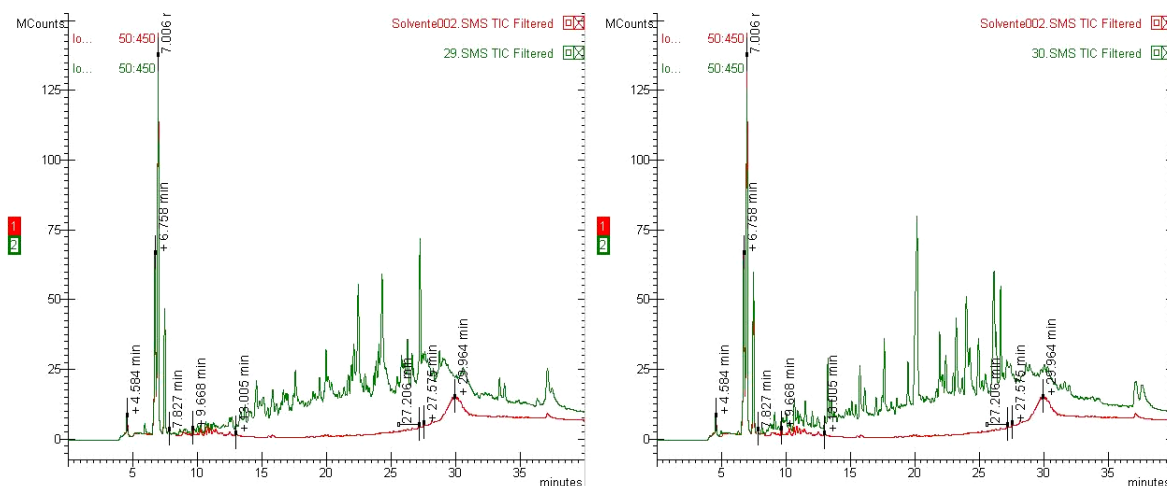
Compostos orgânicos (continuação)	A1	A2	A3	A4	A5
Benzothiazole, 2-(methylthio)-			X		
Bicyclo[2.2.1]heptan-2-one,5-hydroxy-4,7,7-trimethyl-	X	X	X		X
Bis(2-methylpropyl) 4,5-dimethylbenzene-1,2-dicarboxyl	X		X		
Bis(N-methoxy-N-methylamino) methane			X		
Bumetrizole	X				
Caffeine			X		
Chlorzoxazone	X				
Cholestan-3-one, cyclic 1,2-ethanediyl aetal, (5.beta.)-	X	X			X
Coronene, methyl-				X	
Cyclohexaciloxane, dodecamethyl-	X				
Cyclohexanecarboxylic acid	X	X		X	
Cyclohexanemethand, 4-hydroxy-,alpha.,.alpha.,4-trimethyl-	X	X	X	X	X
Cyclohexasiloxane, dodecamethyl-	X		X		
Cyclopentasiloxane, decamethyl-				X	
Cyclotetrasiloxane, octamethyl-	X		X		
Dibenz[a,j]acridine			X		
Dibenz[b,d]cycloheptane,3,4,7-trimethoxy-11-oximido-	X				
Diethyltoluamide	X	X			
Dodecanedioic acid, bis(tert-butyldimethylsilyl) ester	X				
Ethanol, 2-phenoxy			X		
Ethanone, 1-[4-(1-hydroxy-1-methylethyl)phenyl]-			X	X	
Ethylbenzene					X
exo-2-Hydroxycineole				X	
Fluorometholone				X	
Heptasiloxane, hexadecamethyl-		X			
Hexadecanamide				X	X
Hexanoic acid, 2-ethyl-, 1,2-ethanediylbis(oxy-2,1-ethanediyl) ester		X			X
Ibuprofen	X		X		
Indeno[2,1-a]naphthalene-4-one, 8-hydroxy-3,3,5b-trimethyl-	X				
1,2,3,5,5a,5b,6,7,8,9,9a,10,11,11a-tetradecahydro-					
L-5-Propylthionethylhydantoin				X	X
l-Tyrosine,phenylmethyl ester				X	
Methyl cis-3-chloropropenoate					X
Methyl dithio-3-methylbenzoate	X				
Methyl trans-3-cloropropenoate		X			
Morpholine, 4-[[[(dimethylamino)thioxomethyl]thio]-				X	
m-Phenoxybenzoic acid		X			
N,N'-bis(p-methoxybenzylidene)benzidine		X		X	
N3,N.alpha.-bix(ptoluenesulfonyl)histidineamide				X	
o,p'-Methoxychlor			X		
Octadecenamide, (Z)-					X
Oxalic acid, mono-{5-[(2-bromophenyl)(2,2-dimethylpropionyloxy)methyl]-7,8-					X
dihydro-5H-[1,3]dioxolo[4,5-g]isoquinolin-6-yl} ester					
Palmitic acid, 2-(1-octadecenylloxy)ethyl ester, (E)-			X		
Papaveroline					X
Pentasiloxane, dedocamethyl-	X				
Phenadoxone	X		X		
Phenobarbital			X		

Compostos orgânicos (continuação)	A1	A2	A3	A4	A5
Phenol, 2-(3,5-dichlorophenyl)limnomethyl-			X		
Phenol, 2, 6-bis(1,1-dimethylethyl)-4-methyl-, methylcarbamate	X				
Phenol, 2,2'-methylenebis-			X		
Phenol, 2,4-bis(1,1-dimethylethyl)-	X	X	X		X
Phenol, 2,5-bis(1,1-dimethylethyl)-		X	X		
Phenol, 2-methoxy-4-(methoxymethyl)-		X			
Phenol, 2-propyl-	X	X		X	
Phenol, 3-propyl				X	
Phenol, 4,4'-(1-methylethyldiene)bis-	X	X	X	X	X
Phenol, 4-[(4-amino-3-methylphenyl)amino]-				X	
Phenol, 4-ethyl-2-methoxy-	X			X	X
Phenol, 4-propyl-				X	
Phenol, p-tert-butyl				X	X
Phenytoin			X		
Phthalic acid, 6-ethyloct-3-yl 2-ethylhexyl ester				X	
Phthalic acid, nonyl 4-octyl ester			X		
Phthalic acid, octyl 2-pentyl ester			X		
Pregn-5-ene-3,11,20-trione, cyclic 3,20-bis(1,2-ethanediyl acetal)					X
Propanamide, N-[3,5-bis(trifluoromethyl)phenyl]-3-(4-morpholyl)-			X		
Propanoic acid, 2-methyl-, 3-hydroxy-2,4,4-trimethylpentyl ester			X		X
Propanoic acid, 2-methyl-,2,2-dimethyl-1-(2-hydroxy-1-methylethyl)propyl ester					X
Propanoic acid, 2-methyl-3-[4-t-butyl]phenyl-		X			
Pyridine, 2-(1-methyl-2-pyrrolidinyl)-				X	
Pyridine, 2-chloro-6-(2-furanylmethoxy)-4-(trichloromethyl)-	X	X			
Quinazolin-2(3H)-trione, 4,4a,5,6,7,8-hexahydro-8-(4-methoxybenzylidene)-4-(4-methoxyphenyl)-	X	X	X	X	X
Rhodopin				X	
Silane, [(6a,7,8,10a-tetrahydro-6,6,9-trimethyl-3-pentyl-6H-dibenzo[b,d]pyran-1,8-diyl)bis(oxy)]bis[dimethylphenyl-, [6a-(6a.alpha.,8.beta.,10a.beta.)]-				X	
Silicon tetrafluoride		X		X	
Spiro[2,4]hept-5-ene, 5-trimethylsilylmethyl-1-trimethylsilyl-			X		
Sulfur tetrafluoride				X	X
Terpin diacetate, trans-			X		
Tetracosamethyl-cyclododecasiloxane		X	X		
Thieno[2,3-b]pyridin-3-amine, 4-trifluoromethyl-2-(4-methylbenzoyl)-6-(2-thienyl)-		X			
Thiophene, tetrahydro-2-methyl-			X		
Thiopropionamide		X			
Toluene-D8			X		
Tributyl phosphate			X	X	
Valeric acid, 4-phenyl-		X		X	
Total = 169 compostos	52	56	73	59	48

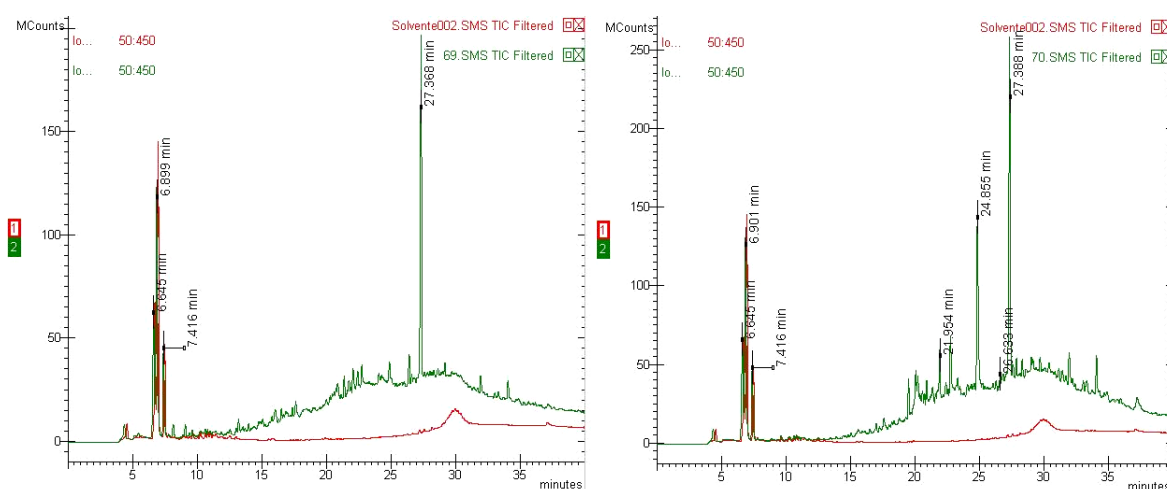
APÊNDICE G – Cromatogramas de identificação de compostos orgânicos de algumas amostras para todos os aterros



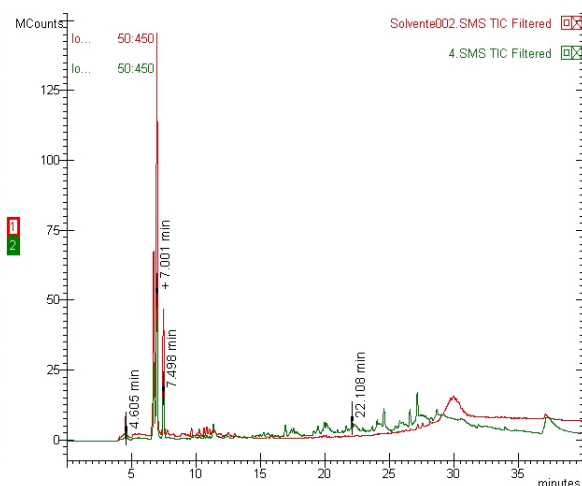
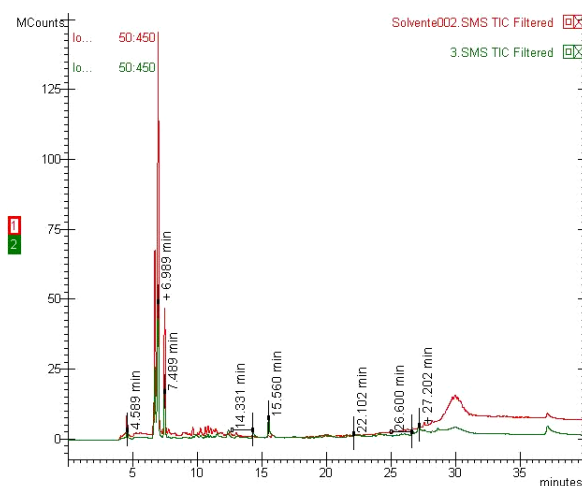
Cromatogramas da amostragem de dezembro do lixiviado do aterro A1 em pH 3,0, a esquerda e pH 7,0, a direita.



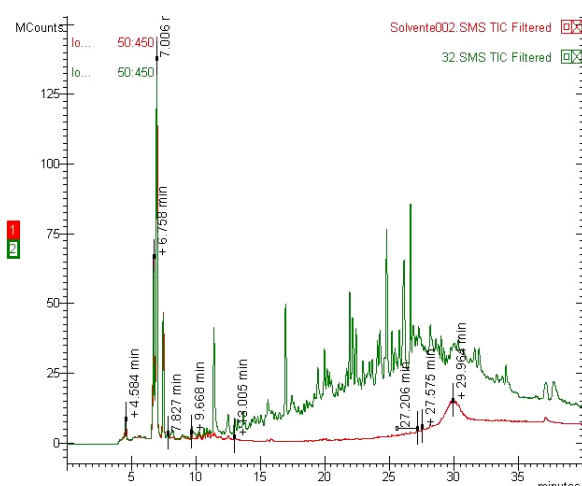
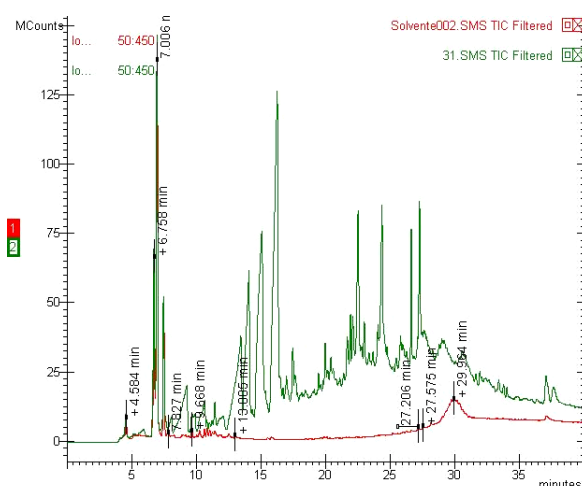
Cromatogramas da amostragem de março do lixiviado do aterro A1 em pH 3,0, a esquerda e pH 7,0, a direita.



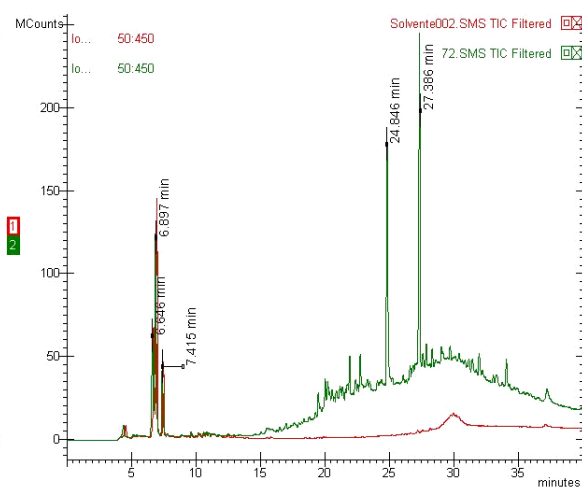
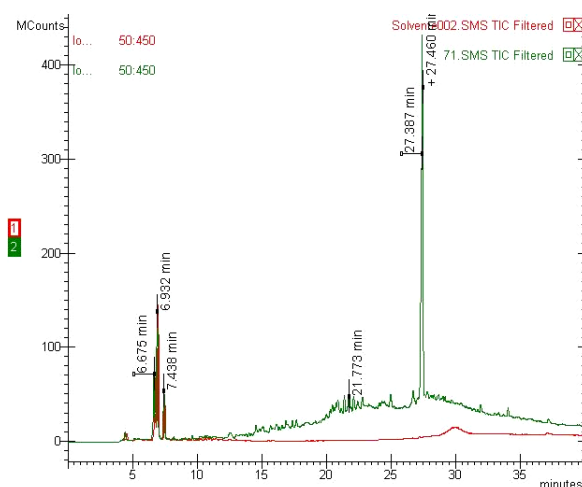
Cromatogramas da amostragem de julho do lixiviado do aterro A1 em pH 3,0, a esquerda e pH 7,0, a direita.



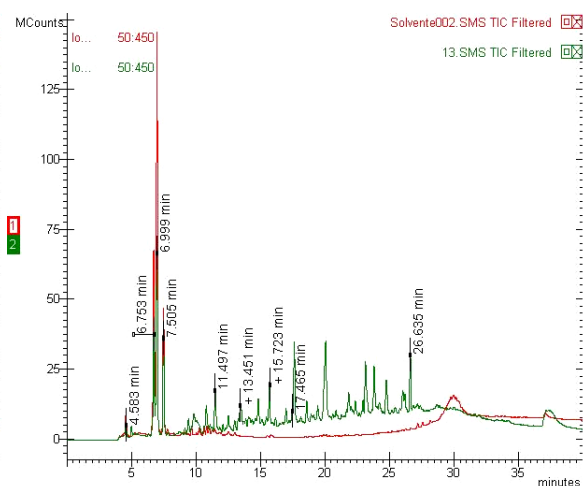
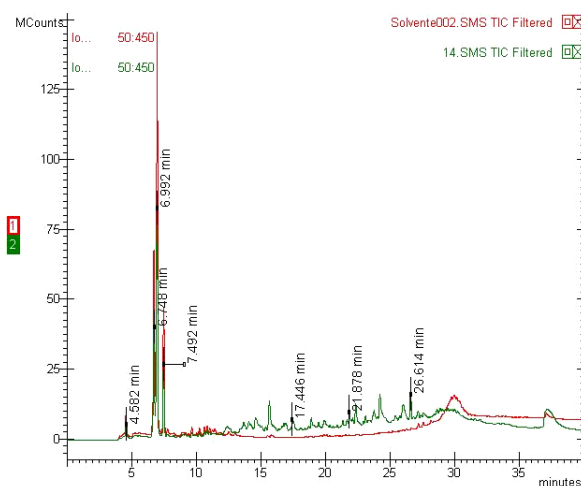
Cromatogramas da amostragem de dezembro do lixiviado do aterro A2 em pH 3,0, a esquerda e pH 7,0, a direita.



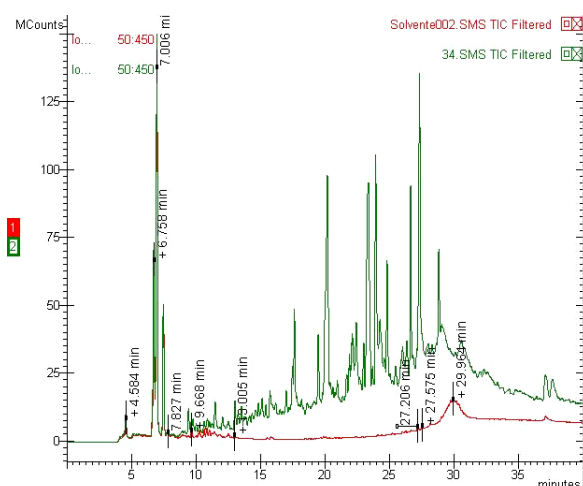
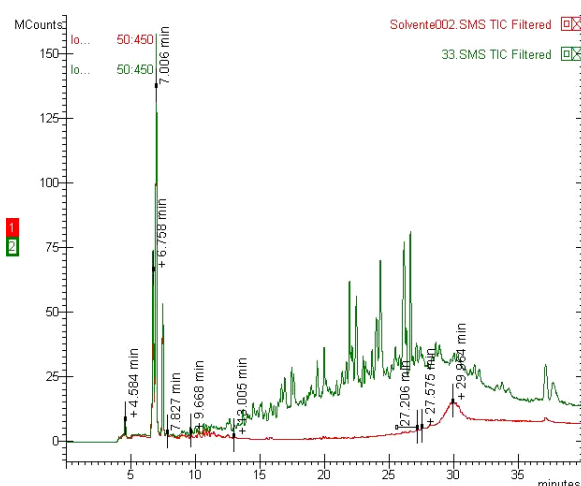
Cromatogramas da amostragem de março do lixiviado do aterro A2 em pH 3,0, a esquerda e pH 7,0, a direita.



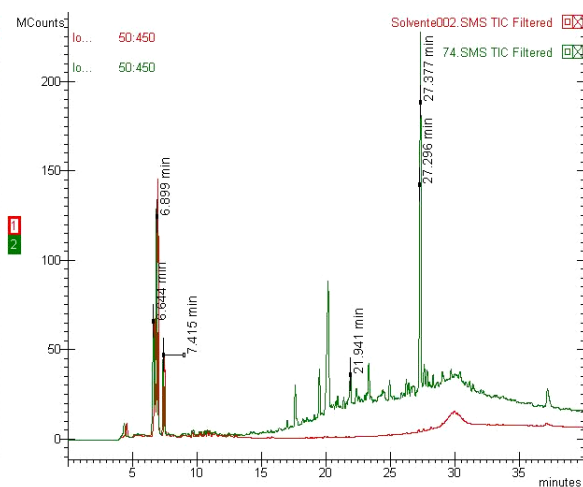
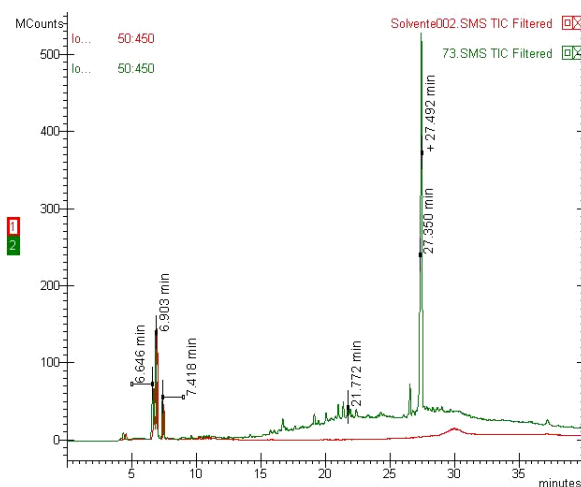
Cromatogramas da amostragem de julho do lixiviado do aterro A2 em pH 3,0, a esquerda e pH 7,0, a direita.



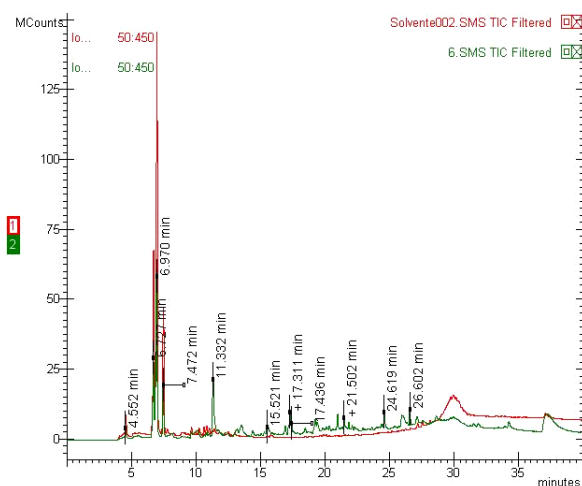
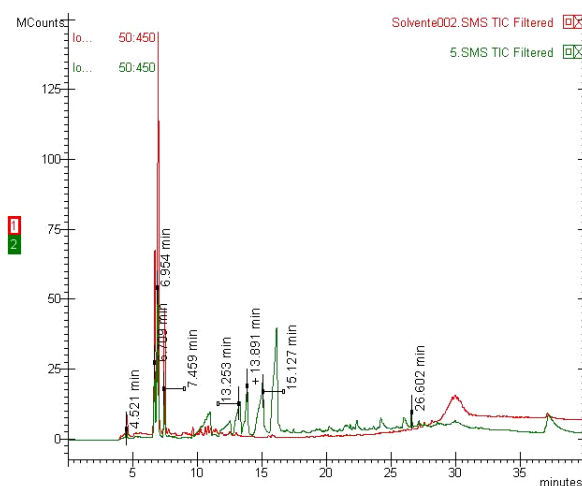
Cromatogramas da amostragem de janeiro do lixiviado do aterro A3 em pH 3,0, a esquerda e pH 7,0, a direita.



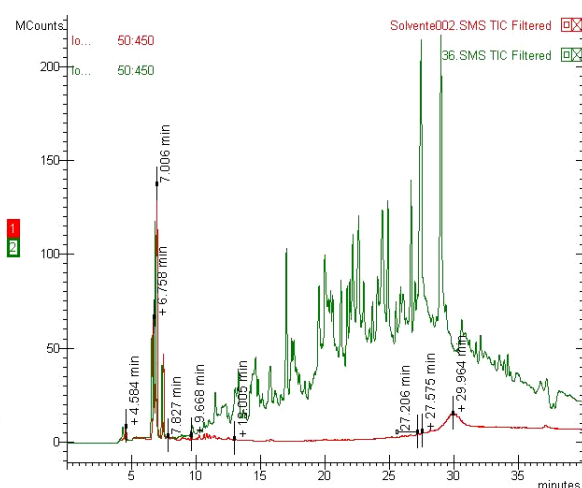
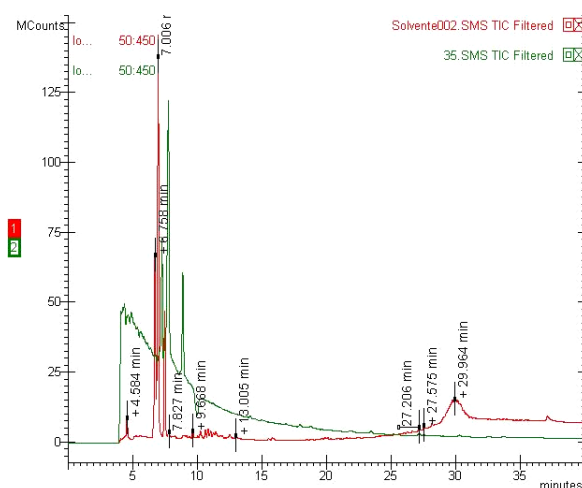
Cromatogramas da amostragem de março do lixiviado do aterro A3 em pH 3,0, a esquerda e pH 7,0, a direita.



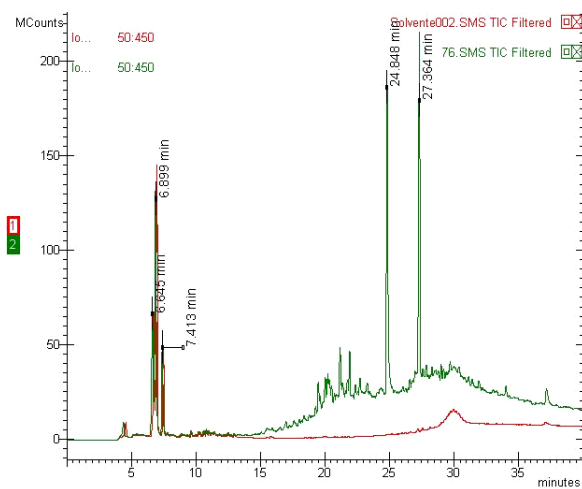
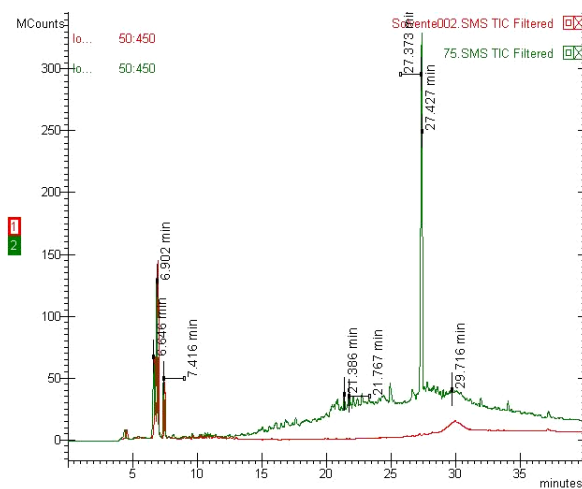
Cromatogramas da amostragem de julho do lixiviado do aterro A3 em pH 3,0, a esquerda e pH 7,0, a direita.



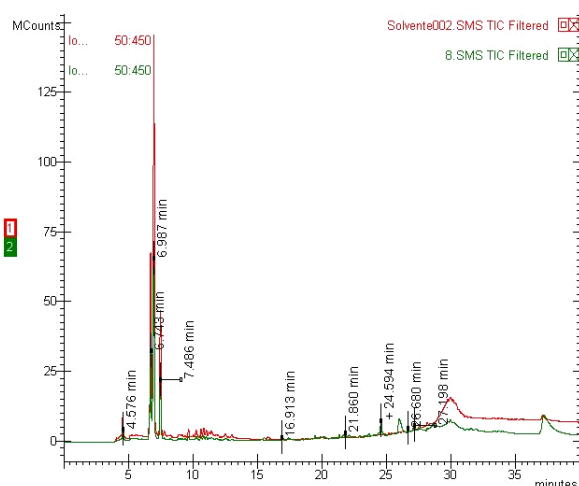
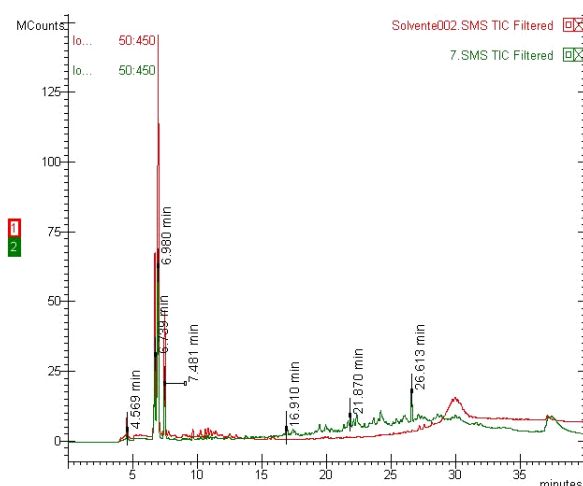
Cromatogramas da amostragem de dezembro do lixiviado do aterro A4 em pH 3,0, a esquerda e pH 7,0, a direita.



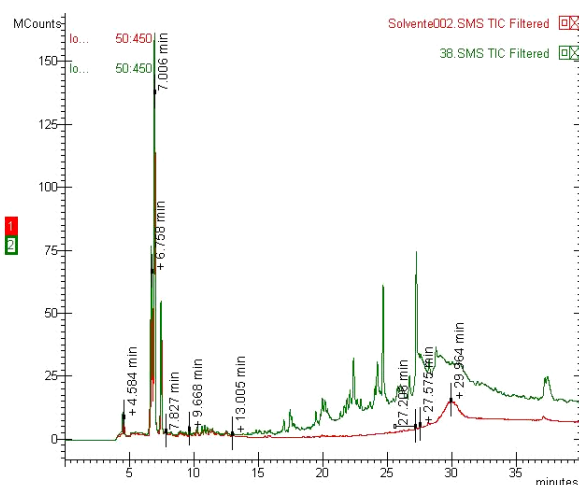
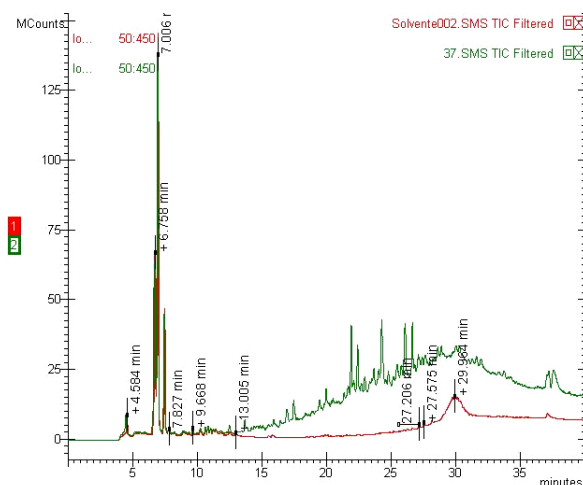
Cromatogramas da amostragem de março do lixiviado do aterro A4 em pH 3,0, a esquerda e pH 7,0, a direita.



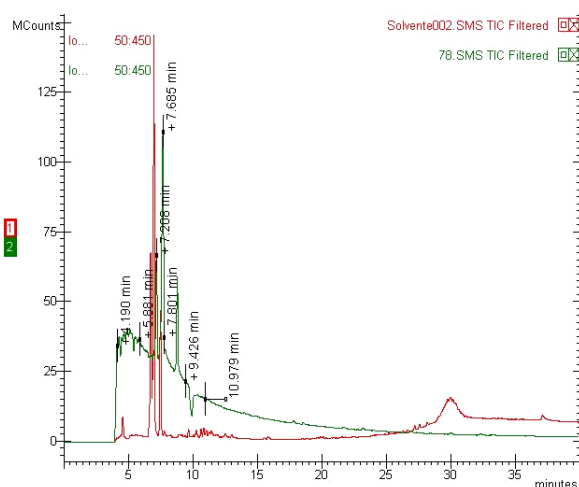
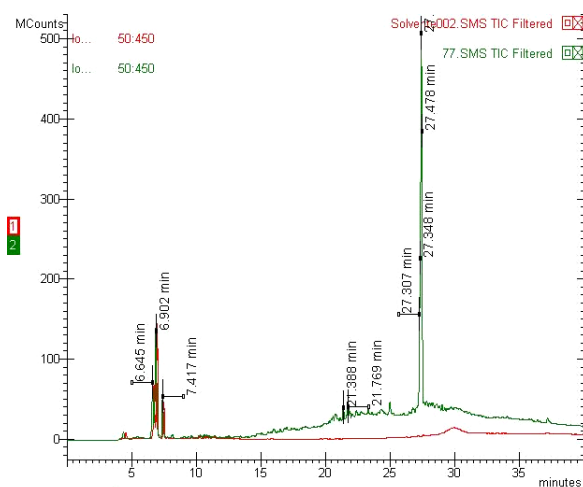
Cromatogramas da amostragem de julho do lixiviado do aterro A4 em pH 3,0, a esquerda e pH 7,0, a direita.



Cromatogramas da amostragem de dezembro do lixiviado do aterro A5 em pH 3,0, a esquerda e pH 7,0, a direita.

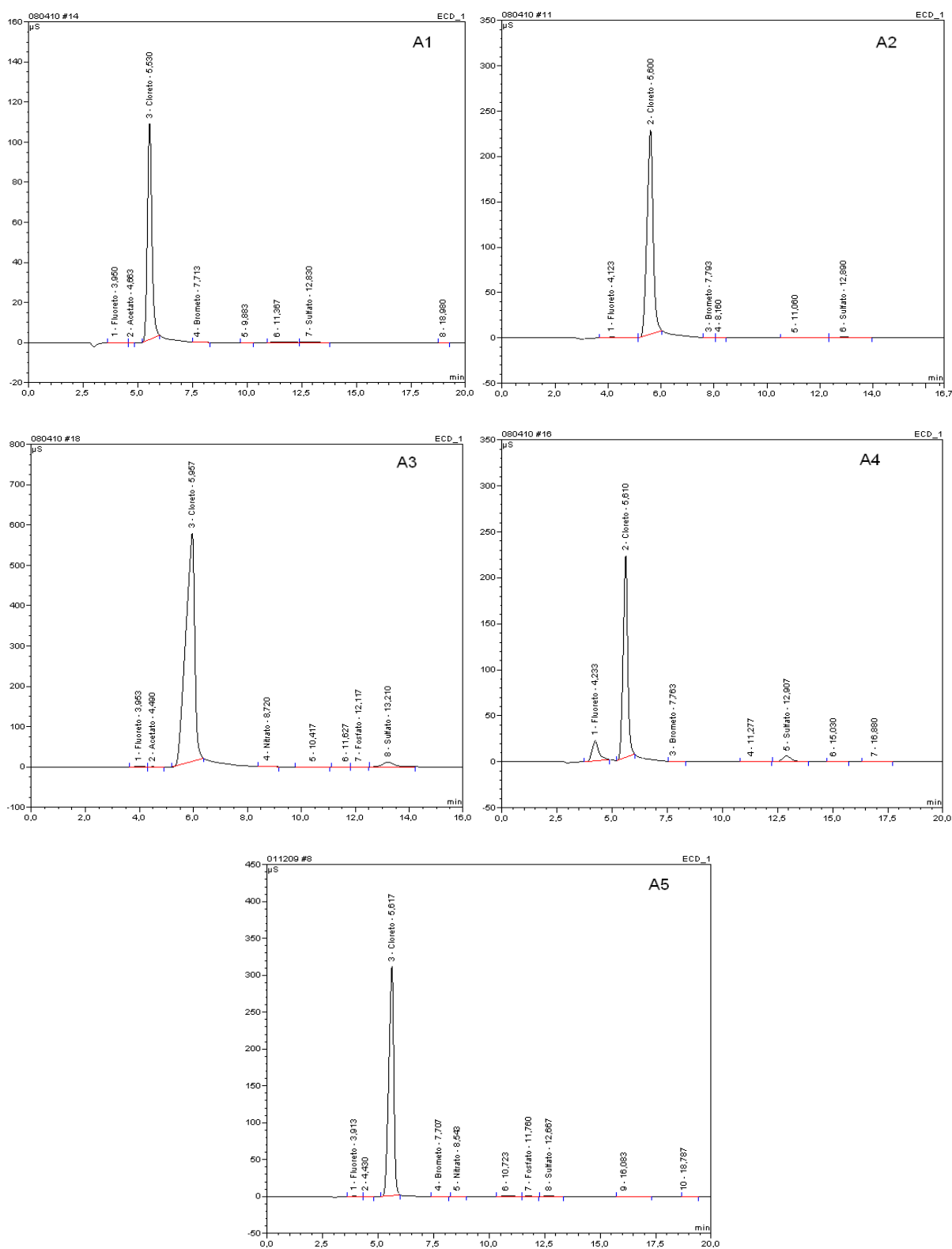


Cromatogramas da amostragem de março do lixiviado do aterro A5 em pH 3,0, a esquerda e pH 7,0, a direita.



Cromatogramas da amostragem de julho do lixiviado do aterro A5 em pH 3,0, a esquerda e pH 7,0, a direita.

APÊNDICE H – Cromatogramas de quantificação de ânions de uma amostra de cada aterro



Cromatogramas de quantificação de íons da amostragem de janeiro para os cinco aterros