



**BRUNA MARTINS NOGUEIRA ARAÚJO**

**DISRUPTORES ENDÓCRINOS EM CHORUME:  
ESTUDO DE CASO DO ATERRO CONTROLADO  
DE DIVINÓPOLIS/MG**

**LAVRAS – MG**

**2015**

**BRUNA MARTINS NOGUEIRA ARAÚJO**

**DISRUPTORES ENDÓCRINOS EM CHORUME: ESTUDO DE CASO DO  
ATERRO CONTROLADO DE DIVINÓPOLIS/MG**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Tecnologias e Inovações Ambientais, Curso Mestrado Profissional, área de concentração em Gestão de Resíduos e Efluentes, para a obtenção do título de Mestre.

Orientador

Dr. Márcio Pozzobon Pedroso

**LAVRAS – MG**

**2015**

**Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha Catalográfica da Biblioteca  
Universitária da UFLA, com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).**

Araújo, Bruna Martins Nogueira.

Disruptores endócrinos em chorume: estudo de caso do aterro controlado de Divinópolis/MG / Bruna Martins Nogueira Araújo. – Lavras : UFLA, 2015.

121 p. : il.

Dissertação(mestrado profissional)–Universidade Federal de Lavras, 2015.

Orientador: Márcio Pozzobon Pedroso.

Bibliografia.

1. Cromatografia Gasosa. 2. Disruptores Endócrinos. 3. Lixiviado. I. Universidade Federal de Lavras. II. Título.

**BRUNA MARTINS NOGUEIRA ARAÚJO**

**DISRUPTORES ENDÓCRINOS EM CHORUME: ESTUDO DE CASO DO  
ATERRO CONTROLADO DE DIVINÓPOLIS/MG**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Tecnologias e Inovações Ambientais, Curso Mestrado Profissional, área de concentração em Gestão de Resíduos e Efluentes, para a obtenção do título de Mestre.

APROVADA em 26 de fevereiro de 2015.

Dr. Anderson Alves dos Santos

IFMG – Campus Formiga

Dra. Josefina Aparecida de Souza

UFLA

Dr. Márcio Pozzobon Pedroso  
Orientador

**LAVRAS - MG**

**2015**

**Ao meu amado filho, Yuri Nogueira Araújo**

**DEDICO**

## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, pelo dom da vida e por me proporcionar mais este momento de evolução.

Ao meu adorado filho, Yuri Nogueira Araújo, que, muitas vezes, suportou minha ausência com tanta ternura.

Aos meus familiares, que sempre acompanharam minha caminhada. Minhas queridas irmãs Dri, Ju e Carol, “irmã do coração”, que sempre me apoiaram e incentivaram com muito amor, carinho e paciência.

Aos meus pais, Célia e Clécio, pelo exemplo de vida, pelo amor incondicional e apoio em todos os momentos.

À Prefeitura Municipal de Divinópolis, na pessoa do Secretário Municipal de Planejamento Urbano e Meio Ambiente - SEPLAM, Willian de Araújo, que prontamente disponibilizou as amostras para análise.

Aos colegas de classe, em especial, à querida Priscila, pela amizade, espontaneidade e alegria na troca de informações.

Os meus sinceros agradecimentos ao meu orientador, Prof. Dr. Márcio Pozzobon Pedroso, pela orientação competente, pela paciência e atenção que sempre teve comigo para que este trabalho fosse realizado, pelo incentivo, simpatia e presteza nas análises e auxílio às atividades. Enfim, a concretização deste trabalho só foi possível por causa de seu empenho - minha eterna gratidão.

À coordenadora do Mestrado Profa. Dra. Adelir Aparecida Saczk pela oportunidade.

Aos demais professores do programa, pelo conhecimento transmitido.

Especialmente à UFLA pela oportunidade de realização do curso, com o qual pude aprimorar meus conhecimentos acadêmicos.

A todos aqueles que, direta ou indiretamente, colaboraram para que eu conseguisse tornar meu sonho realidade.

**Ser grande é abraçar uma grande causa.**  
**Willian Shakespeare**

## RESUMO

O impacto causado pela crescente produção de resíduos, assim como seu correto tratamento e destino final, vêm causando demasiada preocupação frente à liberação de compostos orgânicos tóxicos que são descartados ao meio ambiente. Dentre os resíduos gerados, destaca-se o chorume que representa um potencial problema de poluição para as águas superficiais e subterrâneas, com altos valores de demanda bioquímica de oxigênio – DBO, demanda química de oxigênio – DQO, e bem como a presença de disruptores endócrinos. Assim, objetivou-se com esta pesquisa realizar um estudo de caso do chorume produzido pelos resíduos sólidos urbanos – RSU no Aterro Controlado de Divinópolis/MG, bem como verificar a presença de Disruptores endócrinos no mesmo e promover a importância da gestão ambiental correta de RSU. Para tanto, foi realizado o levantamento de dados, no município de Divinópolis (MG), sendo as amostras de chorume bruto coletadas no próprio município, com coordenadas geográficas locais de: 20° 08' 44" S e 44° 53' 01' O. Em seguida, realizou-se a extração por extração em fase sólida (SPE) e identificação dos compostos orgânicos por cromatografia gasosa acoplada à espectrometria de massas (GC/MS). Pelo levantamento, verificou-se grande quantidade de matéria orgânica putrescível, elevada quantidade de plástico e papel. Dentre os possíveis DEs, presentes no chorume, identificou-se o dioctilftalato (DOP), bisfenol A (BPA), e dietilftalato (DEP). Diante do estudo realizado, conclui-se que foi possível realizar um levantamento acerca da geração e tratamento dos RSU do chorume do aterro controlado do município. Com base na constatação desses contaminantes, embora a quantificação não tenha sido viável, tornou-se plausível discutir as tecnologias envolvidas na remoção e efetivas formas de tratamento desses micropoluentes, abrindo imenso campo de estudo na área ambiental.

Palavras-chave: Cromatografia Gasosa. Disruptores Endócrinos. Lixiviado.



## ABSTRACT

The impact caused by the increasing production of waste, as well as its proper treatment and disposal, have caused much concern regarding the release of toxic organic compounds that are discarded into the environment. Among the waste generated, landfill leachate is highlighted as a potential pollution issue for surface and groundwater, presenting high values of biochemical oxygen demand - BOD, chemical oxygen demand - COD, and the presence of endocrine disruptors. Therefore, the aim of this research was conducting a case study of the landfill leachate produced by municipal solid waste - MSW in the Controlled Landfill in Divinópolis, Minas Gerais, Brazil, as well as verifying the presence of Endocrine Disruptors in it, and promoting the importance of a proper environmental management of MSW. A data survey was conducted in Divinópolis – MG and the landfill leachate was sampled at the local geographic coordinates of 20° 08' 44" S and 44° 53' 01' W. Subsequently, a solid phase extraction (SPE) was performed previously to the identification of the organic compounds by gas chromatography coupled to mass spectrometry (GC/MS). By means of the survey, we verified large amounts of putrescible organic matter, plastic and paper. Among the possible EDs present in the slurry, we could identify dioctylphthalate (DOP), bisphenol A (BPA) and diethyl phthalate (DEP). In summary, it was possible to conduct a survey regarding the generation and treatment of the MSW in the Controlled Landfill of the municipality. Based on the observation of these contaminants, despite the quantification of the EDs had not being feasible, it became reasonable to discuss the technologies involved in removing and in the effective manners in which to treat these micro-pollutants, clearing an immense study field in the environmental area.

Keywords: Gas Chromatography. Endocrine Disruptors. Leachate.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Destino final dos RSU por unidades de destino dos resíduos no Brasil .....	27
Figura 2	Rota de contaminação e exposição humana aos compostos tóxicos .....	37
Figura 3	Estrutura química do bisfenol A e propriedades físico-químicas.....	43
Figura 4	Estrutura química dos ftalatos DEP e DBP e propriedades físico-químicas .....	46
Figura 5	Estrutura química do nonilfenol e propriedades físico-químicas.....	48
Figura 6	Esquema de um equipamento de cromatografia em fase gasosa.....	50
Figura 7	Esquema das etapas de extração em fase sólida (SPE).....	51
Figura 8	Vista parcial de Divinópolis/MG. ....	69
Figura 9	Evolução da população do município de Divinópolis/MG.....	70
Figura 10	Coleta do chorume do Aterro Controlado de Divinópolis/MG.....	73
Figura 11	Extração da amostra de chorume: (a) Sistema completo, (b) cartucho após utilização e (c) adição da amostra de chorume ao cartucho de SPE .....	75
Figura 12	Localização do Aterro Controlado .....	79
Figura 13	Vista parcial da entrada do aterro controlado do município de Divinópolis/MG .....	80
Figura 14	Composição gravimétrica dos RSU em Divinópolis/MG.....	81
Figura 15	Recolhimento do Material de Coleta Seletiva em Divinópolis/MG .....	82
Figura 16	Coleta de RSU em Divinópolis/MG.....	83
Figura 17	Recebimento e revestimento dos RSU no Aterro Controlado de Divinópolis/MG .....	84

Figura 18	Tanque de Coleta do chorume do Aterro Controlado de Divinópolis/MG e (b) lagoa de chorume do Aterro Controlado de Divinópolis/MG.....	85
Figura 19	Sistema de coleta e queima de gases do Aterro Controlado de Divinópolis/MG .....	86
Figura 20	Instalação da membrana PEAD na célula do aterro controlado de Divinópolis/MG.....	87
Figura 21	Cromatograma GC/MS modo SCAN da amostra de chorume .....	89
Figura 22	Cromatograma GC/MS modo SIM da amostra de chorume .....	89
Figura 23	cromatograma do chorume em modo SIM, representando apenas os íons monitorados referentes ao dietilftalato (acima) e ao BPA (abaixo).....	90

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Classificação dos resíduos sólidos quanto à origem - NBR 10.004.....	24
Tabela 2	Classificação de Resíduos - NBR 10.004.....	25
Tabela 3	Classificação dos lixiviados relacionados à idade do aterro.....	34
Tabela 4	Identificação de micropoluentes orgânicos em lixiviado de aterro.....	39
Tabela 5	Exemplos de disruptores endócrinos e seus efeitos em humanos.....	41
Tabela 6	Intervalo de tempo e íons monitorados para os diferentes DEs por GC-MS no modo SIM .....	77

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABRELPE	Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos
AMDIS	<i>Automated Mass Spectral Deconvolution and Identification System</i>
APCI	Ionização química a pressão atmosférica ( <i>Atmospheric pressure chemical ionization</i> )
ANIP	Associação Nacional das Indústrias de Pneumáticos Especiais
APA	AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION
APES	Alquifenois etoxilados
ASCADI	Associação de Catadores de Papel e Materiais Reaproveitáveis de Divinópolis
BPA	Bisfenol A
CEMPRE	Compromisso Empresarial para Reciclagem
CNEN	Conselho Nacional de Energia Nuclear
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
COPAM	Conselho Estadual de Política Ambiental
COPASA	Companhia de Saneamento de Minas Gerais
COT	Carbono orgânico total
DBO	Demanda bioquímica de oxigênio
DBP	Dibutilftalato
DCF	Diclofenaco de sódio
DCM	Diclorometano
DDT	Diclorodifeniltricloroetano
DEP	Dietilftalato
DEs	Disruptores endócrinos

DOP	Diociltalato
DQO	Demanda química de oxigênio
PCBs	Bifenilos Policlorados
ETE	Estação de Tratamento de Esgoto
EtOAc	Acetato de etila
EUA	Estados Unidos da América
GC	Cromatografia gasosa ( <i>gas chromatography</i> )
IBAM	Instituto Brasileiro de Administração Municipal
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IPT	Instituto de Pesquisas Tecnológicas
LC	Cromatografia líquida ( <i>liquid chromatography</i> )
LLE	Extração líquido-líquido ( <i>liquid-liquid extraction</i> ).
LR	Logística reversa
MeOH	Metanol
MOD	Matéria orgânica dissolvida
MS	Espectrometria de massa ( <i>mass spectrometry</i> ).
NBR	Norma brasileira
NP	Nonilfenol
O	Oeste
•OH	Radicais hidroxila
PEAD	Poliétileno de alta densidade
PGIRS	Plano de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos
PMGIRS	Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos
PNRS	Política Nacional dos Resíduos Sólidos
POAs	Processos oxidativos avançados
POPs	Poluentes orgânicos persistentes
PVC	Cloreto de polivinila
RJ	Rio de Janeiro

RSU	Resíduos sólidos urbanos
SS	Sólidos em suspensão
SCAN	Varredura dos íons em uma faixa pré-definida
SIM	Monitoramento seletivo de íons
SPE	Extração em fase sólida ( <i>solid phase extraction</i> )
SPME	Microextração em fase sólida ( <i>solid phase microextraction</i> )
TDH	Tempo de detenção hidráulica
UASB	Reatores anaeróbios de manta de lodo
UFLA	Universidade Federal de Lavras
USEPA	Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos da América

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO .....	16
2	OBJETIVOS .....	21
2.1	Objetivos específicos .....	21
3	REVISÃO DE LITERATURA .....	22
3.1	Resíduos Sólidos Urbanos.....	22
3.2	Sistemas de Disposição Final de RSU.....	26
3.3	Chorume do Aterro .....	32
3.3.1	Características gerais.....	33
3.3.2	Geração .....	35
3.4	Presença de compostos orgânicos tóxicos em lixiviados .....	36
3.4.1	Disruptores Endócrinos .....	39
3.4.1.1	Bisfenol A - BPA .....	42
3.4.1.2	Ftalatos .....	44
3.4.1.3	Alquilfenóis e seus derivados etoxilados: nonilfenol .....	47
3.5	Análise Química de Compostos por GC - SPE.....	48
3.6	Tratamentos de chorume.....	52
4	MATERIAL E MÉTODOS.....	67
4.1	Levantamento de dados .....	67
4.1.1	Divinópolis/MG – Aspectos geográficos, econômicos e sociais .....	68
4.1.2	Divinópolis/MG – Análise ambiental.....	70
4.2	Partes experimentais.....	72
4.2.1	Amostras .....	72
4.2.2	Extração e identificação dos compostos orgânicos.....	73
4.2.2.1	Metodologia analítica.....	74
4.2.2.2	Condições cromatográficas.....	75
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	78
5.1	Aterro controlado e tratamento dos RSU de Divinópolis/MG.....	78
5.1.1	Localização.....	79
5.1.2	Composição dos RSU .....	81
5.1.3	Coleta dos RSU .....	81
5.1.4	Ações Mitigatórias no aterro controlado.....	86
5.2	Análise do chorume .....	87
5.3	Chorume: desafios e possibilidades .....	91
6	CONCLUSÕES.....	103
	REFERÊNCIAS.....	105



## 1 INTRODUÇÃO

É tocante a importância do estudo e análise das questões ambientais que, além de despertarem a curiosidade da população, passam a preocupar a sociedade como necessidade de se cuidar da saúde, do bem estar e meio ambiente. Nesse sentido, alguns estudos requerem maior atenção, especialmente no que diz respeito ao impacto causado pela crescente produção diária de resíduos, assim como seu correto tratamento e destino final que, conseqüentemente, proporcionam a liberação de compostos orgânicos tóxicos para o meio ambiente.

A produção e o consumo de produtos vêm crescendo significativamente, resultando no aumento da geração de resíduos sólidos urbanos (RSU). Apesar dos órgãos ambientais obrigarem, conforme leis específicas, a maioria desses resíduos não possui destinação adequada em aterros sanitários. Ainda é constante a destinação inadequada desses resíduos em aterros controlados, lixões ou terrenos baldios. Assim, é o caso de Divinópolis, que, ainda, destina os resíduos produzidos para o aterro controlado. Um dos problemas decorrentes da disposição de resíduos é a geração, gestão e efetivo tratamento do chorume, que é um líquido altamente poluente e bastante complexo.

O chorume é o líquido gerado pela decomposição de resíduos de aterros e complementado pela água da chuva. Por meio de sua percolação, forma o lixiviado que carrega consigo as características dos resíduos que o originaram. Estes líquidos devem ser coletados, monitorados, atenuados e devidamente tratados antes de serem lançados em corpos hídricos, evitando efeitos prejudiciais (KJELDSEN et al., 2002; SALEM et al., 2008).

Esse efluente é um potencial problema de poluição para as águas superficiais e subterrâneas, em razão da presença elevada de poluentes orgânicos xenobióticos de alta resistência e metais pesados. Além disso, apresenta altos

valores da Demanda Bioquímica de Oxigênio - DBO e Demanda Química de Oxigênio - DQO em torno de 30 a 150 vezes maior que do esgoto doméstico, o que torna o seu tratamento muito mais difícil quando comparado ao tratamento de esgoto (ASAKURA, 2009).

Dentre os poluentes orgânicos xenobióticos, há uma nova classe de compostos denominados de disruptores endócrinos (DE), os quais possuem capacidade de interferir e causar distúrbios prejudiciais ao sistema reprodutivo de animais selvagens e dos seres humanos. Apresentam, também, a denominação de perturbadores endócrinos e desreguladores endócrinos. Seus efeitos englobam tanto danos reprodutivos, quanto aumento da incidência de câncer (mama, próstata, testículos, tireoide), até o desenvolvimento neurológico anormal e distúrbios do sistema neuroimunológicos. O maior problema, no que se refere aos DEs, é que esses compostos enquadram-se no grupo de poluentes presentes em baixa concentração, na ordem de microgramas por litro ( $\mu\text{g L}^{-1}$ ) ou inferior e, por isso, são também chamados de micropoluentes. Sua presença está aumentando cada vez mais, em função da utilização de novos produtos químicos que facilitam a vida moderna, consequência do processo de modernização e da urbanização.

Sendo assim, a presença desses compostos tóxicos no chorume, oriundos de resíduos depositados em ambientes abertos, como em aterros controlados, podem vir a contaminar o meio ambiente. Dentre os resíduos que liberam DEs no chorume destacam-se solventes; surfactantes e os plastificantes. Esses produtos químicos estão presentes no nosso cotidiano, empregados na fabricação de brinquedos, embalagens, sacolas e recipientes plásticos, fabricação de policarbonato, resinas epóxi, retardante de chamas, adesivos, tintas em pó, lentes automotivas, garrafas plásticas, selantes dentais, entre outros.

O tratamento do chorume poderia minimizar a contaminação provocada por esses micropoluentes, caso esses fossem degradados durante o processo de

tratamento. No Brasil, geralmente, o lixiviado é transportado dos aterros para o tratamento convencional nas Estações de Tratamento de Esgotos (ETEs). Esse processo de tratamento é dificultado em virtude da química complexa do chorume e por este passar por alterações de suas características ao longo do tempo. Outros fatores, como a idade dos resíduos, as condições climáticas e geológicas, projeto e prática operacional do aterro, também, influenciam nas características do chorume, o que dificulta ainda mais a escolha do tratamento ideal.

Embora o chorume seja bem mais agressivo que esgoto e precise de um tratamento adequado, as técnicas comumente empregadas para tratamento de rejeitos industriais, que têm sido utilizadas para tratamento de chorume, incluindo os tradicionais processos biológicos, aeróbio e anaeróbico, são os processos físico-químicos (SERAFIM et al., 2003). No entanto, no tratamento de chorume e de esgoto são aferidos parâmetros como DBO, e DQO, pH, sólidos em suspensão, nitrogênio, fósforo e coliformes totais. Neste caso, aplicam-se as formas de tratamento convencional, utilizando processos como o biológico e físico químico, por técnicas como a coagulação, precipitação e os processos de lodos ativados. Os processos biológicos, como lodos ativados, são os mais empregados para diminuir a matéria orgânica. Todavia, esses processos não são eficazes na degradação de DEs, enquanto as opções de tratamentos avançados, tais como biorreatores de membrana, nanofiltração, e processos oxidativos avançados (POAs) têm mostrado resultados mais satisfatórios (BODZEK; BOHDZIEWICZ; KONIECZNY, 1997; PEREZ et al., 2002).

Lange et al. (2006) explicitam que os processos biológicos são os mais empregados no tratamento de lixiviados em razão das suas características serem semelhantes às dos esgotos domésticos. Todavia, geralmente ocorrem dificuldades ao utilizar tratamentos biológicos para lixiviado por causa da vazão, da necessidade de uma grande área para implantação, além baixa eficiência para

lixiviado estabilizado ou pouco biodegradável, devido à carga orgânica muito variável e, muitas vezes, o efluente não se enquadra nos padrões estabelecidos pela legislação.

Dada a algumas especificidades do chorume, caso o mesmo não seja tratado de forma eficiente, ele pode ser lançado em águas superficiais ou permear nas águas subterrâneas, contribuindo para a poluição hídrica, da vegetação e do solo, podendo causar riscos para a saúde pública e ao ambiente circundante. Aqui, cabe lembrar que a Constituição Federal de 1988, em seu artigo 225 (BRASIL, 1988), cita que o meio ambiente ecologicamente equilibrado é bem de uso comum a todos, impondo ao poder público e à coletividade, o dever de zelar por sua proteção. Dessa forma, enfatiza-se a importância e necessidade de estabelecer e executar o tratamento adequado do chorume, pois passa a ser um dever do cidadão perante a lei.

O impacto produzido pelo chorume no meio ambiente é bastante acentuado. Estudos recentes demonstram que efeitos adversos podem ser observados no solo, mesmo a distâncias superiores a 100 m do aterro, assim como alterações na biota aquática, principalmente nas imediações da descarga. Por este motivo, a implementação de sistemas de coleta e tratamento é essencial (MORAIS; PERALTA-ZAMORA; SIRTORI, 2006, p. 20).

Teoricamente, existem duas formas de tratamento, uma para diminuir a matéria orgânica que ocorre a partir do tratamento biológico; e outra para degradar os compostos tóxicos que, além da biodegradação, realizam a remoção física, e processo de oxidação química avançada. Esse tratamento, além de baixar a matéria orgânica, irá remover micropoluentes e até metais pesados.

Quanto à composição química do chorume, que é muito complexa e relativamente desconhecida, não há como garantir a eficácia do tratamento no que se refere aos compostos tóxicos recalcitrantes. Sendo assim, a fim de

minimizar os riscos de contaminação por DEs, é necessário verificar a presença desses compostos tóxicos no chorume, visando subsidiar a gestão e o tratamento adequados. Apesar da relevância, constatou-se que pouco ou quase nada se tem registrado no mundo acadêmico sobre a identificação de compostos orgânicos em chorume por GC-MS.

Outro problema está relacionado à carência na legislação brasileira, pois além de não apresentar parâmetros específicos para o chorume, e oferecer os mesmos padrões de lançamento de efluentes, a resolução não contempla nenhum tipo de diretriz para gestão de lançamento de DE em corpos hídricos.

Ressalta-se a importância deste trabalho, por meio do estudo de caso e identificação de compostos tóxicos, sugerindo possibilidades de pesquisas futuras mais aprofundadas e localizadas sobre mecanismos envolvidos na remoção de DEs, e os processos de tratamento de lixiviado do aterro Controlado de Divinópolis/MG. Para isso, o chorume, que é uma matriz extremamente complexa no que se refere à análise, precisa ser analisado por uma técnica capaz de separar e identificar os compostos presentes, que é o caso da cromatografia gasosa acoplada à espectrometria de massa (GC/MS). Para tal, faz-se necessário um tratamento prévio da amostra, utilizando técnicas de limpeza da amostra e pré-concentração dos compostos de interesse, como é o caso da extração em fase sólida (SPE).

## **2 OBJETIVOS**

Realizar estudo de caso do chorume, produzido pelos RSU no Aterro Controlado de Divinópolis/MG, bem como verificar a presença de DEs.

### **2.1 Objetivos específicos**

- a) Apresentar as características sociais, econômicas e ambientais do município que refletem diretamente na produção dos RSU e, conseqüentemente, na composição físico-química do chorume;
- b) Contribuir academicamente com sugestões sobre a importância da gestão ambientalmente correta de RSU, buscando mitigar impactos socioambientais, colaborando para a sustentabilidade;
- c) Verificar a presença de DE no lixiviado do aterro controlado por meio de SPE e GC/MS;
- d) Propor alternativas de tratamento eficiente, para remoção de compostos identificados no chorume analisado, de acordo com revisão bibliográfica realizada.

### 3 REVISÃO DE LITERATURA

#### 3.1 Resíduos Sólidos Urbanos

A partir da explosão populacional, do surgimento de novas tecnologias, junto à crescente industrialização e aumento do poder aquisitivo da sociedade, especialmente nos grandes centros urbanos, ocorre diretamente o aumento de RSU.

Em virtude da preocupação gerada, em decorrência dessa crescente produção de resíduos, a sociedade começa a pensar mais sobre impactos causados e passa a criar alternativas sustentáveis para o adequado gerenciamento dos RSU.

A Lei 12.305/10 que instituiu a Política Nacional dos Resíduos Sólidos (PNRS) menciona em seu inc. XVI:

Resíduo sólido é o material, substância, objeto ou bem descartado resultante de atividades humanas em sociedade, a cuja destinação final se procede, se propõe proceder ou se está obrigado a proceder, nos estados sólido ou semissólido, bem como gases contidos em recipientes e líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou em corpos d'água, ou exijam para isso soluções técnicas ou economicamente viáveis em face da melhor tecnologia disponível (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT, 1987, p. 1).

A PNRS estabelece princípios, procedimentos, normas e critérios referentes à geração, acondicionamento, armazenamento, coleta, transporte, tratamento e destinação final dos resíduos sólidos, sejam eles de origem hospitalar, industrial, agrícola ou doméstico, respeitando sua classificação. Deliberando, para esse fim, a elaboração e execução do Plano de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos (PGIRS), para que todo esse processo seja

efetuado de forma a cumprir os princípios da tríade da sustentabilidade, envolvendo os pilares da viabilidade econômica, justiça social e que seja principalmente ecologicamente correto.

De forma bastante simples, é preciso conhecer os resíduos quanto à origem e composição para que haja seu correto manejo. Para isso, a NBR 10004: 2004 considera tanto a identificação da atividade ou processo que lhes deu origem, quanto suas características, de seus constituintes e, ainda, menciona processo de classificação quanto à disposição final de resíduos sólidos.

Em busca de uma melhor compreensão e aproveitamento do ciclo de vida dos RSU, há uma classificação que divide os constituintes de resíduos orgânicos quanto ao seu nível de degradabilidade como proposto por Bidone e Povinelli (1999). Nessa classificação, o resíduo é classificado como facilmente degradável (matéria orgânica), moderadamente degradável (papéis, papelão e material celulósico), dificilmente degradável (pedaços de pano, retalhos, aparas e serragens de couro, borracha e madeira) e, ainda, não degradável (vidros, metais, plásticos, pedras e terra, dentre outros).

O homem produz desde resíduos domésticos até radioativos. Diante desse contexto, Bidone e Povinelli (1999) ressaltam a necessidade de analisar ou comparar os RSU, Para isso é preciso adotar a classificação dos resíduos sólidos, que podem ser classificados em três diferentes classes, de acordo com sua natureza; ou quanto ao risco de potencial contaminação ao meio ambiente, ou ainda, quanto à sua origem, de acordo com que é denominado na Tabela 1.



Tabela 1 Classificação dos resíduos sólidos quanto à origem - NBR 10.004

<b>Origem</b>	<b>Características</b>
<b>Urbana</b>	Resíduos residenciais, comerciais, de varrição, de feiras livres, de capinação e poda.
<b>Industrial</b>	Nessa categoria, inclui-se o lodo produzido no tratamento de efluentes líquidos industriais, bem como resíduos resultantes de seus processos de transformação, como exemplo: cinzas, fibras, metais, escórias, geralmente tóxicos.
<b>Serviços de saúde</b>	Resíduos gerados em hospitais, clínicas médicas, odontológicas e veterinárias, postos de saúde e farmácia.
<b>Radioativa</b>	Resíduos de origem atômica. Esse tipo tem legislação própria e é controlado pelo Conselho Nacional de Energia Nuclear (CNEN).
<b>Agrícola</b>	Resíduos de fabricação de defensivos agrícolas e suas embalagens.
<b>Entulhos</b>	Resíduos da construção civil, como vidros tijolos, pedras, tintas, solventes e outros.

Fonte: ABNT (2004)

Esses resíduos, quando descartados de forma inadequada no meio ambiente, causam problemas de poluição. Por isso, a ABNT (2004), define que o gerador dos resíduos, além de identificar e classificar os RSU que produz, deve apresentar alternativas de segregação, disposição final ou reciclagem, mantendo os limites toleráveis que os órgãos fiscalizadores estipulam, propondo medidas mitigatórias que visem diminuir os impactos negativos dos agentes poluidores e suas possíveis toxidades.

Os resíduos sólidos apresentam características, em função de suas propriedades físicas, químicas ou infectocontagiosas, sendo classificados pelo iminente risco à saúde pública e, ou riscos ao meio ambiente. Quanto à

classificação dos resíduos sólidos, referentes aos seus riscos potenciais, estes são classificados pela NBR 10.004 (ABNT, 2004) de acordo com a Tabela 2.

Tabela 2 Classificação de Resíduos - NBR 10.004

<b>Resíduos</b>	<b>Descrição</b>
Classe I (materiais perigosos)	Características de toxicidade, inflamabilidade, corrosividade, reatividade, radioatividade e patogenicidade que podem apresentar riscos à saúde pública ou efeitos adversos ao meio ambiente.
Classe II (materiais não inertes)	Materiais que não se enquadram nas classes I e III. Os resíduos desta classe podem ter como propriedades: inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade ou patogenicidade.
Classe III (materiais inertes)	Materiais que não se solubilizam ou que não têm qualquer componente solubilizado em concentrações superiores aos padrões estabelecidos (NBR 10006 – Solubilização de Resíduos)

Fonte: ABNT (2004).

Além dessa classificação, a NBR 10004 (ABNT, 2004) especifica-os quanto à sua periculosidade, relacionando-os à norma de procedimentos que permitem a identificação das propriedades físicas, químicas ou infectocontagiosas dos resíduos sólidos que podem apresentar risco à saúde pública, provocando mortalidade, incidência de doenças ou acentuando seus índices e riscos ao meio ambiente. Segundo a Norma, os resíduos também são classificados da seguinte forma:

**Toxicidade:** Propriedade potencial que o agente tóxico possui de provocar, em maior ou menor grau, um efeito

adverso em consequência de sua interação com o organismo.

**Agente tóxico:** Qualquer substância ou mistura cuja inalação, ingestão ou absorção cutânea tenha sido cientificamente comprovada como tendo efeito adverso (tóxico, carcinogênico, mutagênico, teratogênico ou ecotoxicológico).

**Toxicidade aguda:** Propriedade potencial que o agente tóxico possui de provocar um efeito adverso grave, ou mesmo morte, em consequência de sua interação com o organismo, após exposição a uma única dose elevada ou a repetidas doses em curto espaço de tempo.

**Agente teratogênico:** Qualquer substância, mistura orgânica, agente físico ou estado de deficiência que, estando presente durante a vida embrionária ou fetal, produz uma alteração na estrutura ou função do indivíduo dela resultante.

**Agente mutagênico:** Qualquer substância, mistura, agente físico ou biológico cuja inalação, ingestão ou absorção cutânea possa elevar as taxas espontâneas de danos ao material genético e ainda provocar ou aumentar a frequência de defeitos genéticos.

**Agente carcinogênico:** Substâncias, misturas, agentes físicos ou biológicos cuja inalação ingestão e absorção cutânea possam desenvolver câncer ou aumentar sua frequência. O câncer é o resultado de processo anormal, não controlado da diferenciação e proliferação celular, podendo ser iniciado por alteração mutacional.

**Agente ecotóxico:** Substâncias ou misturas que apresentem ou possam apresentar riscos para um ou vários compartimentos ambientais (ABNT, 2004, p. 2).

### 3.2 Sistemas de Disposição Final de RSU

Um dos principais problemas dos municípios brasileiros está relacionado à falta de destinação ambientalmente adequada e gestão dos RSU. Este problema se agrava com produção crescente de resíduos, gerados em consequência do crescimento da população, aumento do consumismo e desenvolvimento industrial.

Além de danos ambientais, a inadequada disposição de RSU resulta em problemas sociais e de saúde pública, com a presença de catadores, impactos econômicos com a desvalorização do uso do solo. Historicamente, são adotadas três formas básicas de disposição final de resíduos sólidos: lixão, aterro controlado e aterro sanitário (CASTILHOS JUNIOR, 2003). Segundo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE (2008), a situação caótica da disposição dos RSU gerados no país ainda é preocupante, conforme apresentado na Figura 1.

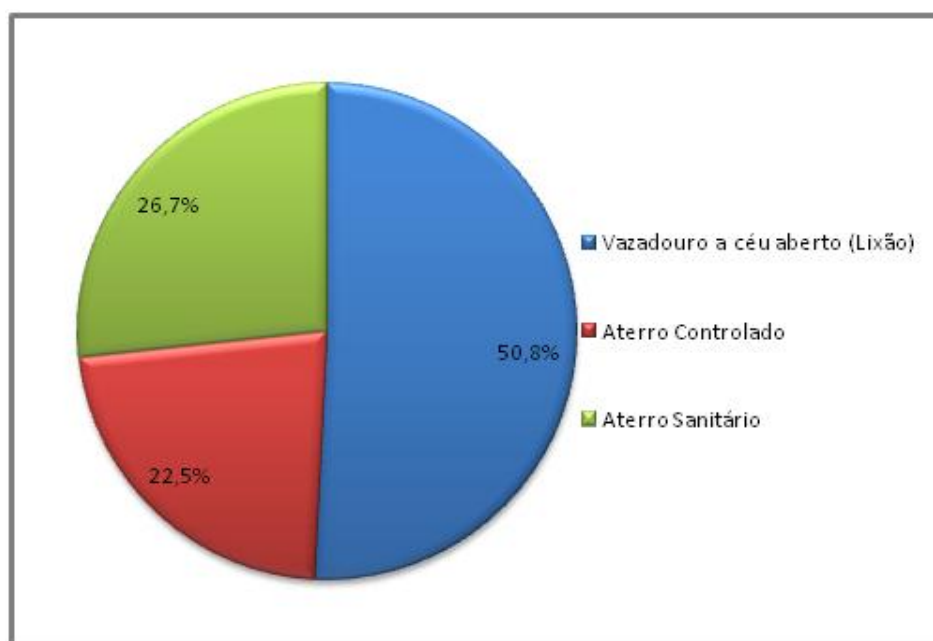


Figura 1 Destino final dos RSU por unidades de destino dos resíduos no Brasil  
Fonte: IBGE (2008).

Infelizmente, o lançamento de resíduos em valas abertas tornou-se rotina na maioria dos municípios brasileiros. Esses depósitos também são conhecidos como lixeiras ou lixões. Nesses locais não há preparação anterior do solo para

receber o depósito de lixo, não há tratamento preliminar ou qualquer técnica de proteção ao meio ambiente, gerando problemas de saúde pública. Além disso, os resíduos em decomposição atraem pragas domésticas, tornando-se suscetíveis a disseminação de vetores de doenças. Outro fator preocupante é que esses locais logo se tornam um caos social, pois as pessoas que ali vivem e tiram seu sustento, ficam expostas a riscos de contaminações e doenças.

Além disso, essa situação também causa danos aos organismos terrestres, aumentando o potencial poluidor para o solo, atmosfera e cursos d'água. Nos lixões não há dreno de gases, nem sistema de tratamento dos efluentes líquidos – o chorume. O chorume produzido carrega consigo as características tóxicas oriundas dos resíduos, chegando ao solo, podendo atingir e contaminar as águas subterrâneas e superficiais.

Em Minas Gerais, o Programa “Minas Sem Lixões” busca uma reafirmação no processo de gestão dos resíduos, a partir da apresentação de critérios para regularização ambiental. A Lei Estadual no 18.031, de 12 de janeiro de 2009 (MINAS GERAIS, 2009), possui estrutura semelhante à PNRS, além disso, impõe a elaboração do Plano Estadual. Um dos diferenciais está relacionado à valorização dos catadores, com a promulgação da Lei 19.823/11, regulamentada pelo Decreto 45.975/12 (MINAS GERAIS, 2012).

Já, o aterro controlado constitui-se de uma categoria intermediária entre lixão e aterro sanitário com o objetivo de amenizar os depósitos a céu aberto. O aterro controlado é parecido com um lixão, mas difere-se no que diz respeito ao preparo do solo para receber o lixo, visto que é colocada uma cobertura de grama e argila. Há uma contenção do lixo que, depois de lançado no depósito, é coberto por uma camada de terra diariamente para evitar que os resíduos fiquem expostos. Este sistema minimiza o impacto visual e o mau cheiro, além de evitar a proliferação de insetos e animais. Apesar de coletar o chorume, não há obrigatoriamente sistema de tratamento (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE

EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS - ABRELPE, 2011). Os principais problemas socioambientais dos aterros controlados estão relacionados à liberação de gases e poluentes nas águas superficiais e subterrâneas, causados, principalmente, pela infiltração do lixiviado (NAGALI, 2005).

De acordo com a legislação atual, prima-se pela instalação de aterro sanitário como forma prevista, para a destinação adequada de RSU, na maioria dos países desenvolvidos ao redor do mundo, como forma de minimizar os impactos ambientais.

Quanto ao aterro sanitário, este é um local onde se promove a disposição adequada dos RSU, possui toda uma estrutura e projeto de engenharia. O diferencial dele é o tratamento que se dá aos RSU. Todo planejado, preparado e operado de maneira racional para evitar danos à saúde pública e ao meio ambiente. Pensa-se em tudo para gerir o lixo, desde a escolha da área até a preparação do terreno, operação, determinação de vida útil e recuperação da área após o seu encerramento (ABRELPE, 2011; BIDONE; POVINELLI, 1999; KJELDSSEN et al., 2002).

A NBR 8419/1992, preconiza a seguinte definição para aterro sanitário:

técnica de disposição dos resíduos sólidos no solo, sem causar danos à saúde pública e à sua segurança minimizando os impactos ambientais, método este que utiliza princípios de engenharia para confinar os resíduos sólidos à menor área possível e reduzi-los ao menor volume permissível, cobrindo-os com uma camada de terra na conclusão de cada jornada de trabalho, ou a intervalos menores, caso seja necessário (ABNT, 1992, p. 1).

O solo do aterro sanitário é impermeabilizado, por meio da compactação de camadas de argila e uma geomembrana de polietileno de alta densidade (PEAD) para impedir a infiltração do chorume no solo. Formam-se células, nas

quais é produzido o gás e liberado o chorume. A captação de chorume se dá por tubulações e deve ser escoado para tanques ou estações de tratamento.

A NBR 8419/1992 menciona que a engenharia aplicada aos aterros sanitários deve inserir aos projetos de sistema de drenagem periférica e superficial, para afastamento das águas da chuva, sistema de drenagem, tratamento e remoção de percolado, impermeabilização inferior e, ou superior e, ainda, sistema de drenagem e queima dos gases gerados na degradação dos resíduos (ABNT, 1992).

Concomitantemente, a Deliberação normativa do Conselho Estadual de Política Ambiental (COPAM) nº 52/2001 condiciona que são necessárias as seguintes medidas:

- disposição do lixo em local com solo e/ou rocha de baixa permeabilidade, quanto mais argiloso melhor e com declividade inferior a 30%, a uma distância de no mínimo 300 m de cursos d'água e de 500 m de centros populacionais.
- o local deve estar fora de margens de estradas, apresentando boas características geológicas, livre de erosões e de áreas de preservação permanente.
- deve possuir cinturão verde, sendo o local isolado por arbustos ou árvores que contribuam para dificultar o acesso de pessoas e animais.
- possuir sistema de drenagem pluvial visando minimizar a infiltração das águas de chuva na massa dos resíduos aterrado e ainda realizar tratamento do lixiviado.
- Realizar compactação e recobrimento dos rejeitos com terra ou entulho, no mínimo, três vezes por semana.
- É proibida a permanência de catadores no local (MINAS GERAIS, 2001, p. 3).

Além das formas de destinação final, já mencionadas, os RSU devem passar por todo um processo de tratamento, que vai desde seu processamento até

as formas de disposição. A gestão dos resíduos abrange a compostagem, reciclagem e incineração. Com a utilização dessas formas de manejo dos resíduos, muitos produtos como sacolas plásticas, embalagens e outros materiais que liberam substâncias tóxicas deixam de ser depositadas nos lixões e aterros, diminuindo o potencial poluidor do chorume ali produzido. No que se refere à implantação e operação de um aterro sanitário, quando executados de maneira correta, produzem vantagens inquestionáveis (BIDONE; POVINELLI, 1999).

A compostagem ocorre, por meio da fermentação da matéria orgânica contida nos resíduos, conseguindo-se a sua estabilização, transformando-o em um material passível de aproveitamento nas práticas agrossilvopastoris (ABRELPE, 2011). Já, a incineração baseia-se na combustão dos resíduos sólidos: é uma concepção que reduz de forma eficaz o seu volume, tornando o resíduo absolutamente inerte em pouco tempo, se realizada de forma adequada. Geralmente é dispendiosa a sua instalação e funcionamento, principalmente, em razão da necessidade de filtros e implementos tecnológicos sofisticados para diminuir ou eliminar a poluição do ar provocada por gases produzidos durante a queima do lixo (INSTITUTO BRASILEIRO DE ADMINISTRAÇÃO MUNICIPAL - IBAM, 2001).

A reciclagem transforma objetos e materiais usados em novos produtos para o consumo e, conforme IBAM (2001), apresenta diversas vantagens como preservação de recursos naturais; economia de energia, economia de transporte, geração de emprego e renda, conscientização da população para as questões ambientais e sociedade sustentável.

A reciclagem surge como a solução mais adequada para a destinação final dos resíduos sólidos. Para Gomes e Lester (2002), essa alternativa permite o reaproveitamento dos resíduos como matéria-prima, reincorporando-os ao processo produtivo e reduzindo o seu impacto ambiental. Apesar de todos os



benefícios, são encontrados alguns aspectos negativos nesta forma de disposição de resíduos, que podem vir a torná-la economicamente ineficaz em alguns casos.

À medida que essas técnicas de gestão de resíduos são utilizadas, ocorre uma melhor gestão dos RSU, amplia-se a vida útil das áreas de disposição e menos danos são gerados ao meio.

Apesar das vantagens socioambientais ocasionadas, em virtude da instalação dos aterros sanitários, eles ainda se configuram como fontes de poluentes tóxicos, produzidos por meio do lixiviado e do biogás. Diante desse fato, Silva e Segato (2002) chamam atenção para os gases e lixiviados gerados, caracterizados como efluentes problemáticos, gerados em um aterro sanitário, sendo necessário o adequado tratamento para esses impactos, visando evitar tanto a contaminação atmosférica pelos gases efluentes, quanto a poluição do lençol freático pelo lixiviado que infiltra no solo impedindo assim maiores danos ambientais (GOMES; LESTER, 2002).

### **3.3 Chorume do Aterro**

Um dos principais problemas ambientais decorrentes da deposição de RSU em aterro é a geração de chorume, também é conhecido por chumeiro, percolado, lixiviado ou sumeiro (INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS; COMPROMISSO EMPRESARIAL PARA RECICLAGEM - IPT/CEMPRE, 200).

Esse líquido de odor desagradável e escuro, gerado no processo de decomposição físico-química e biológica dos resíduos, acrescido da percolação da água da chuva pelas camadas de resíduos, pode atingir e contaminar as águas superficiais e subterrâneas (CHRISTENSEN et al., 2001; FRANCO et al., 2006; HORAN; GOHAR; HILL, 1997).

### 3.3.1 Características gerais

Os lixiviados de RSU geralmente contêm uma variedade de espécies químicas, tais como ácidos graxos, ácidos húmicos, metais pesados, além de muitos outros produtos químicos perigosos (ABU-RUKAH; AL-KOFAHI, 1991; YASUHARA et al., 1999). Dessa forma, para compreender suas características, é preciso conhecer os processos de degradação que ocorrem no interior do aterro (SOUTO, 2009).

De um aterro para outro, a qualidade dos lixiviados é diferente e isto se deve a muitos fatores que afetam sua composição. O lixiviado é formado, de acordo com a composição química e microbiológica e depende de diversos fatores, dos quais se destacam: condições ambientais, composição dos resíduos que chegam ao aterro, forma de operação do aterro e, principalmente, da dinâmica dos processos de decomposição que ocorre no interior das células do aterro sanitário (KJELSEN et al., 2002).

Além das características dos resíduos, a entrada de águas pluviais no aterro vai formando um lixiviado diversificado. Esse líquido pode conter, além da matéria orgânica dissolvida ou solubilizada, nutrientes, produtos intermediários da digestão anaeróbia dos resíduos, como ácidos orgânicos voláteis, substâncias químicas, como metais pesados (cádmio, zinco, mercúrio) ou organoclorados, originários do descarte de agrotóxicos e inseticidas, além de microorganismos. De acordo com Renou et al. (2008, p. 470), a característica do lixiviado pode estar agrupada da seguinte forma:

- Matéria orgânica dissolvida (MOD) expressa pela DBODQO ou pelo Carbono Orgânico Total (COT), ácidos graxos voláteis, incluindo ácidos fúlvicos e húmicos.
- Macropoluentes inorgânicos  $\text{Ca}^{+2}$ ,  $\text{Mg}^{+2}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{Fe}^{+2}$ ,  $\text{Mn}^{+2}$  e  $\text{SO}_4^{2-}$ .
- Metais pesados como Cd, Cr, Cu, Pb, Ni, Zn; B; As, Ba,

Se; Hg e Co.

- Compostos orgânicos xenobióticos originários de resíduos domésticos e químicos, presentes em baixas concentrações, incluindo hidrocarbonetos aromáticos, fenóis e disruptores endócrinos.

De acordo com Segato e Silva (2000), entende-se que o chorume é gerado com base na digestão de matéria orgânica sólida, pela ação das enzimas produzidas por bactérias. Esse percolado, originado nos diferentes aterros, apresenta diversas variações, em virtude da idade do aterro e do estado de degradação dos resíduos aterrados, podendo, assim, ser classificado como novo (jovem), intermediário e estabilizado (maduro, velho), conforme evidenciado na Tabela 3.

Tabela 3 Classificação dos lixiviados relacionados à idade do aterro

<b>Características</b>	<b>Novo</b>	<b>Intermediário</b>	<b>Velho</b>
<b>Idade (anos)</b>	<5	5 - 10	>10
<b>pH</b>	6,5	6,5 – 7,5	>7,5
<b>DQO (mg/L)</b>	>10000	4000 - 10000	<4000
<b>DBO/DQO</b>	>3	0, - 0,3	<0,1
<b>Compostos Orgânicos</b>	80% ácidos graxos voláteis (AGV)	5-30% AGV + ácidos húmicos fúlvicos	Ácidos húmicos e fúlvicos
<b>Metais Pesados</b>	Baixo-médio	-	Baixa
<b>Biodegradabilidade</b>	Alta	Média	Baixa

Fonte: Renou et al. (2008).

A toxicidade do chorume foi avaliada por pesquisadores que utilizam um número de diferentes organismos incluindo bactérias, peixes, crustáceos e até sementes de hortaliças e flores com objetivo de verificar a presença de compostos tóxicos após o tratamento do chorume, avaliando, assim, a sua eficiência (SILVA; DEZOTTI; SANT'ANNA, 2004; THEEPHARAKSAPAN et al., 2011).

Para diminuir o dano ambiental, é necessário que se tenha um sistema de tratamento de efluentes biológicos e físico-químicos eficazes, dentro de um padrão de ordem técnica e econômica, que atenda os requisitos da sustentabilidade, a fim de evitar descargas para o meio ambiente, causando impactos negativos à biota ou pública saúde. No entanto, em virtude da vazão e presença de carga orgânica muito variável e, na maioria das vezes, seus compostos são desconhecidos, o processo de tratamento para estabilização do lixiviado alcança baixa eficiência (ASAKURA, 2009; CHAN et al., 2006; JOSEPH, 2011; YAMAMOTO et al., 2011; ZHANG; WANG; LINGQUIA, 2008).

### **3.3.2 Geração**

Ocorre a geração de lixiviado, quando o teor de umidade dos resíduos excede sua capacidade de campo, que é definida como a umidade máxima que é retida em um meio poroso sem causar percolação (EL-FADEL et al., 2002).

A formação de lixiviados de aterro sanitário é influenciada por: precipitação e disponibilidade de água (recirculação dos líquidos gerados, irrigação da camada de cobertura, presença de lodos); características da camada de cobertura (umidade, vegetação, declividades); características dos resíduos depositados (composição, umidade, idade, peso específico método de

disposição), impermeabilização do local (geomembranas, argila) (EL-FADEL et al., 2002).

Uma estimativa aproximada da quantidade de lixiviado gerado é necessária para o dimensionamento dos sistemas de drenagem, armazenamento e tratamento de efluentes em um aterro sanitário. Métodos para estimar o volume de lixiviado gerado vêm sendo desenvolvidos e aprimorados. Os métodos mais empregados são: o método suíço e o método do balanço hídrico (CASTILHOS JUNIOR, 2003, p. 45).

O método suíço aplica coeficientes empíricos, que dependem do grau de compactação dos RSU ou do seu peso específico. Do outro lado, o balanço hídrico consiste na soma das parcelas de água que entram e na subtração das que deixam a célula do aterro mensalmente, sendo esta a forma mais adequada de se estimar a geração de lixiviados (IPT/CEMPRE, 2000).

### **3.4 Presença de compostos orgânicos tóxicos em lixiviados**

O teor de compostos tóxicos presentes no lixiviado reflete o histórico do uso de produtos químicos utilizados pela sociedade e descartados nos aterros (BJRKLUND et al., 2009). A presença de compostos orgânicos xenobióticos no lixiviado representa um grave risco ao meio ambiente e saúde humana, principalmente, quando é descartado diretamente nos corpos receptores como solo e águas superficiais, sem o tratamento adequado (BAUN et al., 2003; BODZEK; LOBOS-MOYSA; ZAMOROWSKA, 2006).

Outras espécies tóxicas que causam efeitos danosos à população e ao meio ambiente e estão presentes nos lixiviados são os micropoluentes, como os DEs, os fármacos e os poluentes orgânicos persistentes (POPs). Esses compostos têm sua origem com base em resíduos descartados, tais como plastificantes e embalagens, conforme apresentado na rota de contaminação e exposição da

Figura 2 (BAUN et al., 2003; BRANDT, 2012; SLACK; GRONOW; VOULVOULIS, 2005).

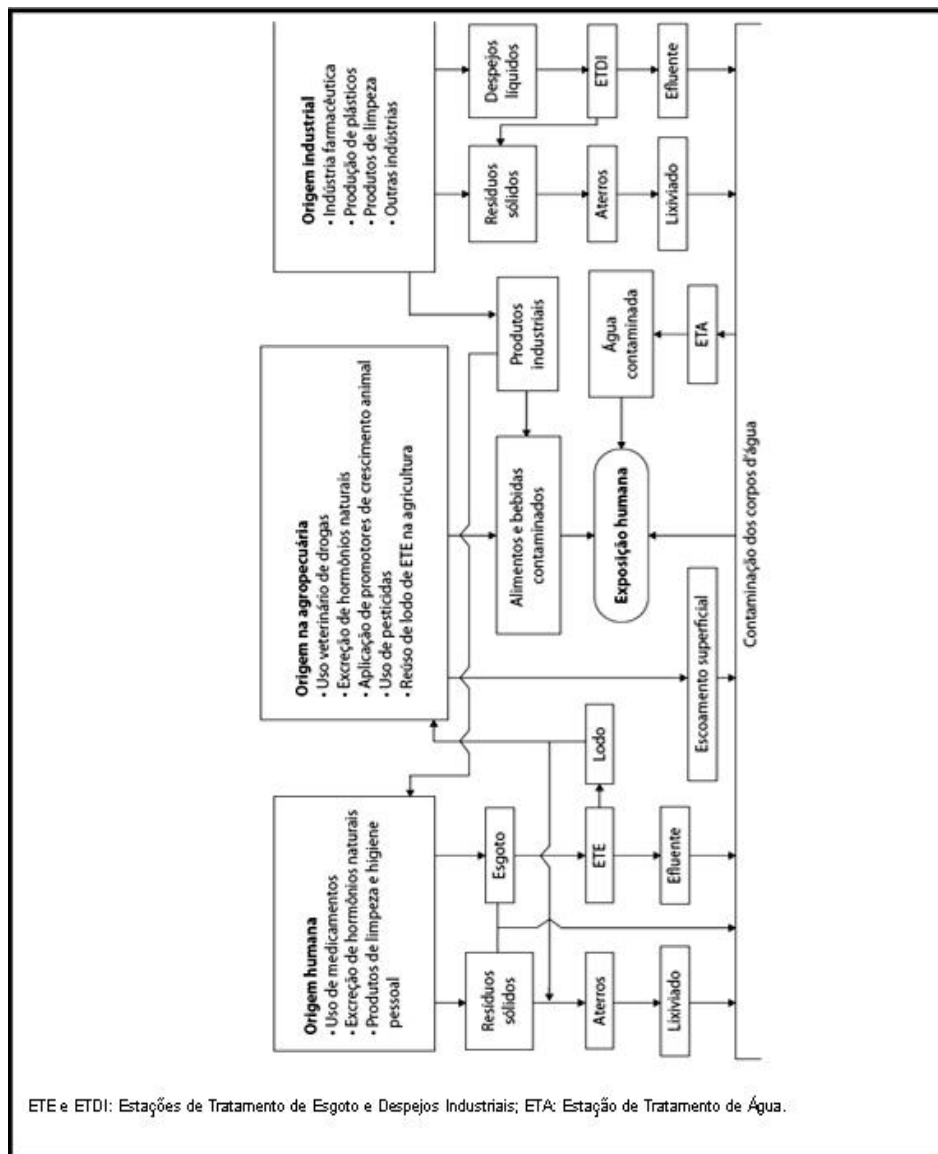


Figura 2 Rota de contaminação e exposição humana aos compostos tóxicos  
Fonte: Brandt (2012).

Embora a ocorrência dos compostos orgânicos já tenha sido relatada há mais de 30 anos, apenas recentemente foram sistematizados procedimentos para a determinação destas substâncias poluentes, principalmente, em países como Japão, China, Canadá e Estados Unidos. Como exemplo, pode ser citado estudo de identificação de compostos orgânico sem lixiviados de aterro (NASCIMENTO FILHO; MUHLEN; CARAMÃO, 2001), remoção de poluentes e toxicidade em sistema de tratamento de lixiviados (THEEPHARAKSAPAN et al., 2011), presença e comportamento de DEs em lixiviados de aterros do Japão (ASAKURA; MATSUTO; TANAKA, 2004), remoção de BPA em lixiviado de aterro utilizando nanotubos de parede única de carvão (JOSEPH, 2011); remoção de matéria orgânica e ésteres ftálico em lixiviado (ZENG et al., 2006; ZHANG; WANG; LINGQIUA, 2009); Particionamento de hidrocarbonetos, alquifenóis, BPA e ftalatos (KALMYKOVA, 2013).

Conforme apresentado na Tabela 4, esse processo de identificação e monitoramento de compostos vem motivando a comunidade científica, pois quando não se conhece a composição e comportamento desses poluentes no chorume, não é possível reconhecer se o tratamento, quando utilizado, é efetivo (ASAKURA; MATSUTO; TANAKA, 2004; BAUER et al., 1998; BAUN et al., 2004; BEHNISCH et al., 2001; CHANG, 2009; NASCIMENTO FILHO; MUHLEN; CARAMÃO, 2001; ZHANG; WANG; LINGQIUA, 2009; ZHENG, 2009).

Tabela 4 Identificação de micropoluentes orgânicos em lixiviado de aterro

<b>Composto químico</b>	<b>Método</b>	<b>Referência</b>
Alquifenois	SPE, GC/MS	Baun et al. (2003)
	SPE, GC/MS	Baun et al. (2004)
Bisfenol A	SPE, GC/MS	Urase e Miyahia (2003)
Nonilfenol	SPE, GC/MS	Baun et al. (2004)
Ftalatos	SPME, GC/MS	Banar, Ozkan e Kurkcuoglu (2006)
	LLE, GC/MS	Baun et al. (2004)
	SPE, LC - APCI/MS	Castillo e Barcelo (2001)
	SPE, GC/MS	Nascimento Filho et al. (2003)

Fonte: Dados da pesquisa (2014).

### 3.4.1 Disruptores Endócrinos

Os disruptores endócrinos podem ser naturais ou sintéticos, todos com uma diversificada estrutura química como os estrógenos naturais, os fitoestrógenos, pesticidas, surfactantes (nonilfenol - NP), plastificantes (dietilftalato - DEP, Bisfenol A - BPA) e compostos orgânicos halogenados (PCBs e dioxinas) (BILA et al., 2007; ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY - EPA, 2001). A maioria dos DEs encontra-se presente em todos os compartimentos do ambiente, seja na água, ar ou nos solos e seus sedimentos (GOMES; LESTER, 2003; TERNES; KRECKEL; MUELLER, 1999; VETHAAK et al., 2005).

Os principais efeitos da ação dos DEs, citados na literatura, são descritos por Bila e Dezotti (2007, p. 660), tais como:



diminuição na eclosão de ovos de pássaros, peixes e tartarugas; feminização de peixes machos; problemas no sistema reprodutivo em peixes, répteis, pássaros e mamíferos e, alterações no sistema imunológico de mamíferos marinhos, têm sido associadas à exposição de espécies de animais aos desreguladores endócrinos. Em alguns casos esses efeitos podem conduzir ao declínio da população. Em seres humanos esses efeitos incluem a redução da quantidade de esperma, o aumento da incidência de câncer de mama, de testículo e de próstata e, a endometriose.

Compostos de desregulação endócrina estão presentes em diversas matrizes ambientais. São utilizados em áreas rurais ou urbanas e podem surgir como resíduos ou subprodutos derivados industriais dos mais diversos usos. São poluentes com atividade estrogênica ou androgênica, em concentrações muito baixas e estão emergindo como grande preocupação para a qualidade da água. São encontrados em depósitos de lixo, contaminando solo, mananciais de água para abastecimento público e águas subterrâneas (BAIRD; CANN, 2011).

Os DEs são substâncias capazes de produzir efeitos tóxicos, mesmo em baixas concentrações ambientais, tornando-se uma ameaça à saúde humana e animal. Também são denominadas como agentes hormonalmente ativos, desreguladores endócrinos, interferentes endócrinos e perturbadores endócrinos. A Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos da América – USEPA caracteriza esses interferentes como um agente exógeno que altera a secreção, ligação, transporte, ação ou eliminação de hormônios naturais do corpo que são responsáveis pela manutenção da homeostase, reprodução, desenvolvimento e o comportamento (ASAKURA; MATSUTO; TANAKA, 2004; BAUER et al., 1998; BEHNISCH et al., 2001; CHEN; CHEN; ZHU, 2008; EPA, 2001; FEFAUSER et al., 2003; FROMME et al., 2002; JONSSON et al., 2003; KJELDEN et al., 2002; MARTTINEN; KETTUNEN; RINTALA, 2003; ROSLEV et al., 2007; STASINAKIS et al., 2008; TAN et al., 2007; VOGELSANG et al., 2006; YAMAMOTO et al., 1999, 2001).

Os DEs têm despertado a preocupação pública em razão de seus efeitos tóxicos sobre o meio ambiente e saúde humana. Mas, mesmo sendo prejudicial, não existem limites estabelecidos para DEs em lançamento de efluentes e chorume no Brasil, visto que nada consta na Resolução nº 430 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) (BRASIL, 2011).

Na Tabela 5 encontram-se alguns DEs e seus principais efeitos em humanos:

Tabela 5 Exemplos de disruptores endócrinos e seus efeitos em humanos

<b>Composto químico</b>	<b>Efeitos</b>
Bisfenol A	Substitui a recepção do estrogênio. Diminui a ovulação e aumento de secreção da prolactina. Reduz nível de testosterona livre em homens. Calvície em consequência de alterações hormonais. Aumenta incidência de doenças cardiovasculares e anormalidades em enzimas hepáticas, diabetes e obesidade infantil (WOZNIAK; BULAYEVA; WATSON, 2005)
Nonilfenol	Induz a proliferação de células de tumores de mama e aumenta o número de receptores para progesterona em células humanas sensíveis a estrógenos (SOUZA, 2011)
Ftalatos	Reduzem a qualidade de esperma; teratogênico; causam demasculinização e feminilização (MCGINN, 2004)

Nas últimas décadas, mais e mais produtos químicos alvo, como BPA, DEP, DBP, NP, dentre outros compostos superficiais, foram monitorados tanto em águas superficiais, quanto residuais e lixiviados e grandes esforços têm sido feitos sobre a remoção de desreguladores endócrinos em águas residuais

(ASAKURA; MATSUTO; TANAKA, 2004; BEHNISCH et al., 2001; FEFAUSER et al., 2003; FROMME et al., 2002; JONSSON et al., 2003; KJELDEN et al., 2002; MARTTINEN; KETTUNEN; RINTALA, 2003; ROSLEV et al., 2007; STASINAKIS et al., 2008; TAN et al., 2007; VOGELSANG et al., 2006; YAMAMOTO et al., 1999, 2001; ZHANG et al., 2010).

A concentração dos DEs em lixiviado de aterro foi determinada em alguns estudos. Além de comprovarem a presença de ésteres de ácido ftálico e BPA, verificaram a eficiência de alguns processos de remoção. Verificação que já havia sido comprovada nos estudos de Asakura, Matsuto e Tanaka (2004), Bauer et al. (1998), Bodzek, Surmacz-Górska e Hung (2004), Chan et al. (2006), Chen, Chen e Zhu (2008), Fromme et al. (2002), Xu et al. (2008) e Yamamoto et al. (2001, 2003). No Brasil, importante estudo foi desenvolvido por Nascimento Filho, Muhlen e Caramão (2001) que identificaram a presença de ftalatos e BPA.

#### **3.4.1.1 Bisfenol A - BPA**

O Bisfenol A ou BPA é um difenol utilizado na produção do policarbonato e de outros plásticos. Além disso, o BPA é utilizado em resina de obturações dentárias, embalagens para fármaco, adesivos, em revestimentos de latas e como aditivos em papel térmico e encontrado em produtos eletroeletrônicos como celulares e peças para computadores, equipamentos automotivos, discos compactos, embalagens para alimentos, como as garrafas plásticas para água, mamadeiras e equipamentos médicos e laboratoriais (FROMME et al., 2002; STAPLES et al., 1998).

O BPA é um xenoestrogênio, comercializado na forma de pó ou cristais amplamente encontrados em matrizes ambientais. A exposição humana a este composto ocorre, principalmente, pela ingestão direta de bebidas, alimentos

contaminados e, ainda, pela contaminação das águas subterrâneas a partir da percolação do lixiviado de resíduos que contenham o produto (VANDENBERG; WALSER-KUNTZ; SAAL, 2007; WINTGENS; GALLENKEMPER; MELIN, 2003). Segundo Staples et al. (1998) o coeficiente de partição octanol/água ( $\log K_{ow}$ ) indica a afinidade do composto pela fase orgânica ou aquosa e seu caráter lipofílico. Assim, quanto maior o valor de  $K_{ow}$ , mais hidrofóbico é o composto, no caso dos ftalatos o aumento da cadeia alquil confere maior hidrofobicidade à molécula. Por meio do coeficiente de adsorção ( $K_{oc}$ ), pode-se determinar a adsorção da substância ao material em suspensão na água, sendo este valor crescente com o aumento do caráter apolar do composto. Para um melhor entendimento sobre a liberação da substância para a atmosfera, a pressão de vapor deve ser levada em consideração.

A estrutura química e as propriedades físico - químicas podem ser observadas na Figura 3.

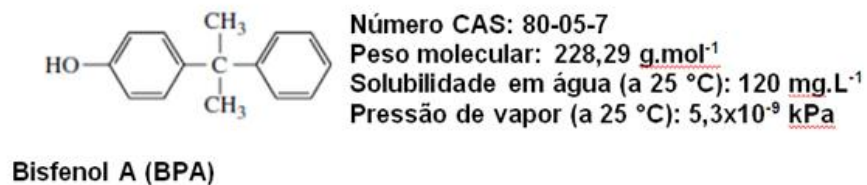


Figura 3 Estrutura química do bisfenol A e propriedades físico-químicas

Fonte: (STAPLES et al., 1998).

Segundo Souza (2011, p. 27) conclui-se que:

a aplicação de um modelo de distribuição sugere que 48% do BPA lançado no ambiente têm tendência de ligar-se ao solo e sedimento, enquanto 50% permaneceriam na coluna d'água. Sua pressão de vapor é considerada baixa. Nota-se

na figura que a solubilidade em água é moderadamente alta. Os valores de partição entre octanol/água ( $\log K_{ow}$ ) e entre sólidos suspensos ( $\log K_{oc}$ ).

Como o BPA é bioacumulável no organismo, doses baixas podem causar desenvolvimento de câncer de mama e de próstata em humanos, doenças cardiovasculares, diabetes tipo 2, além de causar diminuição na qualidade de sêmem, feminização de machos e, ainda, anormalidades no fígado causados em representantes da população adulta dos EUA (HUANG et al., 2012; YAMAMOTO et al., 2001).

A substância é proibida em países como Canadá, Costa Rica, Dinamarca e em alguns Estados norte-americanos. Somente no final de 2011, foi proibida no Brasil (GHISELLI; JARDIM, 2007; STAPLES et al., 1998).

As condições anaeróbicas de aterros colaboram para retardar ou impedir a degradação de BPA (EUROPEAN CHEMICALS BUREAU - BCE, 2010; YUAN et al., 2002), o que pode explicar as altas concentrações de BPA em aterros que foram cobertos na década de 1980 e já cessaram suas atividades (BAUN et al., 2004).

### **3.4.1.2 Ftalatos**

Os ftalatos têm sido utilizados por quase 40 anos, principalmente, na fabricação de cloreto de polivinila (PVC). Esses ésteres de ácido ftálico são produzidos e consumidos em todo o mundo para diversas finalidades. São liberados por uma grande variedade de produtos, incluindo de higiene pessoal, cosméticos, cápsulas para fármacos, material hospitalar, brinquedos infantis, materiais de construção, embalagens de alimentos, solventes e óleos lubrificantes (ALVES et al., 2007; BJORKLUND, 2010; FROMME et al., 2002; ZHAO et al., 2004).

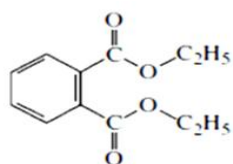
Ftalatos podem entrar no ambiente, por meio de perdas durante os processos de fabricação e por lixiviação de produtos finais, porque eles não são ligados quimicamente à matriz polimérica, possuem baixa solubilidade em água e facilidade de acumulação em partículas de sedimentos e solo, características que facilitam a entrada no meio ambiente (NEILSON; MACKAY; CALLCOTT, 1998; NILSSON, 1994; PLASTICISERS INFORMATION CENTRE - IPCE, 2010; SERVOS, 1999; STAPLES et al., 1998).

Há cerca de sessenta tipos diferentes de ftalatos, mas os mais proeminentes nas amostras ambientais, incluindo águas marinhas de superfície, águas doces (STAPLES; PARKERTON; PETERSON, 2000) e lixiviados (BAUN et al., 2004; BJORKLUND et al., 2009) são o dietilftalato (DEP) e o dibutilftalato (DBP). De acordo com Bila e Dezoti (2007), o DEP e DBP são principalmente utilizados em embalagens de medicamentos, esmaltes, perfumes e xampus. O DBP também pode ser aplicado em adesivos e tintas para impressoras e o DEP também é utilizado em álcool desnaturante.

Enquanto a concentração de BPA tende a diminuir com o passar dos anos, a concentração de DEP foi observada em um nível constante. Semelhante tendência pôde ser observada também por Sakamoto, Souda e Fukui (2000) e Yamada et al. (1999). Os diferentes padrões decorrem da diferença do coeficiente de partição octanol-água entre BPA e DEP, ou seja, intervalos de  $\log P_{ow}$  3,32-3,84 para BPA e 3,98-4,89 para o DEP. Embora os valores não possam ser exatamente comparados, por causa da sua ampla gama na literatura, o DEP é de uma ordem mais elevada do que o BPA. Sendo assim, o BPA é menos hidrofóbico, de modo que BPA tende a fluir facilmente em plásticos e move-se rapidamente no chorume. Isso seria uma razão para uma maior concentração de BPA na fase inicial e decréscimos mais rápidos com o passar dos anos. Já, DEP, que é mais hidrófobo, tenderá a permanecer nos resíduos de

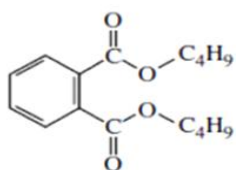
camada, fluindo para fora por maior tempo que o BPA (ASAKURA; MATSUTO; TANAKA, 2004).

A Figura 4 apresenta as estruturas químicas e propriedades físico-químicas dos dois ftalatos mencionados nesta pesquisa, comportamento desses compostos no ambiente.



**Diethylftalato (DEP)**

**Número CAS:** 84-66-2  
**Peso molecular:** 222,24 g.mol<sup>-1</sup>  
**Solubilidade em água (a 25 °C):** 1100 mg.L<sup>-1</sup>  
**Pressão de vapor (a 25 °C):** 1,33. 10<sup>-4</sup> kPa



**Dibutylftalato (DBP)**

**Número CAS:** 84-74-2  
**Peso molecular:** 278,34 g.mol<sup>-1</sup>  
**Solubilidade em água (a 25 °C):** 11,2 mg.L<sup>-1</sup>  
**Pressão de vapor (a 25 °C):** 3,60.10<sup>-6</sup> kPa

Figura 4 Estrutura química dos ftalatos DEP e DBP e propriedades físico-químicas

Fonte: (OEHLMANN et al., 2008; STAPLES et al., 1998).

Estudos epidemiológicos com os seres humanos têm mostrado que os ftalatos provocam efeitos adversos à saúde, como danos ao fígado, rins e distúrbios no sistema reprodutivo masculino, câncer de mama e testículos e alteração no sistema neuroendócrino (SPELSBERG; RIGGS, 1987).

### 3.4.1.3 Alquilfenóis e seus derivados etoxilados: nonilfenol

Os alquilfenóis e seus derivados etoxilados (APEs) são substâncias emitidas com base na produção de plásticos, produtos têxteis e insumos agrícolas e em bens de consumo, tais como detergentes, óleos lubrificantes; tintas, pesticidas, espermicida em produtos contraceptivos e cosméticos (SOARES et al., 2008; STAPLES et al., 1998).

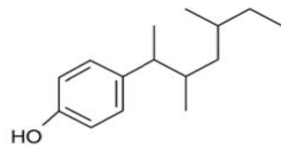
Segundo Ying, Williams e Kookana (2002, p. 223) as vias de entradas dos alquilfenóis etoxilados no meio ambiente

são principalmente a industrial, durante a manufatura, e a decorrente de esgotos não tratados ou efluentes de estações de tratamento de esgoto (ETEs), podendo ainda ser proveniente diretamente de aplicação de pesticidas. Todavia, a principal origem do NP no ambiente está relacionada à degradação de NPEs em ETEs que utilizam o tratamento biológico.

Assim como os ftalatos, os alquilfenóis também apresentam efeitos estrogênicos, tóxicos e carcinogênicos em organismos aquáticos e mamíferos. Nos seres humanos, os efeitos podem estar relacionados à redução da produção de esperma, diminuição da fertilidade, aumento da hiperatividade, câncer, problemas imunológicos e alergias (BCE, 2010; METZLER; PFEIFFER, 2001; NAYLOR et al., 1992; NEILSON; MACKAY; CALLCOTT, 1998; NIMROD; BENSON, 1996; SERVOS, 1999; SOARES et al., 2008; STAPLES et al., 1998).

O Nonilfenol é um produto industrializado, formado durante o processo de alquilação de fenóis, sua estrutura química pode ser observada na Figura 5





**Nonilfenol (NP)**

**Número CAS:** 84852-15-3  
**Peso molecular:** 220,34 g.mol<sup>-1</sup>  
**Solubilidade em água (a 25 °C):** 6,35 mg.L<sup>-1</sup>  
**Pressão de vapor (a 25 °C):** 2,07x10<sup>-5</sup> kPa

Figura 5 Estrutura química do nonilfenol e propriedades físico-químicas

Fonte: (AHEL; IGER; SCHAFFNER, 1994; SOARES et al., 2008; YING; WILLIAMS; KOOKANA, 2002).

O Nonilfenol é identificado como produto de degradação, formado principalmente baseado na biodegradação aeróbia ou anaeróbia em lodos de aterro (HOWDESHELL et al., 1999; MOCARELLI et al., 1996; RAMAMOORTHY et al., 1997; ROUTLEDG; SUMPTER, 1996; SANCHEZ-AVILA et al., 2009; SLACK; GRONOW; VOULVOULIS, 2005; YING; WILLIAMS; KOOKANA, 2002). Conforme ilustrado na Figura 5, que apresenta os parâmetros físicos e químicos do Nonilfenol, segundo Soares et al. (2008) concluem que:

a solubilidade em água aumenta em temperaturas mais elevadas e, a 25°C, foi estimada em 6,35 mg. L<sup>-1</sup>. O caráter hidrofóbico do NP é confirmado pelo valor de partição octanol/água (log Kow = 4,48), sendo a partição favorável ao material orgânico. A pressão de vapor indica que se trata de um composto orgânico semivolátil (SOARES et al., 2008, p. 1040).

### 3.5 Análise Química de Compostos por GC - SPE

A análise de amostras ambientais constitui um desafio pela complexidade das matrizes, baixas concentrações dos compostos-alvos no ambiente e necessidade de métodos cada vez mais sensíveis e precisos.

Basicamente, o desenvolvimento do método analítico está fundamentado em duas grandes etapas: o preparo da amostra e a análise instrumental (GIESY et al., 2001).

Com respeito às técnicas de análise instrumental, a cromatografia gasosa (GC, *gas chromatography*) e cromatografia líquida (LC, *liquid chromatography*) são as técnicas de separação mais usadas por apresentarem alta seletividade e sensibilidade, principalmente, quando acopladas ao detector de espectrometria de massas (MS, *mass spectrometry*). A cromatografia é um método instrumental, no qual a amostra é dissolvida numa fase móvel e essa fase móvel é forçada a passar por meio de uma fase estacionária imóvel. As fases são escolhidas de modo a propiciar que os componentes da amostra apresentem solubilidades diferentes em cada fase. Portanto, um componente que é completamente solúvel na fase estacionária demora mais tempo para atravessar a coluna cromatográfica em comparação a um componente menos solúvel na fase estacionária, mas muito solúvel na fase móvel. Sendo assim, o resultado destas diferenças de mobilidades leva à separação dos componentes da amostra (STRELAU; CASTILHOS; MADUREIRA, 2009).

O termo cromatografia foi primeiramente empregado em 1906 e sua utilização é atribuída a um botânico russo, ao descrever suas experiências na separação dos componentes de extratos de folhas. Nesse estudo, a passagem de éter de petróleo (fase móvel) por uma coluna de vidro preenchida com carbonato de cálcio (fase estacionária), à qual se adicionou o extrato, levou à separação dos componentes em faixas coloridas. Este é, provavelmente, o motivo pelo qual a técnica é conhecida como cromatografia (*chrom* = cor e *graphie* = escrita), podendo levar à errônea ideia de que o processo seja dependente da cor (AQUINO NETO; NUNES; 2003). A Figura 6 ilustra um processo de GC em fase gasosa.

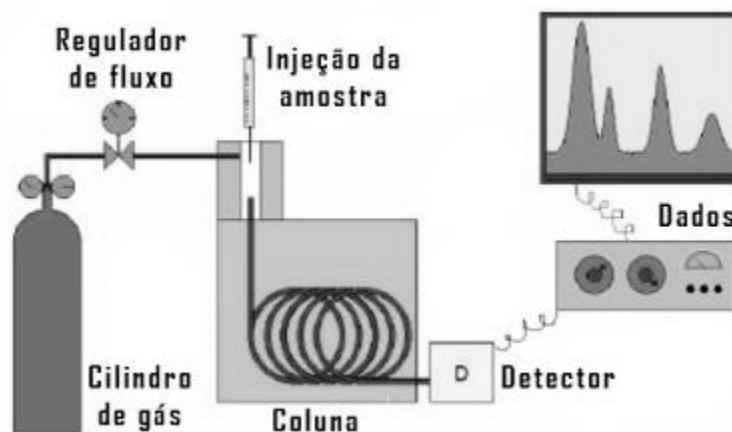


Figura 6 Esquema de um equipamento de cromatografia em fase gasosa.

Fonte: Química Mix (2014)

Os compostos orgânicos, separados na coluna cromatográfica, são identificados pela espectrometria de massas, por meio da comparação entre o espectro de massas do composto alvo e os espectros de compostos puros disponíveis em bibliotecas de espectros.

Na maioria das análises por GC, a amostra não pode ser diretamente inserida no equipamento. Nesses casos, a amostra deve ser submetida a um processo prévio à análise por GC, o qual é denominado de pré-tratamento ou preparo da amostra. Os pré-tratamentos mais comuns para a GC estão relacionados à presença de compostos com elevado ponto de ebulição e incompatíveis com a GC e/ou então à baixa concentração dos compostos de interesse. Esses processos são denominados, respectivamente, limpeza da amostra (*clean up*) e pré-concentração.

Dentre as técnicas de preparo de amostras, as mais empregadas na extração e pré-concentração de compostos orgânicos em chorume são: SPE - Extração em Fase Sólida, do inglês *Solid Phase Extraction*; SPME - microextração em fase sólida (do inglês *solid phase microextraction*) e a LLE -

extração líquido-líquido, do inglês *liquid-liquid extraction*. Cada uma dessas técnicas apresenta suas vantagens em relação à rapidez, seletividade, recuperação, precisão e custo.

A técnica de SPE vem se desenvolvendo em diversas formas, automação, fases estacionárias e configurações. Além disso, apresenta ótima aplicabilidade e tendência garantindo eficiência e rapidez nos resultados (LANÇAS, 2004).

De acordo com Lanças (2004), a SPE pode ser dividida nas fases de condicionamento do cartucho, adição da amostra, ou seja, percolação, remoção dos interferentes e, por fim, eluição do analito conforme apresentado na Figura 7 (SOUZA, 2011).

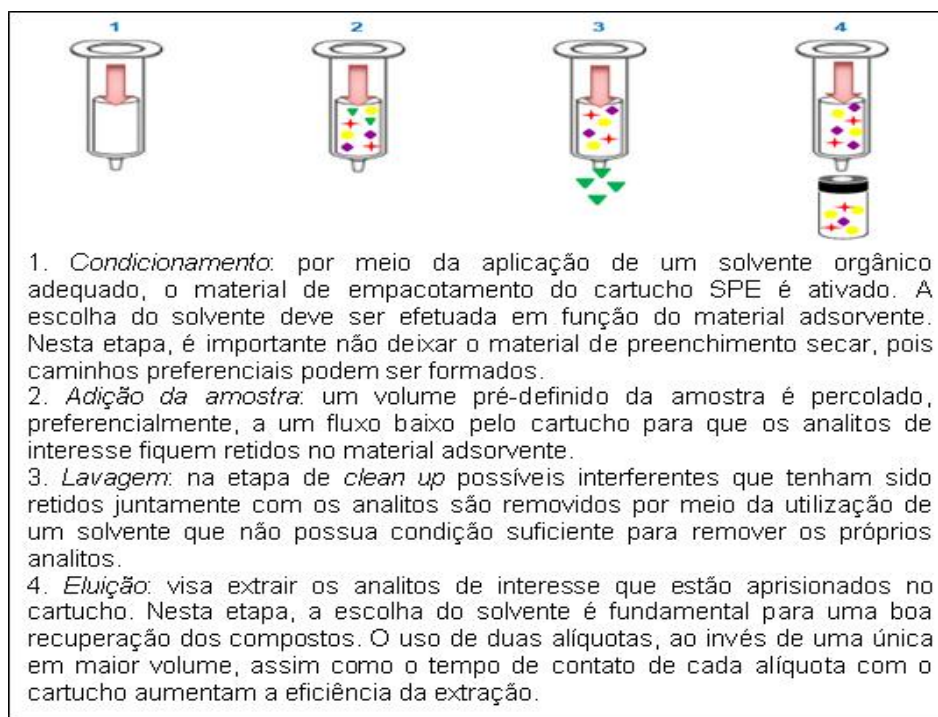


Figura 7 Esquema das etapas de extração em fase sólida (SPE)

Fonte: Souza (2011).

A CG/MS é utilizada para identificar compostos orgânicos; com ela é possível verificar presença de alguns disruptores como BPA e ftalatos (ASAKURA; MATSUTO; TANAKA, 2004; KALMYKOVA, 2013).

No que tange à identificação de compostos orgânicos em amostras de chorume, os trabalhos reportados na literatura mundial atentam tanto para detecção, quanto para o comportamento e seus efeitos tóxicos à saúde e meio ambiente (ASAKURA; MATSUTO; TANAKA, 2004; BAUN et al., 2004; CHAN et al., 2006; THEEPHARAKSAPAN et al., 2011; ZHENG, 2009). No Brasil, compostos orgânicos como ácidos carboxílicos e ftalatos foram identificados no lixiviado de aterro sanitário de Porto Alegre / RS por meio de SPE com resina aniônica e GC/MS (NASCIMENTO FILHO; MUHLEN; CARAMÃO, 2001).

A escassez dos estudos de identificação de DE em lixiviado se dá em virtude do fato do chorume ser matriz muito complexa, que contém uma grande variedade de compostos orgânicos com diferentes propriedades físico-químicas.

### **3.6 Tratamentos de chorume**

O chorume requer tratamento para evitar seus efeitos danosos ao meio ambiente e à saúde das populações dos municípios onde a disposição de RSU predomina em aterros controlados e sanitários. Por causa de sua complexidade, o lixiviado formado nos aterros deve ser tratado adequadamente, antes de seu lançamento em corpos receptores, evitando riscos ao ecossistema e à saúde humana.

As principais formas de tratamento para chorume de aterro são realizadas *in situ*, dentro do aterro, ou em estações de tratamento de esgoto – ETE ou até mesmo em um processo combinado entre essas duas possibilidades.

Por sua vez, o tratamento de chorume envolve processos biológicos e físico-químicos, independente do local que aconteça. Nesse sentido, o tratamento físico químico deve ser considerado como alternativa complementar ao tratamento biológico. Para Castilhos et al. (2006), os processos mais utilizados atualmente no tratamento dos lixiviados são: a recirculação, a utilização de lagoas de estabilização, o uso de filtros anaeróbios, processos químicos, estações de tratamento de esgotos (ETEs), tratando lixiviados juntamente com esgotos sanitários, e tratamento de esgoto com reatores anaeróbios de manta de lodo - UASB (CENTRO EXPERIMENTAL DE SANEAMENTO AMBIENTAL, 2015). Além da coagulação química e eletrocoagulação, remoção da amônia, processos oxidativos, processos biológicos e processos de separação por membranas (RODRIGUES, 2004).

Algumas técnicas são descritas a seguir para mostrar o tipo de tratamento de lixiviado:

- a) **Recirculação** - A recirculação do lixiviado, realizada no próprio aterro, além de reduzir o volume por evaporação, aumenta a degradação anaeróbia no interior do aterro com a conversão dos ácidos orgânicos em  $\text{CH}_4$  e  $\text{CO}_2$  (SILVA, 2002).
- b) **Coagulação** - A coagulação é um processo muito utilizado por promover a clarificação de efluentes industriais contendo partículas coloidais e sólidos em suspensão. Este processo consiste na adição de agentes químicos para neutralizar as cargas elétricas das partículas, ocorrendo ligações químicas e absorção das cargas superficiais presentes (ECKENFELDER, 1989). Como exemplo, a adição de sulfato de alumínio ( $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ ) ou cloreto férrico ( $\text{FeCl}_3$ ) para promoção do processo.

- c) **Floculação** – A floculação é um processo físico que ocorre logo em seguida à coagulação e se baseia na ocorrência de choques entre as partículas formadas anteriormente, de modo a produzir outras de maior volume e densidade, agora chamadas de flocos. Esses flocos, que são gerados pela associação do material suspenso coloidal e o coagulante hidrolisado, podem ser separados do meio aquoso por meio de sedimentação (ECKENFELDER, 1989).
- d) **Eletrocoagulação** – Desenvolvido a partir de processos de tratamento físico-químicos convencionais, o sistema consiste na combinação de três processos que ocorrem simultaneamente dentro da célula eletrolítica: a eletrocoagulação, a eletrofloculação e a eletroflotação. Analogamente, na eletrocoagulação ocorre a dissolução de eletrodos ativos metálicos, como alumínio ou ferro, em íons. Estes íons são liberados no efluente, através da eletrólise, e atuam sobre os colóides presentes na água de forma semelhante aos coagulantes convencionais (TSAI et al., 1997).
- e) **Lagoas anaeróbias** - a degradação da matéria orgânica ocorre na ausência de oxigênio. A profundidade destas lagoas está na faixa de 2,0 a 4,0 m, e podem ocupar áreas menores do que as lagoas aeróbias ou facultativas. Operam sem muitos cuidados operacionais e, em geral, a remoção de DBO na lagoa anaeróbia fica em torno de 50%. As lagoas anaeróbias podem ser eficientes sistemas para reduzir a carga orgânica de etapas subsequentes de tratamento de chorume, de lagoas aeradas, por exemplo (FERREIRA, 2006).
- f) **Lagoas Aeradas** - processo de lagoas aeradas é recomendável, quando existem grandes áreas de terra disponíveis, é de elevada eficiência, baixo custo de instalação e manutenção e de operação fácil e econômica. Apresenta, ainda, a vantagem de ser pouco

sensível a oscilações de sobrecarga orgânica. Atinge alta eficiência de remoção da DBO, podendo chegar a mais de 90%. No entanto, dependendo da potência de aeração instalada, haverá com o tempo, uma deposição de sólidos no fundo da lagoa, reduzindo sua eficiência e necessitando da drenagem ou instalação de um decantador secundário para evitar o alto teor de sólidos no efluente final (FERREIRA, 2006).

- g) **Lodos Ativados** - processo de lodos ativados pode ser definido como um processo no qual uma cultura heterogênea de microrganismos, em contato com o efluente e na presença de oxigênio, tem a capacidade de estabilizar e remover a matéria orgânica biodegradável. O processo pode ser inibido (principalmente a nitrificação) pela presença de substâncias tóxicas e variação de temperatura e do pH do chorume. É utilizado como pré- tratamento de processos de osmose inversa ou na sequência de outros tratamentos. No caso de chorume velho (pobre em orgânicos biodegradáveis), a relação C/N pode ser muita baixa para o processo biológico (FERREIRA, 2006).
- h) **Tratamentos Oxidativos:** Em busca de tecnologias limpas, com alto poder de destruição dos poluentes, surgiram os Processos Oxidativos Avançados (POAs), altamente eficientes para destruir substâncias orgânicas de difícil degradação e gerar como produtos finais da reação  $\text{CO}_2$  e  $\text{H}_2\text{O}$ . Os POAs são processos que geram radicais hidroxila ( $\bullet\text{OH}$ ) altamente oxidantes, capazes de oxidar completamente as moléculas orgânicas presentes em águas poluídas (STEENSEN, 1997).
- i) **Tratamento biológico de esgoto:** O Reator UASB é uma tecnologia de tratamento biológico de esgotos baseada na decomposição



anaeróbia da matéria orgânica. Consiste em uma coluna de escoamento ascendente, composta de uma zona de digestão, uma zona de sedimentação, e o dispositivo separador de fases gás-sólido-líquido. O esgoto afluente ao reator e após ser distribuído pelo seu fundo, segue uma trajetória ascendente, desde a sua parte mais baixa, até encontrar a manta de lodo, onde ocorre a mistura, a biodegradação e a digestão anaeróbia do conteúdo orgânico, tendo como subproduto a geração de gases metano, carbônico e sulfídrico. Ainda em escoamento ascendente, e através de passagens definidas pela estrutura dos dispositivos de coleta de gases e de sedimentação, o esgoto alcança a zona de sedimentação. A manutenção de um leito de sólidos em suspensão constitui a manta de lodo, e em função do fluxo contínuo e ascendente de esgotos, nesta é que ocorre a decomposição do substrato orgânico pela ação de organismos anaeróbios (CENTRO EXPERIMENTAL DE SANEAMENTO AMBIENTAL, 2015). O reator UASB apresenta a vantagem de tratar efluentes diluídos ou concentrados, de material particulado ou dissolvido, e de natureza simples ou complexa, com elevadas eficiências sob condições de operação relativamente simplificadas (KATO et al., 1999).

Grande parte dos aterros brasileiros coleta o chorume produzido pelos RSU para tratamento em estações de tratamento de efluentes convencionais ou para ser descarregado em um sistema de esgoto (NASCIMENTO FILHO; MUHLEN; CARAMÃO, 2011). Nesses casos, estudos comprovaram que apenas uma pequena quantidade de lixiviado (2,5 a 5%), quando lançados em uma ETE convencional, gera problemas como a corrosão de estruturas e dificuldades operacionais. Além disso, quando tratado em ETE comum, o processo torna-se

ineficaz quanto aos parâmetros convencionais de remoção da carga orgânica e quanto à degradação de DEs. E, ainda, o lodo gerado como produto de degradação desse processo carregará consigo os compostos tóxicos presentes no lixiviado.

O método de lodos ativados define-se por processo biológico aeróbio e tem a capacidade de estabilizar e remover a matéria orgânica biodegradável e parte dos compostos orgânicos. É utilizado como pré- tratamento de processos de osmose inversa ou na sequência de outros tratamentos (AZIZ et al., 2007).

Todavia, o tratamento de lodos ativados exige um sistema de mecanização superior ao de outros sistemas de tratamento, com operação mais especializada Sperling et al. (2001, p. 8) concluem que:

Devido à recirculação dos sólidos, estes permanecem no sistema por um tempo superior ao do líquido. O tempo de retenção dos sólidos é denominado tempo de retenção celular ou idade do lodo, a qual é definida como a relação entre a quantidade de lodo biológico existente no reator e a quantidade de lodo biológico removida do sistema de lodos ativados por dia. É esta maior permanência dos sólidos no sistema que garante a elevada eficiência dos sistemas de lodos ativados, já que a biomassa tem tempo suficiente para metabolizar praticamente toda a matéria orgânica dos esgotos.

O sistema de lodos ativados é amplamente utilizado para o tratamento de águas residuárias domésticas e industriais, em situações em que uma elevada qualidade do efluente é necessária e a disponibilidade de área é limitada. A opção de utilização do sistema de lodos ativados como pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios passou a ser pesquisada e utilizada, em função do menor consumo de energia elétrica e à menor produção de lodo, mantendo-se qualidade do efluente comparável ao de um sistema de lodos ativados clássico (SPERLING et al., 2001).

No Brasil, a forma de tratamento mais comum é de natureza biológica. Este tipo de processo pode ser considerado eficiente no tratamento de chorume de aterro novo, rico em ácidos graxos voláteis e elevado valor de Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO). No entanto, vários problemas são detectados no tratamento de chorume de células mais antigas (chorume maduro), o qual costuma apresentar reduzida disponibilidade de matéria orgânica biodegradável, altas concentrações de nitrogênio amoniacal, metais potencialmente tóxicos e substâncias húmicas, além de outras espécies complexas que resultam da condensação de núcleos aromáticos. Em geral, admite-se que a permanência de compostos de alta massa molecular no lixiviado de aterro sanitário é um dos fatores responsáveis pela redução considerável de sua biodegradabilidade (determinada pela relação DBO/DQO) ao longo do tempo (MORAIS; PERALTA-ZAMORA; SIRTORI, 2006).

Uma vez que não existem processos economicamente viáveis, que permitam reduzir todos os parâmetros ambientalmente relevantes da matriz de chorume, alguns trabalhos recentes têm proposto o uso de processos integrados. Nestas propostas, processos físico-químicos de coagulação/floculação são aplicados de maneira preliminar, visando melhorar a eficiência de tratamentos biológicos subsequentes (MORAIS; PERALTA-ZAMORA; SIRTORI, 2006).

De acordo com Sperling et al. (2001),

A diferença deste sistema para o sistema convencional é que a biomassa permanece mais tempo no reator (18 a 30 dias), porém continua recebendo a mesma carga de DBO. Com isso o reator terá que possuir maiores dimensões e conseqüentemente existirá menor concentração de matéria orgânica por unidade de volume e menor disponibilidade de alimento. Para sobreviver às bactérias passam a consumir a matéria orgânica existente em suas células em seus metabolismos. Assim, o lodo já sairá estabilizado do tanque de aeração, não havendo necessidade de se ter um biodigestor. Este sistema também não possui decantador primário para evitar a necessidade de uma unidade de

estabilização do lodo resultante deste. Como a estabilização do lodo ocorre de forma aeróbia no reator, há um maior consumo de energia elétrica. Porém, este é um sistema de maior eficiência de remoção de DBO dentre os que funcionam com lodos ativados.

Dentre os processos físico-químicos destacam-se: a evaporação, a sedimentação, a adsorção em carbono e a coagulação que pode ser usada exclusivamente ou em combinação com outros processos.

Segundo Silva (2002), o mesmo tipo de tratamento adotado para os efluentes industriais é normalmente empregado no lixiviado produzido nos aterros, ou seja, consistem em tratamento de natureza física (filtração por membrana, adsorção), química (oxidação avançada) e biológica (nitrificação / desnitrificação e lodos ativados). Estes processos têm sido usados com sucesso, para remover quantidades significativas de vários contaminantes, incluindo substâncias húmicas, disruptores endócrinos e metais pesados (AZIZ et al., 2007; LINDE; JONSSON, 1995; PETERS, 1999; RODRIGUEZ et al., 2003; URASE et al., 1999).

Asakura, Matsuto e Tanaka (2004) comprovam que, no processo de tratamento de chorume realizado por lodos ativados, a remoção dos DEs é incompleta, devido à resistência à biodegradação, sendo necessário tratamento físico-químico para complementar o processo como ozonização, degradação fotocatalítica ou carvão ativado, no entanto são caros ou podem gerar subprodutos tóxicos.

Além desses processos, empregam-se os *wetlands*,<sup>1</sup> como alternativa de tratamento de simulação natural. Esse procedimento é formado por leitos de

---

<sup>1</sup> *Wetlands*—termo é utilizado para caracterizar vários ecossistemas naturais que ficam parcial ou totalmente inundados durante o ano, como as várzeas dos rios, os igapós na Amazônia, os banhados, os pântanos, as formações lacustres de baixa profundidade em parte ou no todo, as grandes ou pequenas áreas com lençol freático muito alto, porém, nem sempre com afloramento superficial, os manguezais, entre

plantas aquáticas que viabilizam a redução do impacto ambiental gerado pelo chorume dos RSU (MANNARINO et al., 2006; RODRIGUES, 2004).

Alguns estudos consideram uso de wetlands como método promissor no tratamento do chorume no Brasil. Esses sistemas promovem a absorção de nutrientes pelas plantas e facilitam a degradação de material orgânico por microrganismos do solo e aderidos às raízes. Hamada e Matsunaga (2000) desenvolveram experiências com wetlands nos aterros de Gramacho e Piraí (RJ). Os resultados comprovaram que esses sistemas mostram-se boas alternativas no tratamento biológico de lixiviados, principalmente, em regiões de clima tropical, onde as elevadas temperaturas maximizam a evapotranspiração. Essa tecnologia é favorável em virtude do baixo custo de implantação e operação, porém requer grande área para instalação.

No entanto, apesar de algumas pesquisas avaliarem a eficiência de remoção de alguns micropoluentes em amostras de água, ainda não há comprovação desse método perante a remoção de DEs em amostras de chorume. Reis et al. (2014) desenvolveram interessante estudo com objetivo de avaliar teórica e experimentalmente mecanismos de remoção de alguns compostos como BPA, por plantas aquáticas e demonstraram a eficácia da tecnologia, principalmente, quando inclui enzimas ao processo.

Como já mencionado anteriormente, a idade do aterro tem influência significativa na composição química do lixiviado e, conseqüentemente, na sua tratabilidade. Por isso, a escolha entre as diversas alternativas de tratamento irá depender de parâmetros técnicos e econômicos para cada situação analisada.

Os filtros biológicos encontram-se entre os recursos mais utilizados no tratamento de chorume de aterros. Sua utilização se justifica pela pequena área requerida para instalação, baixo custo na implantação e sistema de operação

---

outros. Os *wetlands* construídos são, pois, ecossistemas artificiais com diferentes tecnologias, utilizando os princípios básicos de modificação da qualidade da água das *wetlands* naturais.

relativamente simples. Entretanto o processo pode ser inibido em função da presença de substâncias tóxicas e variação de temperatura e do pH do chorume.

Embora o potencial dos processos anaeróbios para a remoção de micropoluentes já tenha sido estudado (EJLERTSSON et al., 1997; JÜRGENS et al., 2002; LEE; LIU, 2002), há pouquíssimos trabalhos que avaliaram o comportamento de alguns fármacos e DEs em reatores UASB (GRAAFF et al., 2010; REYES et al., 2010) e ainda menos pesquisas em lagoas anaeróbias (SERVOS et al., 2005). Santos (2003) suscita que o processo UASB é, portanto, viável como tratamento primário necessitando, ainda, de pós-tratamento (aeróbio) para redução de cor e compostos recalcitrantes não eliminados pelas rotas anaeróbias.

Apresenta vantagens de não precisar de material de enchimento para dar apoio físico à biomassa ativa, ficando esta auto-aderida constituindo grânulos de granulometria diversificada, formando um leito de lodo concentrado no fundo do reator. Outra vantagem deste tipo de reator é que ele exerce funções variadas não necessitando de unidades acessórias, como decantadores primários, já que o fluxo ascendente favorece que o material particulado fique armazenado a partir da entrada do reator, sendo então, devidamente digerido nesta região (SANTOS, 2003).

Em pesquisa recente, Graaff et al. (2010, p. 380) analisaram o comportamento de diversos fármacos e DEs em UASB e concluíram que:

os reatores UASB foram ineficientes na remoção do BPA e levaram a um aumento da concentração do NP no efluente; o aumento das concentrações do NP provavelmente ocorreu devido à degradação anaeróbia dos alquifenóis etoxilados - APEO, sendo que essa degradação pareceu ser diretamente proporcional ao Tempo de detenção hidráulica - TDH; UASB.

Alguns estudos destacam que a eficiência do método UASB, no tratamento biológico em amostras de água potável contaminada, águas superficiais, em águas residuais e efluentes, no entanto, a mesma eficácia não ocorre na remoção de alguns DEs (TERNES et al., 2002). Além disso, poucas pesquisas têm sido realizadas para determinar eficiência na remoção de DEs em lixiviado de aterro. No entanto, o trabalho de Chan et al. (2006) analisam a aplicabilidade e desempenho das técnicas físico-químicas, individuais e/ou combinadas para chorume. Um foco especial é dado à coagulação-floculação, precipitação química, remoção de amônio, filtração por membranas e adsorção. Ainda assim, cabe lembrar que nenhuma das técnicas físico-químicas individuais é universalmente aplicável ou altamente eficaz para a remoção de compostos recalcitrantes de lixiviados estabilizado. Porém, entre os tratamentos analisados por Chang et al. (2006), a adsorção, filtração por membranas e precipitação química são os mais frequentemente aplicados em todo o mundo. Ambos, adsorção de carvão ativado e de nanofiltração são eficazes para mais de 95% de remoção de demanda química de oxigênio (DQO).

Já, a combinação de tratamentos físico-químicos e biológicos tem demonstrado eficácia para o tratamento de lixiviados estabilizados. A remoção quase completa da DQO e  $\text{NH}_3\text{-N}$  foi realizada por uma combinação de osmose reversa e reatores UASB.

Em seu trabalho, o autor enfatiza que é importante observar que a seleção do método de tratamento mais adequado para chorume depende das características dos lixiviados de aterros, aplicabilidade técnica e restrições, alternativas de descarga de efluentes, relação custo-eficácia, os requisitos regulamentares e impacto ambiental.

Existem muitas metodologias, utilizadas para o tratamento do lixiviado, alcançando grandes avanços tecnológicos nos últimos anos, permitindo o desenvolvimento de vários sistemas comerciais de tratamento de lixiviado, mas

são tratamentos dispendiosos tanto pelo processo de instalação quanto manutenção (GOGATE; PANDIT, 2004). Nos aterros sanitários são gerados contaminantes, como o lixiviado que apresenta um problema ambiental em razão de seu alto potencial de contaminação. Para o licenciamento ambiental desses aterros, é necessário um sistema de tratamento de efluentes que atinja os padrões exigidos pela legislação. Nesse sentido, os processos físico-químicos são tidos como representantes de alta eficiência na remoção da matéria orgânica, e o processo oxidativo avançado, também conhecido como “POA” empregando reagente de Fenton, apresenta-se como uma alternativa de pré-tratamento e/ou pós-tratamento que pode ser associada aos processos de tratamento biológico, já que este tipo de tratamento é o mais empregado, no sentido de aumentar a biodegradabilidade do lixiviado, minimizando o tamanho das lagoas, ou aumentando a vazão de lixiviado tratado, pois apresentam elevada eficiência na remoção de poluentes orgânicos, com custo relativamente baixo e facilidade operacional (LANGE et al., 2006).

Os POA's são processos que envolvem a geração de radicais hidroxila ( $\bullet\text{OH}$ ), altamente reativos, que têm a capacidade de destruição total de muitos poluentes orgânicos. O reagente de Fenton é uma mistura de peróxido de hidrogênio e sais de ferro. O peróxido de hidrogênio é um oxidante eficiente, seguro e de custo acessível, utilizado há décadas em aplicações ambientais em todo o mundo (NEYENS; BAEYENS, 2003).

O peróxido de hidrogênio ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ) é empregado para geração de radicais - hidroxila, entretanto, é necessária a adição de ativadores, como sais de ferro, ozônio e/ou luz ultravioleta, para produzir a alta taxa de radicais requerida. Os radicais livres ( $\bullet\text{OH}$ ) formados atacam o composto orgânico levando à sua oxidação completa produzindo  $\text{CO}_2$  e  $\text{H}_2\text{O}$ , ou quando resulta em uma oxidação parcial geralmente ocorre um aumento da biodegradabilidade dos poluentes e neste caso, os compostos orgânicos residuais podem ser removidos por meio de



tratamento biológico (NEYENS; BAEYENS, 2003). A oxidação química é definida como processo no qual elétrons são removidos de uma substância, aumentando o seu potencial de oxidação (PARSONS, 2004).

Steensen (1997) confirma a eficiência dos POAs no tratamento de contaminantes de difícil degradação como é o caso do DEP e DBP. Esse tipo de tratamento tem sido usado em águas de subsolo e de superfície contaminadas, efluentes industriais, água potável, lixiviados de aterros sanitários e efluentes de esgoto doméstico. No entanto, deve-se levar em consideração a potência de aeração estabelecida, pois com o tempo, pode ocorrer deposição de sólidos, provocando a necessidade de drenagem (FERREIRA, 2006).

Um estudo feito por Wu et al. (2010) sobre o processo Fenton mencionou que o tratamento por osmose apresentou-se eficiente na remoção de cor, sulfetos, fósforo e até de alguns metais. Porém, observou-se que o tratamento com reagente de Fenton é mais eficiente para lixiviados antigos do que para lixiviados novos, em virtude da presença de amônia.

Um estudo experimental, realizado por Asakura (2009), sobre o comportamento de DEs, em processos de tratamento de chorume, analisou o lixiviado por aeração, coagulação e sedimentação, adsorção e processo de oxidação avançada, tendo comprovado que BPA e DBP podem ser degradados eficientemente por aeração e di(2-etilhexil) ftalato, enquanto DEHP obteve remoção eficiente pelo processo de oxidação avançada. Bauer et al. (1998) reforçam que aeração, coagulação/sedimentação, e tratamento biológico não poderiam remover DEHP. Um tratamento adicional é necessário para a remoção de DEHP, por exemplo, tratamento de radiação / ozonização UV combinada, poderia ser capaz de efetivamente destruir todos os PAE.

Outra questão relevante é que, no Brasil, ainda, não há parâmetros para substâncias perigosas para chorume, como o caso de compostos orgânicos xenobióticos. Uma vez desconhecida a composição e comportamento dos

micropoluentes, presentes no chorume, não há como garantir a eficiência do tratamento. Dentre os parâmetros do chorume investigados, comumente analisa-se o pH, se há alta DBO<sub>5</sub>, alto valor de DQO e diversos compostos potencialmente tóxicos. Com o passar dos anos, há uma redução significativa da biodegradabilidade por causa da conversão, em gás metano e CO<sub>2</sub>, de parte dos componentes biodegradáveis. Quanto aos tratamentos tradicionais empregados, utilizam-se processos biológicos, aeróbio e anaeróbico, como também uma variedade de processos físico-químicos. Entretanto, a capacidade de certos microrganismos para degradar substâncias orgânicas tóxicas é muito limitada. Além de estarem sujeitos a quaisquer variações de pH ou de cargas tóxicas, que podem paralisar o metabolismo, outras dificuldades também são comumente encontradas. Entre os principais inconvenientes destacam-se, a dificuldade no controle da população de microorganismos e a necessidade de um tempo relativamente longo para que os efluentes atinjam padrões aceitáveis (SERAFIM et al., 2003).

O chorume pode conter altas concentrações de sólidos suspensos, metais pesados, compostos orgânicos originados da degradação de substâncias, que facilmente são metabolizadas como carboidratos, proteínas e gorduras (SERAFIM et al., 2003). Christensen et al. (2001) fazem alusão a algumas substâncias presentes no chorume classificadas como compostos orgânicos “Xenobióticos”, que incluem uma variedade de hidrocarbonetos halogenados, compostos fenólicos, álcoois, aldeídos, cetonas e ácidos carboxílicos, além de outras substâncias com características tóxicas. Certos tipos de tratamentos não são eficientes para degradação de alguns compostos. Os Processos Oxidativos Avançados (POAs) têm sido considerados como uma excelente alternativa para o tratamento do chorume com composição variada, pois sua composição tem alto poder oxidante e baixa seletividade, possibilitando a transformação de um grande número de contaminantes tóxicos em tempos relativamente curtos

(DOMENÉCH; JARDIM; LITTER, 2001). Após o processo de tratamento, o chorume é lançado nas águas superficiais, ainda, pode levar consigo poluentes, uma vez que o tratamento não é eficiente para alguns compostos e, assim, por meio dos recursos hídricos e exposição à água, pode ocorrer contaminação da população. Nascimento Filho, Muhlen e Caramão (2000) enfatizam que a eficiência dos métodos convencionais de tratamento do chorume, em função da presença de compostos de difícil degradação microbiológica (plastificantes) ou resistentes aos métodos clássicos de degradação de matéria orgânica por oxidação (antioxidantes), merece maior estudo.

Mesmo não tendo esses parâmetros de contaminação por DE em chorume, Nascimento Filho, Muhlen e Caramão (2001) realizaram análises em amostras de chorume oriundo do município de Gravataí/RS, e identificaram compostos orgânicos como ftalatos, BPA, benzotiazolona, ácido fenil acético, além de outros ácidos carboxílicos, cetonas, álcoois e compostos nitrogenados. Além da constatação da presença desses compostos orgânicos suspeitos de atuarem como estrógenos ambientais, o estudo sugere processo misto, composto de tratamento biológico para remover matéria orgânica e métodos de oxidação para degradar os micropoluentes.

Para isso, busca-se a integração de pré ou pós-tratamentos aos processos biológicos, reconhecidamente mais econômicos, a sistema de pré-tratamento com maior poder de degradação para compostos recalcitrantes (LIN; CHANG, 2000; MORAIS, 2005; PARRA et al., 2001; ZHAO et al., 2004).

## **4 MATERIAL E MÉTODOS**

### **4.1 Levantamento de dados**

A análise de dados e busca bibliográfica foi realizada em periódicos, artigos, documentos, livros e sites sobre a problemática ambiental referente à produção e destinação dos resíduos sólidos no Município de Divinópolis/MG.

A pesquisa bibliográfica foi desenvolvida nas bases de pesquisa: *ISI Web of Knowledge - Science Direct - Scopus*, principalmente no portal de periódicos da CAPES. Houve grande preocupação quanto ao fator de impacto e qualis das revistas. Além do estudo realizado em dissertações relevantes ao tema. Os principais termos utilizados na busca foram disruptores endócrinos, cromatografia gasosa, lixiviado, aterro sanitário, resíduos sólidos e sustentabilidade.

Devido ao teor multidisciplinar, a pesquisa permeou por documentos tanto da área de Meio Ambiente, Engenharia, quanto do campo da Geografia e Química, o que proporcionou uma visão integrada de conceitos sociais, econômicos e ambientais. Isso justifica a amplitude e riqueza do referencial bibliográfico, gerado utilizando a ferramenta EndNote. Além disso, os periódicos selecionados apresentam-se como fundantes para possíveis publicações futuras.

O estudo foi realizado no Município de Divinópolis, localizado na região Centro-oeste do Estado de Minas Gerais, cuja sede está a aproximadamente 110 km da Capital, Belo Horizonte.

Foram realizadas visitas técnicas ao aterro controlado de Divinópolis, com intuito de buscar subsídios para o estudo de caso e, ainda, coletar amostras do chorume.

#### 4.1.1 Divinópolis/MG – Aspectos geográficos, econômicos e sociais

Para uma melhor compreensão do estudo ora apresentado, tornou-se necessário o levantamento dos aspectos econômicos, socioambientais e históricos do município de Divinópolis/MG. Entender como a dinâmica de desenvolvimento produtivo influenciou e potencializou sua urbanização, com base no pressuposto de que a busca da sustentabilidade advém do conhecimento do meio, poderá auxiliar na interpretação dos resultados.

A sede do município de Divinópolis/MG está localizada na interseção das coordenadas 20° 8' 20'' de latitude sul e 44° 53' 02'' de longitude oeste. Está situado em uma região de terras altas, principalmente a Oeste/Noroeste, onde estão concentrados 8% dos 15% de terrenos montanhosos; no restante do território estão distribuídos 32% de áreas planas e 53% de campos onde está instalado o atual aterro controlado. Essas características suaves facilitam a escolha da região para instalação de áreas de disposição final de RSU. O solo é formado por latossolos vermelhos e vermelho-amarelos, tendo como principais características serem profundos e porosos. Esses fatores influenciam na forma de compactação e escolha do material de impermeabilização dos aterros.

O clima do município de Divinópolis/MG está classificado como Tropical, caracterizado, principalmente, por verões chuvosos e invernos secos. Os meses mais chuvosos ficam entre novembro e fevereiro, enquanto os meses mais secos são os de abril a setembro. Nesse sentido, o nível de entrada pluviométrica na área do aterro irá influenciar a geração do lixiviado.

O município de Divinópolis/MG está inserido na Região Hidrográfica do Rio São Francisco. Um dos seus principais afluentes pela margem esquerda é o Rio Pará, que passa pela cidade, onde encontra com seu principal afluente, o Rio Itapecerica, que recebia todo o esgotamento sanitário *in natura* produzido no município. Em março de 2011, a Prefeitura Municipal de Divinópolis/MG

firmou contrato de concessão com a Companhia de Saneamento de Minas Gerais (COPASA), para recolhimento e tratamento do esgoto em ETEs. Atualmente o esgoto é tratado de forma parcial, pois nem todas as ETEs, previstas no acordo, estão em funcionamento e a conclusão das obras está prevista para 2016.

O município destaca-se no cenário econômico da região centro-oeste de Minas Gerais, tanto no setor confeccionista quanto no siderúrgico, apresentando particularidades em relação à geração de resíduos. Um fator relevante é a geração de grande quantidade de embalagens plásticas utilizadas nas atividades comerciais e industriais, além dos sacos plásticos utilizados no acondicionamento dos RSU, que, conseqüentemente, são descartadas no aterro controlado, liberando micropoluentes na massa dos resíduos e contaminando o chorume gerado. Como ilustrado na Figura 8, Divinópolis/MG é considerada uma das cidades brasileiras mais verticalizadas do país, que também configura numa singularidade quanto ao acondicionamento, coleta e transporte dos RSU.



Figura 8 Vista parcial de Divinópolis/MG

Fonte: Divinópolis (2015).

Segundo dados do IBGE (2010), a população de Divinópolis/MG é de 213.076 mil habitantes. Atualmente, a cidade mantém-se em um movimento de crescimento populacional, conforme aponta os dados do IBGE, apresentados na Figura 9, com a instalação de diversas fábricas de confecção, agregando mais uma sociedade consumista e com isso o aumento da produção de resíduos.

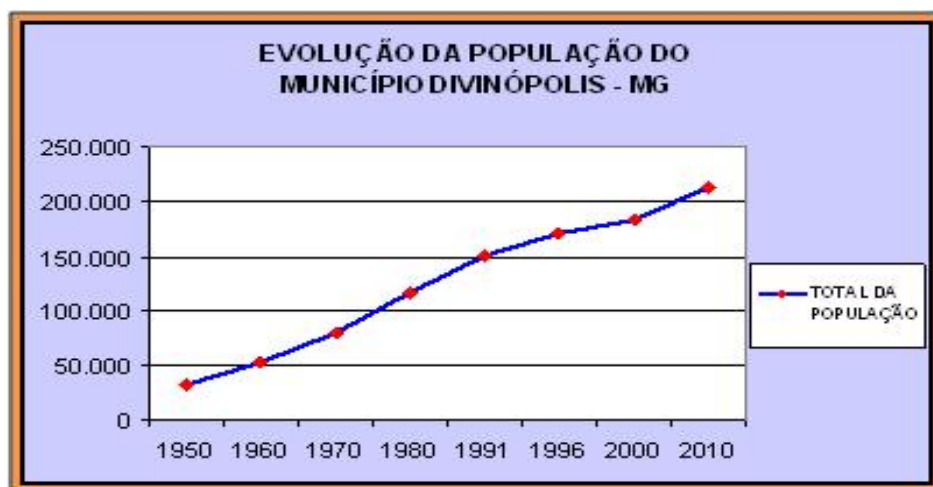


Figura 9 Evolução da população do município de Divinópolis/MG

Fonte: Dados IBGE (2010).

#### 4.1.2 Divinópolis/MG – Análise ambiental

O tema resíduo sólido tem sido incorporado cada vez mais ao vocabulário da população, uma vez que as discussões sobre a corresponsabilidade da geração e a forma correta de destinação têm saído da esfera governamental e se disseminado nas mais diversas áreas da sociedade. O resíduo sólido hoje se apresenta como um caso de saúde pública e ambiental, cujas cidades, dentro de seus processos de sustentabilidade, devem estabelecer mecanismos que equacionem a geração, destinação e a disposição final dos resíduos.

A gestão de resíduos compõe o sistema de saneamento básico e ambiental de uma cidade e define-se como um dos principais componentes de garantia de proteção ambiental, assim como a preservação de recursos naturais que não são infinitos. O adequado manejo dos RSU implica a implementação de medidas e procedimentos de gerenciamento ambientalmente adequados de resíduos sólidos que vão desde projetos e ações de educação ambiental às etapas de segregação, coleta, manipulação, acondicionamento, transporte, armazenamento, transbordo, triagem e tratamento, comercialização e disposição final apropriada para que não polua o meio ambiente.

A PNRS institui que todo município elabore seu Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos (PMGIRS) como estratégia que vise estabelecer a sustentabilidade do processo, por meio do aproveitamento eficaz dos resíduos urbanos, proporcionando cada vez menos rejeitos e aumentando a vida útil das áreas de disposição final. O PMGIRS/Divinópolis, inserido na PNRS, institui princípios básicos de sustentabilidade, que buscam reduzir a geração dos RSU, maximizando o ciclo de vida dos produtos, minimizando a exploração de novos recursos naturais, proporcionando maior vida útil da área de destinação final dos resíduos

No que diz respeito à implantação e operação de empreendimentos de disposição final de resíduos, interessam aos estudos socioeconômicos todo e qualquer aspecto relativo à forma de ocupação humana da região em estudo, assim como as condições de apropriação e reprodução do espaço geográfico, com o propósito de identificar os possíveis impactos gerados quando da implantação e da operação do aterro.

Uma grande questão dos RSU de Divinópolis está na sua disposição final, além da implantação do aterro sanitário e encerramento do aterro controlado. Nos dois casos há de se criar condições para a realização do monitoramento e tratamento eficaz do chorume, produzido nessas áreas, pois,



mesmo 30 anos após o encerramento de um aterro, ele continua gerando o chorume, líquido altamente poluente.

## **4.2 Partes experimentais**

Para identificação dos compostos orgânicos presentes nas amostras de chorume coletadas no aterro controlado de Divinópolis, o trabalho experimental foi baseado na metodologia desenvolvida por Souza (2011) e realizada no laboratório de Pesquisa em Química Analítica da UFLA.

### **4.2.1 Amostras**

Amostra do chorume bruto, oriundo do aterro controlado do município de Divinópolis, foi coletada na caixa coletora de chorume, com coordenadas geográficas locais de: 20° 08' 44" S e 44° 53' 31' O, de acordo com a metodologia apresentada em Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION - APA, 1999). A amostra foi coletada em vidro âmbar com tampa forrada com alumínio e encaminhada ao laboratório. Em seguida, foi ajustado o pH do chorume de 7 para 3, utilizando ácido clorídrico (HCl). Para aferir o pH das amostras de chorume, utilizou-se kit de teste pH- Fix da marca Macherey Nagel (MN). A amostra foi filtrada em funil de vidro sinterizado, posteriormente em filtro de fibra de vidro de 0,45 µm de poro e armazenada a baixa temperatura, em geladeira e colocada ao abrigo da luz até ocasião das extrações. A Figura 10 apresenta uma foto do chorume coletado.



Figura 10 Coleta do chorume do Aterro Controlado de Divinópolis/MG  
Fonte: Dados da pesquisa (2014).

#### **4.2.2 Extração e identificação dos compostos orgânicos**

Para a investigação da presença de DEs no chorume, utilizaram-se as técnicas de SPE e CG/MS. Todo processo foi realizado no laboratório de Pesquisa em Química Analítica da UFLA.

Para o desenvolvimento da análise, foram empregados os reagentes metanol (MeOH), acetato de etila (EtOAc) e diclorometano (DCM), todos em grau cromatográfico. As vidrarias foram descontaminadas com hexano e as amostras foram acidificadas com ácido clorídrico 50% (HCl/H<sub>2</sub>O 1:1, v/v).

#### 4.2.2.1 Metodologia analítica

Para a extração dos DEs, tomou-se como base a metodologia descrita por Souza (2011), a qual foi utilizada para extração de DEs, na qual se utilizou o cartucho de SPE ENVITM-C18 e as seguintes condições:

- a) Condicionamento: O cartucho de SPE foi condicionado com 5 mL de EtOAc, seguido de 5 mL da mistura metanol/H<sub>2</sub>O (50:50, v/v), inicialmente por gravidade e após por um fluxo de 1 mL min<sup>-1</sup>. Cada solução foi colocada em contato com o material adsorvente por 2 min;
- b) Percolação da amostra: a solução acidificada para pH 3 foi percolada pelo cartucho a um fluxo de 1 mL min<sup>-1</sup>;
- c) Eluição: a dessorção foi feita com duas frações de 3 mL de acetato de etila/metanol (60:40, v/v), a um fluxo de 1-2 mL min<sup>-1</sup>. Cada alíquota dos solventes foi deixada em contato com o material de empacotamento do cartucho por 2 minutos.

O sistema montado em laboratório para a SPE está mostrado na Figura 11, na qual se observa a amostra de chorume, contida em um funil de separação, adicionada lentamente ao cartucho de SPE, ligada ao sistema de aprisionamento e à bomba de vácuo. Nas Figuras 11a, 11b e 11c estão mostrados o sistema de extração, o cartucho de SPE e a extração da amostra de chorume, respectivamente.

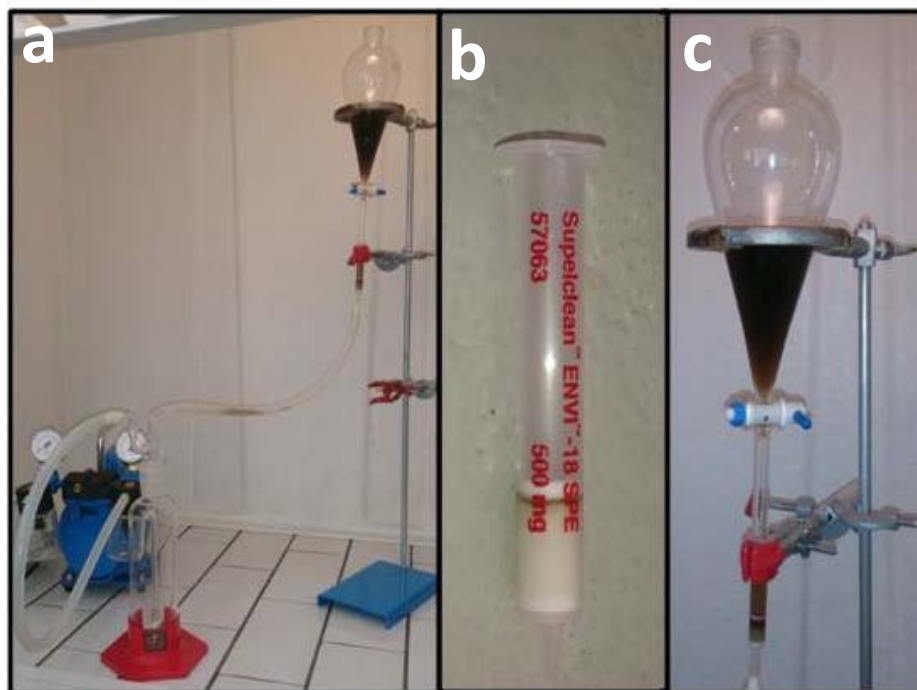


Figura 11 Extração da amostra de chumbo: (a) Sistema completo, (b) cartucho após utilização e (c) adição da amostra de chumbo ao cartucho de SPE

Fonte: Dados da pesquisa (2014).

#### 4.2.2.2 Condições cromatográficas

Para a análise da amostra por GC-MS, o extrato obtido, após a SPE, foi analisado no mesmo dia ou armazenado sob refrigeração. Para a separação e identificação dos compostos orgânicos presentes no chumbo, foi usado um cromatógrafo a gás acoplado a um espectrômetro de massas GC-MS QP 2010 Ultra (Shimadzu, Japan), equipado com injetor automático para líquidos e gases AOC-5000 (Shimadzu, Japan) e coluna HP-5 (5% fenil-95% dimetilsiloxano) de dimensões  $30 \text{ m} \times 0,25 \text{ mm} \times 0,25 \text{ }\mu\text{m}$ . A temperatura do injetor foi de

250 °C, da interface de 240 °C e da fonte de íons do detector de 200 °C. O injetor foi operado no modo *splitless*. Como gás de arraste foi usado He grau 5.0 a 1,6 mL.min<sup>-1</sup>. A programação da temperatura do forno do GC foi de 80 °C (1 min) até 210 °C (4,5 min) a 25 °C min<sup>-1</sup>, até 240 °C (2 min) a 21 °C min<sup>-1</sup> e, então, a 280 °C (8 min) a 18 °C min<sup>-1</sup>. Essa programação foi escolhida pelo fato de ter sido aplicada a diferentes DEs (SOUZA, 2011).

As amostras foram analisadas por GC/MS em modo SIM e em modo SCAN. Nas análises por modo SCAN, a faixa de m/z foi de 40-350 u.m.a. Para identificação dos compostos nas amostras, os espectros de massas de cada composto representado por pico do cromatograma foram extraídos por meio do programa *Automated Mass Spectral Deconvolution and Identification System* (AMDIS) v. 2.63. Para as análises em modo SIM, os tempos de retenção ( $t_R$ ) e os espectros de massas de cada composto foram obtidos baseados na metodologia de Souza (2011). A seleção dos íons monitorados foi realizada com base nos próprios espectros de massas de cada DE. Dessa forma, os íons monitorados foram selecionados de acordo com possíveis DEs presentes na amostra. Os íons monitorados e o intervalo de tempo correspondente aos seguintes DEs estão apresentados na Tabela 6.

Tabela 6 Intervalo de tempo e íons monitorados para os diferentes DEs por GC-MS no modo SIM

<b>Composto</b>	<b>Intervalo de tempo (min.)</b>	<b>TR (min.)</b>	<b>Íons monitorados (m/z)</b>
<i>Dietilftalato</i>	5,00 – 7,10	6,71	149*, 176, 177, 221, 222
<i>Nonilfenol</i>	7,10 – 8,05	7,08 – 7,90	107*, 121, 135, 149, 220
<i>Pentaclorofenol</i>	8,05 – 8,70	8,02	165, 202, 264, 266*, 268
<i>Dibutilftalato</i>	8,70 – 11,00	9,83	149*, 150, 223, 278, 279
<i>Bisfenol A</i>	11,00 – 16,00	12,56	119, 213*, 214, 228, 229
<i>Benzo [a] pireno</i>	16,00 – 24,00	20,20	113, 126, 250, 251, 252*

\* íon mais intenso

Fonte: Souza (2011).

## **5 RESULTADOS E DISCUSSÕES**

### **5.1 Aterro controlado e tratamento dos RSU de Divinópolis/MG**

O aterro controlado encontra-se instalado na área onde há 28 anos funcionava o lixão de Divinópolis. Até meados de 2011, o local recebia os resíduos produzidos pela população divinopolitana, sem qualquer tipo de triagem ou tratamento, gerando tanto danos ambientais quanto sociais.

Com aumento das exigências ambientais e pressão dos órgãos legais competentes, em 2010, foram tomadas medidas para transformação do então lixão para aterro controlado. No entanto, não houve adoção de critérios ambientais para escolha da área, por se tratar de um local já utilizado para esse fim. Mesmo assim, alguns avanços foram conquistados, como aterramento diário dos RSU, captação e queima dos gases, sistema de drenagem do lixiviado, cercamento do espaço; ausência de animais, retirada da população que até então ali vivia, disputavam espaço com ratos e urubus e ali retirava seu sustento. Além disso institui-se a associação de catadores de recicláveis que passaram a contribuir para adequada gestão dos resíduos.

Atualmente, o aterro controlado é uma medida paliativa entre o antigo lixão e futura instalação do aterro sanitário, pois é previsto que sua implantação, que encontra-se em processo de planejamento, licenciamento e execução. Além dos problemas típicos do manejo de RSU, a quantidade de resíduos sólidos gerada em Divinópolis representa outro grave desafio mais de 100 toneladas/dia é destinada ao Aterro Controlado.

Em 2014, com a publicação do PMGIRS Divinópolis, foram definidas diretrizes sustentáveis e ações efetivas para adequada gestão dos resíduos e ainda, propondo a instalação do aterro sanitário, em benefício da qualidade de vida, a saúde humana e proteção ao meio ambiente. Para isso, é necessário todo

um processo licitatório legal o qual já está em andamento e instituirá, mediante parceria pública privada, ações factíveis e viáveis através da definição de uma empresa responsável pela execução das metas contidas no documento e consequentemente seja capaz de equacionar as deficiências do tratamento dos RSU e possa contornar os impactos negativos.

### 5.1.1 Localização

A área onde atualmente são dispostos os resíduos sólidos, gerados no município de Divinópolis é de aproximadamente 7 hectares e está localizada à margem da rodovia MG 345 (Figura 12), que liga a região sudeste da malha urbana de Divinópolis a Carmo do Cajuru.



Figura 12 Localização do Aterro Controlado

Fonte: Google Maps (2013).



O destino final dos resíduos sólidos de Divinópolis/MG é um aterro controlado (Figura 13), construído no ano de 2010, como célula adjacente na área do antigo lixão.



Figura 13 Vista parcial da entrada do aterro controlado do município de Divinópolis/MG

Fonte: dados da pesquisa (2014).

Convém destacar que as características observadas em Divinópolis, em termos de destinação final de resíduos sólidos, não são específicas dessa cidade. Sabe-se que 70% dos municípios do Brasil ainda não conseguiram implantar de fato o aterro sanitário como forma final de tratamento dos resíduos (IBGE, 2010).

### 5.1.2 Composição dos RSU

Considerando o levantamento gravimétrico, é possível verificar a composição dos RSU produzidos, tornando-se possível identificar uma grande massa de matéria orgânica putrescível e, ainda, uma quantidade bastante elevada de papel e plástico. A descrição detalhada do levantamento gravimétrico está apresentada na Figura 14.

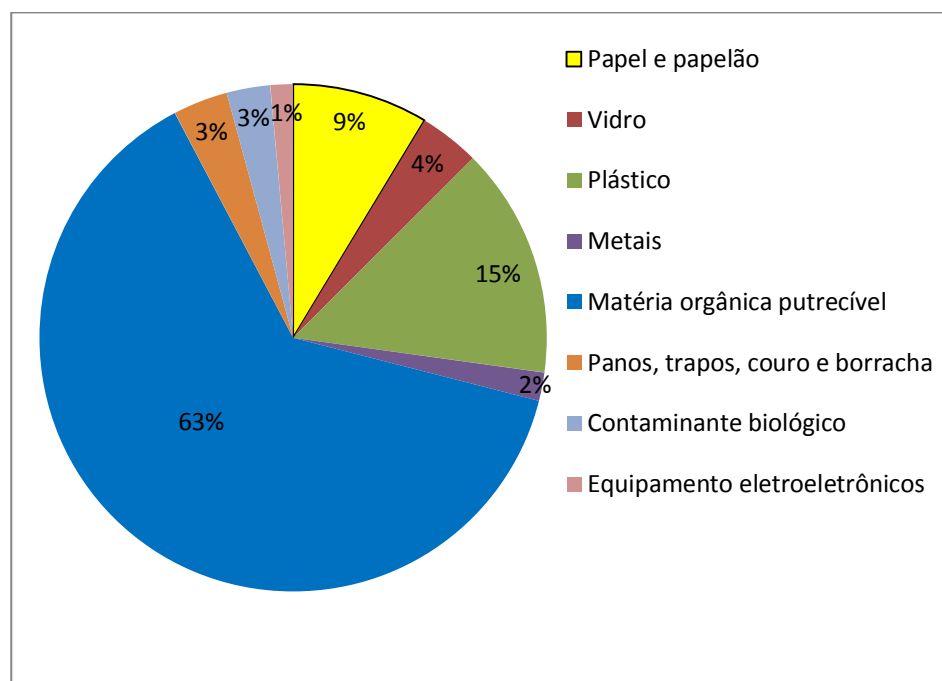


Figura 14 Composição gravimétrica dos RSU em Divinópolis/MG

Fonte: dados da pesquisa (2014).

### 5.1.3 Coleta dos RSU

Com base na caracterização da composição gravimétrica, entende-se que o lixo produzido em Divinópolis/MG apresenta viabilidade da expansão da

coleta seletiva, considerando a quantidade e a potencialidade de materiais recicláveis, como papéis e plásticos, o que diminuirá a quantidade desses materiais ao final. Atualmente a coleta seletiva atende 80% dos bairros do município e o material arrecadado é disponibilizado à Associação de Catadores de Papel, Papelão e Materiais Reaproveitáveis de Divinópolis (ASCADI), conforme apresentado na Figura 15.



Figura 15 Recolhimento do Material de Coleta Seletiva em Divinópolis/MG  
Fonte: dados da pesquisa (2014).

Além da coleta seletiva, a PNRS prevê a implementação e estruturação de sistemas de logística reversa de alguns produtos tóxicos ao meio ambiente, como pneus, lâmpadas, eletrônicos, pilhas e baterias, embalagens de agrotóxicos e óleo. Sendo assim, os comerciantes em parceria com Prefeitura Municipal são obrigados a recolher e dar o correto destino a esses materiais, passando a responsabilidade de destinação final para seus fabricantes.

Enfim, a redução na geração e utilização de outros produtos menos tóxicos ao meio ambiente saúde humana devem ser considerados. Além disso, políticas efetivas de educação ambiental como logística reversa, coleta seletiva, reutilização e reciclagem de produtos são necessárias para realizar todo processo de tratamento de resíduos e evitar contaminação do chorume. Cada vez que se reutiliza ou recicla um produto, é evitada a utilização de uma nova matéria prima advinda de recurso natural.

A gestão dos RSU, que vai da coleta (Figura 16), passando pelo transporte e determinando na destinação final é todo terceirizado. Nesse processo de destinação final, são disponibilizados 11 funcionários e um equipamento compactador. A operadora destes serviços é a empresa Viasolo.



Figura 16 Coleta de RSU em Divinópolis/MG

Fonte: dados da pesquisa (2014).

Os resíduos coletados em caminhões compactadores são em seguida depositados sobre o terreno impermeabilizado do aterro controlado, depois

recoberto diariamente com camadas de solo do próprio local. Formam-se, então, as células, nas quais é produzido o chorume e liberado o gás, conforme apresentado na Figura 17.



Figura 17 Recebimento e revestimento dos RSU no Aterro Controlado de Divinópolis/MG

Fonte: dados da pesquisa (2014).

O chorume é captado por meio de tubulações e drenado para tanques de coleta de chorume, conforme apresentado na Figura 18(a). Como ainda não existe sistema de tratamento de chorume, o lixiviado novo é drenado e transferido à lagoa de chorume, que não possui nenhuma proteção impermeável, conforme apresentado na Figura 18(b).



Figura 18 Tanque de Coleta do chorume do Aterro Controlado de Divinópolis/MG e (b) lagoa de chorume do Aterro Controlado de Divinópolis/MG

Fonte: dados da pesquisa (2014).

Os gases produzidos pela decomposição dos resíduos são captados por tubulações e a queima se dá nos tambores de metal, com furos laterais, conforme apresentado na Figura 19, diminuindo o impacto atmosférico e evitar a liberação de metano.





Figura 19 Sistema de coleta e queima de gases do Aterro Controlado de Divinópolis/MG

Fonte: dados da pesquisa (2014).

A situação da atual área de disposição final de RSU do município é alvo constante da fiscalização ambiental estadual, bem como do Ministério Público, que reivindicam a urgente solução para o local em acordo a PNRS. A cobrança refere-se à correta destinação dos resíduos em um aterro sanitário licenciado e encerramento do atual aterro controlado, definido de acordo com um plano de recuperação de área degradada - PRAD. Dentre as principais exigências de melhoria das operações na área encerrada está à cobertura vegetal, coleta e tratamento do chorume e, ainda, sistema eficiente de monitoramento e queima de gases.

#### **5.1.4 Ações Mitigatórias no aterro controlado**

Como forma de minimizar as condições de degradação ambiental e mau uso da área de disposição final dos RSU em Divinópolis/MG, em 2011, foram

adotadas algumas providências, como terceirização da gestão do aterro controlado; aquisição de equipamentos como balança e caminhões adequados; cercamento da área do aterro controlado; contratação de funcionários; segurança armada 24 horas; sistema de drenagem de gases e construção de célula impermeável com geomembrana fabricada com polietileno de alta densidade - PEAD, conforme observado na Figura 20.



Figura 20 Instalação da membrana PEAD na célula do aterro controlado de Divinópolis/MG

Fonte: dados da pesquisa (2014).

## 5.2 Análise do chorume

Deve-se ressaltar que o objetivo do trabalho não era desenvolver uma nova metodologia para a extração e identificação de DEs. Por isso, em razão da pequena literatura apresentada sobre a identificação de DEs em chorume,



esgotos ou águas, optou-se por seguir uma metodologia que poderia ser desenvolvida no laboratório de Pesquisa em Química Analítica da UFLA.

Pelo fato do chorume ser uma amostra reconhecidamente complexa, para ser analisada por GC/MS, foi necessário realizar uma etapa de preparo da amostra previamente à análise cromatográfica. Assim, a extração do chorume foi realizada empregando-se a SPE.

Previamente à análise, a amostra de chorume foi filtrada em filtro de papel e, posteriormente, em filtro de celulose com poro de 0,45  $\mu\text{m}$ . Em seguida, as amostras foram extraídas conforme o procedimento de Souza (2011). Um dos primeiros problemas observados na extração foi que os cartuchos de SPE entupiram, quando cerca de 125 mL do chorume, era percolado. Para se obter um elevado fator de pré-concentração, esperava-se percolar cerca de 1000 mL da amostra, o que não foi possível. Dessa forma, fez-se a percolação do chorume até 100 mL, realizou-se a eluição, obtendo-se 6 mL de extrato.

O primeiro teste foi realizado com o detector do GC/MS, operando em modo SCAN e o cromatograma está mostrado na Figura 21. Nessa análise, poucos picos foram observados, uma vez que no modo SCAN a detectabilidade do equipamento é inferior ao modo SIM. Além da menor detectabilidade, também são influenciados pelo baixo fator de pré-concentração. Dentre os possíveis DEs, presentes no chorume, relatados ao longo do referencial teórico, o único composto identificado foi o dioctilftalato, correspondendo ao pico mais intenso do cromatograma, eluído em 16,35 min. Embora esse composto não tenha sido detectado no trabalho usado como referência para a metodologia aqui empregada, foi possível identificá-lo. Em relação aos demais DEs, o pico correspondente ao tempo de retenção do BPA, parece estar presente em baixa concentração. Entretanto, não há segurança em confirmar a presença do BPA nessas condições de análise. Em adição, não foi possível verificar a presença de nenhum outro DE pelo modo SCAN.

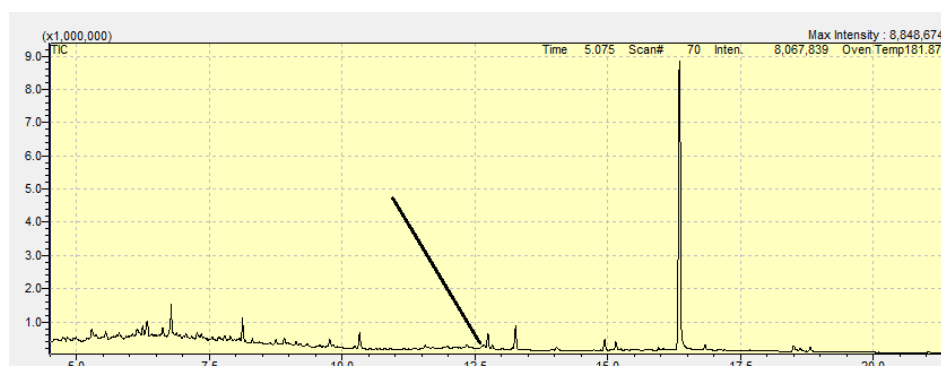


Figura 21 Cromatograma GC/MS modo SCAN da amostra de chorume  
Fonte: dados da pesquisa (2014).

Provavelmente, a elevada complexidade da amostra de chorume interferiu no procedimento de extração e pré-concentração. Uma vez que a otimização do procedimento é demasiadamente complexa, optou-se por fazer algumas análises no modo SIM com os mesmos extratos e monitorar íons específicos de alguns DEs, com o intuito de verificar a presença desses compostos. Dessa forma, a mesma amostra foi injetada, utilizando-se o monitoramento apresentado na Tabela 6. O cromatograma da amostra de chorume no modo SIM está apresentado na Figura 22.

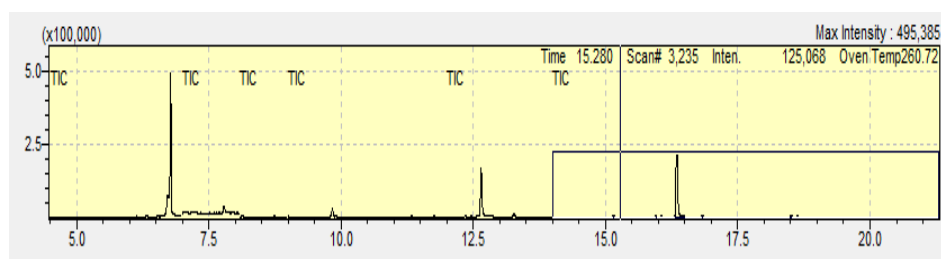


Figura 22 Cromatograma GC/MS modo SIM da amostra de chorume  
Fonte: dados da pesquisa (2014).

Nesse cromatograma, podem-se observar alguns picos nos intervalos de tempos especificados para os DEs apresentados na Tabela 6. Entretanto, para assegurar a identidade dos compostos em questão, faz-se necessário observar se todos os íons monitorados para um DE específico apresentam o mesmo perfil cromatográfico. Por meio dessa avaliação, é possível verificar a presença apenas dos DEs dietilftalato, em 6,77 min e do BPA em 12,65 min. Os perfis dos íons monitorados, para cada um desses compostos, estão apresentados nas Figuras 23 a e b. Para os demais compostos monitorados, não foi possível verificar a presença dos mesmos.

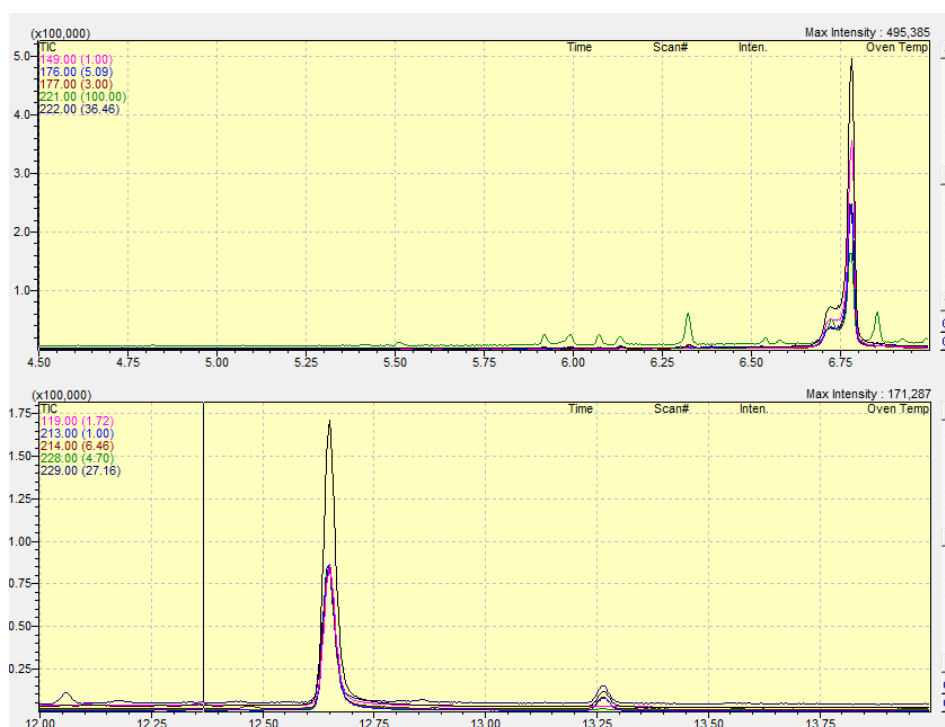


Figura 23 cromatograma do choro em modo SIM, representando apenas os íons monitorados referentes ao dietilftalato (acima) e ao BPA (abaixo)

Fonte: dados da pesquisa (2014).

Além desses dois compostos, também, pode-se confirmar a presença do dioctilftalato, visto que ele foi o único composto a ser identificado na amostra em modo SCAN. Um procedimento adicional para aumentar a confiabilidade da identificação seria a injeção de soluções padrão desses compostos. Contudo, foi possível obter dentro do prazo de execução desse trabalho apenas o reagente BPA. Para tal, foi feita a injeção da solução padrão desse composto e foi possível confirmar a presença dele. Até esse ponto do trabalho, apenas fora possível verificar a presença desses DEs, sem poder inferir sobre a concentração dos mesmos.

Uma vez que havia disponibilidade do reagente puro BPA, prepararam-se testes de adição do analito de concentrações conhecidas de BPA ao chorume filtrado. Entretanto, não houve reprodutibilidade entre as análises e, dessa maneira, não é possível estivar a concentração de BPA no chorume.

A metodologia, utilizando a SPE e GC/MS, para análise do chorume produzido no aterro controlado de Divinópolis/MG, com o intuito de identificar DEs, permitiu a identificação de compostos como Bisfenol A (BPA), dietilftalato (DEP) e dioctilftalato (DOP). Conforme esperado, pois ainda não há processo de tratamento de chorume e não ocorre formação de produtos de degradação, não foi verificada a presença de nonilfenol.

### **5.3 Chorume: desafios e possibilidades**

A problemática ambiental dos RSU deve colaborar na discussão de alternativas e na busca de soluções diante dos danos causados pela poluição gerada na falta de manejo dos resíduos sólidos, domésticos e industriais. Após a geração dos resíduos sólidos, os mesmos devem ser coletados e tratados até a sua destinação final.

Um dos objetivos do adequado manejo dos RSU está na prática da redução, uso contínuo da reciclagem e reutilização de produtos. Esse uso sustentável proporciona diversos benefícios de conservação ambiental, como aumento do ciclo de vida dos produtos, redução no uso de recursos naturais e, como consequência, o aumento da vida útil do Aterro. Mas, para que ocorra de fato a efetivação dessas ações, de uso mais consciente, é necessário desenvolver ações de educação ambiental formal e não formal. Realizar campanhas e atividades práticas que levem tanto os gestores municipais, quanto cada em cada indivíduo, responsável pelo resíduo que produz. Por isso, a importância de se orientar a população a inserir a coleta seletiva do lixo domiciliar como prática cotidiana, além de divulgar formas adequadas de acondicionamento do lixo e, ou separação de resíduos inorgânicos dos orgânicos.

Também deve ser considerado pontualmente o fato dos DEs serem descartados junto ao lixiviado e afetarem diretamente o sistema endócrino dos que entrarem em contato com os mesmos. Essas substâncias são encontradas no meio ambiente em concentrações da ordem de  $\mu\text{g L}^{-1}$  e  $\text{ng L}^{-1}$  e são suspeitas de causarem efeitos adversos à saúde humana e animal. Alguns efeitos citados na literatura, tais como diminuição na eclosão de ovos de pássaros, peixes e tartarugas; feminização de peixes machos; problemas no sistema reprodutivo em peixes, répteis, pássaros e mamíferos e, alterações no sistema imunológico de mamíferos marinhos, têm sido associadas à exposição de espécies de animais aos desreguladores endócrinos. Em alguns casos, esses efeitos podem conduzir ao declínio da população. Em seres humanos esses efeitos incluem a redução da quantidade de esperma, o aumento da incidência de câncer de mama, de testículo e de próstata e a endometriose (BILA; DEZOTTI, 2007).

As questões ambientais esbarram não apenas nas informações do nosso cotidiano, mas nas obrigações como cidadãos. As práticas educativas relacionadas à questão podem assumir função transformadora, o que faz os

indivíduos, depois de conscientizados, tornarem-se em objetos essenciais para a promoção do desenvolvimento sustentável (REIS; SEMÊDO; GOMES, 2012). Segura (2001) coloca a educação ambiental como instrumento transformador de uma realidade local, ou seja, capaz de transformar problemas em metas a serem alcançadas.

Nascimento Filho, Muhlen e Caramão (2001) alertam a presença desses compostos que atuam como estrógenos ambientais (bisfenol e ftalatos), compostos de ação antioxidante (benzotiazolona) e compostos que atuam como princípios ativos de medicamentos (bensixazol) nas amostras estudadas são fatores preocupantes com relação ao meio ambiente, uma vez que os limites de tolerância em ambientes abertos (aterros sanitários) e os efeitos de exposição de longo prazo (contaminação dos mananciais de água potável) a estes compostos são desconhecidos.

Outro fator relevante na gestão de RSU é a prática da logística reversa, que tem como fundamento introduzir um aumento no ciclo de vida dos produtos e ampliar responsabilidade compartilhada pela geração, tratamento e descarte dos resíduos. Segundo Reverse Logistics (2009), a “logística reversa” faz menção às operações relacionadas ao reuso de produtos e materiais. Seu gerenciamento está relacionado aos cuidados pós-uso dos produtos e desses materiais. Algumas dessas atividades são, de certo modo, similares àquelas que ocorrem no caso de retorno interno de produtos com defeito de fabricação. A Logística reversa relaciona-se a atividades organizadas de coletar, desmontar e processar produtos, usando parte de produtos e/ou materiais, de modo a assegurar uma recuperação sustentável do ponto de vista ambiental.

Ressaltando a característica do município, que apresenta forte vetor de crescimento populacional, industrial e de serviços, o que indica, assim, o viés de geração de resíduos em maior escala. Das 118,21 t/dia de resíduos depositados no aterro controlado de Divinópolis/MG, cerca de 15% são de plásticos,

apresentando um grande potencial de reciclagem juntamente aos outros produtos como papel e papelão. O resultado referente aos resíduos plásticos, observados em Divinópolis (MG), encontra-se entre o valor mínimo e máximo citado por Mattei e Escosteguy (2007), quando se referem a resíduos urbanos brasileiros (plásticos), ou seja, encontram-se entre 7,2% (mínimo) e 31,24% (máximo).

Quantidades importantes de resíduos plásticos, muitas vezes microscópicos devido a sua degradação incompleta, têm se acumulado nos aterros e no meio ambiente, causando danos ambientais e problemas relacionados à gestão desses resíduos. Tais danos podem ser a liberação de tóxicos para o meio ambiente (plastificantes e outros aditivos), a ingestão de plásticos por organismos, causando muitas vezes a sua morte, ou a simples presença de resíduos, impactando visualmente o ambiente (OLIVEIRA, 2012, p. 16).

Oliveira (2012) cita em seu trabalho que, com o fato da Lei 12.305, instituída em 2010 no Brasil, a favor de uma Política Nacional de Resíduos Sólidos, especialmente, resíduos plásticos, é possível estabelecer estratégias para o desenvolvimento sustentável e impor um sistema de logística reversa, além de tratar do ciclo de vida dos produtos e incentivar o reuso e a reciclagem de materiais, não incentivando a disposição em aterros sempre que haja outra destinação mais favorável ao meio ambiente e à economia de recursos (ABNT, 2010). Países desenvolvidos, como os Estados Unidos e os membros da União Europeia, já estão muito à frente nessas legislações, e buscam formas de tratamento dos seus resíduos cada vez menos impactantes.

Dada à conjuntura abordada neste trabalho, fica clara a necessidade de incentivo da reciclagem por meio da indústria, com cadastramento de agentes ambientais, antigos catadores e incentivos fiscais. Com isso, passa a fazer a triagem e separação de resíduos orgânicos da massa principal de lixo, que será transformada em adubo. Já, os objetos recicláveis separados são vendidos, tal solução proporciona queda na quantidade de descarte de materiais com potencial

de reciclagem. Com isso, menos embalagens plásticas são destinadas ao aterro controlado e menos DEs são lixiviados no chorume. Com o incentivo à reciclagem e educação ambiental, uma menor quantidade de DEP e DBP poderia ser descartado na água e, conseqüentemente, haveria menor lixiviação até o chorume, sendo um modelo de prevenção ambiental. Uma possibilidade para alcançar melhorias quanto à prática da reciclagem, coleta seletiva e realização constante da logística reversa, dando adequado tratamento e disposição final aos resíduos é atrelar o alvará de funcionamento ao licenciamento ambiental de cada indústria, comércio e demais empreendimentos geradores de resíduos.

A presença do BPA, DEP e DBP no chorume se dá, principalmente, em virtude da grande presença de resíduos descartados no aterro, de embalagens, plastificantes e demais produtos que contêm essas substâncias na sua composição. Assim, há indícios de que a composição do material residual que está sendo descartado tem um efeito sobre as concentrações de DEs no chorume. Segundo o IBAM (2001), em razão da ausência da coleta dos líquidos percolados, o ideal é que um aterro controlado seja implementado em áreas com lençol freático profundos (mais de três metros do fundo do aterro) e, como remediação do chorume que ficará retido nas camadas internas do terreno, deve-se fazer uma camada superficial provisória de material argiloso e uma camada impermeabilizante superior quando o aterro atingir sua cota máxima de operação.

No caso do BPA, ele é usado na fabricação de policarbonato, resinas epoxi, retardante de chamas, adesivos, tintas em pó, lentes automotivas, garrafas plásticas, selantes dentais, entre outros. Ainda, quanto ao descarte de plásticos, Oliveira (2012) explicita que o impacto dos mesmos sobre os aterros é controverso, uma vez que existem autores que afirmam que os plásticos são prejudiciais aos aterros e diminuem a sua vida útil por causa dos grandes



volumes depositados, e outros que afirmam o oposto não haver problemas na disposição desses materiais.

A partir do momento que ocorrer melhor gestão dos resíduos, obedecendo à engrenagem de reciclagem, coleta seletiva, logística reversa e disposição final adequada, apenas os rejeitos serão destinados aos aterros, provocando um melhor aproveitamento desses RSU, além de influenciar a composição do lixiviado, poderá minimizar a presença desses DEs e, por consequência, diminuir os impactos negativos e amenizar a contaminação de corpos hídricos. Entretanto, de nada adianta todo um processo de gestão dos RSU, se a população não agir de forma consciente e desenvolver no seu dia a dia a prática da coleta seletiva, por meio do hábito de selecionar o lixo em casa, com seu correto acondicionamento e descarte.

Outra possibilidade de mitigar os impactos gerados pela presença de compostos tóxicos orgânicos no chorume está relacionada à redução na fonte, pela substituição do BPA e ftalatos por outros produtos químicos que não atuem como DEs. Para sucesso desse processo, a mudança na legislação com adoção de parâmetros de contaminação por micropoluentes, também, e faz-se necessária.

As sacolas plásticas e sacos de acondicionamento de lixo são exemplos típicos de como se pode mudar essa triste realidade de contaminação do chorume por DEs. Esses plásticos, utilizados de forma demasiada pela população brasileira, podem ter sua composição modificada para gerar menos danos ambientais. Esse processo seria possível, pela simples substituição de sacolas e sacos convencionais pelos oxibiodegradáveis.

Em relação às embalagens plásticas convencionais, o uso dessas oxibiodegradáveis, proporciona diminuição imediata do impacto ambiental. Além de não contaminarem o chorume, por não conter compostos orgânicos ou outros elementos tóxicos, elas apresentam um processo de decomposição acelerado, com tempo de vida de aproximadamente 18 meses, o que evita a

poluição nos córregos, fundos e vales, lagos, rios e nos oceanos, além de não deixar nenhum resíduo nocivo ao meio ambiente.

Como o aterro controlado de Divinópolis/MG se localiza na área do antigo lixão, além dos DEs, é possível a presença de metais e outros compostos químicos que atualmente são proibidos de serem descartados em áreas de disposição final de resíduos. Segura-Munõz et al. (2003) denotam que o estudo dos metais pesados no chorume e em outras matrizes ambientais vem sendo considerado prioritário nos programas de promoção da saúde em escala mundial, pois todas as formas de vida podem ser afetadas direta ou indiretamente pela presença de metais pesados. Muitos metais são essenciais para o crescimento de todos os tipos de organismos, desde bactérias até o ser humano, mas eles são requeridos em baixas concentrações, porque, quando em altas concentrações, podem danificar os sistemas biológicos por apresentarem características bioacumulativas no organismo. Zhang, Geiben e Gal (2008) obtiveram resultados positivos em sua pesquisa com a remoção de metais pesados e matéria orgânica.

De acordo com Serafim et al. (2003), há algumas possibilidades de tratamento do chorume, quando ele apresenta níveis elevados de metais, no entanto, tais alternativas representam um grande desafio, tendo em vista a variação das características desse líquido em face da heterogeneidade dos resíduos dispostos e da idade do aterro sanitário, que determinam a complexidade do chorume, tornando-se difícil a implantação de técnicas efetivas e reproduzíveis de tratamento. O monitoramento dos níveis de metais no chorume constitui um importante instrumento de gestão ambiental (CELERE et al., 2007).

Deve haver esforços para padronizar métodos analíticos de determinação dos DEs e outros poluentes emergentes. Esse processo irá facilitar diretamente na escolha do tratamento ideal. Assim, a possibilidade de um tratamento mais

eficaz do chorume deve considerar e respeitar as condições que influenciam na geração e composição do chorume, como clima, disponibilidade de água (recirculação dos líquidos gerados, irrigação da camada de cobertura, presença de lodos); as características da camada de cobertura (umidade, vegetação, declividade); as características dos resíduos depositados (composição, umidade, idade, peso específico método de disposição) e a impermeabilização do local (geomembranas, argila).

Celere et al. (2007) pontuam que, no Brasil, o chorume coletado nos tanques de captação dos aterros sanitários é recirculado e/ou transportado para estações de tratamento de esgoto, onde é submetido à degradação microbiológica. Posteriormente, é lançado, juntamente com o esgoto tratado, em águas superficiais. Sendo desconhecidas as identidades dos compostos presentes no chorume, não é possível prever a efetividade desse tratamento de forma permanente. Nesse ensejo, considera-se importante o monitoramento constante da qualidade do chorume e também da qualidade das águas subterrâneas, que em muitas cidades brasileiras são fonte de abastecimento para a população.

Um dos problemas apresentados no tratamento de chorume advém de sua complexa composição. Uma das formas utilizadas no Brasil é o tratamento em ETE comum que não atende à especificidade do lixiviado. Porém, quando esse processo ocorre, torna-se ineficaz. Quando se utilizam mais 2% da capacidade da ETE, é possível comprometer seu funcionamento, gerando problemas como corrosão de estruturas e dificuldades operacionais. Além disso, concentrações elevadas de metais podem inibir atividade biológica e do lodo, inviabilizando sua futura utilização como fertilizante. Geralmente, quando ocorre o tratamento em ETE comum, não há nenhum monitoramento em relação à verificação de presença e remoção de compostos tóxicos orgânicos.

O tratamento do chorume destaca-se como melhor possibilidade para redução de danos ambientais gerados pela presença de DEs. No entanto, nem

todo processo de tratamento de chorume é capaz de remover de forma eficaz as substâncias recalcitrantes, que não são degradadas. O consumo de águas contaminadas por lixiviados traz vários efeitos negativos ao ambiente aquático, à saúde humana, desde efeitos tóxicos agudos, como casos de diarreia por causa da ingestão de coliformes fecais ou efeitos tóxicos crônicos como aumento do risco de cânceres em decorrência da presença de DEs no chorume.

Apesar de o método UASB apresentar eficiência no tratamento biológico em algumas amostras ambientais, o processo não proporciona a mesma eficácia na remoção de alguns DEs em chorume, como BPA. Além disso, esse processo contribui para formação de outros produtos tóxicos como NP.

Já o método de lodos ativados define-se por processo biológico aeróbio eficaz no tratamento biológico de chorume. Entretanto, apresenta-se de forma ineficiente na remoção de alguns DEs. Sendo assim, é necessário realizar o tratamento combinado a outros processos (BODZEK; LOBOS-MOYSA; ZAMOROWSKA, 2006). O trabalho realizado por Moraes, Peralta-Zamora e Sirtori (2006) com o método de lodos ativados em batelada demonstrou degradação eficiente da fração orgânica mais resistente (representada pela DQO) e sua transformação em espécies de maior biodegradabilidade (representadas pela DBO). Os autores complementam que a manutenção de melhores condições de sedimentabilidade do lodo, durante os processos de tratamento biológico, representa um importante indicativo adicional da potencialidade dos processos fotocatalíticos como sistemas de pré-tratamento.

Os *wetlands* têm-se mostrado muito eficazes no tratamento biológico de chorume, principalmente, em locais de clima tropical. Apresentam vantagens em razão do baixo custo de instalação e operação, no entanto requerem uma disponibilidade de área. É uma ótima alternativa como etapa adjacente ao

processo de lodos ativados, sendo compatível à grande realidade dos municípios brasileiros.

Apesar de existirem algumas pesquisas eficazes com utilização de *wetlands* na remoção de DEs em água, ainda, não há registro do sucesso dessa forma de tratamento, aplicado à degradação de DEs, em chorume. Pode esse se tornar um método promissor caso seja comprovada sua aplicabilidade em amostras de chorume. Sugere-se que o desenvolvimento de pesquisas futuras e, ainda, que seja efetuado um estudo científico aprofundado nos possíveis mecanismos de remoção nesse tipo de tratamento.

Nesse sentido, os disruptores como BPA, DEP e DBP podem ser removidos sim, mas para isso é necessário combinar tratamento convencional (físico e biológico) aos processos oxidativos avançados (POAs), tais como a oxidação de ozônio, fotocatalise, Fenton e oxidação Foto- Fenton (BODZEK; BOHDZIEWICZ; KONIECZNY, 1997; GOGATE; PANDIT, 2004; KIM et al., 2001; PEREZ et al., 2002; YOO et al., 1998). Henriques (2004) incita que a utilização de POAs, para a degradação de substâncias disruptoras endócrinas, vem sendo cada vez mais favorável. Isto em consequência da sua capacidade de adequá-las a processos biológicos ou, até mesmo, de mineralização destes compostos, dependendo da sua natureza e das condições tanto operacionais como do meio.

Nakashima, Ohko e Tryk (2002) verificaram a rápida decomposição de 17 $\beta$ - estradiol (E2), bisfenol-A (BPA) e 2,4-diclorofenol (2,4-DCP) em solução aquosa, por meio de diferentes tipos de reatores fotocatalíticos imobilizados com dióxido de titânio (TiO<sub>2</sub>) em politetrafluoretileno (PTFE). Os autores encontraram reduções acima de 90%, em 1 h de tratamento, empregando concentrações iniciais de 90  $\mu$ g L<sup>-1</sup> dos compostos investigados.

Com base no referencial bibliográfico, é possível reconhecer que os Processos Oxidativos Avançados - POAs são promissoras ferramentas para a

destruição de tais compostos em lixiviados de aterro, particularmente DEHP. O mais comumente investigado é o método de oxidação avançada, é a fotocatalise com dióxido de titânio, enquanto existe literatura suficiente sobre ozonização direta e indireta, fotólise, oxidação eletroquímica e irradiação ultrassônica. Gotvajn, Tišler e Zagorc-Končan (2009) ressaltam que, dentro os processos utilizados em sua pesquisa para análise da eficiência do tratamento do chorume, o processo de oxidação avançada se destacou. Lange et al. (2006) relatam que o POA, empregando reagente de fenton, é tecnicamente viável como tratamento preliminar, apresentando elevada eficiência de remoção de carga orgânica e inorgânica, associada às vantagens de facilidade operacional com flexibilidade, no controle de variáveis de processo, simplicidade de equipamento e facilidade na mudança de escala de produção. Já, o processo de aeração apresenta eficiência na degradação de BPA e DBP, tendo também apresentado resultados positivos com ftalatos.

Apesar de nos últimos anos se ter aumentado a preocupação com estudos sobre realização e eficiência do tratamento do chorume, a maioria das pesquisas são acadêmicas, ou seja, realizadas em pequenas quantidades e com custo elevado. Nesse sentido, essas técnicas podem até ser eficientes, mas se tornam impraticáveis em virtude do alto valor de investimento para aplicação em escala real. Nesse sentido, mais pesquisas acadêmicas são necessárias, particularmente, com processos eficientes e acessíveis, para tornar vantagem de efeitos sinérgicos e para investigar os impactos desses agentes e estruturas químicas interferir antes de propor oxidação avançada como uma solução viável para o tratamento desses compostos em chorume.

Contudo, espera-se abrir um imenso campo da área ambiental e avançar, por meio da revisão bibliográfica, sugerindo o processo biológico de lodos ativados, aeração, combinado ao processo de oxidação avançada - Fenton como

tecnologia economicamente viável, que seja eficaz na remoção dos compostos orgânicos identificados.

A partir do momento em que o chorume, produzido no aterro controlado de Divinópolis/MG passar pelo tratamento, é necessário realizar monitoramento constante, para verificar a presença de possíveis compostos tóxicos de degradação.

Apesar do nonilfenol não ter sido detectado nas amostras do chorume, é observado que ele pode se formar como subproduto de degradação, ou seja, possivelmente será encontrado após o chorume passar pelo processo de tratamento.

## 6 CONCLUSÕES

- a) Considerando o estudo de caso dos resíduos produzidos em Divinópolis/MG, foi possível realizar o levantamento das características da geração e tratamento dos RSU que influenciam na geração e composição do chorume do aterro controlado do município;
- b) A prática do aterro sanitário tem sido avaliada como adequada destinação final dos rejeitos dos RSU. No entanto, Divinópolis/MG, ainda, tem o aterro controlado como medida paliativa de disposição dos resíduos. Além disso, o PMGIRS está em fase de implantação para que o município se adeque, em breve, às ideais condições ambientais. É necessário criar condições de práticas mais sustentáveis de reciclagem, coleta seletiva e medidas de redução de resíduos, isso é possível por meio da conscientização da população, bem como práticas de educação ambiental e gestão dos resíduos;
- c) Apesar de a educação ambiental ser reconhecida como instrumento transformador da realidade local, apresenta-se como uma barreira, mediante as conquistas socioambientais, pois, para que ocorra na prática, é necessário alcançar uma mudança de conduta cultural;
- d) Lixiviado de aterro é uma matriz muito complexa, que contém uma grande variedade de compostos orgânicos com diferentes propriedades físico-químicas. A GC MS apresenta-se como método adequado para análise das diversas classes de substâncias tóxicas. Permite identificar qualitativamente a presença de diversos compostos orgânicos, oriundos da biodegradação e decomposição dos RSU, bem como produtos químicos depositados nos aterros evitando a interferência com base em análises de analitos;



- e) Atualmente não há tratamento do lixiviado produzido e coletado no aterro controlado de Divinópolis/MG. Baseado na implantação do aterro sanitário, será proposto tratamento físico químico e biológico, de forma a garantir melhor qualidade de o líquido ser descartado nos corpos hídricos, favorecendo tanto degradação da matéria orgânica quanto remoção dos micropoluentes;
- f) A composição gravimétrica indica grande quantidade de plastificantes no aterro controlado, fator relevante na presença de BPA no chorume, com isso destaca-se a importância de desenvolver, além da logística reversa com correta destinação de cada produto, a coleta seletiva, reciclagem, ampliando ciclo de vida dos produtos e, ainda, despertar a preocupação, perante a redução na fonte, deixando de fabricar produtos com DEs;
- g) Identificou-se a utilização de POAs, Fenton e Aeração como combinado ao processo de tratamento biológico por Lodos Ativados no tratamento do chorume, produzido no aterro controlado de Divinópolis, proporcionando, assim, além da remoção de compostos orgânicos de amônia a remoção de metais, DEs como BPA, DEP e DBP.

## REFERÊNCIAS

ABU-RUKAH, Y.; AL-KOFAHI, O. A avaliação do efeito do chumbo sobre a qualidade da água subterrânea: um estudo de caso. **Journal of Environmental Sciences**, New York, v. 49, p. 615-630, 1991.

AHEL, M.; IGER, W.; SCHAFFNER, C. Behaviour of alkylphenopolyethoxylate surfactants in the aquatic environment-II: occurrence and transformation in rivers. **Water Research**, New York, v. 28, n. 5, p. 1143-1152, May 1994.

ALVES, C. et al. Exposição ambiental a interferentes endócrinos com atividade estrogênica e sua associação com distúrbios puberais em crianças. **Cadernos de Saúde Pública**, Rio de Janeiro, v. 23, n. 5, p. 1005-1014, maio 2007

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. Oxford, 1999. 1325 p.

AQUINO NETO, F. R.; NUNES, D. S. S. **Cromatografia**: princípios básicos e técnicas afins. Rio de Janeiro: Interciência, 2003. 188 p.

ASAKURA, H. Experimental study of behavior of endocrine: disrupting chemicals in leachate treatment process and evaluation of removal efficiency. **Waste Management**, Oxford, v. 29, n. 6, p. 1852-1859, June 2009.

ASAKURA, H.; MATSUTO, T.; TANAKA, N. Behavior of endocrine-disrupting chemicals in leachate from MSW landfill sites in Japan. **Waste Management**, Oxford, v. 24, n. 24, p. 613-622, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS. **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil**. São Paulo, 2011. 186 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8.419**: apresentação de projetos de aterros sanitários de resíduos urbanos. Rio de Janeiro, 1992. 7 p.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12.305:** institui a política nacional de resíduos sólidos. Brasília, 1987. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/>>. Acesso em: 15 ago. 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12.305:** institui a política nacional de resíduos sólidos. Brasília, 2010. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/>>. Acesso em: 15 ago. 2014.

AZIZ, H. A. et al. Colour removal from landfill leachate by coagulation and flocculation process. **Bioresource Technology**, Essex, v. 98, n. 1, p. 218-220, Jan. 2007.

BAIRD, C.; CANN, M. **Química ambiental**. São Paulo: Bookman, 2011. 844 p.

BANAR, M.; OZKAN, A.; KURKCUOGLU, M. Characterization of the leachate in an urban landfill by physicochemical analysis and solid phase microextraction-GC/MS. **Environmental Monitoring and Assessment**, Dordrecht, v. 121, p. 439-459, 2006.

BAUER, M. J. et al. Chemodynamics, transport, behaviour and treatment of phthalic acid esters in municipal landfill leachates. **Water Science and Technology**, Oxford, v. 38, n. 2, p. 185-192, 1998.

BAUN, A. et al. Natural attenuation of xenobiotic organic compounds in a landfill leachate plume (Vejen, Denmark). **Journal of Contaminant Hydrology**, Amsterdam, v. 65, n. 3/4, p. 269-291, 2003.

BAUN, A. et al. Xenobiotic organic compounds in leachates from ten Danish MSW landfills: chemical analysis and toxicity tests. **Water Research**, New York, v. 38, n. 18, p. 3845-3858, 2004.

BEHNISCH, P. A. et al. Estrogenic and dioxin-like potency in each step of a controlled landfill leachate treatment plant in Japan. **Chemosphere**, Oxford, v. 43, n. 4/7, p. 977-984, May/June 2001.

BIDONE, F. R. A.; POVINELLI, J. **Conceitos básicos de resíduos sólidos**. São Carlos: EESC/USP, 1999. 120 p.

BILA, D. M.; DEZOTTI, M. Desreguladores endócrinos no meio ambiente: efeitos e consequências. **Química Nova**, São Paulo, v. 30, n. 3, p. 651-666, 2007.

BILA, D. M. et al. Ozonation of a landfill leachate: evaluation of toxicity removal and biodegradability improvement. **Journal of Hazardous Materials**, Amsterdam, v. B117, p. 235-242, 2005.

BJORKLUND, K. Substance flow analyses of phthalates and nonylphenols in stormwater. **Water Science & Technology**, Oxford, v. 62, n. 2/3, p. 1154-1160, Jan. 2010.

BJORKLUND, K. et al. Phthalates and nonylphenols in urban runoff: occurrence, distribution and area emission factors. **Science of the Total Environment**, Amsterdam, v. 407, n. 16, p. 4665-4672, Aug. 2009.

BODZEK, M.; LOBOS-MOYSA, E.; ZAMOROWSKA, M. Remoção de compostos orgânicos de lixiviados do aterro municipal em um biorreator de membrana. **Desalination**, Amsterdam, v. 198, n. 1, p. 16-23, 2006.

BODZEK, M. J.; BOHDZIEWICZ, E.; KONIECZNY, K. **Técnicas de membranas em proteção ambiental**. Gliwice: Silésia University of Technology, 1997. 256 p.

BODZEK, M. J.; SURMACZ-GÓRSKA, E.; HUNG, Y. T. Tratamento de lixiviados de aterros. In: \_\_\_\_\_. **Manual da indústria e tratamento de resíduos perigosos**. New York: CRC, 2004. p. 1155-1208.

BRANDT, E. M. F. **Avaliação da remoção de fármacos e desreguladores endócrinos em sistemas simplificados de tratamento de esgoto: reatores UASB seguidos de pós-tratamento**. 2012. 128 p. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2012.

BRASIL. Constituição (1988). **Constituição da República Federativa do Brasil**. Brasília: Senado Federal: 1988. 292 p.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Urbano e Meio Ambiente. Conselho nacional do meio ambiente. **Resolução nº 430**, de 13 de maio de 2011. Brasília, 2011.

CASTILHOS, A. B. et al. **Gerenciamento de resíduos sólidos urbanos com ênfase na proteção de corpos d'água: prevenção, geração e tratamento de lixiviados de aterros sanitários**. Florianópolis: PROSAB, 2006. 475 p.

CASTILHOS JUNIOR, A. B. **Resíduos sólidos urbanos**: aterro sustentável para municípios de pequeno porte. Rio de Janeiro: ABES; RIMA, 2003. 294 p.

CASTILLO, M.; BARCELÓ, D. Characterisation of organic pollutants in textile wastewaters and landfill leachate by using toxicity-based fractionation methods followed by liquid and gas chromatography coupled to mass spectrometric detection **Analytica Chimica Acta**, Amsterdam, v. 426, n. 2, p. 253-264, Jan. 2001.

CELERE, M. S. et al. Metais presentes no chorume coletado no aterro sanitário de Ribeirão Preto, São Paulo, Brasil, e sua relevância para saúde pública. **Cadernos de Saúde Pública**, Rio de Janeiro, v. 23, n. 4, p. 939-947, abr. 2007.

CENTRO EXPERIMENTAL DE SANEAMENTO AMBIENTAL. **Unidades de Tratamentos de Esgoto - UTE**: reator UASB. Disponível em: <<http://www.saneamento.poli.ufrj.br/site/pt-br/reator-uasb/>>. Acesso em: 5 maio 2015.

CHAN, G. et al. Physico-chemical treatments for removal of recalcitrant contaminants from landfill leachate. **Journal of Hazardous Materials**, Amsterdam, v. B129, n. 1/3, p. 80-100, Feb. 2006.

CHANG, H. S. The methods of identification, analysis, and removal of endocrine disrupting compounds (EDCs) in water. **Journal of Hazardous Materials**, Amsterdam, v. 172, n. 1, p. 1-12, Dec. 2009.

CHEN, J. Y.; CHEN, W.; ZHU, D. Adsorption of nonionic aromatic compounds to single-walled carbon nanotubes: effects of aqueous solution chemistry. **Environmental Science & Technology**, Easton, v. 42, n. 11, p. 7225-7230, 2008.

CHRISTENSEN, T. H. et al. Biochemistry of landfill leachate plumes. **Applied Geochemistry**, Oxford, v. 16, p. 659-718, Jan. 2001.

DIVINÓPOLIS. Disponível em: <<http://www.divinopolis.mg.gov.br>>. Acesso em: 10 mar. 2015.

DOMÈNECH, X.; JARDIM, W. F.; LITTER, M. I. Procesos avanzados de oxidación para la eliminación de contaminantes. In: \_\_\_\_\_. **Eliminación de contaminantes por fotocátalisis heterogênea**. La Plata: CYTED, 2001. cap. 1.

ECKENFELDER, J. W. W. **Industrial water pollution control**. 2<sup>nd</sup> ed. New York: McGraw-Hill, 1989. 584 p. (Series in Water Resources and Environmental Engineering).

EJLERTSSON, J. et al. Influence on water solubility, sidechain degradability and side-chain structure on the degradation of phthalic acid esters under methanogenic conditions. **Environment Science & Technology**, Easton, v. 31, p. 2761-2764, 1997.

EL FADEL, M. et al. Factors influencing solid waste generation and management. **Waste Management**, Oxford, v. 22, p. 269-276, 2002.

ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **Removal of endocrine disruptor chemicals using drinking water treatment processes, EPA/625/R-00/012**. Washington, 2001.

EUROPEAN CHEMICALS BUREAU. **European Union Risk Assessment Report, Office for Official Publications of the European Communities**. Luxembourg, 2010. 695 p.

FEFAUSER, P. et al. Phthalates, nonylphenols and LAS in an alternately operated wastewater treatment plant-fate modeling based on measured concentrations in wastewater and sludge. **Water Research**, New York, v. 37, n. 6, p. 1288-1295, Mar. 2003.

FERREIRA, L. **Ideias para uma sociologia da questão ambiental no Brasil**. São Paulo: Annablume, 2006. 110 p.

FRANCO, V. et al. Indicando a parameters do estado de degradação dos resíduos sólidos urbanos. **Journal of Hazardous Materials**, Amsterdam, v. 137, p. 1008-1015, 2006.

FROMME, H. et al. Occurrence of phthalates and bisphenol A and F in the environment. **Water Research**, New York, v. 36, n. 1, p. 1429-1438, Sept. 2002.

GHISELLI, G.; JARDIM, W. F. Interferentes endócrinos no ambiente. **Química Nova**, São Paulo, v. 30, p. 695-706, jun. 2007.

GIESY, J. P. et al. Morphological effects of bis-phenol A on the early life stages of medaka (*Oryzias latipes*). **Chemosphere**, Oxford, v. 45, n. 4/5, p. 535-541, Nov. 2001.

GOGATE, P. R.; PANDIT, A. B. A review of imperative technologies for wastewater treatment II: hybrid methods. **Advances in Environment Research**, New York, v. 8, n. 3/4, p. 553-597, Mar. 2004.

GOMES, R.; LESTER, J. N. Endocrine disruptors in receiving waters. In: BIRKETT, J. W.; LESTER, J. N. (Ed.). **Endocrine disruptors in wastewater and sludge treatment**. London: IWA, 2002. p. 177-218.

GOOGLE MAPS. Disponível em: <<https://www.google.com.br/maps>>. Acesso em: 10 dez. 2013.

GOTVAJN, A. Z.; TIŠLER, T.; ZAGORC-KONČAN, J. Comparison of different treatment strategies for industrial landfill leachate. **Journal of Hazardous Materials**, Amsterdam, v. 162, n. 2/3, p. 1446-1456, 2009.

GRAAFF, M. A. et al. Labile soil carbon inputs mediate the soil microbial community composition and plant residue decomposition rates. **New Phytologist**, Cambridge, v. 188, n. 4, p. 1055-1064, Dec. 2010.

HAMADA, J.; MATSUNAGA, I. **Concepção do sistema de tratamento de Chorume para o aterro sanitário de Ilhéus-BA**. Ilhéus: ABES, 2000. Disponível em: <<http://www.abes-auru.org.br/arquivos/Ilheus.PDF>>. Acesso em: 12 out. 2013.

HENRIQUES, D. M. **Degradação de nonilfenol polietoxilado e de efluente têxtil por meio de eletrocoagulação e processos fenton**. 2004. 118 p. Dissertação (Mestrado em Química) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2004.

HORAN, N. J.; GOHAR, H.; HILL, B. Application of a granular activated carbon-biological fluidised bed for the treatment of landfill leachates containing high concentrations of ammonia. **Water Science and Technology**, Oxford, v. 36, n. 2/3, p. 369-375, 1997.

HOWDESHELL, K. L. et al. Exposure to bisphenol A advances puberty. **Nature**, London, v. 410, n. 6755, p. 763-764, Oct. 1999.

YUAN, S. Y. et al. Occurrence and microbial degradation of phthalate esters in Taiwan river sediments. **Chemosphere**, Oxford, v. 49, p. 1295-1299, 2002.

HUANG, Y. Q. et al. Bisphenol A (BPA) in China: a review of sources, environmental levels, and potential human health impacts. **Environment International**, Hong Kong, v. 42, p. 91-99, May 2012.

INSTITUTO BRASILEIRO DE ADMINISTRAÇÃO MUNICIPAL. **Manual integrado de gerenciamento de resíduos sólidos**. Rio de Janeiro, 2001. 200 p.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Cidades@**. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/cidadesat/default.php>>. Acesso em: 20 out. 2008.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **IBGE Cidades**: Divinópolis/MG. Rio de Janeiro, 2010. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/cidadesat/painel/painel.php?codmun=31223#>>. Acesso em: 15 nov. 2014.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Departamento de População e Indicadores Sociais. **Pesquisa nacional de saneamento básico**: 2000. Rio de Janeiro, 2002.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS; COMPROMISSO EMPRESARIAL PARA RECICLAGEM. **Lixo municipal**: manual de gerenciamento integrado. São Paulo, 2000. 370 p.

JONSSON, S. et al. Mono- and diesters from o-phthalic acid in leachates from different European landfills. **Water Research**, New York, v. 37, n. 3, p. 609-617, Feb. 2003.

JOSEPH, L. Removal of bisphenol A and 17 $\alpha$ -ethinyl estradiol from landfill leachate using single-walled carbon nanotubes. **Water Research**, New York, v. 45, n. 13, p. 4056-4068, July 2011.

JÜRGENS, M. D. et al. The potential for estradiol and ethinylestradiol degradation in English rivers. **Environmental Toxicology and Chemistry**, New York, v. 21, n. 3, p. 480-488, 2002.

KALMYKOVA, Y. Partitioning of polycyclic aromatic hydrocarbons, alkylphenols, bisphenol A and phthalates in landfill leachates and stormwater. **Water Research**, Oxford, v. 47, n. 3, p. 1317-1328, Mar. 2013.



KATO, M. T. et al. Configurações de reatores anaeróbios. In: CAMPOS, J. R. (Org.). **Tratamento de esgotos sanitários por processo anaeróbio e disposição controlada no solo**. Rio de Janeiro: ABES, 1999. p. 53-99.

KIM, J. S. et al. Treatment of leachate produced in stabilized landfills by coagulation and Fenton oxidation process. **Chemical Engineering**, Lausanne, v. 32, n. 1, p. 425-429, July 2001.

KJELDSSEN, P. et al. Present and long-term composition of municipal solid leachate. **Critical Reviews in Environmental Science and Technology**, Boca Raton, v. 32, n. 4, p. 297-336, 2002.

LANÇAS, F. M. **Extração em fase sólida (SPE)**. São Carlos: RIMA, 2004. 96 p.

LANGE, L. C. et al. Tratamento de lixiviado de aterro sanitário por processo oxidativo avançado empregando reagente de fenton. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v. 11, n. 2, p. 175-183, abr./jun. 2006.

LEE, C. L.; KUO, L. J. Quantification of the dissolved organic matter effect on the sorption of hydrophobic organic pollutant: application of an overall mechanistic sorption model. **Chemosphere**, Oxford, v. 38, n. 4, p. 807-821, Feb. 1999.

LIN, S. H.; CHANG, C. C. Treatment of landfill leachate by combined electro-Fenton oxidation and sequencing batch reactor method. **Water Research**, New York, v. 34, n. 17, p. 4243-4249, 2000.

LINDE, K.; JONSSON, A. S. Nanofiltration of salt solutions and landfill leachate. **Desalination**, Amsterdam, v. 103, n. 3, p. 223-232, Dec. 1995.

MANNARINO, C. F. et al. *Wetlands* para tratamento de lixiviados de aterros sanitários : experiências no aterro sanitário de Pirai e no aterro metropolitano de Gramacho (RJ). **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v. 11, n. 2, p. 108-112, 2006.

MARTTINEN, S. K.; KETTUNEN, R. H.; RINTALA, J. A. Occurrence and removal of organic pollutants in sewages and landfill leachates. **Science of the Total Environment**, Amsterdam, v. 301, n. 1/3, p. 1-12, Jan. 2003.

MATTEI, G.; ESCOSTEGUY, P. A. V. Composição, gravimétrica de resíduos sólidos aterrados. **Revista Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v. 12, n. 3, p. 247-251, jul./set. 2007.

MCGINN, A. P. **Why poison ourselves:** a precautionary approach to synthetic chemicals. Washington: Worldwatch Institute, 2004.

METZLER, M.; PFEIFFER, E. Genotoxic potential of xenobiotic growth promoters and their metabolites. **APMIS**, Copenhagen, v. 109, n. 2, p. 89-95, Feb. 2001.

MINAS GERAIS. **Decreto nº 45.975**, de 04 de junho de 2012. Estabelece normas para a concessão de incentivo financeiro a catadores de materiais recicláveis - Bolsa Reciclagem, de que trata a Lei nº 19.823, de 22 de novembro de 2011. Belo Horizonte, 2012.

MINAS GERAIS. **Deliberação normativa do COPAM nº 52**, de 14 de dezembro de 2001. Convoca municípios para o licenciamento ambiental de sistema adequado de disposição final de lixo. Belo Horizonte, 2001. Disponível em: <<http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=5479>>. Acesso em: 10 mar. 2014.

MINAS GERAIS. **Lei Estadual nº 18.031**, de 12 de janeiro de 2009. Dispõe sobre a Política Estadual de Resíduos Sólidos. Belo Horizonte, 2009.

MOCARELLI, P. et al. Change in sex ratio with exposure to dioxin. **Lancet**, London, v. 348, n. 9024, p. 409, Aug. 1996.

MORAIS, J. L. de. **Estudo da potencialidade de processos oxidativos avançados, isolados e integrados com processos biológicos Tradicionais, para tratamento de chorume de aterro sanitário**. 2005. 229 p. Tese (Doutorado em Química) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2005.

MORAIS, J. L. de; PERALTA-ZAMORA, P. G.; SIRTORI, C. Tratamento de chorume de aterro sanitário por fotocatalise heterogênea integrada a processo biológico convencional. **Química Nova**, São Paulo, v. 29, n. 1, p. 20-23, jan./fev. 2006.

NAGALI, A. **Diagnóstico e avaliação dos impactos ambientais de aterros de disposição de resíduos no Estado do Paraná:** estudo de caso dos municípios de Jacarezinho e Barra do Jacaré. 2005. 186 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental) - Universidade Federal de Paraná, Curitiba, 2005.

NAKASHIMA, T.; OHKO, Y.; TRYK, A. Decomposition of endocrinedisrupting chemicals in water by use of TiO<sub>2</sub> photocatalysts immobilized on polytetrafluoroethylene mesh sheets. **Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry**, Lausanne, v. 151, n. 1/3, p. 207-212, Aug. 2002.

NASCIMENTO FILHO, I. et al. Identification of some plasticizers compounds in landfill leachate. **Chemosphere**, Oxford, v. 50, n. 5, p. 657-663, Feb. 2003.

NASCIMENTO FILHO, I.; MUHLEN, C. V.; CAMARÃO, E. B. Estudo de compostos orgânicos em lixiviado de aterros sanitários por EFS e CG/EM. **Química Nova**, São Paulo, v. 24, n. 4, p. 554-556, jul./ago. 2001.

NASCIMENTO FILHO, I.; MUHLEN, C. V.; CAMARÃO, E. B. Phthalic esters in landfill leachate. In: CONGRESSO INTERAMERICANO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 27., 2000, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: AIDS, 2000. 1 CD-ROM.

NAYLOR, C. G. et al. Alkyphenol ethoxylates in the environment. **Journal of the American Oil Chemist's Society**, Oxford, v. 69, n. 7, p. 695-793, July 1992.

NEILSON, A. H.; MACKAY, D.; CALLCOTT, D. Partitioning and physical chemical properties of PAHs. In: \_\_\_\_\_. **The handbook of environmental chemistry: pahs and related compounds: chemistry**. Berlin: Springer, 1998. p. 325-346.

NEYENS, E.; BAEYENS, J. A review of classic fenton's peroxidation as an advanced oxidation technique. **Journal of Harzadous Materials**, Amsterdam, v. 28, n. 1/3, p. 33-50, Mar. 2003.

NILSSON, C. **Phthalic acid esters used as plastic additives:** comparisons of toxicological effects. Solna: Swedish National Chemicals Inspectorate, 1994. 284 p.

NIMROD, A. C.; BENSON, W. H. Environmental estrogenic effects of alkylphenol ethoxylates. **Critical Reviews in Toxicology**, Boca Raton, v. 26, n. 3, p. 335-364, May 1996.

OEHLMANN, J. et al. Superfeminization as an effect of bisphenol A in *Marisa cornuarietis*. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, New York, v. 69, n. 3, p. 577-579, 2008.

OLIVEIRA, M. C. B. R. de. **Gestão de resíduos plásticos pós-consumo: perspectivas para a reciclagem no Brasil**. 2012. 286 p. Dissertação (Mestrado em Planejamento Estratégico) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2012.

PARRA, S. et al. Photochemical versus coupled photochemical: biological flow system for the treatment of two biorecalcitrant herbicides: metobromuron and isoproturon. **Applied Catalysis**, Amsterdam, v. 27, n. 3, p. 153-168, 2000.

PARSONS, D. W. Mutational analysis of the tyrosine phosphatome in colorectal cancers. **Science**, New York, v. 304, n. 5674, p. 1164-1166, May 2004.

PEREZ, M. et al. Fenton and photo-Fenton oxidation of textile effluents. **Water Research**, New York, v. 36, n. 11, p. 2703-2710, June 2002.

PETERS, T. A. Past and future of membrane filtration for the purification of landfill leachate. In: INTERNATIONAL LANDFILL SYMPOSIUM, 7., 1999, Sardinia. **Proceedings...** Sardinia: CISA, 1999. p. 335-344.

PLASTICISERS INFORMATION CENTRE. **Commodity phthalate esters**. Brussels, 2010.

QUÍMICA MIX. **Cromatografia em fase gasosa**. Disponível em: <<http://quimicamix.blogspot.com.br/2014/04/cromatografia-em-fase-gasosa.html>>. Acesso em: 10 dez. 2014.

RAMAMOORTHY, K. et al. Potency of combined estrogenic pesticides. **Science**, New York, v. 275, n. 5298, p. 405-406, Jan. 1997.

REIS, A. R. dos et al. Oxidation mechanism and overall removal rates of endocrinedisrupting chemicals by aquatic plants. **Journal of Hazardous Materials**, Amsterdam, v. 265, p. 79-88, Jan. 2014.

REIS, L. C. L. dos; SEMÊDO, L. T. A. S.; GOMES, R. C. Conscientização ambiental: da educação formal a não formal. **Revista Fluminense de Extensão Universitária**, Vassouras, v. 2, n. 1, p. 47-60, jan./jun. 2012.

RENOU, S. et al. Aterro tratamento de lixiviados: revisão e oportunidade. **Journal of Hazardous Materials**, Amsterdam, v. 150, p. 468-493, 2008.

REVERSE LOGISTICS. **European working group on reverse logistics**. Oxford: The European Working Group on Reverse Logistics, 2009. Disponível em: <<http://www.fbk.eur.nl/OZ/REVLOG/>>. Acesso em: 2 abr. 2015.

REYES, C. et al. Evaluation of an aerobic digester (UASB) followed by a hybrid constructed wetland for the removal of PPCPs in urban wastewater: a pilot study. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON WETLAND SYSTEMS FOR WATER POLLUTION CONTROL, 12., 2010, Venice. **Proceedings...** Venice: IWA, 2010. 1 CD-ROM.

RODRIGUES, F. S. F. **Aplicação da ozonização e do reativo de Fenton como pré-tratamento de chorume com objetivos de redução da toxicidade e do impacto no processo biológico**. 2004. 201 p. Dissertação (Mestrado em Saneamento) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2004.

RODRIGUEZ, H. et al. Sex reversal effects on Caiman latirostris exposed to environmentally relevant doses of the xenoestrogen bisphenol A. **General and Comparative Endocrinology**, San Diego, v. 133, n. 3, p. 287-296, Oct. 2003.

ROSLEV, P. et al. Degradation of phthalate esters in an activated sludge wastewater treatment plant. **Water Research**, New York, v. 41, n. 5, p. 969-976, Mar. 2007.

ROUTLEDGE, E. J.; SUMPTER, J. P. Estrogenic activity of surfactants and some of their degradation products assessed using a recombinant yeast screen. **Environmental Toxicology and Chemistry**, New York, v. 15, n. 3, p. 241-248, Mar. 1996.

SAKAMOTO, H.; SOUDA, I.; FUKUI, H. Detected bisphenol A from landfill sites. In: ANNUAL CONFERENCE OF THE JAPAN SOCIETY OF WASTE MANAGEMENT EXPERTS, 11., 2000, Tokyo. **Proceedings...** Tokyo, 2000. p. 1098-1100.

SALEM, Z. et al. Evaluation of landfill leachate pollution and treatment. **Deslination**, New York, v. 220, n. 1/3, p. 108-114, Mar. 2008.

SANCHEZ-AVILA, J. et al. Determination and occurrence of phthalates, alkylphenols, bisphenol A, PBDEs, PCBs and PAHs in an industrial sewage grid discharging to a municipal wastewater treatment plant. **Science of the Total Environment**, Amsterdam, v. 407, n. 13, p. 4157-4167, June 2009.

SANTOS, A. F. M. S. **Caracterização, avaliação da biodegradabilidade aeróbia e anaeróbia e tratamento em reator UASB do chorume do aterro da muribeca**. 2003. 188 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2003.

SEGATO, L. M.; SILVA, C. L. Caracterização do chorume do aterro sanitário de Bauru. In: CONGRESSO INTERAMERICANO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 27., 2000, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: AIDIS, 2000. 1 CD-ROM.

SEGURA, D. de S. B. **Educação ambiental na escola pública: da curiosidade ingênua a consciência crítica**. São Paulo. Annablume, 2001. 214 p.

SEGURA-MUÑOZ, S. I. et al. Estudo do efeito neurotóxico da exposição ocupacional ao mercúrio, ao chumbo e ao manganês utilizando como ferramenta metodológica a Revisão Sistemática de Literatura. **O Mundo da Saúde**, São Paulo, v. 27, n. 4, p. 48 out./dez. 2003.

SERAFIM, A. C. et al. Chorume, impactos ambientais e possibilidades de tratamentos. In: FÓRUM DE ESTUDOS CONTÁBEIS, 3., 2003, Rio Claro. **Anais...** Campinas: Centro Superior de Educação Tecnológica, 2003. p. 6-7.

SERVOS, M. R. Review of the aquatic toxicity, estrogenic responses and bioaccumulation of alkylphenols and alkylphenol polyethoxylates. **Water Quality Research Journal of Canada**, Ottawa, v. 34, n. 1, p. 123-177, 1999.

SERVOS, M. R. et al. Distribution of estrogens, 17 $\beta$ -estradiol and estrone, in Canadian municipal wastewater treatment plants. **Science of The Total Environment**, Amsterdam, v. 336, n. 1/3, p. 155-170, 2005.

SILVA, A. C. **Tratamento do percolado de aterro sanitário e avaliação da toxicidade do efluente bruto e tratado**. 2002. 79 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2002.

SILVA, A. C.; DEZOTTI, M.; SANT'ANNA, G. L. Treatment and detoxification of a sanitary landfill leachate. **Chemosphere**, Oxford, v. 55, n. 2, p. 207-214, 2004.

SILVA, C. L.; SEGATO, L. M. Tratamento de líquidos percolados por evaporação através do aproveitamento de gás de aterros sanitários. In: CONGRESSO INTERAMERICANO DE INGENIERÍA SANITARIA Y AMBIENTAL, 28., 2002, Cancun. **Anales...** Cancun: ABES, 2002. 1 CD-ROM.

SLACK, R. J.; GRONOW, J. R.; VOULVOULIS, N. Household hazardous waste in municipal landfills: contaminants in leachate. **Science of the Total Environment**, Amsterdam, v. 337, n. 1/3, p. 119-137, Jan. 2005.

SOARES, A. et al. Nonyphenol in the environment: a critical review on occurrence, fate, toxicity and treatment in wastewaters. **Environment International**, Oxford, v. 34, n. 7, p. 1033-1049, Oct. 2008.

SOUTO, G. d'A. de B. **Lixiviado de aterros sanitários brasileiros: estudo de remoção do nitrogênio amoniacal por processo de arraste com ar ("stripping")**. 2009. 371 p. Tese (Doutorado em Engenharia) - Universidade de São Paulo, São Carlos, 2009.

SOUZA, R. R. de. **Desenvolvimento e validação de metodologia analítica para determinação de disruptores endócrinos resultantes de atividades antrópicas nas águas da região do Rio Paraíba do Sul, SP**. 2011. 112 p. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Nuclear - Materiais) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.

SPELSBERG, T. C.; RIGGS, B. L. Evidence of estrogen receptors in normal human osteoblast-like cells. **Science**, New York, v. 241, p. 84-86, 1987.

SPERLING, M. V. et al. **Pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios por lodos ativados**. São Paulo: FINEP, 2001. Disponível em: <<http://www.finep.gov.br/prosab/livros/ProsabCarlos/Cap-5.pdf>>. Acesso em: 3 out. 2014.

STAPLES, C. A. et al. A review of the environmental fate, effects, and exposures of bisphenol A. **Chemosphere**, Oxford, v. 36, n. 10, p. 2149-2173, Apr. 1998.

STAPLES, C. A.; PARKERTON, T. F.; PETERSON, D. R. A risk assessment of selected phthalate esters in North American and Western European surface waters. **Chemosphere**, Oxford, v. 40, p. 885-891, 2000.

STASINAKIS, A. S. et al. Occurrence and fate of endocrine disrupters in Greek sewage treatment plants. **Water Research**, New York, v. 42, p. 1796-1804, 2008.

STEENSEN, M. Chemical oxidation for the treatment of leachate-process comparison and results from full-scale plants. **Water Science and Technology**, Oxford, v. 35, n. 6/7, p. 249-256, Mar. 1997.

STRELAU, J. R. de M.; CASTILHOS, A. B.; MADUREIRA, L. A. dos S. Extração de compostos orgânicos em lixiviados de aterros sanitários e determinação por cromatografia a gás acoplada ao espectrômetro de massas. **Revista de Ciência & Tecnologia**, Piracicaba, v. 16, n. 32, p. 19-30, jul./dez. 2009.

TAN, B. L. L. et al. Modelling of the fate of selected endocrine disruptors in a municipal wastewater treatment plant in South East Queensland, Australia. **Chemosphere**, Oxford, v. 69, n. 4, p. 644-654, Sept. 2007.

TERNES, T. A. et al. Removal of pharmaceuticals during drinking water treatment. **Environmental Science & Technology**, Easton, v. 36, n. 17, p. 3855-3863, 2002.

TERNES, T. A.; KRECKEL, P.; MUELLER, J. Behaviour and occurrence of oestrogens in municipal sewage treatment plants-II: aerobic batch experiments with activated sludge. **Science of the Total Environment**, Amsterdam, v. 225, n. 8, p. 91-99, Aug. 1999.

THEEPHARAKSAPAN, S. et al. Remoção de poluentes e na redução da toxicidade de bio-químico de coagulação numa grande escala e um sistema de tratamento de lixiviados por osmose inversa. **Bioresource Technology**, Essex, v. 102, n. 9, p. 5381-5388, 2011.

TSAI, C. T. et al. Eletrolysis of soluble organic matter in leachate from landfills. **Water Research**, New York, v. 31, n. 12, p. 3073-3081, Dec. 1997.

URASE, T. et al. Constituintes de poluentes orgânicos em lixiviados de diferentes tipos de aterros e seu destino nos processos de tratamento de água. **Journal Environmental**, Oxford, v. 22, n. 1, p. 40-45, 1999.



URASE, T.; MIYASHITA, K. Factors affecting the concentration of bisphenol a in leachates from solid waste disposal sites and its fate in treatment processes. **Journal of Material Cycles and Waste Management**, New York, v. 5, n. 1, p. 77-82, 2003.

VANDENBERGH, J. G.; WALSER-KUNTZ, D. R.; SAAL, F. S. von. In vivo effects of bisphenol A in laboratory rodent studies. **Reproductive Toxicology**, New York, v. 24, n. 2, p. 199-224, 2007.

VETHAAK, A. D. et al. An integrated assessment of estrogenic contamination and biological effects in the aquatic environment of The Netherlands. **Chemosphere**, Oxford, v. 59, n. 4, p. 511-524, Apr. 2005.

VOGELANG, C. et al. Occurrence and removal of selected organic micropollutants at mechanical, chemical and advanced wastewater treatment plants in Norway. **Water Research**, New York, v. 40, n. 19, p. 3559-3570, Nov. 2006.

WINTGENS, T.; GALLENKEMPER, M.; MELIN, T. Occurrence and removal of endocrine disrupters in landfill leachate treatment plants. **Water Science and Technology**, Oxford, v. 48, n. 3, p. 127-134, 2003.

WOZNIAK, A. L.; BULAYEVA, N. N.; WATSON, C. S. Xenoestrogens at picomolar to nanomolar concentrations trigger membrane estrogen Receptor-a-Mediated Ca<sup>2+</sup> fluxes and prolactina release om GH3/B6 pituitary tumor cells. **Environmental Health Perspectives**, Research Triangle Park, v. 113, n. 4, p. 431-439, 2005.

WU, Y. et al. Modeling physical and oxidative removal properties of Fenton process for treatment of landfill leachate using response surface methodology (RSM). **Journal of Hazardous Materials**, Amsterdam, v. 15, n. 1/3, p. 456-465, 2010.

XU, Y. et al. Occurrence and removal of organic micropollutants in the treatment of landfill leachate by combined anaerobic-membrane bioreactor technology. **Journal of Environmental Sciences**, Los Angeles, v. 20, p. 1281-1287, 2008.

YAMADA, K. et al. Constituents of organic pollutants in leachates from different types of landfill sites and their fate in the treatment processes. **Journal of Japan Society on Water Environment**, Tokyo, v. 22, n. 1, p. 40-45, 1999.

YAMAMOTO, K. et al. Remoção de poluentes e na redução da toxicidade de bio-químico de coagulação numa grande escala e um sistema de tratamento de lixiviados por osmose inversa. **Bioresource Technology**, Essex, v. 102, p. 5381-5388, May 2011.

YAMAMOTO, T. et al. Bisphenol A in hazardous waste landfill leachates. **Chemosphere**, Oxford, v. 42, n. 4, p. 415-418, Feb. 2001.

YASUHARA, A. et al. Organic components in leachates from hazardous waste disposal sites. **Waste management research**, Vienna, v. 17, p. 186-197, 1999.

YING, G. G.; WILLIAMS, B.; KOOKANA, R. S. Environmental fate of alkyphenols and alkyphenol ethoxylates: a review. **Environment International**, New York, v. 28, n. 3, p. 215-226, July 2002.

YOON, J. et al. The characteristics of coagulation of Fenton reaction in the removal of landfill leachate organics. **Water Science and Technology**, Oxford, v. 38, n. 2, p. 209-214, 1998.

ZENG, G. et al. Adsorption behavior of bisphenol-A on sediments in Xiangjiang River, Central-south China. **Chemosphere**, Oxford, v. 65, n. 9, p. 1490-1499, Nov. 2006.

ZHANG, H.; WANG, M. K.; LINGQIUA, C. Occurrence and removal efficiencies of eight EDCs and estrogenicity in a STP. **Journal of Environmental Monitoring**, London, v. 13, n. 5, p. 1366-1373, 2008.

ZHANG, S. J. et al. Adsorption of synthetic organic chemicals by carbon nanotubes: effects of background solution chemistry. **Water Research**, New York, v. 44, n. 1, p. 2067-2074, Apr. 2010.

ZHANG, Y.; GEIBEN, S. U.; GAL, C. Carbamazepine and diclofenaco: removal in wastewater treatment plants and occurrence in water bodies. **Chemosphere**, Oxford, v. 73, n. 8, p. 1151-1161, Nov. 2008.

ZHAO, X. et al. Photochemical degradation of dimethyl phthalate by Fenton reagent. **Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry**, Lausanne, v. 161, n. 2/3, p. 215-220, Jan. 2004.

ZHENG, Z. Co-removal of phthalic acid esters with dissolved organic matter from landfill leachate by coagulation and flocculation process. **Chemosphere**, Oxford, v. 75, n. 2, p. 180-186, Apr. 2009.