

**Avaliação de Metodologia de Coleta de
Compostos Orgânicos Voláteis em um Sistema de
Evaporação de Lixiviado em Escala de Laboratório**

Claudia Diavan Pereira

Orientador: Gilson de Miranda

Co-orientadora: Débora Machado de Oliveira

2010/1



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA
SANITÁRIA E AMBIENTAL**

**AVALIAÇÃO DE METODOLOGIA DE COLETA DE
COMPOSTOS ORGÂNICOS VOLÁTEIS EM UM SISTEMA
DE EVAPORAÇÃO DE LIXIVIADO EM ESCALA DE
LABORATÓRIO**

Claudia Diavan Pereira

**Trabalho a ser
apresentado à
Universidade Federal
de Santa Catarina
para Conclusão do
Curso de Graduação
em Engenharia
Sanitária e Ambiental**

**Orientador
Msc. Gilson de Miranda**

**FLORIANÓPOLIS, (SC)
JULHO/2010**

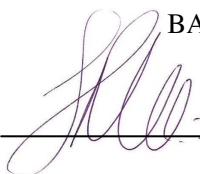
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA
SANITÁRIA E AMBIENTAL

AVALIAÇÃO DE METODOLOGIA DE COLETA DE
COMPOSTOS ORGÂNICOS VOLÁTEIS EM UM SISTEMA DE
EVAPORAÇÃO DE LIXIVIADO EM ESCALA DE
LABORATÓRIO

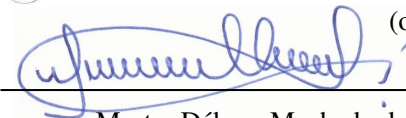
CLAUDIA DIAVAN PEREIRA

Trabalho submetido à Banca Examinadora
como parte dos requisitos para Conclusão
do Curso de Graduação em Engenharia
Sanitária e Ambiental–TCC II

BANCA EXAMINADORA:



Mestre Gilson de Miranda
(orientador)



Mestre Débora Machado de Oliveira
(co-orientadora)



Mestre Iracema de Souza Maia
(Membro da Banca)



Mestre Denyo Silva
(Membro da Banca)

FLORIANÓPOLIS, (SC)
JULHO/2010

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por ter me concedido todas as oportunidades e a força para que esse trabalho acontecesse.

Agradeço aos meus mestres: Débora Machado de Oliveira e Gilson de Miranda, pois mesmo com seus próprios trabalhos de conclusão de curso (doutorado), me orientaram e guiaram neste trabalho.

Agradeço a todos que contribuíram na obtenção dos resultados que são: Tatiane Amadio, Juliana dos Santos, Bruno Comunello Eleotero e a Ambiental Saneamento e Concessões Ltda., que aceitou a execução desta pesquisa em seu aterro sanitário.

Agradeço aos colegas que já se formaram, porém que contribuíram devido a pesquisa desenvolvida nos seus Trabalhos de Conclusão de Curso, em especial ao Haical Sajovic Haddad e Stefano Damian Burigo.

Por fim, agradeço a minha família e amigos que contribuíram de uma forma indireta para a realização desse trabalho. Dedico um agradecimento especial a minha mãe Sirlei Terezinha Diavan, pelo apoio e incentivo.

Obrigada a todos!

PEREIRA, C. D. *Avaliação de Metodologia de Coleta de Compostos Orgânicos Voláteis em um Sistema de Evaporação de Lixiviado em Escala de Laboratório*. 2010.47 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Sanitária e Ambiental) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2010.

RESUMO

O presente trabalho tem como objetivo avaliar a metodologia utilizada para a coleta de compostos orgânicos voláteis (COV) em um sistema de evaporação de lixiviado em escala de laboratório. A fim de alcançar esse objetivo, utilizou-se um aparato experimental para aquecimento do lixiviado, composto por uma manta de aquecimento, balão de vidro e coluna de destilação lisa. O lixiviado utilizado nesta pesquisa foi proveniente do aterro sanitário de Canhanduba em Itajaí - SC. Após pesquisa bibliográfica adotou-se a faixa de temperatura de 80° -90 ° C para aquecimento do lixiviado e coleta dos gases com cartucho adsorvente misto, preenchido com Tenax TATM (100 mg) e com CarbotrapTM (100 mg), separados por uma fibra de vidro, seguindo a metodologia de coleta proposta pela Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos- TO-17. Foram realizadas duas coletas sucessivas, com volumes diferentes, o primeiro foi de 211,6 mL e o segundo de 543,5 mL. Após a coleta, os cartuchos preenchidos com os analitos (compostos orgânicos oriundos da evaporação do lixiviado) sofreram dessorção térmica e foram separados por cromatografia gasosa. Através dos cromatogramas verificou-se que o volume de 543,5 mL separou melhor os compostos, pois apresentou maior número de picos com boa definição. Por fim, através da espectrometria de massas, foram identificados os compostos presentes no cromatograma que apresentou maior número de picos. A espectrometria de massa indicou que os compostos mais presentes nos gases de evaporação do lixiviado pertencem aos seguintes grupos funcionais: éster, aldeído, cetona, álcool, hidrocarbonetos aromáticos, aminas e tio-compostos.

PALAVRAS-CHAVE: evaporação de lixiviado, compostos orgânicos voláteis, coleta de COV.

PEREIRA, C. D. *Assessment of Collection Methods of Volatile Organic Compounds in a Leachate Evaporation System at Laboratory Scale*. 2010. 47 f. Final year project (Sanitary and Environmental Engineering) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2010.

ABSTRACT

The approach of this work is to assess the collection methods of volatile organic compounds (VOC) used in a leachate evaporation system at laboratory scale. In order to achieve this objective was researched in the literature and it adopted the temperature range 80° - 90° C and adsorbent cartridge filled with Tenax TA™ (100 mg) and Carbotrap™ (100 mg), separated by a fiberglass. Were used an experimental apparatus and heated the leachate from the Canhanduba landfill, Itajaí- SC, following the proposed by U.S. Environmental Protection Agency- TO-17 .Were used two volume collection of VOC obtained in succession, the first one has 211.6 mL and the second 543.5 mL. After the collection, the full cartridge with analyte suffered thermal desorption and the present compounds in the analyte were separated by gas chromatography. Through the obtained chromatograms it was found that the volume of 543.5 mL better separated compounds, because the peaks were in more number and peaks were more defined. Finally, were identified the chromatograms compounds which showed the best result by mass spectrometry. This result showed that the identified compounds bellow to functional groups: ester, aldehyde, ketone, alcohol, aromatic hydrocarbons, amines and thio-compounds.

KEY WORDS: leachate evaporation, volatile organic compounds, VOC collecting.

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 4.1- Volumes de Coleta.	25
Tabela 4.2- Temperaturas adotadas no Cromatógrafo.....	34
Tabela 5.1- Caracterização do Lixiviado Bruto.....	35
Tabela 5.2- Relação de possíveis compostos encontrados na amostra de lixiviado.....	41

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 3.1- Compostos Presentes no Lixiviado.....	7
Figura 3.2- Guia para seleção do sólido.	18
Figura 4.1- Área do Aterro Sanitário.....	23
Figura 4.2- Fluxograma do Experimento.	25
Figura 4.3- Calha onde foi realizada a coleta.	26
Figura 4.4- Procedimento adotado na coleta.	27
Figura 4.5- Imagem da Manta Aquecedora e do Leitor de Temperatura Digital.....	31
Figura 4.6- Imagem do Leitor de Vazão, da Bomba à Vácuo e do Cartucho Adsorvente.....	31
Figura 4.7- Representação Esquemática do Aparato Experimental.....	32
Figura 4.8- Equipamentos para a Análise.....	33
Figura 5.1- Cromatogramas Branco	37
Figura 5.2- Cromatograma do volume de 211,6 mL.	38
Figura 5.3- Cromatograma do volume de 543,5 mL.	38
Figura 5.4- Cromatograma do volume de 543,5 mL em escala maior ...	40
Figura 5.5- Agrupamento dos compostos por função química encontrados na amostra de lixiviado.....	42

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	1
2. OBJETIVOS DO TRABALHO.....	3
2.1 OBJETIVO GERAL.....	3
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	3
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	4
3.1 LIXIVIADOS.....	4
3.2 MECANISMOS DE DEGRADAÇÃO DOS RESÍDUOS.....	4
3.3 ESTIMATIVA DE PRODUÇÃO E COMPOSIÇÃO DOS LIXIVIADOS.....	6
3.4 PRINCIPAIS TRATAMENTOS DOS LIXIVIADOS.....	8
3.5 EVAPORAÇÃO/DESTILAÇÃO DO LIXIVIADO.....	11
3.5.1 Estudos Reportados na Literatura.....	12
3.6 COMPOSTOS ORGÂNICOS VOLÁTEIS.....	13
3.6.1 Amostragem de COV.....	15
3.6.2 Sólidos Adsorventes.....	17
3.6.3 Principais Técnicas Analíticas dos COV.....	19
4. METODOLOGIA.....	22
4.1 DESCRIÇÃO DOS LOCAIS DE ESTUDO.....	22
4.2. DESCRIÇÃO DO EXPERIMENTO.....	24
4.2.1 Coleta da Amostra.....	26
4.2.2 Análises Físico-Químicas do Lixiviado.....	28
4.2.3 Coleta dos COV.....	30
4.2.4 Identificação dos COV.....	32
5. RESULTADOS OBTIDOS.....	35
6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	43
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	45

1. INTRODUÇÃO

As atividades humanas relacionadas à produção e ao consumo dos mais diversos materiais têm promovido uma crescente geração de resíduos. A destinação final dada a estes nem sempre tem sido adequada do ponto de vista da segurança da saúde pública e do meio ambiente, como é o caso, por exemplo, dos depósitos de resíduos sólidos urbanos a céu aberto ou do lançamento de resíduos industriais em corpos hídricos (SILVA, 2007). Por isso, a questão da correta destinação dos resíduos sólidos torna-se atualmente um desafio a ser enfrentado pela sociedade.

Uma forma de correta destinação dos resíduos é o aterro sanitário. Esta obra é construída segundo técnicas de engenharia e serve para a estocagem e degradação dos resíduos de forma a diminuir ao máximo os impactos ambientais causados no meio.

Por isso, sendo bem executado, o aterro sanitário é uma boa alternativa. Contudo, apresenta como inconveniente a geração de lixiviados. Estes líquidos resultam da passagem da água de chuva pela massa de resíduos, carreando os produtos da decomposição biológica e aqueles resultantes do processo de solubilização do material inorgânico (SEGATO e SILVA, 2000; REINHART e GROSH, 1998; BARBOSA et al., 1999; FINKLER, 1999; SILVA, 2002; MAXIMO, 2007; RODRIGUES, 2007; PACHECO, 2006 apud SILVA, 2007). Dessa forma, os lixiviados necessitam de um tratamento prévio antes de serem dispostos em um corpo d'água receptor.

O tratamento convencional de lixiviado pode ser classificado em três grupos maiores: recirculação do lixiviado e tratamento combinado com esgoto doméstico, tratamento biológico (processo aeróbio e anaeróbio) e tratamento físico-químico (oxidação química, adsorção, precipitação química, coagulação/floculação, sedimentação/flotação e *air stripping*) (RENOU et al., 2008). Porém, devido à alta concentração de poluentes no lixiviado, muitas vezes esses tratamentos não

deixam o efluente dentro dos padrões exigidos pelas normas ou o tratamento torna-se muito oneroso.

Dessa forma, uma nova técnica de pré-tratamento de lixiviado por evaporação vem sendo estudada no Laboratório de Resíduos Sólidos (LARESO) da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), sob a coordenação do Prof. Armando Borges de Castilhos Junior. Este estudo está sendo realizado com recursos do CNPq/CTEnerg, no âmbito do projeto “Aproveitamento energético do biogás no aterro sanitário de Canhanduba, Itajaí – SC para geração de energia elétrica e térmica” sob a coordenação do Prof. Narciso Angel Ramos Arroyo.

Em teoria, esse tratamento visa utilizar a energia térmica contida no biogás, formado no próprio aterro, a fim de evaporar o lixiviado. Este sistema pode gerar dois tipos de efluentes: uma fração líquida concentrada e uma fração de vapor que pode ser condensada ou simplesmente lançada na atmosfera. O concentrado possui uma fração menor em volume, tornando-se mais fácil seu posterior tratamento e diminuindo as unidades seqüentes do tratamento. Como desvantagem desse sistema, é relatado o possível despreendimento de poluentes junto com os vapores, a exemplo dos compostos orgânicos voláteis e da amônia.

Por isso estudos que visem melhorar esse tratamento, diminuindo a poluição atmosférica liberada, vêm sendo desenvolvidos por vários pesquisadores. O presente estudo visa contribuir para o aprimoramento de metodologias de coleta capazes de separar e identificar qualitativamente os Compostos Orgânicos Voláteis (COV) provenientes da evaporação de lixiviado de aterro sanitário em escala de bancada. A metodologia a ser aplicada consiste basicamente na coleta de uma amostra do lixiviado do aterro sanitário de Canhanduba em Itajaí- SC e captura dos COV por cartuchos adsorventes (através do método EPA TO17) e posteriormente analisados pelo método da cromatografia gasosa/ espectrometria de massas.

Espera-se, ao término desse trabalho, ter contribuído para identificar os problemas relacionados com o processo de evaporação, visando o aperfeiçoamento desta tecnologia.

2. OBJETIVOS DO TRABALHO

2.1 OBJETIVO GERAL

Contribuir para o aprimoramento de metodologias de coleta de Compostos Orgânicos Voláteis (COV) provenientes da evaporação de lixiviados de aterro sanitários.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Escolher, baseado em pesquisa bibliográfica, o material adsorvente e a faixa de temperatura mais indicados para a coleta de gases de evaporação de lixiviado, visando à adsorção dos COV;
- Testar diferentes volumes de coleta de gases e identificar o volume que permite obter a melhor separação dos compostos orgânicos voláteis oriundos da evaporação de lixiviado;
- Identificar qualitativamente, no volume de coleta que possibilitou a melhor separação dos COV, os compostos liberados no sistema de evaporação de lixiviado em escala de laboratório.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 LIXIVIADOS

Um dos desafios nos projetos de aterros sanitários é o tratamento do lixiviado, uma vez que sua composição e concentração são alteradas em função das características dos resíduos dispostos no aterro, de fatores climáticos da região em que o mesmo se situa, bem como a idade média e as condições operacionais e de projeto do aterro sanitário (SILVA, 2007).

Segundo Castilhos Jr. et al. (2003) o processo de degradação dos resíduos sólidos é um fenômeno constituído essencialmente pela superposição de mecanismos *biológicos* e *físico-químicos*, catalisados pelo fator água, presente nos resíduos bem como pela umidade inicial e pela águas das precipitações que ocorrem quando estes estão dispostos em aterro sanitário.

Portanto, a fim de selecionar e projetar um sistema de tratamento para os lixiviados torna-se relevante a adoção de técnicas eficientes na remoção da carga poluidora do lixiviado, de alternativas de descarga do mesmo e que sejam compatíveis com a realidade técnica e econômica dos municípios e também com os padrões para emissão dos efluentes (SILVA, 2007).

3.2 MECANISMOS DE DEGRADAÇÃO DOS RESÍDUOS

Os mecanismos físico-químicos da degradação dos resíduos sofrem influência das características do sólido bem como da composição da solução, sendo que os principais fatores que afetam a composição da solução são: pH, potencial de óxido-redução, complexação e temperatura. Portanto, esses mecanismos físico-químicos associados aos biológicos influenciam na composição apresentada pelos lixiviados (CASTILHOS JR. et al, 2003).

A degradação biológica dos resíduos em um aterro sanitário pode ser dividida basicamente em metabolismo aeróbio e anaeróbio, os quais estão condicionados à disponibilidade de

oxigênio gasoso de origem atmosférica nas camadas de resíduos (CASTILHOS JR et al, 2003).

Esses mecanismos podem ser subdivididos em cinco fases, sendo uma aeróbia e quatro anaeróbias segundo Castilhos Jr. et al.(2003):

Fase 1- Logo após a cobertura dos resíduos em um aterro sanitário, ainda há a presença de ar e, portanto, de oxigênio. Os microrganismos aeróbios dão início à primeira das fases do processo de decomposição dos resíduos sólidos urbanos. Essa fase é relativamente curta, em média, dura aproximadamente um mês, consumindo rapidamente a quantidade limitada de oxigênio presente. Nessa fase a temperatura na massa de resíduos é superior a temperatura externa.

Os lixiviados produzidos nessa fase apresentarão elevadas concentrações de sais de alta solubilidade dissolvidos no líquido resultante. Também ocorre a formação de sais contendo metais, bem como produção de gás carbônico e hidrogênio.

Fase 2- Com a diminuição da quantidade de oxigênio, começam a predominar microrganismos anaeróbios facultativos. As bactérias convertem o material orgânico particulado, como a celulose e outros materiais putrescíveis, em compostos dissolvidos, num processo denominado hidrólise ou liquefação.

Fase 3- A acidogênese se caracteriza, por ser um processo bioquímico pelo qual as bactérias obtêm energia pela transformação da matéria orgânica hidrolisada, contudo, sem ocorrer nenhuma estabilização da matéria orgânica. Durante essa fase, que pode durar alguns anos, é produzido quantidades consideráveis de compostos orgânicos simples e de alta solubilidade, principalmente ácidos graxos voláteis.

Fase 4- Nesta fase da acetogênese, dentre os principais ácidos graxos produzidos, encontram-se o ácido acético e também nitrogênio amoniacal. Esses ácidos se misturam com o líquido que percola pela massa de resíduo sólido, fazendo com que seu pH caia para valores entre 4 e 6. Esse pH ácido ajuda na solubilização de materiais inorgânicos, favorecendo inclusive ao

aparecimento de maus odores, com a liberação de gás sulfídrico, amônia e outros gases causadores de maus odores.

Fase 5- Na quinta e última fase, os compostos orgânicos simples formados na fase acetogênica são consumidos por bactérias estritamente anaeróbias, denominadas bactérias metanogênicas, que dão origem ao metano (CH₄) e ao gás carbônico (CO₂). Essas bactérias metanogênicas desenvolvem-se preferencialmente em valores de pH próximos do neutro (pH = 7,0).

3.3 ESTIMATIVA DE PRODUÇÃO E COMPOSIÇÃO DOS LIXIVIADOS

Torna-se necessário conhecer a estimativa de produção dos lixiviados ao longo da vida de um aterro sanitário, bem como o tempo que esses compostos levam para serem formados a fim de contribuir para a correta implantação de materiais de cobertura do aterro, prevenindo dessa forma a contaminação de águas superficiais (SILVA, 2007).

A composição dos lixiviados é influenciada por numerosos fatores entre os quais se pode citar: a massa de espécies solubilizáveis (composição dos resíduos), as operações de trituração sobre os resíduos, a pluviometria, a idade dos resíduos, etc. Uma composição “*padrão*” dos lixiviados é difícil de ser estabelecida, e o resultado numérico que a literatura pode nos fornecer é valido apenas para aterros sanitários específicos (CASTILHOS JR., 1991).

Os principais componentes dos lixiviados podem ser reunidos em quatro grupos (BATSTONE, 1989; CHILTON e CHILTON, 1992 apud SILVA 2007):

- Cátions e ânions, como: Ca⁺⁺, Mg⁺⁺, Fe⁺⁺, Na⁺, amônia, carbonatos, sulfatos e cloretos;
- Metais traços: Mn, Cr, Ni, Pb, Cd, entre outros;
- Compostos orgânicos variados, usualmente medidos como: Carbono Orgânico Total (COT), DQO e DBO₅;
- Microrganismos, tais como bactérias, fungos, protozoários, helmintos e vírus, entre outros.

Porém, esses componentes presentes no lixiviado variam também conforme a idade do aterro. Conforme McBean, E. A.; Rovers, F. A.; Farquhar, G. J, (1995) nos primeiros anos, o lixiviado tende a ser ácido (pH entre 6 e 7), devido a presença de ácidos graxos voláteis. O lixiviado novo é formado através do complexo processo de biodegradação da matéria orgânica (ex: celulose) e da dissolução de compostos orgânicos simples (ex: ácidos orgânicos).

Segundo os mesmos autores, após 4 ou 5 anos o pH aumenta para 7 ou 8. Isso ocorre devido ao esgotamento da matéria orgânica rapidamente biodegradável e da produção de gases. Resta para ser degradada a matéria orgânica pouco biodegradável. A Figura 3.1 mostra uma curva característica para a concentração dos compostos presentes no lixiviado, variando com o passar dos anos.

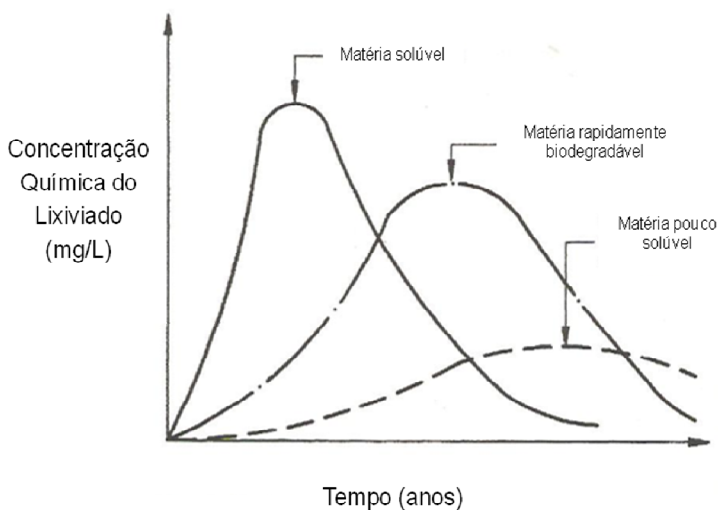


Figura 3.1- Compostos Presentes no Lixiviado.

Fonte: Adaptado de MCBEAN, ROVERS e FARQUHAR (1995)

Também no lixiviado velho, a divisão do valor da DBO pelo valor da DQO resulta em valores mais baixos, o que significa menor capacidade de biodegradação dos lixiviados. Isso se explica pelo fato de que, nessas condições, há nos lixiviados acúmulo de substâncias que são de difícil degradação biológica, como os ácidos fúlvicos e húmicos, originários da decomposição de material vegetal. Esses compostos também contribuem sobremaneira para a coloração escura dos lixiviados (CASTILHOS JR. et al., 2003).

3.4 PRINCIPAIS TRATAMENTOS DOS LIXIVIADOS

Os lixiviados devem ser tratados antes de serem lançados no meio ambiente, evitando-se assim maiores riscos de contaminação do solo, das águas subterrâneas e superficiais, com sérias conseqüências para a saúde pública. Contudo, o tratamento de lixiviado representa ainda um grande desafio, uma vez que suas características se alteram em função das características dos resíduos dispostos no aterro e, principalmente, com a idade do aterro (FERREIRA et al. 2003 apud SILVA, 2007).

Segundo Renou et al. (2008) o tratamento convencional de lixiviado pode ser classificado em três grupos maiores: (a) transferência do lixiviado: recirculação e tratamento combinado com esgoto doméstico, (b) biodegradação: processo aeróbio e anaeróbio e (c) tratamento físico-químico: oxidação química, adsorção, precipitação química, coagulação/floculação, sedimentação/flotação e *air stripping*.

a) Recirculação e tratamento combinado com esgoto doméstico:

A recirculação do lixiviado é uma prática bastante consolidada em vários países. Essa grande aceitação vem do fato de que, quando se recirculam os lixiviados, se atenuam e diluem os compostos produzidos pela atividade biológica, e por outras reações físicas e químicas que ocorrem dentro do aterro sanitário (SILVA, 2007).

No entanto, a recirculação do lixiviado não é uma opção completa de tratamento. Ainda há a necessidade de tratar o lixiviado para reduzir a presença de sais inorgânicos e a concentração de $N-NH_4$. Além disso, a qualidade do lixiviado recirculado pode deteriorar até o ponto onde seja prejudicial à biomassa do aterro, depois de uma série de passagens através dele. Neste caso, a qualidade do lixiviado pode ser restaurada, misturando-o a um lixiviado fresco ou à água capturada na superfície (CLISTER, 2007 apud SILVA 2007).

Por isso, utiliza-se também o tratamento do lixiviado combinado com esgoto doméstico. Este apresenta a vantagem de não haver a necessidade de introdução de fertilizantes no sistema, pois o nitrogênio já está presente no lixiviado e o fósforo no esgoto doméstico (RENOU et al., 2008).

Porém, uma das dificuldades do tratamento combinado com esgoto doméstico são as altas concentrações de compostos orgânicos e inorgânicos presentes nos lixiviados. COSSU (1982) salienta que para este tratamento conjugado, outros problemas poderiam ocorrer como a corrosão, à redução da sedimentabilidade do lodo e problemas operacionais na estação devido à precipitação de óxidos de ferro.

b) Biodegradação

O tratamento biológico é utilizado em lixiviviados que contenham altas concentrações de DBO. A biodegradação ocorre através dos microorganismos, estes podem degradar compostos orgânicos em dióxido de carbono, sob condições aeróbias, e lodo em biogás (uma mistura composta principalmente por CO_2 e CH_4), sob condições anaeróbias (RENOU et al., 2008).

Um dos estudos pioneiros sobre o tratamento biológico deste efluente foi realizado por Boyle e Ham (1974) e citado por Silva (2007) que compararam em escala laboratorial quatro classes de tratamento: aeróbio, anaeróbio, aeróbio com águas residuárias domésticas, e anaeróbio precedido de um tratamento aeróbio, verificando que os quatro sistemas são válidos.

O sistema de tratamento anaeróbio comporta altas concentrações de compostos orgânicos, como é o caso do

lixiviado proveniente de aterros novos. Diferentemente do processo aeróbio, o anaeróbio conserva a energia e produz poucos sólidos, porém possui baixas taxas de reação (RENOU et al., 2008).

Um estudo comparativo da eficácia do tratamento anaeróbio de lixiviados procedentes de dois aterros sanitários similares, diferindo apenas na idade do aterro, mostrou que a porcentagem de DQO eliminada é maior quando procedem de aterros sanitários jovens, porque contêm uma porcentagem menor de materiais refratários (SILVA, 2007).

Ehrig (1984) citado por Silva (2007), em estudo com lagoas aeradas e sistemas de lodos ativados, investigou a influência da relação DBO_5/DQO e o problema da desnitrificação, concluindo que quando a relação DBO_5/DQO for baixa, a eficiência do tratamento biológico diminui fortemente, recomendando-se então um tratamento físico-químico.

c) Tratamento físico-químico:

No tratamento físico-químico ocorre a redução de sólidos suspensos, partículas coloidais, material flutuante, cor e compostos tóxicos através dos processos de flotação, coagulação/flotação, adsorção, oxidação química e *air stripping*. Esse sistema é utilizado em aterros como uma etapa do tratamento (pré- tratamento ou como última purificação) ou para tratar um composto específico (*stripping* para a amônia) (RENOU et al., 2008).

Como vantagens que esse tipo de tratamento apresenta podem-se citar: requererem um curto período para que entrem em funcionamento, simplicidade dos equipamentos e materiais, fácil automatização e pouca sensibilidade às constantes mudanças de temperatura (PIÑEDA, 1998 apud SILVA, 2007).

Outro tratamento físico-químico que vem sendo estudado nos últimos anos é a evaporação/destilação dos lixiviados. Esse processo é o foco do estudo do presente trabalho e será descrito mais detalhadamente a seguir.

3.5 EVAPORAÇÃO DO LIXIVIADO

O tratamento do lixiviado na maioria dos casos é dificultado por altas concentrações de amônia e substâncias húmicas. Muitos tratamentos biológicos tem demonstrado que podem alcançar alta eficiência na remoção de nitrogênio amoniacal, entretanto a remoção de substâncias húmicas tem sido um obstáculo para o tratamento do lixiviado. Também, sistemas de tratamento biológico e alguns físico-químico não conseguem reduzir a matéria orgânica em termos de DQO suficiente para que o efluente possa ser diretamente lançado em um corpo receptor (YUE et al., 2007).

Diversos autores comentam que o sistema de evaporação pode ser um tratamento utilizado o tratamento do lixiviado de aterro. Essa técnica consiste no simples aquecimento do lixiviado em evaporadores com a finalidade de diminuir o seu volume, de modo a facilitar o seu posterior tratamento.

Também, segundo Rehman (2003) a evaporação pode ser definida como uma operação em que a substância muda do estado líquido para o gasoso. O objetivo da evaporação é separar a solução em um soluto não volátil e um solvente volátil. A maior parte do solvente do evaporado é composto por água.

Ainda o mesmo autor acrescenta que a evaporação apresenta a vantagem de empregar poucas unidades de tratamento quando comparado com o processo de tratamento convencional. A evaporação também tem como vantagem a separação dos compostos voláteis e dos não-voláteis. Sólidos e metais podem ser concentrados em um pequeno volume após a evaporação.

Diferentes tipos de evaporadores são descritos na literatura. A fim de selecionar um tipo de evaporador para uma aplicação particular devem ser consideradas as propriedades do líquido a ser evaporado, o produto final requerido e a fonte/forma de calor aplicada ao sistema (REHMAN, 2003).

Os evaporadores tradicionais podem ser divididos em quatro grandes categorias: evaporadores do tipo Flash; evaporadores de Ebulição; evaporadores de Filme Fino; e evaporadores de Contato Direto (REHMAN, 2003).

3.5.1 Estudos Reportados na Literatura

Birchler et al., (1994) realizaram experimentos de evaporação/destilação em escala de laboratório com três amostras de lixiviados provenientes de aterros antigos. Os resultados mostraram que o condensado resultante da evaporação possui uma qualidade maior do que os efluentes de tratamentos convencionais, tornando-se assim mais fácil a sua disposição final. Também nota-se que o volume do concentrado residual é apenas uma fração do volume do lixiviado original.

Os autores relatam que um único estágio de evaporação ácida resultou na remoção de 95% das impurezas iônicas e que praticamente não havia cor no evaporado. A remoção de ácidos orgânicos voláteis (AOV) foi da ordem de 85%. Um processo com dois estágios pode ser necessário para que ocorra uma ótima remoção de amônia e AOV. Também, através da realização de análises, foi constatado que teoricamente o gás metano produzido no aterro serve para a evaporação de todo o seu lixiviado.

Di Palma et al. (2002), testaram um tratamento para um lixiviado de aterro industrial com alta concentração de compostos orgânicos e amônia. Este processo consistiu na evaporação do lixiviado sob condições de vácuo seguido do processo de osmose reversa. A função da evaporação foi a de conter a amônia, metais pesados e compostos orgânicos no concentrado, melhorando dessa forma a eficiência a OR.

Três testes de evaporação foram feitos com a temperatura em 40°C e variando as pressões em 400 mmHg, 45mmHg e 20 mmHg, a fim de reduzir o consumo de energia gasto nessa etapa. Os testes com evaporação a uma temperatura de 40°C e pressão de 45 mmHg mostraram que o destilado contém apenas 1% de compostos orgânicos e 20% de amônia. O destilado foi então submetido ao tratamento por osmose reversa, resultando na redução de mais de 90% dos compostos orgânicos e 97% na remoção de amônia (com pH=6,4). Dessa forma, os resultados mostraram que o processo de evaporação seguido de osmose reversa removeu completamente os poluentes contidos no lixiviado do aterro industrial.

Já Yue et al. (2007) simularam um sistema de evaporação com combustão submersa. O estudo conduziu três tipos de evaporação por aquecimentos indiretos que foram: evaporação normal, evaporação a vácuo e evaporação com arraste de gás. Os resultados nos três casos, mostraram que a concentração de compostos orgânicos no condensado em termos de DQO foi alta no começo, em seguida ocorreu um rápido caimento, estabilizando em um nível baixo. Isso sugere que apenas a primeira parte do evaporado precisa ser incinerado ou receber um tratamento avançado, já a segunda parte pode ser liberada para a atmosfera ou receber apenas um simples tratamento. Sendo assim, apenas uma fração do vapor precisa ser satisfatoriamente tratada a fim de controlar as emissões poluentes. O concentrado resultante da evaporação contém a maior parte da matéria-orgânica refratária e sais, podendo ser solidificada.

Em seguida, o estudo aplica o processo SCE (*Submerge Combustion Evaporation*) em duas etapas, que são implantadas após um tratamento biológico. Na primeira etapa, tem-se um processo combinado em que o evaporado resultante é tratado com um biorreator com membranas e também por osmose reversa. Por fim, tem-se que o vapor produzido na segunda etapa contém poucos compostos orgânicos.

Esses e outros estudos mostraram que a evaporação de lixiviado pode liberar altas concentrações de compostos orgânicos na atmosfera, por isso a seguir será abordado o tema referente aos Compostos Orgânicos Voláteis e as técnicas analíticas para identificá-los.

3.6 COMPOSTOS ORGÂNICOS VOLÁTEIS

Os compostos orgânicos possuem em sua composição química o elemento carbono. São em sua maioria apolares, possuindo dessa forma interações intermoleculares fracas quando comparados aos compostos inorgânicos e geralmente são insolúveis em água. Também a maioria dos compostos que sofrem combustão são de origem orgânica (USBERCO et al. , 1997)

Os Compostos Orgânicos Voláteis (COV) não possuem uma característica química definida e são utilizados como sinônimo de solvente orgânico. Segundo Sousa (2002) a definição de compostos orgânicos considerados voláteis é ainda motivo de discussões por toda a comunidade científica de um modo geral e muitas conceituações estão atualmente em uso. Rigorosamente falando, o termo COV se refere àqueles compostos orgânicos que estão presentes na atmosfera como gases, embora sejam líquidos ou sólidos sob condições normais de temperatura e pressão, ou seja, para tais compostos, a 20° C, sua pressão de vapor está compreendida entre 1 e 760 mmHg.

Segundo Piceli (2005) citando De Melo Lisboa (2003), no Brasil os COV são definidos como compostos orgânicos que possuem alta pressão de vapor e que são facilmente vaporizados em condição de temperatura e pressão ambiente, possuindo ponto de ebulição na faixa de 50 a 260 graus Celsius, com exceção do metano. Para a Resolução do CONAMA 382/06 de 2006 os COV são compostos orgânicos que possuem ponto de ebulição de até 130 Celsius na pressão atmosférica e podem contribuir na formação de oxidantes fotoquímicos.

Como uma definição geral, considera-se COV qualquer composto orgânico presente na atmosfera excluindo o carbono elementar, o monóxido de carbono e o dióxido de carbono. Ela é deliberadamente ampla a fim de abranger compostos gasosos contendo carbono, bem como compostos semi-voláteis, os quais encontram-se geralmente adsorvidos em material particulado suspenso (SOUSA, 2002).

As fontes de COV na atmosfera podem ser um resultado de atividades humanas e também podem ter sua origem em fontes naturais. Dentre as atividades antrópicas que provocam emissão de COV podem ser destacadas as emissões de veículos, o uso de solventes, emissões fugitivas e descargas em processos industriais, refino de óleo, armazenagem e distribuição de petróleo e gás natural, aterro de resíduos, agricultura entre outras. Também emissões a partir de plantas, árvores, animais, incêndios naturais em florestas, além de processos anaeróbios em áreas alagadas são fontes naturais de COV (SOUSA, 2002).

Sendo os COV precursores do *smog* fotoquímico (DERWENT; JENKIN; SAUNDERS, 1995 apud MIRANDA, 2007) o seu estudo é de grande interesse, pois causam efeitos diretos na saúde humana quando em contato à sua exposição, entre eles: depressão do sistema nervoso central, cefaléia, tontura, fraqueza, espasmos musculares, vômitos, dermatites, fibrilação ventricular, convulsões, coma e até a morte (quando existe exposição prolongada). A exposição a tais compostos pode ainda estar associada ao incômodo olfativo (no caso dos odorantes) (SCHIRMER, 2004).

3.6.1 Amostragem de COV

Para o sucesso de uma análise química qualitativa ou quantitativa, além da escolha da técnica analítica é imprescindível que seja realizada uma correta amostragem, transporte e armazenamento da amostra. (STRELAU, 2006).

A extração dos compostos orgânicos de matrizes ambientais pode ser feita empregando solventes polares, apolares, pouco polares, fluido supercrítico, hidrólise enzimática e básica, além de agentes complexantes. Tradicionalmente, a extração pode ser feita de várias formas, tais como pela extração em fase sólida (SPE), microextração em fase sólida (SPME), extração líquido-líquido (ELL) e resinas trocadoras iônicas e catiônicas. (STRELAU, 2006). Porém, para métodos de extração de COV das matrizes ambientais, onde a temperatura utilizada é superior a 60° C, têm-se que, como os compostos orgânicos voláteis são facilmente vaporizados, os métodos corretos para a sua determinação são baseados em técnicas de amostragem para gases.

Segundo SOUSA (2002) as duas principais técnicas utilizadas para determinação de COV são baseadas em amostragem do ar total e em adsorção dos gases em sólido adsorvente.

- *Técnicas de amostragem do ar total*: envolvem a coleta direta e o isolamento dos gases em recipiente impermeável, e geralmente requerem equipamentos simples. Essa técnica é

limitada àqueles constituintes gasosos para os quais são disponíveis técnicas analíticas sensíveis, ou àqueles que estão presentes em altas concentrações da atmosfera na região de análise. É aplicável para hidrocarbonetos leves, não sendo aplicada a compostos menos voláteis devido à sua possível perda por adsorção nas paredes do recipiente coletor. Métodos de coleta de ar total empregados atualmente utilizam canister de aço inox ou bolsas inertes como coletores (WOOLFENDER, 1997 apud SOUSA, 2002).

-Técnicas de amostragem em sólido adsorvente: envolvem a passagem do ar em sólidos para que haja o contato e a adsorção dos constituintes de interesse. Nesta técnica é muito comum a amostragem ser feita por bombeamento de ar (amostragem ativa) através de um tubo preenchido com adsorvente(s) seguido por dessorção térmica. É o método mais utilizado para amostragem de COV presentes a baixas concentrações no ar. Adsorventes apropriados devem ser utilizados para amostragem dos diferentes compostos para assegurar não somente a coleta, mas também sua subsequente dessorção completa para análise.

Após definição da técnica de amostragem, é importante, especialmente para as técnicas de amostragem em sólido adsorvente, que o sistema de bombeamento trabalhe com vazão constante e este deve ser capaz de operar dentro de uma faixa de vazão de 10 a 200 mL/min, onde a faixa estabelecida leva em conta as dimensões do tubo. Vazões de ar acima de 200 mL/min só são recomendadas para amostragem instantânea (máximo 10 minutos) e vazões acima de 10 mL/min são geralmente utilizadas para minimizar erros devido à difusão de COV no tubo (SOUSA, 2002).

Outro aspecto importante a ser considerado em técnicas de amostragem com sólido adsorvente é o material desse sólido. Existe um grande número de sólidos sendo utilizados para esse fim. Os adsorventes mais comumente usados para hidrocarbonetos são as resinas Tenax e Carbotrap.

3.6.2 Sólidos Adsorventes

O CarbotrapTM pode ser aplicado para uma ampla faixa de compostos orgânicos, principalmente hidrocarbonetos de C₃ ao C₁₂, especialmente para compostos com ponto de ebulição maior do que 75°C. Segundo Piceli (2005) esse sólido é um adsorvente de carbono, sendo considerado apolar quando comparado aos adsorventes inorgânicos (não retendo água). É mais hidrofóbico que a maioria dos adsorventes e minimiza os efeitos de mistura de COV da amostra adsorvida (SCHIRMER, 2004).

A resina TenaxTM é um adsorvente de polímero orgânico. Os adsorventes de polímero orgânico apresentam características importantes como a de não sofrer interferência da umidade, ser utilizado para grandes coletas de ar e de não possuir sítios ativos que possam causar a adsorção irreversível de certos compostos polares (PICELI, 2005).

O TenaxTM é um polímero poroso apolar sendo mais comumente usado na dessorção termal de poluentes atmosféricos. Este apresenta alta estabilidade termal, baixa adsorção de água e é aplicável a uma vasta gama de compostos (PICELI, 2005), mas sua capacidade de adsorção de hidrocarbonetos leves contendo menos de 6 C é baixa (SOUSA, 2002) e também demonstrou uma ineficiência muito grande na adsorção de muitos orgânicos voláteis como o cloreto de vinila (MACHADO, 2003).

A Figura 3.2 apresenta vários adsorventes e suas respectivas características, tais como, área superficial e temperatura máxima a qual pode ser submetido.

Adsorvente	Faixa de volatilidade do analito	T máxima (°C)	Área superficial específica (m ² /g)	Exemplos de analitos
Tenax TA	PE 100 à 400°C n-C ₇ a n-C ₂₆	350	35	Aromáticos, exceto benzeno. Compostos apolares (PE>100°) e polares menos voláteis (PE>150°)
Tenax GR	PE 100 à 450°C n-C ₇ a n-C ₃₀	350	35	Alquil benzenos, PAHs e PCBs
Chromosorb 102	PE 50° a 200°C	250	350	Compostos oxigenados e halogenados menos voláteis que cloreto de metileno.
Chromosorb106	PE 50° a 200°C	250	750	Hidrocarbonetos na faixa de C ₇ -C ₁₂ , também é adequada para compostos oxigenados.
CarbotrapC Carbotrap CarbosieveIII	n-C ₃ a n-C ₁₂	400	-	Hidrocarbonetos e compostos halogenados.
Spherocarb	-30° a 150°C n-C ₃ a n-C ₈	>400	1200	Compostos muito polares, óxido de etileno, compostos contendo enxofre, também para compostos polares como metanol e acetona
Carbotrap CarbopackB Anasorb GCB1	n-C ₄ a n-C ₁₄	>400	100	Ampla faixa de COV: cetonas, álcoois, aldeídos(PE>75°C) e todos os apolares dentro da faixa de volatilidade especificada.
Porapak Q	50° a 200°C n-C ₅ a n-C ₁₂	250	550	Ampla faixa de COV incluindo oxigenados.
Porapak N	50° a 150°C n-C ₅ a n-C ₈	180	300	Acetonitrila, propionitrila, piridina e álcoois voláteis.

Figura 3.2- Guia para seleção do sólido.

Fonte: Tradução parcial da tabela 1 do método TO17 da EPA apud SOUSA (2002).

Segundo Sousa (2002) as vantagens da utilização de tubos adsorventes incluem seu pequeno tamanho e peso facilitando o manuseio e o transporte, a ampla faixa de adsorventes existentes permitindo a escolha do mais adequado aos compostos de interesse, existência de sistemas de dessorção térmica disponíveis no mercado e a possibilidade de controlar a adsorção de água escolhendo adsorventes hidrofóbicos.

Outra maneira de amostrar uma ampla faixa de COV de compostos orgânicos com diferentes volatilidades é utilizar uma combinação de mais de um adsorvente no leito de amostragem contido no tubo, que são conhecidos como tubos empacotados ou multi-adsorventes, os chamados *multibed tubes*, os quais são preenchidos com diversos adsorventes em ordem crescente de capacidade de adsorção (SOUSA, 2002).

A capacidade de adsorção de sólido está relacionada à afinidade destes sólidos com os compostos de interesse. Essa capacidade de adsorção geralmente é relativa à sua área superficial, e como regra geral, adsorventes com área superficial menor que 50 m²/g são ditos de baixa capacidade, os com área variando entre 100 e 500 m²/g são de capacidade intermediária, e são considerados com alta capacidade os com área superficial próxima a 1000 m²/g (SOUSA 2002).

3.6.3 Principais Técnicas Analíticas dos COV

Após a amostragem em sólido adsorvente, os analitos presentes no sólido são desorvidos termicamente pela utilização de um cromatógrafo gasoso.

A cromatografia é um método físico de separação, no qual os componentes a serem separados são distribuídos em duas fases: uma fase fixa de grande área superficial denominada fase estacionária, e a outra um fluido que percola através dela sendo, por isto, denominada fase móvel. Os solutos são separados, na coluna cromatográfica, devido à maior ou menor interação com a fase estacionária (MIRANDA, 2007).

Segundo Miranda (2007), na cromatografia gasosa (CG), a amostra é vaporizada e injetada no topo de uma coluna cromatográfica. A eluição é feita por fluxo de um gás inerte que atua como fase móvel. Ao contrário da maioria dos outros tipos de cromatografia, a fase móvel não interage com as moléculas do analito. Sua única função é transportar o analito através da coluna. Há dois tipos de cromatografia gasosa: cromatografia gás-sólido e cromatografia gás-líquido. Como a cromatografia gás-líquido tem ampla aplicação em todas as áreas das ciências, seu nome foi reduzido para cromatografia gasosa (CG) simplesmente. A cromatografia gás-líquido baseia-se na partição do analito entre uma fase móvel gasosa e uma fase imobilizada líquida na superfície de um sólido inerte (SKOOG, 2002 apud MIRANDA, 2007).

A cromatografia gasosa tem a função de separar os compostos da amostra. Após serem separados em suas respectivas

bandas, os compostos são fragmentados e ionizados em um padrão característico da espécie química. A geração desses íons pode ocorrer basicamente por dois processos: impacto de elétrons ou ionização química. As moléculas dos analitos são eluídas da coluna cromatográfica e recebem uma “chuva” de elétrons para sofrerem fragmentações e ionizações características (MIRANDA 2007).

Segundo Sousa (2002) como a cromatografia gasosa é uma técnica que permite a separação de componentes de uma mistura pela passagem destes através da coluna cromatográfica, os quais eluem sequencialmente e atingem o detector, é muito utilizada para separar produtos diversos, podendo também ser usada como técnica de identificação, principalmente quando acoplada a um Espectrômetro de Massas (EM) ou outro detector qualitativo.

A espectrometria de massa é uma técnica utilizada para identificar compostos desconhecidos, quantificar os compostos já identificados, e também elucidar a estrutura e as propriedades químicas das moléculas. Compostos podem ser analisados mesmo em mínimas quantidades, geralmente a concentrações da ordem de ppt (partes por trilhão). O princípio do funcionamento desta é que uma amostra, que pode ser sólida, líquida ou gasosa, é introduzida em uma câmara de vácuo através de um injetor e ionizada na fonte de íon (SOUSA, 2002).

Ainda segundo a mesma autora, os íons, que estão na forma gasosa, são classificados no analisador de massa de acordo com a sua razão massa/carga (m/z), e são coletados pelo detector. No detector, os íons geram um sinal elétrico que é proporcional ao número de íons. O sistema de dados grava estes sinais e então os converte no espectro de massas. Os processos que ocorrem no espectrômetro de massa são: ionização, separação de íons e detecção.

No processo de análise de massa, uma mistura de espécies iônicas é separada de acordo com suas razões m/z e moléculas neutras são separadas de acordo com suas massas atômicas agregadas. É importante salientar que o termo análise de massas se refere ao modo de separação das massas (SOUSA, 2002).

O uso do espectrômetro de massa acoplado a um cromatógrafo permite uma identificação positiva de quase todos os compostos orgânicos, pois une as propriedades de separação do CG com as de determinação da estrutura do composto obtida pelo EM (SOUSA, 2002).

4. METODOLOGIA

4.1 DESCRIÇÃO DOS LOCAIS DE ESTUDO

A origem do lixiviado é do aterro sanitário que está localizado na Comunidade Agrícola de Canhanduba, no município de Itajaí. As coordenadas do local são 728173.76m W e 7013853.09m S, coordenadas no sistema métrico UTM e ocupa uma área total de aproximadamente 27 hectares. O local foi escolhido como o mais apropriado, devido a fatores como o tipo de utilização do solo prevista no zoneamento municipal para a região e critérios técnicos de engenharia.

O aterro sanitário de Canhanduba foi projetado para receber inicialmente mais de 270 toneladas por dia de resíduos domésticos e de serviços de saúde atendendo aos municípios de Itajaí e Balneário de Camboriú, com uma população total de 274 mil habitantes (IBGE, 2009). A perspectiva da vida útil do aterro é de 23 anos, com um acréscimo de mais 5 anos com a implantação da coleta seletiva. A operação do aterro é feita pela empresa *Ambiental Saneamento e Concessões Ltda.*

Antes da década de 90, o local no bairro Canhanduba era usado apenas como lixão. Em 1991 foram feitas melhorias e foi iniciada a operação do aterro controlado, atualmente encerrado, o qual não possui impermeabilização de base. Por fim, no ano de 2006 entrou em operação o aterro sanitário. Este possui poços de monitoramento com objetivo de avaliar a qualidade das águas subterrâneas, além de possuir impermeabilização de base, drenos para captação do biogás e do lixiviado.

O sistema de tratamento dos lixiviados é composto por: unidade de tratamento físico-químico, duas lagoas anaeróbias, uma lagoa aerada e por uma calha de desinfecção por radiação ultravioleta, que promove a desinfecção do líquido tratado sem a necessidade de adição de produtos químicos (Prefeitura Itajaí, 2006).

A Figura 4.1 cedida pela empresa *Ambiental Saneamento e Concessões Ltda* mostra a área utilizada pelo aterro sanitário antes de iniciar o seu funcionamento bem como a área correspondente ao antigo lixão.

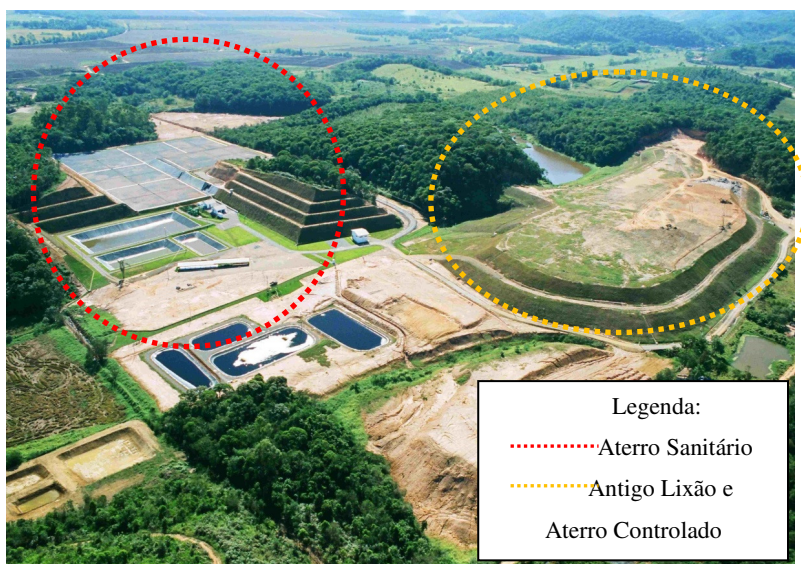


Figura 4.1- Área do Aterro Sanitário.

Fonte: Ambiental Saneamento e Concessões 2009.

O ensaio de bancada foi realizado no Laboratório de Experimentação em Resíduos Sólidos, pertencente ao Laboratório de Pesquisas em Resíduos Sólidos (LARESO). Já as análises cromatográficas foram realizadas no Laboratório de Controle de Qualidade do Ar (LCQAr). A caracterização do lixiviado bruto ocorreu no Laboratório Integrado do Meio Ambiente (UFSC), todos pertencentes ao Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental (ENS) localizado no Campus da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), na cidade de Florianópolis/SC.

4.2. DESCRIÇÃO DO EXPERIMENTO

O experimento consistiu no aquecimento do lixiviado de aterro sanitário, através da utilização de uma manta aquecedora, até uma temperatura de 80° a 90° C. Nessa faixa de temperatura já ocorre um desprendimento dos compostos voláteis da massa líquida, com a vantagem de estar trabalhando abaixo do ponto de ebulição da água. Grandes quantidades de vapores de água interferem negativamente na coleta dos compostos orgânicos pelos cartuchos adsorventes.

Em seguida, utilizou-se a técnica de amostragem ativa em sólido adsorvente, seguindo-se a metodologia TO-17 da Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos. Os compostos orgânicos voláteis, que já estavam desprendidos da massa líquida, foram succionados por uma bomba à vácuo, garantindo dessa forma a passagem desses compostos pelo cartucho adsorvente. Os cartuchos utilizados são do tipo Tubo Multiadsorvente, os quais foram preenchidos com Tenax TATM e CarbotrapTM. Foram utilizados esses sólidos, pois ainda não se tem reportado na literatura qual a faixa da cadeia carbônica dos diversos analitos que podem ser encontrados em lixiviado. Dessa forma, a utilização de dois materiais adsorventes garantiu uma ampla faixa de coleta de compostos orgânicos evaporados do lixiviado.

A fim de alcançar um dos objetivos propostos, de identificar o melhor volume de coleta para análise de COV por meio da Dessorção Térmica, foram utilizados dois cartuchos adsorventes com diferentes volumes de coleta. Os cartuchos coletaram os COV de forma sucessiva, ou seja, primeiro ocorreu uma coleta e na seqüência, durante a mesma evaporação, ocorreu a coleta pelo segundo cartucho adsorvente. Um fluxograma mostrando todas as etapas do trabalho é apresentado na Figura 4.2.

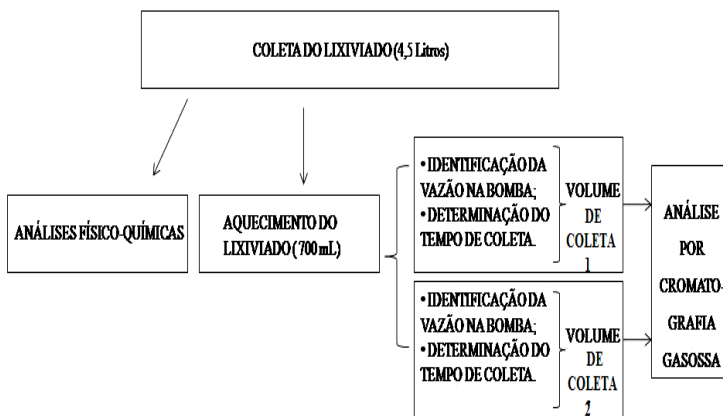


Figura 4.2- Fluxograma do Experimento.

Os volumes de coleta foram obtidos através da fixação de um tempo para a coleta e da identificação da vazão de sucção da bomba. Essa vazão foi determinada através da utilização de um leitor de vazão automático e o seu valor depende de características da bomba e do cartucho adotado. Dessa forma, a vazão de sucção foi determinada para cada um dos cartuchos utilizados e é apresentada na Tabela 4.1.

Tabela 4.1- Volumes de Coleta.

Parâmetro	Coleta 1	Coleta 2
Tempo (min)	2	5
Vazão (mL/min)	105,8	108,7
Volume (mL)	211,6	543,5

Após o experimento de coleta, os analitos adsorvidos nos cartuchos, foram submetidos aos processos de dessorção térmica e separação cromatográfica e identificação dos compostos através da espectrometria de massas.

4.2.1 Coleta da Amostra

A coleta de lixiviado no aterro sanitário de Canhanduba, Itajaí- SC ocorreu no dia 7 de maio de 2010, às 11 horas da manhã, caracterizando-se dessa forma como uma coleta simples. Ressalta-se que a condição climática no dia, até o momento da coleta, era de tempo seco e nublado com temperatura média do ar de 25° C. Nos dias anteriores ao dia da coleta o tempo estava predominantemente seco e nublado, porém com algumas pancadas de chuva e com aberturas de sol.

Como mencionado anteriormente, a técnica de evaporação de lixiviado serve como um pré-tratamento para este efluente. Dessa forma, o ponto de coleta escolhido foi antes do tratamento adotado pela empresa *Ambiental Saneamento e Concessões*, ocorrendo em uma calha que conduz o lixiviado para o tratamento. Os lixiviados são provenientes da área do aterro sanitário em operação e da área do lixão e aterro controlado que estão encerrados.

A seqüência de fotos da Figura 4.3 acompanha o escoamento do lixiviado na calha, sendo a primeira imagem antes do ponto da coleta, a segunda no ponto da coleta e a última imagem após o ponto de coleta do lixiviado.



Figura 4.3- Calha onde foi realizada a coleta.

A coleta foi feita pelo técnico responsável pela operação das unidades de tratamento do lixiviado, o procedimento de coleta pode ser visualizado na Figura 4.4 e seguiu alguns

cuidados básicos como: (i) cuidado para a amostra não conter partículas grandes; (ii) coleta de uma quantidade suficiente de amostra para uma eventual necessidade de repetição de análise; (iii) limpeza dos materiais de coleta, entre outros cuidados. A vazão do lixiviado na calha é medida pelo técnico e no dia da coleta era de aproximadamente 1,5 L/s.



Figura 4.4- Procedimento adotado na coleta.

Após o procedimento de coleta, a amostra foi devidamente armazenada em uma garrafa de vidro âmbar envolvida em uma folha de alumínio, a fim de evitar o contato com a luz solar. Ao chegar no laboratório, a amostra foi separada em dois recipientes, sendo um para caracterização do lixiviado bruto e o outro para o experimento.

Também foi realizada a caracterização do lixiviado bruto através da análise dos seguintes parâmetros: pH, Condutividade, Alcalinidade (CaCO_3), DQO (Demanda Química de Oxigênio), Nitrogênio amoniacal (N-NH_3), Cloretos (Cl^-), Sólidos Totais (ST), Sólidos Fixos Totais (SFT), Sólidos Voláteis Totais (SVT), Sólidos Dissolvidos Totais (SDT) e Sólidos Suspensos Totais (SST).

4.2.2 Análises Físico-Químicas do Lixiviado

Os métodos e equipamentos utilizados para a obtenção dos parâmetros que definiram a caracterização do lixiviado são descritos a seguir:

- pH (potencial Hidrogeniônico)

Esse parâmetro é um dos mais importantes na caracterização de um efluente. O método analítico utilizado foi o *Potenciométrico APHA (4500 B, 2005)* e o equipamento foi *pHmetro Digital QUIMIS*.

- DQO (Demanda Química de Oxigênio)

Mede a carga poluidora da amostra, através da identificação do consumo de oxigênio necessário para oxidar quimicamente a matéria-orgânica. O método analítico utilizado foi o *Colorimétrico APHA (5220 D, 2005)* e o equipamento *Espectrofotômetro HACH DR/ 2010*, com diluição 1:10. Para a caracterização desse parâmetro, foram utilizadas amostras em duplicata.

- Condutividade

A condutividade de uma solução aquosa, a uma determinada temperatura, é a medida da sua habilidade em transmitir corrente elétrica. O método analítico utilizado foi a *Condutimetria APHA (2510 B, 2005)* e o equipamento o *Condutivímetro LUTRON CD- 4303*.

- Alcalinidade

É uma medida da capacidade que o efluente tem de neutralizar ácidos. Os principais responsáveis pela alcalinidade são os íons bicarbonato, carbonato e hidroxila. O método analítico utilizado foi o *Titulométrico APHA (2320 B, 2005)* e o equipamento *pHmetro Digital QUIMIS*.

- **Sólidos Totais**

Os sólidos contidos em um efluente indicam as substâncias orgânicas e inorgânicas (parâmetros químicos) e as substâncias dissolvidas e em suspensão (parâmetros físicos). O método analítico foi a *Gravimetria a ST secos a 103-105°C APHA (2540 B, 2005)* e o equipamento *Balança Eletrônica Analítica SHIMADZU AY 220*. Para a caracterização desse parâmetro, foram utilizadas amostras em duplicata.

- **Sólidos Fixos Totais**

Indicam as substâncias inorgânicas contidas no efluente. O método analítico foi a *Gravimetria a SF por Ignição a 550 °C APHA (2540 E, 2005)* e o equipamento *Balança Eletrônica Analítica SHIMADZU AY 220*. Para a caracterização desse parâmetro, foram utilizadas amostras em duplicata.

- **Sólidos Voláteis Totais**

Indicam as substâncias orgânicas contidas no efluente. O método analítico foi a *Gravimetria a SV por Ignição a 550 °C APHA (2540 B, 2005)* e o equipamento *Balança Eletrônica Analítica SHIMADZU AY 220*. A análise desse parâmetro foi realizada em duplicata.

- **Sólidos Dissolvidos Totais**

Indicam as substâncias que estão dissolvidas no efluente. O método analítico foi a *Gravimetria a TDS secos a 108°C APHA (2540 C, 2005)* e o equipamento *Balança Eletrônica Analítica SHIMADZU AY 220*.

- **Sólidos Suspensos Totais**

Indicam as substâncias que estão suspensas no efluente. O método analítico foi a *Gravimetria a STS secos a 103-105°C APHA (2540 D, 2005)* e o equipamento *Balança Eletrônica Analítica SHIMADZU AY 220*.

- Amônia (N-NH₃)

Indica o Nitrogênio Amoniacal presente no efluente. O método utilizado foi *Destilação/ Titulométrico APHA (4500- NH₃ B/4500- NH₃ C, 2005)* e o equipamento *Destilador VELP/ UDK 132*. A análise desse parâmetro foi realizada em duplicata.

- Cloreto (Cl)

É um dos ânions mais comuns em efluentes. A determinação de cloretos, junto com de nitrogênio, pode ser empregada para detectar o grau de contaminação do efluente. O método analítico utilizado foi o Potenciométrico *APHA (2550 Cl D, 2005)* e os equipamentos Analisador Seletivo de Íons e Sensor *Thermo ORION 720A⁺*. A Curva de Calibração utilizada foi de 3,55- 35,5- 355-3550 ppm.

4.2.3 Coleta dos COV

As vidrarias utilizadas para a coleta dos COV foram: um balão para aquecimento com três bocas, fundo redondo e capacidade para 2.000 mL e uma coluna de destilação lisa, 28 cm de comprimento.

Os equipamentos eletrônicos empregados foram: uma manta aquecedora FISATOM/M-202; um leitor de temperatura digital DIST/DI-530, com termômetro digital acoplado com legibilidade de 1 °C; uma bomba a vácuo UNIVERSAL PUMPS PCXR8; e um leitor de vazão DRYCAL DEFENDER. Ainda foram utilizados dois cartuchos adsorventes de aço inoxidável com as mesmas características. Estes eram uma combinação de materiais adsorventes, empregou-se 100 mg de CarbotrapTM e 100 mg de Tenax TATM no mesmo tubo e separados por lã de vidro. Os equipamentos eletrônicos utilizados podem ser visualizados na Figura 4.5 e na Figura 4.6.



Figura 4.5- Imagem da Manta Aquecedora e do Leitor de Temperatura Digital.

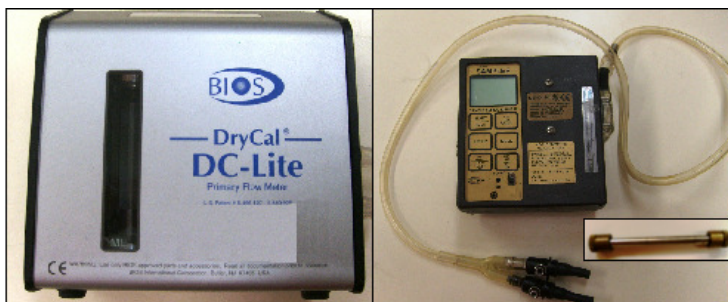
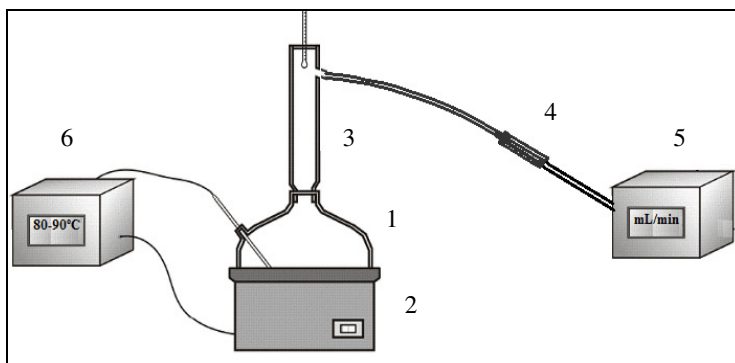


Figura 4.6- Imagem do Leitor de Vazão, da Bomba à Vácuo e do Cartucho Adsorvente.

O balão foi disposto no interior da manta aquecedora que forneceu energia ao sistema em forma de calor. A manta aquecedora foi conectada ao leitor de temperatura provido de um termômetro digital, que ficou introduzido na massa líquida, possibilitando a identificação da energia fornecida pela manta. Na saída da coluna lisa foi conectado, através da utilização de uma mangueira, o cartucho adsorvente e este por sua vez a

bomba a vácuo, conforme ilustra a 1-Balão de Aquecimento; 2- Manta Aquecedora; 3- Coluna Lisa; 4- Cartucho Adsorvente; 5- Bomba à vácuo; 6- Identificador de Temperatura

Figura 4.7.



1-Balão de Aquecimento; 2- Manta Aquecedora; 3- Coluna Lisa;
4- Cartucho Adsorvente; 5- Bomba à vácuo;
6- Identificador de Temperatura

Figura 4.7- Representação Esquemática do Aparato Experimental.

Fonte: Modificado de Haical Sajovic Haddad 2009.

4.2.4 Identificação dos COV

Para a identificação dos COV utilizou-se os seguintes equipamentos: Dessorção Térmica Automática (ATD) modelo TURBOMATRIX, Cromatógrafo Gasoso (CG) modelo AUTOSYSTEM XL e; Espectrômetro de Massas (EM) modelo TURBO MASS. Todos os equipamentos são da marca PERKIN ELMER e podem ser visualizados na Figura 4.8.

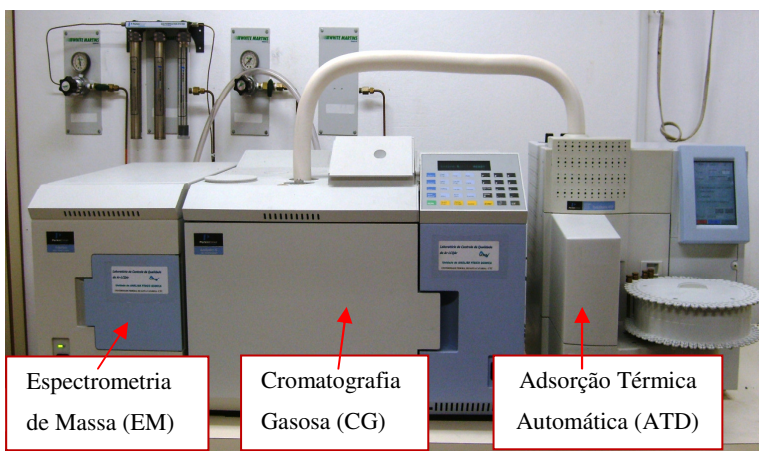


Figura 4.8- Equipamentos para a Análise

O cartucho adsorvente é inserido no ATD, onde ocorre a dessorção do analito devido à alta temperatura de 300°C. Durante a dessorção, os compostos são carreados, através da passagem de gás inerte hélio (He) no interior do tubo, para uma região a -30° C (*cold trap*), a fim de condensar os compostos. Novamente a temperatura se eleva, a uma taxa de 40° C por segundo, a 250° C a fim de que os compostos atinjam seus pontos de ebulição. Novamente um fluxo de He, passando agora pelo *Cold Trap*, carrega os compostos, já na forma gasosa, para a coluna cromatográfica, onde se inicia a corrida cromatográfica.

Dentro do forno do cromatógrafo a temperatura variou de acordo com a Tabela 4.2. Os compostos passaram pela coluna capilar (fase estacionária), composta de 5% fenil em dimetilpolisiloxano, através da força exercida pelo gás hélio (fase móvel) em um fluxo constante de 1,78mL/min. Cada composto termina de percorrer essa coluna capilar em um tempo diferente (tR). Isso ocorre, basicamente, devido à menor ou maior interação do composto com a fase estacionária. Outro fator importante nesse processo é a diferença nas temperaturas de ebulição dos compostos. Geralmente, compostos com menor ponto de ebulição

tendem a chegar primeiro no detector (EM). Dessa forma os compostos, que inicialmente estavam juntos, foram separados pelo CG.

Tabela 4.2- Temperaturas adotadas no Cromatógrafo

Parâmetro	Valores
Temperatura Inicial	30° C (mantida por 4 min.)
Rampa de Aquecimento 1	2,5° C/ min
Temperatura Final 1	90° C (mantida por 3 min)
Rampa de Aquecimento 2	10° C/ min
Temperatura Final 2	120° C

A coluna capilar utilizada foi do Tipo Elite-1, com um comprimento total de 60 metros, diâmetro interno de 0,25 mm e espessura de fase estacionária de 0,25 μ m.

No espectrômetro de massas, os compostos foram bombardeados por uma “chuva de elétrons”, ocorrendo dessa forma uma quebra na estrutura desses compostos e os deixando carregados positivamente. A biblioteca NIST relaciona esses cátions com os compostos que eles representam, fazendo dessa forma a identificação dos compostos. Os parâmetros utilizados na detecção dos compostos foram: Mass range (m/z) = 33-350 (*full scan*, ou seja, varredura completa dos compostos). Tempo de aquisição: 40 min.

5.RESULTADOS OBTIDOS

O resultado da caracterização físico-química do lixiviado do Aterro Sanitário de Canhanduba Itajaí S/C é apresentado na Tabela 5.1. O lixiviado coletado é originário do aterro sanitário, que possui apenas 4 anos e também do lixiviado drenado da área já encerrada, com idade superior a 10 anos. Devido a essas duas contribuições que apresentam características bem diferentes é difícil estabelecer uma composição padrão para o lixiviado desse aterro.

Tabela 5.1- Caracterização do Lixiviado Bruto

Parâmetro	Unidade Adotada	Valor Obtido
pH	adimensional	7,3
DQO	mg/L	5.661
Condutividade	ms/cm	16
Alcalinidade	mg CaCO ₃ /L	9.660
Sólidos Totais	mg/L	18.369
Sólidos Totais Fixos	mg/L	10.139
Sólidos Voláteis Totais	mg/L	8.229
Sólidos Dissolvidos Totais	mg/L	17.843
Sólidos Suspensos Totais	mg/L	540
Amônia	mg/L	4.797
Cloreto	mg/L	5.940

Em relação aos resultados obtidos no parâmetro pH e alcalinidade, o resultado indica fase adiantada de biodegradação. Nessa fase ocorre o esgotamento da matéria orgânica rapidamente biodegradável, restando a matéria orgânica pouco biodegradável.

Tal afirmação pode ser confirmada também ao relacionar os Sólidos Totais Fixos com os Sólidos Totais ($> 0,50$).

Porém ao analisar os resultados obtidos nos parâmetros Cloreto, Amônia, DQO e Sólidos Totais verifica-se que os valores encontrados são bastante elevados, o que é característico de compostos mais jovens, pois geralmente são os mais poluidores. Como já descrito, é difícil estabelecer uma composição padrão para o lixiviado do aterro sanitário de Canhanduba, devido à contribuição de lixiviados com idades diferentes.

Como já descrito na metodologia, os volumes coletados dos analitos pelos cartuchos adsorventes, variaram de acordo com a vazão de sucção da bomba e do tempo de coleta adotado. Os volumes obtidos foram de 211,6 mL e 543,5 mL.

Devido a possíveis problemas relacionados à contaminação da coluna cromatográfica, foram realizadas duas leituras do cromatógrafo sem nenhuma injeção de analito, obtendo-se cromatogramas base, servindo de branco. Para a leitura de cada analito coletado realizou-se um branco, sendo que os tempos de realização da corrida dos brancos foram de 40 minutos, já que as duas análises têm este tempo de duração. A Figura 5.1 mostra a leitura dos cromatogramas branco.

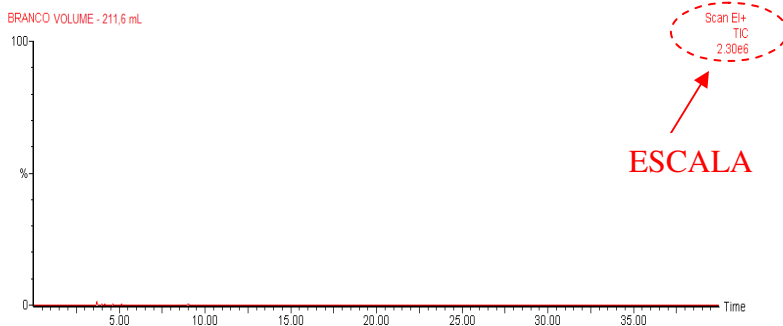
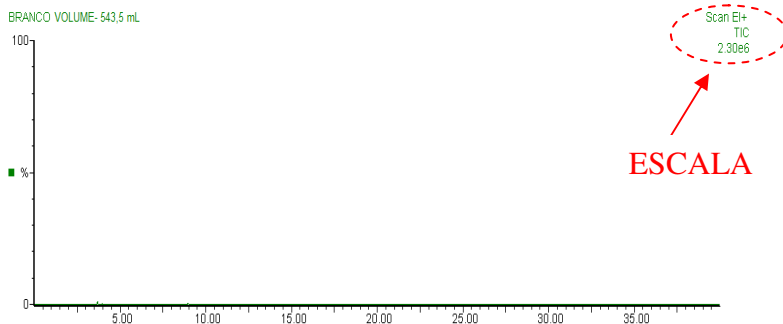


Figura 5.1- Cromatogramas Branco

Deste modo, é possível observar que as colunas não apresentaram nenhum pico, ou seja, nenhum composto foi detectado. Dessa forma, pode-se afirmar que nas análises realizadas, os picos que aparecerem nos cromatogramas são provenientes das amostras inseridas no cromatógrafo.

Os cromatogramas obtidos através da leitura dos analitos são apresentados na Figura 5.2 e na Figura 5.3.

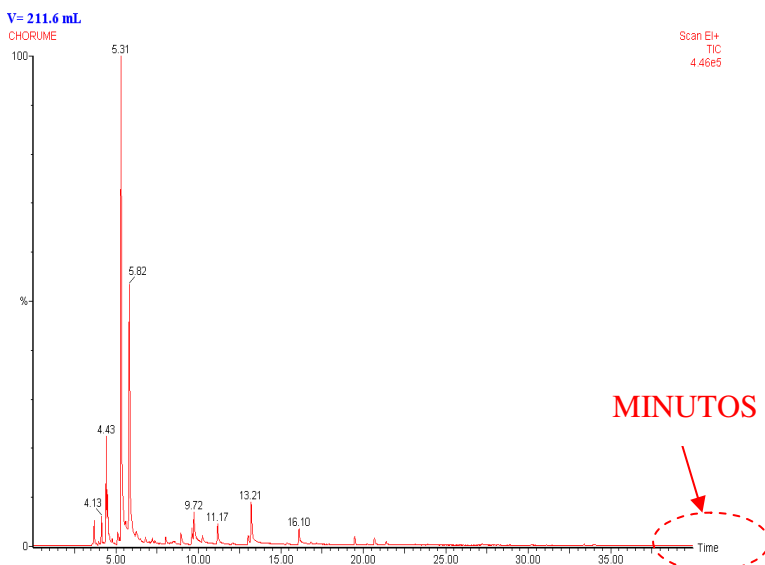


Figura 5.2- Cromatograma do volume de 211,6 mL.

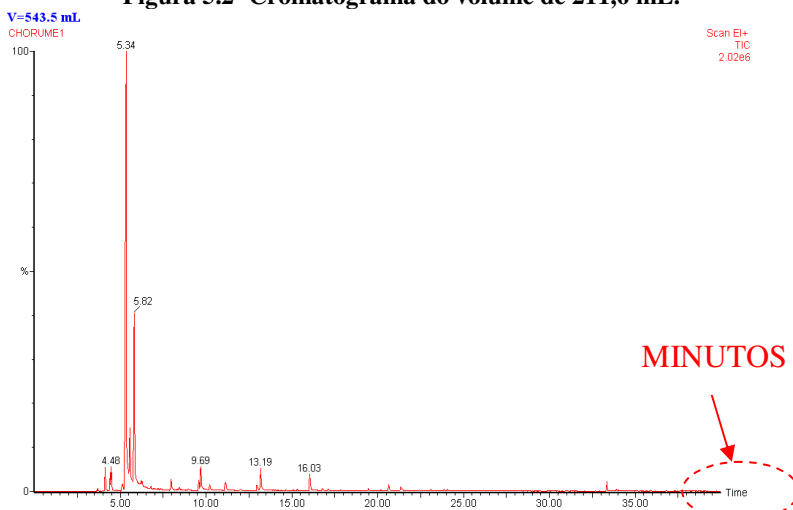


Figura 5.3- Cromatograma do volume de 543,5 mL.

Cada pico apresentado no cromatograma representa o tempo, em minutos, que cada composto levou para percorrer a coluna cromatográfica. Dessa forma nota-se que os dois parâmetros de coleta adotados com base na pesquisa bibliográfica, que foram: tipo do cartucho adsorvente e faixa de temperatura possibilitaram aos dois cromatogramas a obtenção de picos bem definidos, sendo que estes picos representam os compostos orgânicos voláteis liberados pelo processo de evaporação do lixiviado.

Parte-se para a análise de qual dos volumes de coleta possibilitou uma melhor separação dos compostos. A fim de garantir que as diferenças dos picos nos cromatogramas se deram somente à variação no volume de coleta, como já foi descrito na metodologia, os dois analitos são provenientes da mesma coleta de lixiviado e da mesma evaporação, sendo coletados de forma sucessiva.

Assim, tem-se que os dois cromatogramas apresentaram picos com tempos de retenção próximos. No entanto, o volume que apresentou uma maior quantidade de picos (comparando na mesma escala), picos mais bem definidos e também que na espectrometria de massas apresentou os compostos com maior probabilidade (>75%) foi o de maior volume de coleta (543,5 mL).

Foi realizada a identificação dos compostos pela espectrometria de massas do volume de coleta de 543,5 mL e a Figura 5.4 apresenta esse cromatógrafo em uma escala maior, possibilitando a melhor visualização de alguns picos.

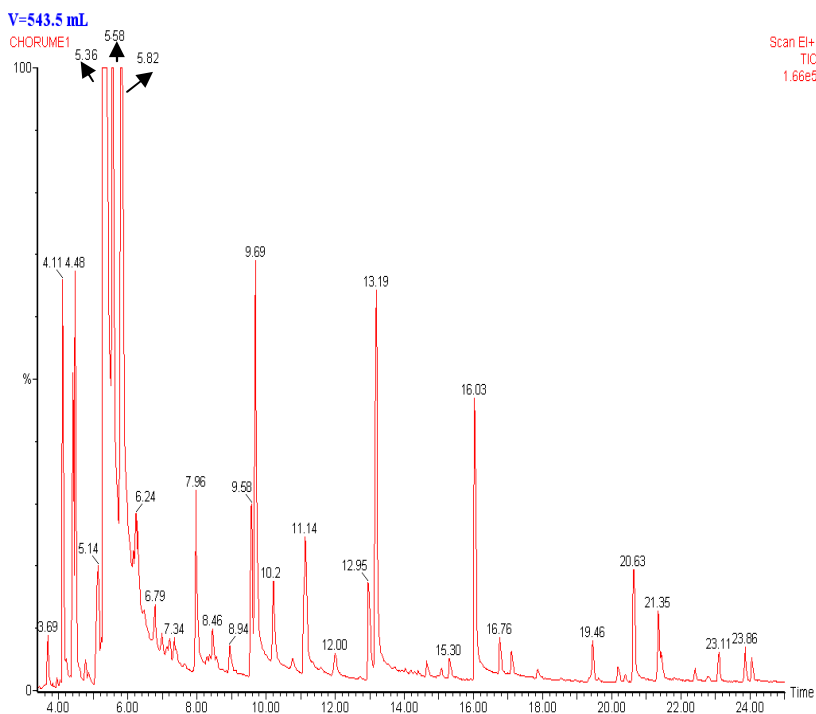


Figura 5.4- Cromatograma do volume de 543,5 mL em escala maior

A espectrometria de massas indica, através do tempo de retenção obtido no cromatograma, algumas características do composto bem como a probabilidade de ser realmente esse composto, a Tabela 5.2 apresenta o resultado obtido para o volume de coleta que possibilitou a melhor separação dos COV (543,5 mL). Foram relacionados os compostos, que, ao serem identificados pela MS apresentaram probabilidade superior a 75% de acerto.

Tabela 5.2- Relação de possíveis compostos encontrados na amostra de lixiviado.

Tempo de Retenção (minutos)	Probabilidade (%)	Nomenclatura (IUPAC)	Massa Molecular (g/mol)	Fórmula
3,692	81,5	2 Propanamina	59	C ₃ H ₉ N
4,114	79,7	2 Metil, Pentanal	100	C ₃ H ₁₂ O
4,481	98,1	Acetato de Metila	74	C ₃ H ₆ O ₂
5,363	97,8	2 Butanona	72	C ₄ H ₈ O
5,580	99,1	2 Butanol	74	C ₄ H ₁₀ O
5,825	85	Acetato de Etila	88	C ₄ H ₈ O ₂
6,793	91,9	3 Metil, Butanal	86	C ₅ H ₁₀ O
7,982	95,7	2 Pentanona	86	C ₅ H ₁₀ O
9,559	88,5	Propanato de etila	102	C ₅ H ₁₀ O ₂
9,687	90	Acetano de propila	102	C ₅ H ₁₀ O ₂
10,200	99	Butanoato de metila	102	C ₅ H ₁₀ O ₂
11,135	97,9	Dissulfeto de metila	94	C ₂ H ₆ S ₂
12,951	96,6	Acetato de 1-metil propila	116	C ₆ H ₁₂ O ₂
13,171	98,5	Tolueno ou metil benzeno	92	C ₇ H ₈
16,031	99,6	Butanoato de metila	116	C ₆ H ₁₂ O ₂
20,633	98,4	Etil benzeno	106	C ₈ H ₁₀
21,366	98,9	1,2- Dimetil, Benzeno	106	C ₈ H ₁₀
23,841	97,7	Butanoato de Propila	130	C ₇ H ₁₄ O ₂
33,356	98,8	1- Metil-4- (1- metiletil) Benzeno	134	C ₁₀ H ₁₄
33,888	94,1	Eucaliptol	154	C ₁₀ H ₁₈ O

Ao fazer uma compilação dos possíveis compostos encontrados na amostra de lixiviado evidencia-se, principalmente, a presença de compostos com funções químicas oxigenadas. Dos 20 maiores picos cromatográficos, 14 são compostos com funções químicas oxigenadas (8 ésteres, 2 aldeídos, 2 cetonas, 2 alcoóis), 4 hidrocarbonetos aromáticos, 1 amina e 1 tio-composto. A Figura 5.5 mostra os resultados obtidos pelo agrupamento, por função química, dos compostos identificados.

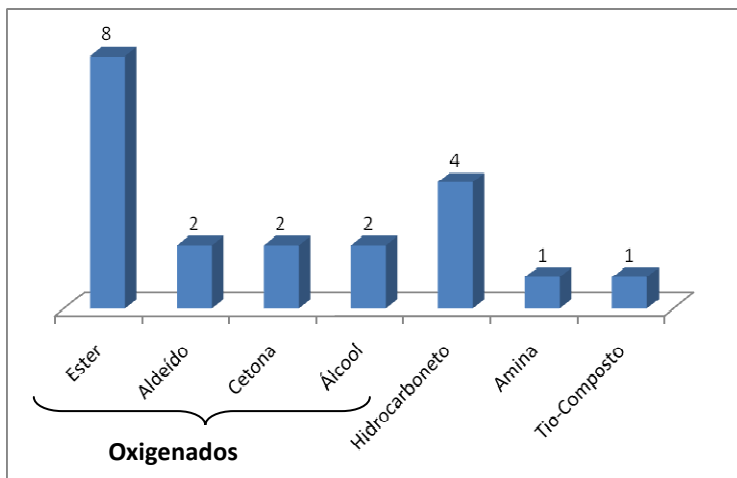


Figura 5.5- Agrupamento dos compostos por função química encontrados na amostra de lixiviado.

Os oxigenados são todos os compostos que contenham, pelo menos, um oxigênio em sua estrutura. A classe dos hidrocarbonetos aromáticos são os que apresentam em sua estrutura, pelo menos, um núcleo benzênico. As aminas são os compostos que possuem nitrogênio e o tio-compostos que tem em sua estrutura o enxofre

6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A partir dos resultados obtidos pode-se concluir que o trabalho contribuiu para o aprimoramento de metodologias de coleta de Compostos Orgânicos Voláteis (COV) provenientes da evaporação de lixiviado de aterro sanitário em escala de bancada, pois:

- A adoção dos parâmetros de coleta que foram: cartuchos adsorventes, preenchidos metade com Tenax TATM (100mg) e metade com CarbotrapTM (100mg) e a faixa de temperatura adotada, que variou entre 80° e 90° C, possibilitaram uma separação dos compostos orgânicos voláteis pela cromatografia gasosa.

- Os volumes de coleta de 211,6 mL e 543,5 mL forneceram cromatogramas com vários picos, sendo que estes picos representam os compostos orgânicos voláteis liberados pelo processo de evaporação do lixiviado. O volume de 543,5 mL separou melhor os compostos e possibilitou um cromatograma com picos significativos e simétricos. Volumes maiores, possivelmente, causariam saturação na separação e detecção dos compostos.

- Os compostos orgânicos voláteis identificados pela espectrometria de massas revelaram a presença de: éster (40%), aldeído (10%), cetona (10%), álcool (10%), hidrocarbonetos aromáticos (20%), aminas (5%) e tio-compostos (5%).

Embora todos os objetivos do trabalho tenham sido alcançados, diversas recomendações podem ser feitas a fim de promover a melhoria de trabalhos futuros e dar continuidade aos estudos relacionados aos COV de lixiviado de aterro sanitário. Entre elas, pode-se citar:

- Analisar quantitativamente os compostos identificados, pois somente dessa forma é possível comparar a emissão destes compostos com a legislação vigente.

- Aumentar o número de amostras coletadas.
- Analisar lixiviados provenientes de diferentes aterros sanitários para verificar se existe alguma variação dos COV entre eles.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BIRCHLER, D. R.; MILKE, M. W.; MARKS, A. L.; LUTHY, R. G. *Landfill Leachate Treatment by Evaporation*. Journal of Environmental Engineering, ASC, v. 120, n. 5, 1994.

CASTILHOS J. A. B. *Estudo da Previsão dos Volumes de Líquidos Percolados Gerados em Aterros Sanitários*. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 16, Goiânia, 1991. Anais... Goiânia.: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária. 550p. p. 114-124. 1991.

CASTILHOS J. A. B.; ZANTA, V. M.; LANGE, L. C.; GOMES, L. P.; PESSIN, N. *Resíduos sólidos urbanos: aterro sustentável para municípios de pequeno porte*. Rio de Janeiro: ABES, 2003. 278 p.

COSSU, R. *Alternative di Smaltimento del Percolato Negli Impianti di Scarico Controllato dei Rifiuti Solidi Urbani*. *Ingegneria Ambientale*. 1982. 573 p.

DI PALMA, L.; FERRANTELLI, P.; MERLI, C.; PETRUCCI, E. *Treatment of industrial landfill leachate by means of evaporation and reverse osmosis*. Waste Management, v. 22, n. 8, p. 951-955, 2002.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. *Contagem da população, 2009*. Acesso em 29 de maio de 2010. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/cidadesat/topwindow.htm?1>

ITAJAÍ- PREFEITURA MUNICIPAL DE ITAJAÍ. Itajaí implanta novo aterro sanitário, 2005. Acesso em 12 de Novembro de 2009. Disponível em: http://www.itajai.sc.gov.br/noticias_det.php?id_noticia=2547

MACHADO, R.A. *Avaliação de compostos orgânicos voláteis em ambientes interiores climatizados*. 2003. 108 f. Tese (Doutorado em Saúde Ambiental) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.

MCBEAN, E. A.; ROVERS, F. A.; FARQUHAR, G. J. *Solid Waste Landfill Engineering and Design*. Upper Saddle River: Prentice Hall PTR, 1995. 521 p.

MIRANDA, G.R. *Avaliação das emissões provenientes da combustão de diesel, biodiesel, de resíduos de óleo de fritura e suas misturas*. 2007. 84f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental)- Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2007.

PICELLI, P.C. *Quantificação de benzeno, tolueno, etilbenzeno e xilenos no ar de ambientes ocupacionais*, 2005.128f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental)- Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2005.

REHMAN, A. *Landfill leachate treatment using evaporation technology*. 2003. 235 p. Thesis of Master in Environmental Engineering. Carleton University, Ottawa, Ontario, 2003.

RENOU, S.; GIVAUDAN, J. G.; POULAIN, S.; DIRASSOUYAN, F.; MOULIN, P. *Landfill leachate treatment: Review and opportunity*. Journal of Hazardous Materials, v. 150, n. 3, p.468–493, 2008.

SCHIRMER, W.N. *Amostragem, análise e proposta de tratamento de compostos orgânicos voláteis e odorantes na estação de tratamento de efluentes de uma refinaria de petróleo*. 2004. 140 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental)- Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2004.

SILVA, J. D. *Tratamento de lixiviados de aterro sanitário por lagoas de estabilização em série - estudo em escala piloto*. 2007. 199 f. Tese (Doutorado em Engenharia Ambiental) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2007.

SOUSA, K.P. *Estudo sobre compostos orgânicos voláteis presentes no ar no município de Paulínia*. 2002. 203 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química)- Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2002.

STRELAU, J.M. *Estudo comparativo de métodos de extração para determinação de compostos orgânicos em lixiviados de aterros sanitários por cromatografia gasosa*

acoplada a espectrometria de massas (GC/MS). 2006. 124 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental)- Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006.

USBERCO, J.; SALVADOR, E. *Química Orgânica*. São Paulo: Saraiva, 1997.

YUE, D.; XU, Y.; MAHAR, R. B.; LIU, F.; NIE, Y. *Laboratory-scale experiments applied to the design of a two-stage submerged combustion evaporation system*. Waste Management & Research, v. 27, n. 5, p. 704-710, 2007.