



Trabalho Final de Mestrado em Engenharia Ambiental  
Modalidade: Projeto

**PROJETO DE TRATAMENTO DO CHORUME PRODUZIDO NO ATERRO  
METROPOLITANO DE GRAMACHO ATRAVÉS DE “WETLAND”**

Autor: *José Carlos de Araujo Pires*  
Orientador: *João Alberto Ferreira*  
Co-orientadora: *Elisabeth Ritter*

Centro de Tecnologia e Ciências  
Faculdade de Engenharia  
Departamento de Engenharia Sanitária e do Meio Ambiente

Agosto de 2002

# **Livros Grátis**

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

# **PROJETO DE TRATAMENTO DO CHORUME PRODUZIDO NO ATERRO METROPOLITANO DE GRAMACHO ATRAVÉS DE “WETLAND”**

José Carlos de Araujo Pires

Trabalho Final submetido ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental da Universidade do Estado do Rio de Janeiro – UERJ, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Engenharia Ambiental.

**Aprovada por:**

---

Prof. João Alberto Ferreira, D.Sc.  
PEAMB/UERJ

---

Prof<sup>a</sup>. Elisabeth Ritter, D.Sc.  
PEAMB/UERJ

---

Prof<sup>a</sup>. Juacyara Carbonelli Campos  
PEAMB/UERJ

---

Dr<sup>a</sup>. Ana Ghislane Henriques Pereira

Universidade do Estado do Rio de Janeiro  
Agosto de 2002

PIRES, JOSÉ CARLOS DE ARAUJO

Projeto de Tratamento do Chorume  
Produzido no Aterro Metropolitano de Gramacho  
Através de “Wetland” [Rio de Janeiro 2002]

xi, 72 p. 29,7 cm (FEN/UERJ, Mestrado,  
Programa de Pós-graduação em Engenharia  
Ambiental - Área de Concentração: Saneamento  
Ambiental - Controle da Poluição Urbana e  
Industrial, 2002.)

Projeto - Universidade do Estado do Rio de  
Janeiro - UERJ

1. Tratamento do chorume
  2. Wetland
  3. Aterro Metropolitano de Gramacho
- I. FEN/UERJ II. Título (série)

Resumo do Trabalho Final apresentado ao PEAMB/UERJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia Ambiental

**Projeto de Tratamento do Chorume Produzido no Aterro Metropolitano de Gramacho  
Através de “Wetland”**

José Carlos de Araujo Pires

Agosto de 2002

Orientador: João Alberto Ferreira

Co-orientador: Elisabeth Ritter

Área de Concentração: Saneamento Ambiental - Controle da Poluição Urbana e Industrial

Um dos principais problemas relacionados ao gerenciamento de resíduos sólidos é o efetivo tratamento dos líquidos lixiviados produzidos em aterros sanitários. O volume gerado e a concentração do lixiviado produzido variam ao longo da vida do aterro. Aterros jovens produzem lixiviados com altas cargas orgânicas, podendo a DQO chegar a valores na ordem 30.000 mg/L.

Neste trabalho é apresentada a experiência realizada para o tratamento de lixiviado do Aterro de Jardim Gramacho – Duque de Caxias Rio de Janeiro, implantado em 1978 e que teve a sua recuperação ambiental iniciada em 1996.

O projeto foi desenvolvido com a implantação de dois “Wetlands” para tratamento simultâneo do chorume bruto e do chorume tratado, retirado após o decantador secundário da estação de tratamento do Aterro Metropolitano de Gramacho, objetivando definir índices e comparar resultados de forma a comprovar a sua utilização eficiente e de baixo custo no tratamento do lixiviado em aterros sanitários.

O presente trabalho aborda toda a fase de implantação do projeto e o início da operação do “Wetland”.

**Palavras-Chave:** Tratamento do chorume, Wetland, Aterro Metropolitano de Gramacho.

Abstract of Final Work presented to PEAMB/UERJ as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Environmental Engineering.

## **Project Of Leachate Treatment at Gramacho's Metropolitan Landfill Using Wetland**

José Carlos de Araujo Pires

Agosto de 2002

Advisors: João Alberto Ferreira

Elisabeth Ritter

Area: Environmental Sanitation - Urban and Industrial Pollution Control

One of the head problems related to the management of solid wastes is the effective treatment of leached produced in landfills. The volume and the composition of leachate changes along the landfill's life. New landfills produce leachate with high organic charge, that might makes the DQO reaches, value of 7000 mg/l.

On this research is presented the accomplished experience for the treatment of the leachate from Gramacho's Metropolitan landfill in Duque de Caxias (RJ).

The project was developed with the construction of two experimental "Wetlands" for treatment of gross leachate and treated leachate, from the secondary settler of Gramacho's landfill treatment plant, with aim is to describe precisely a table of contents and compare the results in such a way that proves its efficient and at low costs utilization on the leachate's treatment in landfills.

This study approaches on all the project's implantation phase and the beggining of wetlands' operation.

**Key words:** Treatment of the leachate, Wetland, Gramacho's Metropolitan landfill

## **AGRADECIMENTO**

À minha esposa Madalena e aos meus filhos Rafael e Bruno, que me incentivaram a cursar o Mestrado e assumiram as minhas atividades familiares para que eu pudesse estudar com tranquilidade e dedicação.

Aos meus amigos da COMLURB que muitas vezes aumentaram a sua carga de trabalho para que eu pudesse assistir às aulas no horário comercial.

À COMLURB, através da Diretoria Industrial, que permitiu dentro do meu horário de trabalho frequentar às aulas e desenvolver a pesquisa nas instalações do Aterro Metropolitano de Gramacho.

A todos que participaram, direta ou indiretamente, do meu processo de formação no Mestrado em Engenharia Ambiental, o meu muito obrigado com a certeza que sem vocês a jornada teria sido muito mais difícil.

## SUMÁRIO

<b>RESUMO</b>	<b>iv</b>
<b>ABSTRACT</b>	<b>v</b>
<b>AGRADECIMENTO</b>	<b>vi</b>
<b>LISTA DE FIGURAS, FOTOS, TABELAS E GRÁFICOS.</b>	<b>ix</b>
<b>LISTA DE SÍMBOLOS E SIGLAS</b>	<b>xi</b>
<b>1. INTRODUÇÃO</b>	<b>1</b>
<b>2. TÉCNICAS DE TRATAMENTO DE CORUME</b>	<b>3</b>
<b>2.1 <u>Recirculação do chorume</u></b>	<b>3</b>
<b>2.2 <u>Evaporação</u></b>	<b>5</b>
<b>2.3 <u>Tratamento biológico do chorume</u></b>	<b>6</b>
<b>2.3.1 Processos biológicos aerados</b>	<b>6</b>
<b>Lodos ativados</b>	<b>6</b>
<b>Lagoas aeradas</b>	<b>7</b>
<b>Filtros biológicos</b>	<b>9</b>
<b>Wetland</b>	<b>11</b>
<b>2.3.2 processos biológicos anaeróbios</b>	<b>11</b>
<b>Lagoas anaeróbias</b>	<b>11</b>
<b>Filtros anaeróbios e sistemas híbridos</b>	<b>12</b>
<b>2.4 <u>Processos de separação com membranas</u></b>	<b>13</b>
<b>2.5 <u>Processos oxidativos</u></b>	<b>14</b>
<b>2.6 <u>Outras técnicas de tratamento</u></b>	<b>15</b>
<b>2.7 <u>“Wetlands” construídos</u></b>	<b>16</b>
<b>Compostos orgânicos</b>	<b>17</b>
<b>Metais</b>	<b>18</b>
<b>Vegetação de “Wetland”</b>	<b>18</b>
<b>2.8 <u>Considerações sobre as técnicas descritas</u></b>	<b>19</b>
<b>3. O ATERRO METROPOLITANO DE GRAMACHO</b>	<b>20</b>
<b>3.1 <u>Características dos resíduos produzidos na cidade do rio de Janeiro</u></b>	<b>20</b>
<b>3.2 <u>Características do chorume do Aterro Metropolitano de Gramacho</u></b>	<b>24</b>
<b>3.3 <u>A recuperação ambiental e os resultados atingidos</u></b>	<b>32</b>
<b>3.4 <u>O tratamento do chorume através da Estação de Tratamento – ETC</u></b>	<b>33</b>
<b>4. OBJETIVO DA PESQUISA E METODOLOGIA</b>	<b>36</b>
<b>5. DESCRIÇÃO DAS UNIDADES EXPERIMENTAIS DE CAMPO</b>	<b>38</b>
<b>5.1 <u>Sistema de captação, transporte, medição da vazão e distribuição</u></b>	<b>38</b>
<b>5.2 <u>Implantação do “Wetland”</u></b>	<b>40</b>

<b>Definição da vazão de projeto</b>	<b>41</b>
<b>Plantio da vegetação local</b>	<b>42</b>
<b>Start-up do sistema</b>	<b>42</b>
<b>Medição das vazões</b>	<b>43</b>
<b>6. ANÁLISE DOS RESULTADOS INICIAIS</b>	<b>46</b>
<b>7. CONCLUSÕES</b>	<b>49</b>
<b>8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>50</b>
<b>9. ANEXO I – FOTOS</b>	<b>53</b>

## ÍNDICE DAS FIGURAS, FOTOS, TABELAS E GRÁFICOS.

Figura 1	Esquema simplificado de tratamento por lodo ativado	7
Figura 2	Principais características dos processos de microfiltração, ultrafiltração, nanofiltração e osmose inversa	13
Figura 3	Seqüência de tratamentos físico-químicos (adaptado de McBean – 1995)	16
Figura 4	Processo indicado para o tratamento do chorume do Aterro	31
Figura 5	Desenho esquemático da ETC com os “Wetlands”	45
Foto 1	Vista aérea do Aterro antes da recuperação ambiental	53
Foto 2	Vista aérea do Aterro no início da recuperação ambiental	53
Foto 3	Vista aérea da Estação de Tratamento de Chorume do Aterro	54
Foto 4	Limpeza da vala de coleta do chorume	54
Foto 5	Tomada do chorume na lagoa de equalização	55
Foto 6	Tanque de homogeneização	55
Foto 7	Misturador da solução de cal com chorume	56
Foto 8	Decantador de cal	56
Foto 9	Calhas de pré-sedimentação com medidor de vazão	57
Foto 10	Decantador primário	57
Foto 11	Tanque de aeração	58
Foto 12	Decantador secundário	58
Foto 13	Calha periférica do decantador	59
Foto 14	Poço de sucção	59
Foto 15	Filtro de areia	60
Foto 16	Tanque pulmão	60
Foto 17	Pré-filtros de cartuchos de 20 micras	61
Foto 18	Nanofiltração	61
Foto 19	Descarte do efluente tratado	62
Foto 20	Poço de lodo	62
Foto 21	Adensador do lodo	63
Foto 22	Prensa desaguadora do lodo	63
Foto 23	Saída do tanque de homogeneização	64
Foto 24	Tê e registro de gaveta	64
Foto 25	Saída da bomba do filtro de areia	65
Foto 26	Caixa de acumulação de chorume	65
Foto 27	Caixa medidora de vazão	66
Foto 28	Barra espargidora	66

Foto 29	Lagoa de polimento	67
Foto 30	Colocação de argila na lagoa	67
Foto 31	Selo de argila no fundo do “Wetland”	68
Foto 32	Chegada do rachão	68
Foto 33	Rachão espalhado no fundo do “Wetland”	69
Foto 34	Enchimento e cubagem do “Wetland”	69
Foto 35	Plantio do capim no “Wetland”	70
Foto 36	Descarga de chorume no “Wetland”	70
Foto 37	Medição da vazão do chorume	71
Foto 38	Substituição da tubulação de PVC	71
Foto 39	Tubulação entupida por material depositado	72
Tabela 1	Resultados de tratamento de chorume por lagoa aerada	9
Tabela 2	Série histórica das análises gravimétricas do lixo feito pela COMLURB	22
Tabela 3	Composição química de diversos chorumes	27
Tabela 4	Caracterização do chorume bruto de formação recente	28
Tabela 5	Caracterização do chorume bruto de formação antiga	29
Tabela 6	Caracterização do chorume bruto de formação antiga	30
Tabela 7	Resultados de medições de vazão nos “Wetlands”	44
Tabela 8	Quadro Comparativo de Custos	47
Tabela 9	Quadro do custo do tratamento do chorume por m <sup>3</sup>	48
Gráfico 01	Evolução da produção papel/papelão, plástico, vidro, e matéria orgânica.	23

## LISTA DE SÍMBOLOS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de normas Técnicas
AMG	Aterro Metropolitano de Gramacho
BID	Banco Interamericano de Desenvolvimento
CECA	Comissão Estadual de Controle Ambiental
CIPA	Comissão Interna de Prevenção de Acidentes
COMLURB	Companhia Municipal de Limpeza Urbana
COOPERGRAMACHO	Cooperativa de Catadores de Jardim Gramacho
DBO	Demanda Biológica de Oxigênio
DQO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
ETC	Estação de Tratamento de Chorume do Aterro Metropolitano de Gramacho
FCC	Fábrica Carioca de Catalisadores
FEEMA	Fundação Estadual do Meio Ambiente
FEN	Faculdade de Engenharia
FUNDREM	Fundação para o Desenvolvimento da Região Metropolitana
NBR	Norma Brasileira
NT	Norma Técnica
PEAD	Polietileno de alta densidade
PNSB	Programa Nacional de Saneamento Básico
SISTRACHO	Sistema de Tratamento de Chorume para Pequenos e Médios Municípios
TECMA	Tecnologia em Meio Ambiente Ltda.

## 1. INTRODUÇÃO

O significativo aumento na produção dos resíduos gerados pelo homem ao longo do tempo em função da industrialização de vários setores da economia vem sendo um dos grandes desafios para as áreas responsáveis pela pesquisa, planejamento e operação do sistema de destino final desses resíduos.

No Brasil, o poder público Municipal é o responsável pelo destino dos resíduos domiciliares e em algumas cidades até dos resíduos industriais. Em muitos casos, por falta de conhecimento técnico ou falta de recursos, esses resíduos são dispostos de forma inadequada, acarretando sérios problemas de contaminação do solo, das águas subterrâneas e superficiais e do ar.

A produção per capita de resíduos sólidos domiciliares no Brasil varia de 0,5 a 1,0 kg/hab.dia, estimando-se uma produção média diária de 120.000 toneladas que devem ser acrescidas de 20 a 30 mil toneladas recolhidas dos logradouros públicos.

A Pesquisa Nacional de Saneamento Básico PNSB/2000, realizada pelo IBGE em todos os municípios brasileiros, classifica a destinação dos resíduos sólidos domiciliares, públicos e comerciais da seguinte forma: 21,25 % em lixões, 37,02 % em aterros controlados, 36,18 % em aterros sanitários, 4,31 % tratado através de reciclagem, compostagem e incineração e 1,24 % em locais não fixos e outros.

No que diz respeito à disposição final e tratamento dos resíduos, segundo Ferreira (1999), além de ainda ser a forma técnica mais utilizada no mundo para a disposição de resíduos urbanos, o aterro sanitário é elemento final obrigatório em um sistema integrado de gerenciamento de resíduos sólidos. O autor observa que mesmo em países onde se pratica a redução, a reciclagem, a transformação térmica (incineração) e o tratamento em usinas de reciclagem e compostagem, o resíduo restante deve ser disposto no solo, em aterros sanitários.

A NBR 8419/84 da Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT, define o aterro sanitário como uma “técnica de disposição de resíduos sólidos urbanos no solo sem causar danos à saúde pública e à sua segurança, minimizando os impactos ambientais, método este que utiliza princípios de engenharia para confinar os resíduos sólidos à menor área possível e reduzi-los ao menor volume possível, cobrindo-os com uma camada de terra na conclusão de cada jornada de trabalho, ou a intervalos menores, se for necessário”.

O planejamento, implantação e operação de um aterro sanitário devem considerar a seleção adequada da área, o projeto, a coleta e o tratamento do líquido percolado, a captação e o tratamento dos gases, o monitoramento da qualidade ambiental e o encerramento do aterro, de forma a não se permitir eventuais contaminações do ecossistema local.

Um dos maiores contaminantes do solo, das águas subterrâneas e superficiais, o chorume, também denominado líquido percolado, é o resultado da ação enzimática dos microrganismos e dos produtos resultantes da degradação dos resíduos, e da infiltração de água nos aterros. O desenvolvimento da atividade microbiana no interior das células de aterramento, associado a fatores ambientais, é capaz de promover a percolação de quantidade significativa de chorume. Em função da elevada concentração de matéria orgânica e outros materiais inorgânicos, o chorume constitui-se como um poluente extremamente agressivo ao ambiente, necessitando de tratamento anterior ao seu lançamento no corpo receptor.

O chorume gerado em aterros de resíduos sólidos urbanos contém altas concentrações de cloretos, sulfatos, sódio, potássio e cálcio e em alguns casos baixas concentrações de metais pesados como cádmio, cobre, cromo, chumbo, ferro, manganês, níquel e zinco.

A presença nos resíduos urbanos de materiais orgânicos de difícil degradação e de constituintes químicos confere ao chorume uma característica recalcitrante (em termos de tratamento biológico) e uma DQO em geral elevada, dificultando o seu tratamento em sistemas convencionais.

O presente trabalho está inserido em uma pesquisa cujo objetivo é avaliar a eficiência técnica e econômica do uso de plantas aquáticas em diferentes substratos, o “Wetlands”, para o tratamento do chorume produzido em aterro de resíduos sólidos urbanos.

Trata-se de um método, no qual, se procura reproduzir artificialmente, os processos de atuação da natureza em pântanos naturais na atenuação de impactos ambientais.

Nos capítulos que se seguem são discutidos as técnicas de tratamento de chorume mais usuais (Capítulo 2); é feita uma descrição do Aterro Metropolitano de Gramacho, dos problemas ambientais ao longo da sua vida e das suas condições atuais, bem como as características dos resíduos ali dispostos (Capítulo 3); os objetivos do presente trabalho e a sua metodologia (Capítulo 4).

Todo o processo de construção das unidades de campo está detalhado no Capítulo 5, incluindo a fase inicial de colocação dos “Wetlands” em regime regular de operação.

Finalmente, no Capítulo 6 estão apresentados os primeiros resultados da pesquisa e as conclusões preliminares.

## **2. TÉCNICAS DE TRATAMENTO DE CHORUME**

O levantamento bibliográfico, executado por Ferreira et al. (2002), é relevante para o conhecimento das técnicas de tratamento de chorume, cumprindo duas finalidades importantes. Primeiro demonstrando a importância de como a questão é vista no mundo inteiro. Segundo, porque possibilita o conhecimento das diversas alternativas de tratamento que estão sendo utilizadas. As alternativas de tratamento podem ser no próprio aterro “on-site” ou um sistema externo de tratamento “off-site”. Como o sistema de “Wetland”, na sua grande maioria, é um tratamento no próprio aterro, o estudo feito por Ferreira et al. (2000) contempla várias alternativas “on-site” utilizadas para o tratamento do chorume. Destacam-se entre os principais processos: os tratamentos biológicos aeróbios e anaeróbios, os processos oxidativos, os processos de separação com membranas, entre outros.

Vale a pena ressaltar que, em alguns casos, utiliza-se uma combinação entre processos, como concluiu Cammarota et al (1994), em virtude da alta resistência à biodegradação do chorume.

### **2.1 Recirculação do chorume**

A recirculação do chorume consiste na reinjeção do líquido percolado na massa de lixo já aterrada e é considerado um método de tratamento uma vez que propicia a atenuação dos constituintes pela atividade biológica e por reações físico-químicas que ocorrem no interior do aterro, como por exemplo, a conversão dos ácidos orgânicos presentes no chorume em  $\text{CH}_4$  e  $\text{CO}_2$ . É importante ressaltar que um aterro sanitário é um grande reator (não controlado) anaeróbio e a recirculação do chorume aumenta o seu tempo dentro do reator (Tchobanoglous et al., 1993; McBean et al., 1995).

O efeito de aceleração na estabilização da matéria orgânica presente nos resíduos aterrados promovido pela recirculação do chorume foi estudado por diversos autores (Pohland, 1975; Tchobanoglous et al., 1993; McBean et al., 1995; Reinhart & Al-Yousfi., 1996; Reinhart, 1996; Chugh et al., 1998).

A recirculação do chorume aumenta a perda por evaporação diminuindo o seu volume. Em países localizados em regiões tropicais, como é o caso do Brasil, a recirculação diminui significativamente o volume do chorume em função da evaporação, que é favorecida pelas condições ambientais (temperatura ambiente, ventos, radiação solar e etc.). Além disso, a recirculação permite uma maior flexibilidade no gerenciamento das variações da quantidade de chorume.

De forma geral, os estudos apresentados na literatura mostram que a recirculação reduz o tempo de estabilização dos resíduos, melhora a qualidade do chorume, possibilita a redução do volume gerado e aumenta a taxa de produção de gás no aterro (Scrudato et al., 1993; Vizler et al., 1993).

Segundo Chugh et al. (1998) a água é essencial para transportar substrato para microorganismos e o produto residual destes. Na ausência de descarga líquida, os produtos residuais se acumulam em concentrações tóxicas ao redor dos microrganismos. A água também é necessária para o transporte de nutrientes e transferência de calor. Assim, o fluxo de umidade através de um aterro pode estimular a atividade microbiana fornecendo melhor acesso de substratos insolúveis e nutrientes solúveis para os microrganismos. Ainda segundo Chugh et al. (1998), o teor de umidade e o movimento de umidade são variáveis separadas, afetando a metanogênese do aterro. O fluxo de umidade através de um leito de resíduos aumenta a taxa de produção de metano de 25 a 50 % em relação ao mesmo teor de umidade, sem fluxo de umidade. Este aumento da taxa metanogênica é atribuído a uma distribuição mais uniforme de nutrientes, aos precursores metanogênicos e ao acerto do pH.

Em relação aos metais pesados, nos aterros convencionais a remoção primária de metais ocorre por arraste. Nos aterros com recirculação de chorume, os mecanismos de remoção primária de metais são por precipitação com sulfeto e hidróxido. Em geral, em aterros convencionais de resíduos sólidos urbanos, o chorume tem baixa concentração de metais pesados.

Uma maior produção de gás é observada em aterros que recirculam o chorume. Este fato pode ter implicações positivas para produção de energia e minimizar o impacto ambiental, se o gás produzido for administrado de maneira adequada.

Estudos de Reinhart & Al-Yousfi, (1996) que investigaram o impacto da recirculação de chorume no assentamento (recalque) dos resíduos, mostraram que esta técnica aumentou a eficiência de compactação do aterro, facilitando o aproveitamento futuro do terreno do aterro. Os mesmos autores citam, ainda, que uma economia de US\$6250,00/hectare.ano é esperada em aterros que utilizam a técnica de recirculação do chorume, devido a uma menor necessidade de cuidados no controle do recalque durante e após a vida útil do aterro, menor geração de passivo ambiental e melhor recuperação de espaço.

Segundo Reinhart (1996), as vantagens de recirculação de chorume estão relacionadas à distribuição de nutrientes e enzimas pH tampão, diluição de compostos inibitórios, estocagem e evaporação do líquido. A recirculação é capaz de reduzir o tempo

necessário para estabilização do aterro desde algumas décadas para 2 ou 3 anos, minimizando, assim, impactos ambientais adversos a longo prazo.

Em oito aterros estudados nos Estados Unidos constatou-se que a eficiência da distribuição do chorume e absorção de umidade pelo resíduo varia com o equipamento utilizado para recircular o chorume (Reinhart, 1996). Métodos de recirculação corretamente empregados incluem: pré-umidificação do resíduo, pulverização, lagoas superficiais, poços de injeção vertical e horizontal, e dispositivos para a infiltração. Esses métodos também se diferenciam na capacidade de recirculação de chorume, redução de volume e compatibilidade com fases ativas e fechadas da operação do aterro.

A pré-umidificação do resíduo foi praticada durante muitos anos como um método para aumentar eficiência da compactação. Atualmente esta metodologia tem sido aplicada com o chorume, possuindo a vantagem de ser um método simples, porém, sendo raramente utilizada em operações de larga escala. No processo de pulverização do chorume, é necessária a abertura de sulcos com o objetivo de aumentar a taxa de infiltração. Problemas ligados ao odor e névoa de chorume ocorrem freqüentemente.

Na recirculação de chorume utilizando lagoas de infiltração superficial, as lagoas coletam a água da chuva e podem ser fontes de odores, não sendo compatível com uma cobertura final e impermeável do aterro. Os poços de injeção vertical são uma técnica muito utilizada para recirculação de chorume e a principal variável do processo é o espaçamento entre os poços que podem interferir na disposição e compactação do resíduo.

Nos poços de injeção horizontal, valas são escavadas e preenchidas com material permeável como, por exemplo, cascalho ou lascas de pneus e então o chorume é ora alimentado para o tubo perfurado por gravidade, ora injetado. Neste caso, o chorume pode ser injetado na fase ativa do aterro, assim como no seu encerramento.

Nos dispositivos de infiltração, a tendência atual é por sistemas verticais ou horizontais ou ainda pela combinação dos dois sistemas.

A técnica de re-introdução de chorume por sistemas horizontais mostra-se o meio mais popular e eficiente de introduzir grandes volumes de chorume. O entupimento desses sistemas assim como o impacto da compactação do aterro na integridade do sistema devem ser examinados durante a aplicação em longo prazo.

## **2.2 Evaporação**

Na medida em que as condições climáticas favoreçam a evaporação (ou a evapotranspiração se houver área com vegetação), os processos de tratamento de chorume devem levar isto em consideração.

A utilização de lagoas, valos, tanques de acumulação, etc. irão possibilitar um aumento na taxa de evaporação do chorume. Contudo, é preciso considerar que a acumulação do chorume pode gerar a presença de odores (Tchobanoglous et al., 1993; McBean et al., 1995). Dependendo do grau de evaporação ocorre um aumento na concentração de sais solúveis tais como cloreto de sódio, que podem atingir níveis inibidores para os processos biológicos.

## **2.3 Tratamento biológico do chorume**

O tratamento biológico tem por objetivo estabilizar os constituintes orgânicos do chorume reduzindo a sua DBO a valores compatíveis com o meio ambiente (e com a legislação). Os tratamentos biológicos podem ser aeróbios ou anaeróbios.

### **2.3.1 Processos biológicos aerados**

Dentre os processos aeróbios, os processos mais conhecidos e utilizados são os de lodos ativados, lagoas aeradas e filtros biológicos, que estão descritos a seguir;

#### **Lodos ativados**

O processo de lodos ativados ilustrado na figura 01 onde o fluxo do efluente não tratado passa por um reator com aeração forçada e é encaminhado a um sedimentador, pode ser definido como um sistema no qual uma cultura heterogênea de microorganismos, em contato com o efluente e na presença de oxigênio, tem a capacidade de estabilizar a matéria orgânica biodegradável. Bactérias, fungos, protozoários e alguns metazoários, tais como vermes, são comumente encontrados nos lodos ativados, embora nem todos ocorram simultaneamente. O termo lodos ativados designa a massa microbiana floculenta que se forma quando esgotos e outros efluentes biodegradáveis são submetidos a aeração.

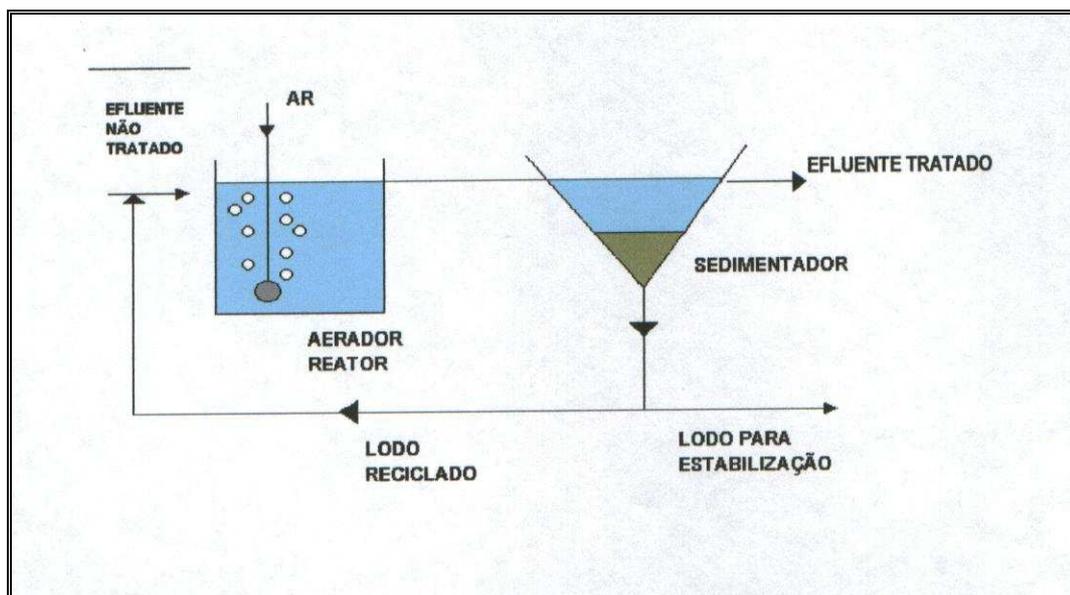


Figura 1 – Esquema simplificado de tratamento por lodo ativado

Para que os microrganismos possam atuar são necessárias condições adequadas, tais como a quantidade disponível de substrato (efluente), de oxigênio, pH, temperatura e nutrientes (N e P). Em geral, utilizam-se tanques de aeração nos quais o efluente é introduzido, sendo o oxigênio fornecido sob a forma de bolhas, através de difusores, ou por meio de agitação mecânica turbulenta.

São utilizadas tanto a aeração com ar, quanto com oxigênio puro, para a remoção da carga de nitrogênio presente no chorume, além de substâncias biodegradáveis. O processo pode ser inibido (principalmente a nitrificação) pela presença de substâncias tóxicas e variação da temperatura e do pH do chorume. É utilizado como pré-tratamento de processos de osmose inversa ou na seqüência de outros tratamentos. No caso de chorume velho (pobre em orgânicos biodegradáveis) a relação C/N pode ser muito baixa para o processo biológico.

Segundo McBean (1995), além da redução de DBO, a nitrificação da amônia é um aspecto importante do tratamento biológico nas instalações de lodos ativados, pois quanto mais antigo o aterro, maior a concentração de nitrogênio no chorume.

### **Lagoas aeradas**

São bacias de profundidades que variam entre 1,50 a 3,00 metros, sendo o fornecimento de oxigênio feito com unidades mecânicas especiais para a aeração (aeradores de superfície) e com baixa taxa de aplicação de carga orgânica e elevado tempo de detenção.

A diferença fundamental entre a lagoa aerada e o reator de lodo ativado reside no fato de, que na lagoa aerada não há reciclo do lodo, ou seja, o lodo formado, juntamente com

o despejo tratado, é lançado diretamente no corpo receptor ou, se necessário, enviado para unidades de tratamento de lodo. Os tempos de retenção são elevados e a carga mássica e volumétrica são menores. Existem lagoas nas quais ocorrem também a sedimentação e digestão do lodo (lagoas aeradas facultativas).

O processo de lagoas aeradas é recomendável quando existem grandes áreas de terras disponíveis. Este processo é de elevada eficiência, baixo custo de instalação e manutenção e de operação fácil e econômica. Apresenta, ainda, a vantagem de ser pouco sensível às oscilações de sobrecarga orgânica. Atinge alta eficiência de remoção de 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, necessitando a remoção desta camada de lodo para que seja mantido o volume útil necessário ao processo de tratamento.

Haarstad & Maehlum (1999) discutem a situação dos aterros sanitários de resíduos sólidos municipais da Noruega (cerca de 250 em operação) e apresentam o quadro existente sobre tratamento de chorume. As preocupações com a simplicidade e com os custos do sistema aparecem como referência no estabelecimento dos sistemas de tratamento de chorume. A legislação norueguesa de 1994 estabelece como ideal para o tratamento de chorume, sistemas que possam ser facilmente adaptáveis à qualidade do mesmo, serem resistentes às variações da vazão e concentrações, serem capazes de remover um grande número de compostos (que podem impactar o meio ambiente), serem fácil de operar e de pouca manutenção, e ainda ter baixo consumo de energia e custos compatíveis. Uma seqüência que se enquadra dentro destes requisitos e é considerada adequada às condições da Noruega é a utilização de lagoas aeradas em combinação com sistemas naturais tais como: infiltração no solo, irrigação e “Wetlands” (leito de plantas aquáticas).

Em geral, as lagoas aeradas são utilizadas como etapa que precede a disposição final de chorume em estações de tratamento de esgotos. Bons resultados de biodegradação são obtidos principalmente para chorumes novos. Desde que haja área disponível e vento, a aeração de lagoas pode ser obtida naturalmente sem a utilização de mecanismos artificiais (aeradores mecânicos, difusores). A característica recalcitrante de alguns componentes do chorume (responsável pelo elevado valor de DQO) pode limitar a capacidade de seu tratamento por lagoas aeróbias. A tabela 1 apresenta alguns resultados de tratamento de chorume por lagoa aerada que apresentam redução da DBO superiores a 93 %.

**Tabela 1 – Resultado do Tratamento de Chorume por Lagoa Aerada**

ESTUDO	DBO (mg/L)		COMENTÁRIOS
	Afluente	Efluente	
Boyle & Ham (1974)	2.900	200	Problemas de espuma
Cook & Foree (1974)	7.100	26	Adicionada cal e fosfato
Uloth & Mavinic (1977)	36.000	32	Adicionado N e P (problemas de espuma)
Chian & de Walle (1977)	35.200	1.030	Adicionado P

De acordo com Robinson & Barr (1999), o tratamento de chorume no próprio aterro sanitário onde ele é produzido é uma prática difundida no Reino Unido, requerendo o uso de tecnologias já dominadas e apresentando bons resultados, quaisquer que sejam os níveis de exigência de qualidade para os efluentes gerados. É ressaltado que o custo efetivo das instalações é acessível inclusive para aterros de pequeno porte, observada a variação na complexidade dos sistemas de tratamento implantados, e que as instalações podem ser facilmente operadas pelos próprios funcionários do aterro.

As experiências de maior sucesso para tratamento de chorume envolvem o processo biológico em lagoas e tanque de aeração. Alguns estudos de caso mostram que é possível se projetar soluções adequadas a uma grande variedade de portes e tipos de aterros, superando dificuldades como baixa tratabilidade e exigências severas, por parte de órgãos ambientais, para o lançamento do efluente em corpos hídricos.

Os sistemas utilizados para chorume de aterros de pequeno porte podem ser constituídos de simples lagoas de aeração, projetadas para fazer um pré-tratamento, antes do lançamento do efluente na rede de esgotos para tratamento final. Nos aterros de pequeno porte algumas vezes são utilizados, como parte complementar do processo, tanques de aeração providos de seqüências de séries de reatores, a fim de acelerar o processo de estabilização de compostos orgânicos, nitrogênio amoniacal por parte de microorganismos aeróbios e sistemas de pulverização do efluente sobre a área do aterro.

Em se tratando de aterros de grande porte, os sistemas adotados para tratamento do chorume produzido envolvem, além das lagoas e tanques de aeração, “Wetlands” e adição de ozônio com o objetivo de quebrar cadeias de elementos tóxicos, transformando-os em moléculas orgânicas menores (Robinson & Barr; 1999).

### **Filtros biológicos**

No processo de filtração biológica, o efluente líquido é aspergido sobre pedras ou suportes de plástico, onde são aderidos os microorganismos. Nestas unidades os

microorganismos atuantes na estabilização da matéria orgânica estão aderidos a um leito fixo, isto é, às paredes do material do recheio, ao contrário do processo do lodo ativado, no qual se encontram em suspensão. Forma-se sobre o suporte um biofilme de natureza mista: na parte interna, uma camada anaeróbia, na intermediária, uma mista e na parte externa, uma aeróbia. A eficiência do tratamento varia com a carga poluidora, com a vazão através do filtro e com as características do efluente. Os valores de remoção da DBO, em geral, situam-se entre 80 % e 90 %. Normalmente é necessária uma sedimentação secundária.

No filtro biológico há o contato direto do substrato com o ar atmosférico e com os microorganismos que se desenvolvem aderidos à superfície do meio poroso. Além da remoção de compostos orgânicos biodegradáveis, pode ocorrer nitrificação. Um dos problemas que pode ocorrer é o entupimento do filtro quando utilizado no tratamento do chorume (McBean et al., 1995).

Em alguns aterros da Noruega (Haarstad & Maehlum, 1999) estão sendo aplicadas técnicas de filtração simples, utilizando como meio filtrante cascas de árvores, turfas, materiais de construção como madeiras ou concreto triturado. Os filtros de casca de árvore podem suprir o consumo de O<sub>2</sub>, na ordem de 200 a 3000mg/L de DQO e 50 a 1000 mg/L de carbono orgânico total, dependendo do fluxo e do tempo de residência. Os filtros com concreto triturado podem remover cor do chorume e aumentar o seu pH.

Segundo McBean et al. (1995) os processos de tratamento aeróbio de chorume apresentam os seguintes aspectos negativos:

- Não funcionam bem na presença de metais tóxicos (ex: Cu, Zn e Ni podem inibir a nitrificação);
- É frequente a deficiência de fósforo no chorume, o que pode exigir a adição de fósforo para assegurar o tratamento aeróbio;
- Pode ocorrer a formação de espumas na aeração artificial;
- A precipitação de CaCO<sub>3</sub> e ferro pode causar dificuldades com o equipamento de aeração;
- A oxigenação artificial é cara.

Uma das preocupações com o tratamento do chorume é o seu custo. Por isso soluções alternativas são propostas. Da cidade de Kemi, na Finlândia, vem uma notícia de que no aterro de Holstinharjn foi construída uma torre com cerca de 10 m de altura, utilizando-se postes descartados pela companhia de energia local. A torre foi preenchida com galhos de salgueiro. O chorume é bombeado para o topo da torre, escorrendo pelos galhos, sendo aerado e sofrendo decomposição biológica (Jornal DEMARI 29/08/97).

Uma proposta mais elaborada é apresentada pela empresa GEODESIGN AB da Suécia, com a construção de uma torre em módulos de vigas de concreto preenchidas com um meio filtrante formando uma espécie de reator aeróbio não controlado (ou filtro biológico). O meio filtrante pode ser constituído de argila expandida ou galhos de árvores. O chorume é lançado no topo da torre e escorre pelo meio filtrante. O tratamento se dá por perdas por evaporação, aeração e decomposição biológica.

### **“Wetland”**

No Reino Unido a técnica de “Wetlands” tem sido muito utilizada. O uso de leitos com plantas aquáticas tem demonstrado bons resultados na remoção de componentes orgânicos e pobres na remoção de nitrogênio amoniacal, o que limita o seu uso no tratamento de chorume bruto (Robinson, 1993). Entretanto, tais sistemas têm sido considerados potenciais como tratamento secundário de chorume, que tenha sido previamente tratado em sistemas biológicos aeróbios. Há uma proposta de um projeto de pesquisa do governo Inglês para estudar o tratamento de chorume através de um sistema composto de uma lagoa aerada (artificialmente) seguida pela passagem do efluente num leito de pedregulho onde crescem plantas aquáticas “wetland”. Os objetivos são determinar parâmetros de projeto e operacionais e avaliar a eficiência de remoção do sistema, tanto para orgânicos como para nitrogênio amoniacal. Plantas aquáticas tem uma relativa resistência a salinidade elevadas o que é uma das características do chorume de aterros sanitários, principalmente quando o chorume é recirculado. Os resultados preliminares mostram uma eficiente remoção de sólidos em suspensão e de DBO. Já para a DQO, os resultados não foram bons.

### **2.3.2 Processos biológicos anaeróbios**

#### **Lagoas anaeróbias**

Nas lagoas anaeróbias, a degradação da matéria orgânica ocorre na ausência de oxigênio. A profundidade dessas lagoas está na faixa de 2,00 a 4,00 metros, e elas podem ocupar áreas menores do que as lagoas aeróbias ou facultativas. Operam sem muitos cuidados operacionais e, em geral, a remoção da 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). A aplicabilidade seria no caso de chorumes novos.

## **Filtros Anaeróbios e Sistemas Híbridos**

Os processos anaeróbios têm se mostrado eficientes na remoção de metais pesados na forma de sulfetos. Também são obtidas reduções significativas de DQO. Os processos anaeróbios são mais eficientes no tratamento de chorume novo. Apesar disto, podem ser obtidos resultados que sejam suficientes para assegurar um tratamento adequado ao chorume em aterros sanitários.

Segundo alguns autores (Iglesias et al., 1999; Borzacconi et al. 1999), os processos de tratamento anaeróbio de chorume são mais vantajosos que os aeróbios.

As desvantagens dos processos anaeróbios mais citadas (McBean et al., 1995) são:

- Necessidades de temperaturas maiores que 15 °C;
- Exigência de longo tempo de retenção;
- Remoção completa de inorgânicos;
- Redução limitada de  $\text{NH}_3\text{-N}$ .

Moraes e Gomes (1993) testaram em laboratório o tratamento de chorume em reator anaeróbio híbrido de fluxo ascendente com manta de lodo e filtro. O chorume utilizado foi o do Aterro Sanitário de Bandeirantes da Cidade de São Paulo, com DQO em torno de 15.000 mg/L e DBO de 10.200 mg/L. Os testes foram feitos com adição de fósforo para assegurar uma concentração de 120 mg/L. A remoção obtida foi de 51,7% a 66% de DQO e de 58,3% a 70,6% de DBO, demonstrando a viabilidade do tratamento em reator anaeróbio híbrido como pré-tratamento de chorume.

Borzacconi et al (1999) estudaram a redução da matéria orgânica do chorume do aterro sanitário de Montevideu utilizando um reator anaeróbio seguido de um reator aeróbio rotativo de contato. O sistema foi operado durante cerca de 1 ano. Neste sistema foi necessária a adição de fósforo (fosfato) no reator anaeróbio de forma a se obter uma decomposição anaeróbia eficiente. Os valores de remoção obtidos no experimento foram elevados demonstrando a eficiência do sistema. O reator anaeróbio obteve redução de DQO em torno de 80 % para uma carga de 20 kg DQO  $\text{m}^3 \text{d}^{-1}$ . A eficiência do conjunto foi de cerca de 94 % de redução de DQO. Além disso, a produção de lodo é a metade daquela obtida quando se usa um reator aeróbio no lugar de um anaeróbio. Também o consumo de energia é baixo, o que favorece os custos do sistema.

## 2.4 Processos de separação com membranas

Processos com membrana para os quais a diferença de pressão é a força motriz tem sido utilizada para concentrar, fracionar e purificar soluções, em particular soluções aquosas. Em função da natureza e do tipo de solutos e da presença ou não de partículas em suspensão, membranas com diferentes tamanhos e distribuição de poros são empregadas, caracterizando os processos conhecidos como microfiltração, ultrafiltração, nanofiltração e osmose inversa.

Esses processos podem ser entendidos como uma extensão dos processos de filtração clássica que utilizam, nesta seqüência, meios filtrantes (membranas) cada vez mais fechados, ou seja, com poros cada vez menores. Na Figura 2 apresentada na pagina seguinte, são apresentadas as principais características dos processos com membranas citados onde pode ser observado a eficiência dos processo de nanofiltração e osmose inversa.

Peters (1998) avaliou dados obtidos de mais de 150 aterros sanitários da Alemanha e concluiu que a maior parte do chorume é inorgânica, compreendendo 80 a 95 % dos componentes dissolvidos no chorume. Em virtude disso, a aplicação de um tratamento biológico não seria apropriada. Desta maneira foi estudada a utilização de processos de nanofiltração e osmose inversa para tratar o chorume, atingindo de 75 a 80 % de eficiência e reinjetando o concentrado no aterro.

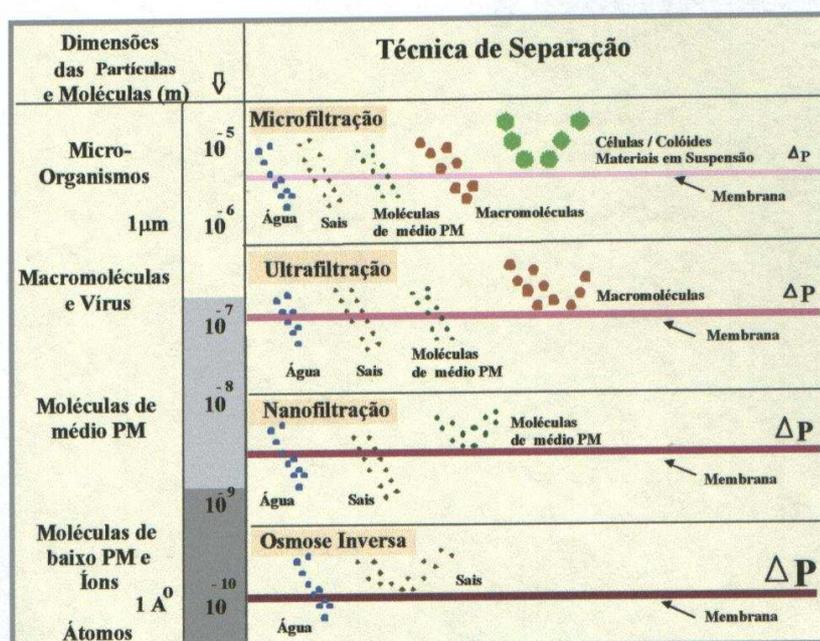


Figura 2 – Principais características dos processos de microfiltração, ultrafiltração, nanofiltração e osmose inversa.

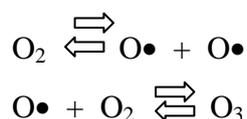
Problemas relacionados a eventuais limpezas da membrana, para aumentar a sua vida útil, disposição da corrente concentrada gerada, além do custo elevado das membranas são relatados (McBean et al.,1995).

## 2.5 Processos oxidativos

Os processos oxidativos são alternativas tecnológicas extremamente eficientes para destruir substâncias orgânicas de difícil degradação e muitas vezes em baixas concentrações.

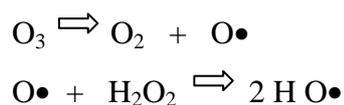
A oxidação química é o processo na qual elétrons são removidos de uma substância aumentando seu estado de oxidação. Na maioria dos casos, a oxidação de compostos orgânicos, embora seja termodinamicamente favorável, é de cinética lenta. Os processos oxidativos podem ser considerados como tecnologias limpas, isto por que na oxidação química não há formação de sub-produtos sólidos (lodo), também não há a transferência de fase dos poluentes (como a adsorção em carvão ativo).

Um dos processos oxidativos utilizados no tratamento de rejeitos é a oxidação por Ozônio. O Ozônio é comumente produzido por descarga elétrica (plasma frio) no ar ou oxigênio puro, através das seguintes reações:



Onde  $\text{O}\bullet$  é um radical livre formado através da quebra da molécula de  $\text{O}_2$ .

Esta reação pode ser catalisada por: radiação, ultra-som,  $\text{H}_2\text{O}_2$  e catalisadores homogêneos (metais). Quando o Ozônio se decompõe, são gerados radicais de grande poder oxidativo, estas reações são ilustradas abaixo:



Alguns trabalhos na literatura (Huang et al., 1993; Steesen, 1997) destacam o uso da ozonização no tratamento de chorume. Esses estudos concordam que uma melhor qualidade de efluente é gerada quando se combina ozonização com o processo biológico.

Huang et al. (1993) destacam que o processo de ozonização é eficiente para a remoção de cor do chorume, além de aumentar a sua degradabilidade (relação DBO/DQO), contudo, não é tão efetivo na remoção de carbono orgânico total e amônia.

As desvantagens do processo de ozonização se referem ao seu alto custo, do ozônio ter que ser gerado “in situ”, à impossibilidade de se ter ozônio em água por um período longo e à não ocorrência da oxidação a CO<sub>2</sub> e H<sub>2</sub>O de certos compostos.

## **2.6 Outras técnicas de tratamento**

Além das técnicas citadas anteriormente, inúmeras outras podem ser adequadas ao tratamento do chorume. McBean (1995) sugere uma seqüência de tratamento, mostrada na figura 3 que inclui os processos de precipitação química, filtração em areia e adsorção em carvão ativado.

Se não houver nenhum tratamento biológico envolvido ou se a concentração de metais é elevada, uma opção satisfatória é a precipitação química, com cal ou soda, ou oxidantes químicos, tais como: peróxido de hidrogênio ou permanganato de potássio.

A filtração em areia é utilizada para a remoção de sólidos suspensos, e também pode ser utilizada após o tratamento biológico para a retirada dos sólidos em suspensão. A Adsorção em carvão ativado pode ser muito efetiva para o tratamento de compostos orgânicos recalcitrantes, solventes, pesticidas e ácidos húmicos, além da remoção de cor.

Para tratar chorumes oriundos de aterros mais antigos, uma vez que nesses casos o tratamento biológico torna-se mais ineficiente, um processo promissor é o eletroquímico. Segundo Tsai et al. (1997), a eletrocoagulação é eficiente para remover matéria orgânica de chorume conseguindo remover moléculas pequenas e grandes. Este estudo utilizou dois pares de eletrodos, Fe-Cu e Al-Cu, alcançando para ambos os casos remoções de 30 a 50 % de DQO.



Figura 3 – Sequência de tratamento físico-químico (adaptado de McBean – 1995)

## 2.7 “Wetlands” construídos

Trata-se de um sistema artificialmente construído com diferentes tecnologias constituído de plantas aquáticas em diferentes substratos tais como: areia, cascalho, brita ou outro material inerte. Nessas condições, o “Wetland” reproduz a atuação da natureza, trata o chorume através de processos físicos, químicos e biológicos. As plantas aquáticas têm funções definitivas neste processo de tratamento, absorvem material orgânico, nutrientes e metais pesados. As raízes e rizomas das plantas excretam substância de ações biológicas, como também promovem a transferência de oxigênio do ar atmosférico para o substrato, proporcionando assim, possibilidades de nitrificação.

As características do ecossistema são atribuídas a uma combinação de fatores, tais como a alta produtividade das plantas, superfícies de grande adsorção em sedimentos e plantas, interface aeróbica e anaeróbica e uma ativa população microbológica (Urbanic-Bercic, 1994). Já que essas condições resultam em altas taxas de atividades biológicas, elas dão a oportunidade de transformar poluentes comuns como esgotos municipais em produtos menos danosos ou nutrientes essenciais que podem ser utilizados pela biota (Kadlec e Knight, 1996). Como consequência, “Wetlands” construídos tem sido usado para imitar “Wetlands” naturais no tratamento de esgotos municipais. Efluentes tratados em “Wetland” incluem os resíduos líquidos drenados de minas ácidas, de sistemas de drenagem de águas pluviais, resíduos de animais, efluentes do tratamento secundário de esgotos e chorume de aterros sanitários (Bobberteen e Nickerson, 1991).

O potencial de expansão do uso de “Wetlands” construídos para o tratamento de chorume supera em importância, o tratamento mais geral de esgotos no contexto atual. Chorume de aterros variam nas suas características de periculosidade e incluem vários poluentes. O tratamento do chorume por sistemas naturais parece ser ambientalmente sustentado. De acordo com Kadlec e Knight, (1996), tanto “Wetlands” de fluxo superficial quanto de fluxo subsuperficial são ecotecnologias emergentes com potencial para tratar o chorume de aterros.

Elevados níveis de ferro, cobre, zinco chumbo e cádmio foram encontrados nas raízes de vegetais aquáticos, tipo o junco, em “Wetlands” construídos tratando chorume de aterros, mas estes metais não estavam acumulados na área de crescimento dos rizomas (Peeverly et al., 1995). A capacidade de acumulação de metais por diferentes espécies de plantas de “Wetlands” pode influenciar na seleção das plantas a serem colocadas em “Wetlands” construídos. O aumento da temperatura pode ter um efeito benéfico no resultado do desempenho das plantas no tratamento. Além disso, fornecendo oxigênio, as plantas têm um efeito positivo na biodegradação aeróbica de orgânicos e tem o potencial de mudar a reação redox causando a solubilização/precipitação de metais.

Como o uso de “Wetlands” construídos para o tratamento do chorume é um ecotecnologia relativamente recente, os dados sobre o seu desempenho acumulados em diferentes partes do mundo não são ainda suficientes para a sua consolidação. Mais dados são necessários sobre a efetividade de diferentes sistemas de “Wetlands”, tais como o fluxo subsuperficial e superficial de “Wetlands”, e algumas combinações do sistema tais como, infiltração de nutrientes e aumento da aeração (Kadlec e Knight - 1996).

Metodologias detalhadas para projetos de tratamento em “Wetlands” estão disponíveis para muitas classes de poluentes (Kadlec e Knight, 1996). Alguns resultados obtidos para o tratamento de substâncias importantes (do ponto de vista do potencial de impacto) estão descritos a seguir.

### **Compostos orgânicos**

O número de compostos orgânicos que podem potencialmente criar problemas ambientais é muito grande. Nem todos eles foram estudados com respeito à tecnologia de “Wetland”. Os que foram investigados mostram remoções devido à volatilização e a degradação biológica no ambiente de “Wetland”. Os “Wetlands” podem apresentar tanto zonas aeróbicas como anaeróbicas muito próximas, o que fornece diferentes processos microbiológicos ao longo do gradiente redox.

Um “Wetland” raso oferece a oportunidade de retirada de substâncias voláteis pelo ar. A eficiência não é tão grande como sistemas mecânicos, mas a diferença é compensada pelo longo tempo de retenção. As meias vidas (tempo para volatilizar a metade da substância) variam de 2 a 4 dias para componentes insolúveis como benzeno, tolueno e naftaleno (Mackay e Leinonen, 1975; Shugai et al., 1994), e tendem a ser menores para componentes mais voláteis tais como cloreto de vinila e cloro metano.

### **Metais**

Metais são removidos por troca de cátions para os sedimentos do “Wetland”, os precipitados como sulfídricos e outros sais insolúveis. O efeito de armazenamento na planta ocorre basicamente pelas raízes (Surface et al., 1993). Os sedimentos anaeróbicos provocam a redução do sulfato a sulfito e facilitam a precipitação química. Em consequência, boas remoções de metais são relatadas operando-se “Wetlands”. Por exemplo, para a remoção do zinco:

<u>Eger et al., 1993</u>	90 – 96 % de redução de massa.
Fluxo superficial	22 – 34 horas de retenção.
<u>Sinicrop et al., 1992</u>	71 – 79 % de redução de massa.
Fluxo subsuperficial	24 – 31 horas de retenção.

Remoções semelhantes são obtidas por outros metais; por exemplo, o cromo é reduzido em 70 % em aproximadamente 70 horas em “Wetlands” de fluxo superficial (Srinivasan e Kadlec, 1995). Áreas recomendadas para redução de ferro e manganês estão por volta de 100 a 500 m<sup>2</sup> por quilo de metal removido por dia (US Bureau of Mines, 1991). Isso corresponde a tempos de retenção de 1 a 10 dias.

Pouco é conhecido sobre alguns elementos tais como o boro, o arsênico e o selênio, entretanto, sabe-se que as condições corretas para a remoção podem intencionalmente ser projetadas no “Wetland” (Masscheleyn et al., 1991).

### **Vegetação de “Wetland”**

Diversas plantas têm sido utilizadas em “Wetland” construídos, incluindo a taboa (*Typha* spp.), o junco (*Scyapus* spp.), e a cana (*Phragmites australis*). Estas plantas têm uma grande escala de aceitação de água, mas tem limites fora dos quais não podem sobreviver

(Kylefors et al., 1994). Conseqüentemente, o pré-tratamento pode às vezes ser necessário para a sobrevivência da vegetação. As opções incluem diluição com água ou o chorume tratado.

## **2.8 Considerações sobre as técnicas descritas**

Segundo Ferreira (2000), sistemas de tratamento biológico aeróbio são bastante efetivos para “chorume novo”, quando a razão DBO/DQO é maior que 0,4, indicando uma maior degradabilidade do rejeito. Tratamento de chorume por via anaeróbia é um processo também efetivo, mas o efluente desse processo possui uma alta DQO (1000-1400 mg/L). Desta maneira, depois de um tratamento anaeróbio, o chorume geralmente é tratado aerobiamente para ser enquadrado na legislação ambiental vigente. Ambos processos biológicos, aeróbios e anaeróbios são limitados quanto a remoção de compostos orgânicos, levando-se em conta os compostos recalcitrantes, que permanecem após o tratamento biológico (razão DBO/DQO muito pequena).

Apesar do tratamento biológico ser o mais utilizado para tratar chorume, ele pode ser ineficiente quando o chorume é originado de aterro de “meia-idade” e “velho”. Pois, neste caso, o rejeito apresenta-se de forma mais resistente à biodegradação, necessitando, desta maneira, de uma etapa que consiga diminuir a recalcitrância do chorume. Esta etapa pode ser um processo físico (separação por membrana, adsorção em carvão, etc.) ou químico (processo oxidativo eletrolítico), ou uma combinação entre eles.

Uma outra técnica, que é bastante simples e pode ser utilizada combinada com as demais já citadas, é a recirculação do chorume, além de permitir uma redução do volume por evaporação, aumenta a degradação anaeróbia no interior do aterro, devido a uma melhor distribuição de nutrientes e de umidade.

### **3. O ATERRO METROPOLITANO DE GRAMACHO**

Sob a coordenação da extinta FUNDREM - Fundação para o Desenvolvimento da Região Metropolitana do Rio de Janeiro, em 1978, o Aterro Metropolitano de Gramacho foi implantado através de um convênio entre a COMLURB - Companhia Municipal de Limpeza Urbana (Rio de Janeiro) e os municípios da Região Metropolitana, Duque de Caxias e Nilópolis. Posteriormente o Aterro Metropolitano de Gramacho passou a receber também os resíduos sólidos urbanos dos municípios de São João de Meriti, Nova Iguaçu, Guapemirim e Petrópolis, ficando a COMLURB como responsável pela sua administração e operação.

O local onde foi implantado aterrou uma área de manguezal de cerca de 1 milhão de m<sup>2</sup>.

O convênio com a FUNDREM estabelecia que a COMLURB seria ressarcida pelos custos decorrentes da operação do aterro, mediante o pagamento de tarifa pelos municípios conveniados, fato este que nunca ocorreu. Com isto o aterro passou a ser mal operado, causando, durante 17 anos, sérios impactos negativos sobre o meio ambiente, como pode ser facilmente constatado na foto 1.

A falta de recursos e de consciência ecológica desencadeou um progressivo aumento de problemas ambientais e sanitários, tanto internos como externos, sendo os principais relacionados a seguir:

- Lixo descoberto em quase toda a área de taludes;
- Proliferação de mosquitos, moscas, ratos e urubus;
- Exalação de maus odores;
- Ocorrência de diversos focos de incêndio;
- Aumento da produção de chorume;
- Escoamento desordenado das águas pluviais;
- Deterioração das vias internas de acesso;
- Liberação de chorume para a Baía de Guanabara e rios adjacentes;
- Destruição do manguezal remanescente e periférico ao aterro;
- Emissão para a atmosfera dos gases gerados no aterro, com graves danos ao efeito estufa e desperdício de uma importante fonte de energia.

### **3.1 Característica dos resíduos domiciliares recebidos no Aterro Metropolitano de Gramacho.**

A COMLURB vem buscando a melhoria contínua dos serviços prestados a população e, desde 1981, quando foi realizada a primeira análise gravimétrica, vem fazendo o acompanhamento do crescimento e da diversificação do lixo produzido na cidade do Rio de Janeiro, conforme demonstrado na tabela 2.

A análise gravimétrica é a determinação da percentagem de cada um dos componentes do lixo (papel, papelão, vidro, etc...), a partir da relação entre o peso do componente analisado e o peso total da amostra considerada.

O conhecimento prévio de parâmetros, tais como teor de umidade e peso específico, ajuda no planejamento, na especificação e no dimensionamento dos equipamentos usados na limpeza urbana, no transporte e no destino final dos resíduos sólidos gerados na cidade.

Para a sua realização, são recolhidas amostras aleatórias de lixo domiciliar de diversas áreas na cidade, levando em consideração a área territorial, a densidade populacional e o quanto de lixo é coletado nas diversas regiões do Rio de Janeiro.

É preciso tomar cuidado com os resultados da análise gravimétrica, pois os mesmos são muito influenciados por fatores sazonais, que podem levar a conclusões equivocadas quanto à real contribuição de um determinado parâmetro no total do lixo gerado na cidade.

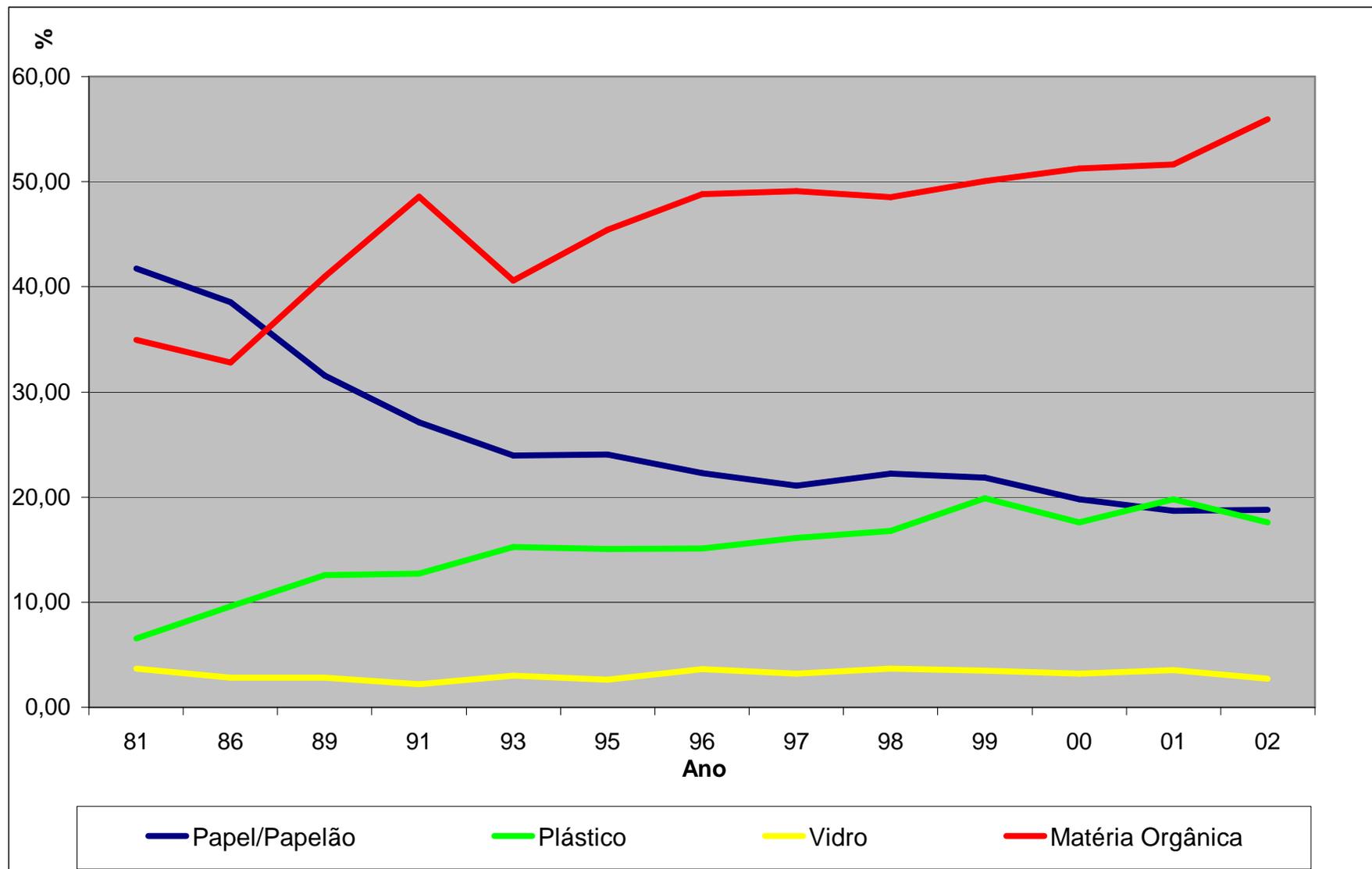
É fácil imaginar que em época de chuvas fortes o teor de umidade no lixo tenda a crescer, o mesmo acontece com o percentual de latinhas de cerveja no carnaval ou ainda que no outono o número de folhas recolhidas bata recordes.

A produção de lixo pode ser influenciada por uma série de fatores, dentre eles: fatores climáticos; chuvas (aumento do teor de umidade); estações do ano (folhas no outono); festas populares; natal, ano novo e páscoa (aumento de embalagens e de matéria orgânica); férias escolares (esvaziamento de áreas da cidade); hábitos; variação do poder aquisitivo ao longo do mês (consumo maior de supérfluos); lançamentos de novos produtos; promoções de grandes estabelecimentos comerciais e etc., que pode ser analisado no gráfico 1

**Tabela 2 - -Série histórica das análises gravimétricas do lixo feito pela COMLURB**

<b>CUOMLURB - DIRETORIA TÉCNICA E INDUSTRIAL</b>													
<b>Componentes (%)</b>	<b>81</b>	<b>86</b>	<b>89</b>	<b>91</b>	<b>93</b>	<b>95</b>	<b>96</b>	<b>97</b>	<b>98</b>	<b>99</b>	<b>00</b>	<b>01</b>	<b>02</b>
<b>Papel/Papelão</b>	<u>41,72</u>	<u>38,54</u>	<u>31,54</u>	<u>27,11</u>	<u>23,95</u>	<u>24,05</u>	<u>22,26</u>	<u>21,08</u>	<u>22,22</u>	<u>21,85</u>	<u>19,77</u>	<u>18,71</u>	<u>18,78</u>
<b>Plástico</b>	<u>6,56</u>	<u>9,63</u>	<u>12,55</u>	<u>12,71</u>	<u>15,27</u>	<u>15,07</u>	<u>15,09</u>	<u>16,11</u>	<u>16,78</u>	<u>19,90</u>	<u>17,61</u>	<u>19,77</u>	<u>17,61</u>
<b>Vidro</b>	<u>3,70</u>	<u>2,84</u>	<u>2,83</u>	<u>2,19</u>	<u>3,03</u>	<u>2,62</u>	<u>3,63</u>	<u>3,22</u>	<u>3,68</u>	<u>3,48</u>	<u>3,22</u>	<u>3,52</u>	<u>2,74</u>
<b>Matéria Orgânica</b>	<u>34,96</u>	<u>32,79</u>	<u>40,98</u>	<u>48,56</u>	<u>40,60</u>	<u>45,43</u>	<u>48,81</u>	<u>49,09</u>	<u>48,51</u>	<u>50,05</u>	<u>51,27</u>	<u>51,65</u>	<u>55,96</u>
<b>Metal</b>	<u>3,88</u>	<u>3,63</u>	<u>3,50</u>	<u>3,24</u>	<u>3,52</u>	<u>3,49</u>	<u>3,09</u>	<u>2,82</u>	<u>2,75</u>	<u>2,16</u>	<u>2,66</u>	<u>1,96</u>	<u>1,97</u>
<b>Inerte</b>	<u>0,90</u>	<u>1,08</u>	<u>1,26</u>	<u>0,61</u>	<u>1,07</u>	<u>0,44</u>	<u>0,96</u>	<u>1,53</u>	<u>0,87</u>	<u>0,63</u>	<u>0,94</u>	<u>0,72</u>	<u>0,35</u>
<b>Folha</b>	<u>3,64</u>	<u>5,82</u>	<u>2,51</u>	<u>1,54</u>	<u>5,49</u>	<u>4,81</u>	<u>2,46</u>	<u>3,04</u>	<u>1,97</u>	<u>0,72</u>	<u>1,91</u>	<u>1,50</u>	<u>0,60</u>
<b>Madeira</b>	<u>1,09</u>	<u>1,33</u>	<u>0,91</u>	<u>0,41</u>	<u>1,17</u>	<u>0,96</u>	<u>0,53</u>	<u>0,76</u>	<u>0,68</u>	<u>0,18</u>	<u>0,44</u>	<u>0,44</u>	<u>0,38</u>
<b>Borracha</b>	<u>0,06</u>	<u>0,25</u>	<u>0,66</u>	<u>0,23</u>	<u>0,37</u>	<u>0,17</u>	<u>0,18</u>	<u>0,24</u>	<u>0,33</u>	<u>0,11</u>	<u>0,30</u>	<u>0,29</u>	<u>0,18</u>
<b>Pano/Trapo</b>	<u>3,05</u>	<u>3,63</u>	<u>2,40</u>	<u>2,66</u>	<u>4,53</u>	<u>2,43</u>	<u>2,50</u>	<u>1,71</u>	<u>1,92</u>	<u>0,79</u>	<u>1,61</u>	<u>1,28</u>	<u>1,21</u>
<b>Couro</b>	<u>0,30</u>	<u>0,46</u>	<u>0,26</u>	<u>0,47</u>	<u>0,58</u>	<u>0,26</u>	<u>0,16</u>	<u>0,27</u>	<u>0,21</u>	<u>0,10</u>	<u>0,18</u>	<u>0,10</u>	<u>0,15</u>
<b>Osso</b>	<u>0,14</u>	<u>0,00</u>	<u>0,60</u>	<u>0,27</u>	<u>0,42</u>	<u>0,27</u>	<u>0,33</u>	<u>0,13</u>	<u>0,08</u>	<u>0,03</u>	<u>0,09</u>	<u>0,06</u>	<u>0,07</u>
<b>Total (%)</b>	<b>100,00</b>												
<b>Peso Específico (Kg/m³)</b>	<b>176,05</b>	<b>253,18</b>	<b>208,92</b>	<b>209,16</b>	<b>251,65</b>	<b>263,58</b>	<b>194,79</b>	<b>163,98</b>	<b>168,15</b>	<b>186,10</b>	<b>198,47</b>	<b>169,02</b>	<b>160,81</b>
<b>Teor de Umidade (%)</b>	<b>53,22</b>	<b>45,36</b>	<b>54,48</b>	<b>63,61</b>	<b>57,20</b>	<b>64,54</b>	<b>70,20</b>	<b>67,02</b>	<b>63,67</b>	<b>63,10</b>	<b>62,91</b>	<b>60,89</b>	<b>63,74</b>

**Gráfico 1 – Evolução da produção de papel/papelão, plástico, vidro e matéria orgânica.**



Na tabela 2 apresentada, podemos observar que a matéria orgânica, uma das responsáveis pela produção do chorume, vem crescendo de forma acentuada, passando de 34,96 % para 55,96 % em pouco mais de vinte anos, com uma taxa de crescimento anual da ordem de 1%.

No gráfico 1, pode-se analisar também o comportamento de materiais como o vidro, o papel/papelão e o plástico ao longo de 21 anos, interferindo diretamente no peso específico, teor de umidade e produção de chorume no aterro.

### **3.2 Característica do chorume produzido no Aterro Metropolitano de Gramacho.**

O Aterro Metropolitano de Gramacho, iniciou sua operação em setembro de 1978 e até janeiro de 1996 havia recebido cerca de 20 milhões de metros cúbicos de lixo, ocupando uma área de aproximadamente 130 ha.

Os resíduos lançados no aterro no período de setembro de 1978 até meados de 1988 eram do tipo domiciliar, público, hospitalar e industrial, este último sem um controle mais efetivo por parte da COMLURB e do órgão de controle ambiental do estado. A partir do segundo semestre de 1988 a COMLURB e a FEEMA passaram a exercer um controle junto aos geradores e a fiscalizar os resíduos que eram destinados ao AMG.

Como este controle só foi exercido a partir de 1988 no AMG, nos seus primeiros 10 anos empresas como a Bayer, a Tasa Lubrificantes, a Lwarte Lubrificantes, a FCC Fábrica Carioca de Catalisadores, a Petroflex, a Nitriflex, a GE e outras, vazaram seus resíduos industriais sem a neutralização recomendada.

Para reduzir ainda mais os problemas causados pelo vazamento de resíduos industriais, a COMLURB, a partir de janeiro de 1996 passou a exercer com a operadora do aterro (Construtora Queiroz Galvão) uma maior fiscalização dos resíduos que eram destinados para o AMG e, em conjunto com a FEEMA tomar decisões quanto ao recebimento dos resíduos industriais neutralizados, de forma a não comprometer a operação e de atender as normas ambientais aplicáveis ao Aterro Metropolitano de Gramacho.

Os efluentes do Aterro são considerados pela Legislação Estadual vigente como poluidores e contaminadores das águas da Baía da Guanabara e, devido a isso devem ser controlados através da diretriz da FEEMA DZ-215-R-01 – Diretriz para Controle de Carga Orgânica Biodegradável em Efluentes Líquidos de Origem Não Industrial.

Segundo essa Diretriz da FEEMA, os efluentes do Aterro (líquido percolado) devem ser coletados e tratados “com tecnologia em uso corrente no país”, com remoção de carga orgânica estabelecida nessa Diretriz de 50 a 90 %, expressa em kg DBO / dia, de acordo

com a tabela existente no item 6.1 da Diretriz. No caso do AMG a carga orgânica bruta (kg DBO/dia) é maior do que 100 o que determina a eficiência mínima de remoção de 90 % e concentração máxima permitida de DBO em 30 mg/l.

Além disso, os efluentes da ETC têm de seguir as normas da FEEMA de critérios e padrões para lançamento de efluentes líquidos aprovada pela Deliberação CECA n° 107 de 04/12/86 que limita os efluentes do chorume aos seguintes parâmetros:

- pH entre 5,0 e 9,0;
- Temperatura menor que 40 ° C;
- Materiais sedimentáveis até 1,0 ml/l (cone de 1 hora);
- Óleos e graxas até 20 mg/l;
- Metais pesados de acordo com as concentrações definidas na Norma.

O primeiro estudo de tratabilidade do chorume do Aterro Metropolitano de Gramacho foi elaborado em 1992 pela COPPETEC/UFRJ e chegou aos seguintes resultados:

Tratamento Anaeróbio – “Todas as tentativas de aclimação do lodo anaeróbio ou chorume se demonstraram claramente infrutíferas”;

Tratamento Aeróbio – “A eficiência de remoção da DQO se reduz sensivelmente com o aumento da concentração do chorume no meio de aclimação, chegando até mesmo, a valores extremamente reduzidos da ordem de 1 %. Isso confirma a dificuldade de tratamento do chorume, porque este contém substâncias inibidoras da atividade biológica ou pelo menos substâncias recalcitrantes a esse tipo de tratamento, sendo portanto, de difícil degradação por via biológica aeróbia.”

Tratamento Físico-Químico – Foram obtidos pela UFRJ resultados satisfatórios com tratamento Físico-Químico com o agente coagulante – FeCl<sub>3</sub> (cloreto férrico) somado a polieletrólitos. Os testes foram desenvolvidos em jarros (“Jar Tests”).

As faixas de eficiência de remoção de DQO obtidas foram de 24 a 45 %, com valores de pH muito reduzidos  $4,0 \leq \text{pH} \leq 4,5$  o que leva à volumes de acidulante corretor muito elevados.

A utilização de polieletrólitos não foi recomendada pela UFRJ devido a pouca eficiência do seu emprego em relação aos elevados custos de aquisição.

Em março de 1994, na Tese de Doutorado do Programa de Engenharia Civil da COPPE/UFRJ, elaborado pela Eng. Maria Cláudia Barbosa, referente a INVESTIGAÇÃO GEOAMBIENTAL DO DEPÓSITO DE ARGILA SOB O ATERRO DE RESÍDUOS URBANOS DE GRAMACHO – RJ, foi apresentado a composição química de diversos chorumes, inclusive o do Aterro Metropolitano de Gramacho, realizado pela COPPETEC em 1992, que reproduzimos na tabela 03.

Em abril de 1998, a operadora do aterro contratou a TECMA – Tecnologia em Meio Ambiente Ltda., para execução de estudo de tratabilidade do chorume do aterro em face de dificuldade de implantação de um sistema de tratamento convencional devido à variação da qualidade do percolado (chorume velho e chorume novo), bem como a existência de substâncias químicas diversas oriundas do vazamento indiscriminado de resíduos industriais.

Após a execução de diversas análises e ensaios laboratoriais de formas de tratamento a TECMA produziu as recomendações e conclusões descritas a seguir.

O chorume do Aterro Metropolitano de Gramacho apresenta matéria orgânica dissolvida e em suspensão predominantemente coloidal. Há presença de sais com maior representatividade do Cloreto de Sódio, além de sais de cálcio e Magnésio.

A presença de Nitrogênio Amoniacal é relevante, introduzindo um caráter tóxico ao chorume (toxicidade a peixes), sendo inclusive o parâmetro indicador da contaminação por chorume. A presença de Detergentes também foi determinada, apresentando-se acima do limite estabelecido pela NT 202 R-10.

A variação da qualidade do chorume é um ponto fundamental, alterando em função: do tempo de retenção no aterro, da recirculação (carros pipa e aspersão), da contaminação por resíduos e das diferenças de cotas e fatores climáticos. Todas estas variáveis são pontos condicionadores do processo de tratamento.

Foram estudados diversos processos de tratamento, incluindo combinações diversas de operações unitárias e optou-se pelo processo de tratamento indicado na figura 4.

Nas tabelas 4, 5 e 6 apresentamos a caracterização do chorume bruto em diversos pontos do Aterro Metropolitano de Gramacho.

**Tabela 3 - Composição Química de Diversos Chorumes.**

Análises Químicas	Wgh (1979)	Genetelle (1976)	Han (1975)	Brunece (1974)		EPA (1973)	AMG (1992)
				novo	velho		
pH	6,2	5,2/6,4	6,3/7,0	6,2	7,3	3,7/8,5	8,2
Condutividade elétrica	16000	8000/9000	1200/3700	9200	1400	–	–
Sólidos Totais Dissolv.	–	10000/14000	–	12620	1144	0/42276	27281
Sólidos Fixos Dissolv.	–	100/700	–	327	266	8/2685	22043
Sólidos Voláteis Dissolv.	–	–	–	–	–	–	5238
Nitrogênio Total	1240	–	–	989	7,51	0/1416	1990
Carbono Orgânico Total	–	–	–	–	–	–	1290
Carbono Inorgânico Total	–	–	–	–	–	–	3530
Alcalinidade Total (CaCO <sub>3</sub> )	8985	800/4000	630/1730	–	–	0/20850	9110
Dureza Total (CaCO <sub>3</sub> )	8700	3500/5000	390/800	–	–	0/20800	–
DQO	42000	16000/22000	500/1000	22650	81	0/	7000
DBO	–	7500/10000	–	14950	–	9/54610	580
Cloretos	2260	600/800	100/400	742	197	34/2800	9090
Sulfatos	1280	400/650	13/84	–	–	1/1826	1855
Fosfatos	82	–	21/48	7,35	4,96	0/154	–
Sódio	1375	450/500	108/357	–	–	0/7700	–
Potássio	1890	295/310	107/242	–	–	2,8/3770	–
Magnésio	410	160/250	22/62	277	81	16,5/16600	150,7
Cálcio	2300	900/1700	111/245	2136	254	5/4080	–
Cádmio	–	0,4	–	–	–	–	0,09
Cobre	–	0,6	0,4/0,11	0,5	0,1	0/9,9	0,25
Cromo	–	–	–	–	–	–	1,6
Chumbo	–	1,6	–	–	–	0/5	–
Ferro	1185	210/325	20/60	500	1,5	0,2/5500	16,3
Manganês	58	75/125	1,02/1,25	49	–	0,6/1400	0,25
Níquel	–	–	–	–	–	–	0,74
Zinco	87	10/30	04/ 0,47	45	0,16	0/1000	0,50

**Tabela 04 - Caracterização do Chorume Bruto de Formação Recente**

Parâmetros	Laudo Cota 27		Laudo Lag. Res. Quim.	Laudo Cota 5	RESULTADOS		
	6511/97	6562/97	6511/97	6585/97	Mínimo	Médio	Máximo
CÁLCIO, mg Ca/L	520	435	701	270	270	482	701
ALC. De BICARBONATO, mg CaCO <sub>3</sub> /L	-	-	-	2111	-	2111	-
ALC. De CARBONATO, mg CaCO <sub>3</sub> /L	-	-	-	0	-	0	-
CLORETO, mg Cl/L	2148	2437	2685	875	825	2024	2685
CONDUTIVIDADE	15320	18750	17260	5190	5190	14130	18750
DBO, mg O <sub>2</sub> /L	7031	7467	9693	1247	1247	6360	9693
DQO, mg O <sub>2</sub> /L	12400	10000	8600	880	880	7970	12400
FENÓIS, mg/L	-	5,1	-	<0,01	<0,01	2,5	5,1
MAGNÉSIO, mg Mg/L	134	236	253	53,4	53,4	169	253
NITROGÊNIO AMONÍACAL, mg N-NH <sub>3</sub> /L	-	1650	-	185	185	918	1650
SÓDIO, mg Na/L	1058	2051	2424	512	512	1511	2424
pH	7,5	8,0	7,2	7,7	7,2	7,6	8,0
FOSFORO SOL., mg P/L	7	3	11	3	3	6	11
FÓSFORO TOT., mg P/L	-	-	21	4	4	13	21
RFT, mg/L	11810	13010	14300	2466	24,66	10397	14300
RFV, mg/L	-	4770	-	158	158	2464	4770
RNFT, mg/L	585	3300	2957	339	339	1795	3300
RNFV, mg/L	461	1690	1957	132	132	1060	1957
SULFATO, mg SO <sub>4</sub> /L	145	115		69	69	162	320

**Tabela 5 - Caracterização do Chorume Bruto de Formação Antiga**

Parâmetros	Laudo do Poço 2			Poço 3	Poço 6	Poço 7	Poço 10	Poço 15		Lagoa A	Lagoa B	RESULTADOS		
	36/98	228/98	265/98	265/98	265/98	265a/98	265a/98	106/98	144/98	144/98	144/98	Mínimo	Médio	Máximo
CÁLCIO, mg Ca/L	413	266	259	121	154	123	175	161	169	63.8	88.6	63.8	161	413
CLORETO, mg Cl/L	2982	1724	3404	2930	2672	2068	3361	3523	4618	2904	2428	1724	2965	4618
CONDUTIVIDADE	10550	6000	9070	11370	10250	7200	8780	9911	10890	6690	6480	6000	8836	11370
DBO, mg O <sub>2</sub> /L	2169	593	1410	702	876	1157	408	196	267	217	529	196	775	2169
DQO, mg O <sub>2</sub> /L	3100	2464	3808	3808	3808	2688	1344	1800	5400	2400	1800	1344	2947	5400
DETERGENTES (MBAS), Mg/L	2.1	2.6	3.0	1.4	2.2	1.4	1.1	-	0.3	2.0	1.0	0.3	1.6	3.0
FENÓIS, mg/L	2.20	0.02	0.04	0.05	0.04	0.02	0.03	0.10	0.04	0.02	<0.01	<0,01	0.26	2.20
MAGNÉSIO, mg Mg/L	158	92.0	130	89.0	91.0	142	105	92.8	110	31.9	33.9	31.9	97.8	158
NITROGÊNIO AMONIACAL, mg N-NH <sub>3</sub> /L	928	376	1128	1719	936	481	787	660	654	229	38	38	721	1719
SÓDIO, mg Na/L	3117	1383	2542	2364	2443	2131	3272	3114	2707	1811	1749	1383	2421	3272
pH	7.9	7.1	7.7	8.2	8.2	8.2	8.2	8.3	8.7	10.1	9.6	71	8.4	10.1
FOSFORO SOL., mg P/L	6	13	12	11	8	5	6	18	9	8	5	5	9	18
FÓSFORO TOT., mg P/L	13	15	17	12	10	7	7	32	-	44	4	4	16	44
RFT, mg/L	10753	4236	8913	8404	6420	6870	7494	8798	11325	2885	5904	2885	7455	11325
RFV, mg/L	2340	521	897	1228	1014	1006	1116	1488	1980	525	1029	521	1195	2340
RNFT, mg/L	268	155	373	209	164	133	146	112	320	421	91	91	217	421
RNFV, mg/L	157	115	258	142	99	99	128	67	240	305	77	67	153	305
SULFATO, mg SO <sub>4</sub> /L	296	117	383	277	190	267	600	520	420	75	83	75	293	600

**Tabela 6 - Caracterização do Chorume Bruto de Formação Antiga**

Parâmetros	CHORUME COLETADO NO POÇO 5										RESULTADOS		
	6615/98	jan/98	36/98	106/98	164/98	228/98	265/98	292/98	344/98	371/98	Mínimo	Médio	Máximo
CÁLCIO, mg Ca/L	198	191	221	162	155	253	199	160	159	170	155	187	253
ALC. de BICARBONATO, mg CaCO <sub>3</sub> /L	7221	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7221	7221	7221
ALC. de BICARBONATO, mg CaCO <sub>3</sub> /L	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
CLORETO, mg Cl/L	4465	4465	3420	4046	3912	1594	3447	4223	2629	3142	1594	3534	4465
CONDUTIVIDADE	7300	12230	12850	11210	12470	7160	9730	11320	8120	10370	7160	10276	12850
DBO, mg O <sub>2</sub> /L	321	674	669	51	569	351	362	1636	205	101	51	494	1636
DQO, mg O <sub>2</sub> /L	3800	3700	2300	2000	2600	1792	1344	4200	2000	3200	1344	2694	4200
DETERGENTES (MBAS), Mg/L	-	-	-	0.07	0.07	2.1	2.6	-	1.0	0.8	0.7	1.3	2.6
FENÓIS, mg/L	0.01	0.02	0.05	0.10	0.02	0.02	0.01	0.09	<0.01	<0.01	<0.01	0.04	0.10
MAGNÉSIO, mg Mg/L	137	130	114	92.5	97.0	74.0	102	103	62.8	78.8	62.8	99.1	137
NITROGÊNIO AMONIACAL, mg N-NH <sub>3</sub> /L	1073	1167	1323	178	996	513	1058	1405	727	900	178	934	1405
SÓDIO, mg Na/L	2644	3238	3204	31.69	3363	1477	2667	3315	1220	18.64	1220	2616	3363
pH	8.2	7.7	8.0	8.0	7.9	7.8	7.8	7.8	8.3	8.1	7.7	8.0	8.3
FOSFORO SOL., mg P/L	13	16	11	64	6	7	10	10	8.9	10	6	16	64
FÓSFORO TOT., mg P/L	14	15	13	58	89	9	11	19	9.3	38	9	28	89
RFT, mg/L	11200	10186	8492	92.28	9314	3582	6890	9522	63.84	7603	3582	8240	11200
RFV, mg/L	1600	1296	1290	1506	1398	508	1320	1220	10.18	1243	508	1240	1600
RNFT, mg/L	455	400	161	142	274	130	114	98	114	104	98	199	455
RNFV, mg/L	239	153	82	79	163	98	64	57	60	72	57	107	239
SULFATO, mg SO <sub>4</sub> /L	3013	145	195	74	640	203	180	94	390	70	70	500	3013

## FIGURA 4 – DESENHO DA ETC

### **3.3 A Recuperação Ambiental e os resultados atingidos**

Em 1995, depois de inúmeras tentativas de se buscar o financiamento junto ao BID, a Prefeitura do Rio de Janeiro decidiu realizar, com recursos do Tesouro Municipal, os serviços necessários ao desenvolvimento de um amplo programa de recuperação e operação sanitária e ambientalmente adequada do Aterro Metropolitano de Gramacho.

Em 13/01/96, após um processo licitatório do qual participaram mais de 15 empresas, foram contratados os trabalhos de recuperação e operação do aterro, com o gerenciamento e supervisão técnica a cargo da COMLURB, onde o início da recuperação pode ser visto na foto 2.

Em média são destinadas no aterro 8.000 toneladas por dia de resíduos urbanos, sendo 82 % proveniente da cidade do Rio de Janeiro, 10 % de Duque de Caxias e os restantes 8 %, dos outros municípios.

Os seguintes resultados foram obtidos, transformando um antigo lixão em um aterro operado de forma sanitária, atualmente em processo de licenciamento da recuperação ambiental junto a FEEMA:

- A recuperação de todas as estradas internas (pavimentação e drenagem), que permite o tráfego normal dos veículos até as praças de vazamento, mesmo em situações intensas de chuva;
- A eliminação da dispersão de partículas sólidas para a atmosfera, através da irrigação de todas as pistas internas por caminhão pipa;
- A cobertura vegetal de algumas áreas, através de hidro-semeadura;
- O controle da estabilidade do aterro, executado através de monitoramento geotécnico, que acompanha os deslocamentos e a estabilidade de toda a área aterrada;
- A recuperação de biogás através de poços e rede de captação, que conduz o gás captado a um único queimador, visando seu futuro uso como combustível para produção energética;
- A ausência de focos de incêndios, através da conformação e cobertura dos taludes e a drenagem dos gases;
- A redução da presença de pássaros pela indisponibilidade de atrativos;
- O monitoramento dos corpos d'água no entorno do aterro: o Rio Iguaçu, o Canal do Sarapuí e a Baía de Guanabara, através de programa de amostragem, desde junho de 1996;

- O bloqueio da migração do chorume para as águas dos Rio Iguaçu, Canal de Sarapuí e Baía de Guanabara, através da construção de um dique de contenção com argila orgânica de baixa permeabilidade, ao longo de toda a periferia do aterro;
- A construção de uma estação de tratamento de chorume com capacidade para tratar até 350 m<sup>3</sup>/dia, única no Brasil, para absorver o excedente não recirculado pelos caminhões pipa e pelos aspersores;
- A absorção dos catadores de recicláveis que trabalhavam na frente de vazamento de lixo através da constituição de uma cooperativa de catadores de lixo para Gramacho, a COOPERGRAMACHO, que vem absorvendo gradativamente esta mão de obra, há anos marginalizada e trabalhando em condições extremamente insalubres. Foram construídas duas Centrais de Reciclagem, constituídas por galpões com esteiras transportadoras eletromecânicas, onde os catadores, devidamente uniformizados e portando equipamentos de proteção individual, fazem a seleção de produtos recicláveis de maneira sanitariamente adequada. Além desses galpões, foi construído também um prédio de apoio para os catadores, com toda a infra-estrutura necessária, e que inclui linha telefônica, vestiários, sanitários masculinos e femininos, refeitório, sala de administração e almoxarifado;
- A disposição adequada do lixo hospitalar em células especiais, situadas em área demarcada por cerca e protegida por vigilantes. Os resíduos são dispostos em trincheiras preparadas adequadamente para o recebimento deste material, que é recoberto com argila imediatamente após seu vazamento;
- A instalação de completa infra-estrutura operacional, constituída por um prédio administrativo para a operadora, um prédio para abrigar a administração e a fiscalização da COMLURB, um Centro de Educação Ambiental, uma oficina completa com setores de mecânica, eletricidade, borracharia, prédios com refeitório, centro médico, CIPA, assistência social, balança rodoviária digital com duas plataformas de pesagem, uma guarita de segurança, e um pórtico de acesso, que indica as vias de entrada e saída do Aterro Sanitário de Gramacho.

### **3.4 O tratamento do chorume através da Estação de Tratamento de chorume - ETC**

O tratamento do chorume era uma das premissas básicas para a transformação de Gramacho em um aterro operado de forma sanitária. Sua implantação foi executada após dois anos de estudos devido ao desconhecimento da produção e da qualidade do lixiviado. A foto 2

mostra a vista aérea da Estação de Tratamento de Chorume implantada no Aterro Metropolitano de Gramacho e que é composta das seguintes etapas:

### **Etapa Primária:**

O chorume coletado através da vala de coleta em torno do aterro é conduzido ao sistema de tratamento diretamente para a lagoa de equalização que tem a função de absorver as variações de vazão, como pode ser observado nas fotos 3 e 4.

Da lagoa, o chorume é bombeado para o tanque de homogeneização, mostrado na foto 5 e 6, passando por uma peneira mecânica que remove os materiais sólidos finos.

Após equalizado, peneirado e homogeneizado, o efluente é levado ao tanque de mistura onde ocorre a adição de uma suspensão de cal para auxiliar a clarificação do efluente, ilustrado na foto 7.

A mistura é então recalçada para o decantador de cal reagida que pode ser visto na foto 8, onde o lodo proveniente da coagulação química é sedimentado e removido por descarga de fundo. O efluente clarificado escoar por gravidade para as calhas de pré-sedimentação e em seguida para o decantador primário, onde ocorre a sedimentação do lodo não retido nas etapas anteriores, cuja seqüência está mostrada nas fotos 9 e 10.

### **Etapa Secundária:**

O sobrenadante do decantador primário é recalçado para o tanque de aeração passando por uma correção de pH para a neutralização que, na etapa anterior, é fortemente alcalino. No tanque de aeração demonstrado na foto 11, ocorre o tratamento por via biológica aeróbia, onde os microorganismos em presença de oxigênio e nutrientes degradam a matéria orgânica presente no efluente.

A mistura escoar, em seguida, para o decantador secundário que pode ser visto na foto 12, onde os flocos biológicos formados são separados da fase líquida, que transborda para a caneleta periférica e daí é conduzido para o poço de sucção, mostrado nas fotos 13 e 14.

### **Etapa Terciária:**

O efluente do poço de sucção é bombeado para o filtro de areia da foto 15 que tem a função de proteger as membranas da unidade de nanofiltração. O tanque pulmão da foto 16

recebe o efluente proveniente do filtro de areia, escoando-o por gravidade para o sistema de nanofiltração, iniciado pelo pré-filtro que pode ser visto na foto 17.

A foto 18 retrata as membranas que retém a matéria orgânica ainda presente no chorume e permitem predominantemente a passagem de água e sais. O efluente final (chorume tratado) tem aspecto transparente e atende as exigências da FEEMA para lançamento de efluentes em corpo hídrico como pode ser visto na foto 19.

### **Tratamento do Lodo:**

O lodo sedimentado no decantador primário é removido continuamente e enviado diretamente ao poço de lodo da foto 20. O lodo proveniente do decantador secundário é enviado para a elevatória de lodo secundário, de onde é em seguida recalcado para o tanque de aeração, ou descartado para o poço de lodo. O lodo que é removido pelos coletores de espuma nos decantadores primários e secundários, também é enviado ao poço de lodo, da mesma forma que o lodo proveniente da calha de pré-sedimentação.

O sistema de desidratação de lodo é constituído por adensador estático e prensa desaguadora demonstrados nas fotos 21 e 22. O lodo adensado é bombeado para a prensa desaguadora, e depois de desidratado é acondicionado como resíduo retornando ao aterro.

Na figura 4 é apresentado o esquema da estação de tratamento de chorume do Aterro Metropolitano de Gramacho.

#### 4. OBJETIVO DA PESQUISA E METODOLOGIA

Nos últimos anos a sociedade e as autoridades públicas têm demonstrado uma crescente preocupação com o meio ambiente e com o destino final dos resíduos sólidos gerados nas cidades brasileiras.

Em alguns estados como a Bahia, Paraná, Rio Grande do Sul e Rio de Janeiro estão sendo implementados programas de remediação de lixões e construção de aterros sanitários.

Uma das dificuldades encontradas na elaboração de projetos de aterros sanitários é a inexistência de tecnologia desenvolvida para as condições brasileiras, obrigando, na maioria das vezes, a utilização de parâmetros e tecnologia empregada nos aterros dos países desenvolvidos, tornando o sistema impeditivo para muitos municípios face aos altos custos de implantação e a falta de conhecimento técnico para operação de sistemas mais complexos.

É dentro deste aspecto que se insere o presente projeto de pesquisa, na busca do desenvolvimento de métodos de tratamento para os líquidos percolados nos aterros, o *chorume*, que é o principal fator de risco de impacto ambiental na disposição de resíduos sólidos urbanos.

Na medida em que a água percola através dos resíduos aterrados, ocorrem inúmeras reações químicas e biológicas que promovem a incorporação de componentes orgânicos e inorgânicos ao chorume. Em outras palavras, os processos de decomposição dos resíduos, nos aterros sanitários, afetam a qualidade do chorume (McBean et al., 1995).

Entre as alternativas de tratamento de chorume utilizadas em países desenvolvidos, particularmente em países europeus, vem ganhando força a concepção de se utilizar mecanismos naturais como uma forma eficiente e relativamente barata de tratamento.

Assim, o tratamento de chorume em “Wetland” vem sendo cada vez mais utilizado em países como a Suécia, Noruega, Dinamarca, Inglaterra entre outros. O método utiliza pouca mão de obra e tem custos relativamente baixos de energia.

Em países como o Brasil, as condições climáticas devem se ainda mais favoráveis a este método de tratamento, que deve ser mais bem estudado e adaptado às nossas características.

Não existem dados e informações que permitam avaliar os efeitos dos diversos tipos de tratamento na qualidade do chorume, nos aterros sanitários em nosso país. Os processos biológicos não deixam de comportar uma certa dose de incerteza, principalmente devido às variações de vazão e qualidade do chorume a ser tratado.

Outro aspecto importante no método de tratamento para chorume é que o mesmo seja compatível com as condições técnicas e econômicas dos municípios de pequeno e médio porte que predominam no Brasil, para que se evite a rápida deterioração dos sistemas implantados.

O estudo de métodos de tratamento de chorume que sejam viáveis, embora de fundamental importância para o meio ambiente e para a saúde pública, não tem sido objeto de pesquisa como pode ser comprovado nos últimos Congressos, onde menos de 10 % dos trabalhos técnicos apresentados abordavam o tratamento de chorume.

É importante ressaltar que os lixiviados de aterros sanitários são de difícil tratabilidade devido à dinâmica de alteração com o tempo (Collivignarelli et al., 1993).

Esta pesquisa tem como objetivo estudar a tecnologia de tratamento de chorume do AMG, através do uso de “Wetland”, adaptando-a às condições econômicas e de capacitação técnica disponíveis na grande maioria dos municípios brasileiros de pequeno e médio portes.

Como objetivos específicos podemos destacar a avaliação da eficiência do tratamento de chorume através de “Wetland”, estudo de diferentes espécies de plantas existentes no aterro, consideradas possíveis de serem eficientes no tratamento de chorume, e o estabelecimento de parâmetros de projeto, implantação e operação de sistema de “Wetlands” no tratamento de chorume.

A metodologia da pesquisa consiste na construção de dois “Wetlands” experimentais para o tratamento de uma pequena parte do chorume produzido no AMG, onde serão feitas experiências com o chorume bruto e com o efluente do tratamento biológico ( da estação de tratamento existente no aterro). Como o sistema de tratamento é todo monitorado, será possível estabelecer comparações entre os resultados obtidos no efluente do “Wetland” e os obtidos naquele sistema, bem como o atendimento dos parâmetros exigidos pela FEEMA para lançamento do efluente no corpo hídrico receptor, NT 202 R10 – CRITÉRIOS E PADRÕES PARA LANÇAMENTO DE EFLUENTES LÍQUIDOS aprovada pela deliberação CECA nº 1007 de 04/12/86.

Com o resultado dos estudos e pesquisas realizados, poderão ser estabelecidos parâmetros de projeto, implantação e operação disponibilizando-os para uso em projetos de tratamento de efluentes em aterros sanitários.

## **5. DESCRIÇÃO DO PROJETO DAS UNIDADES EXPERIMENTAIS DE CAMPO**

Com o objetivo de obter resultados que permitissem a comparação entre o chorume bruto produzido no aterro, o chorume tratado nas etapas primária e secundária da estação de tratamento e o chorume tratado através do Sistema “Wetland”, neste trabalho foi utilizado o chorume efluente do tanque de homogeneização e o chorume efluente do tratamento secundário da Estação de Tratamento do Aterro Metropolitano de Gramacho.

A seguir passaremos a descrever os sistemas do projeto das unidades de campo com detalhes construtivos da sua execução.

### **5.1 Sistema de captação, transporte, medição da vazão e distribuição do chorume.**

#### **Chorume bruto**

Como o Aterro Metropolitano de Gramacho iniciou sua operação em 1978, quando os organismos de controle ambiental no Rio de Janeiro não exerciam fiscalização sobre os resíduos industriais e os órgãos governamentais e a sociedade ainda não dispunham de uma consciência ambiental, durante cerca de 10 anos o aterro recebeu grandes volumes de resíduos industriais, sem nenhum tipo de controle, tanto da quantidade quanto das características desses resíduos. Esse desconhecimento dos resíduos ali dispostos e a sua heterogeneidade foram o fator mais decisivo na escolha do tipo de tratamento adotado na ETC e determinante para a implantação de um tanque de homogeneização no início do processo.

Em função desta observação o chorume bruto utilizado no projeto foi retirado do tanque de homogeneização, após a passagem na peneira mecânica e com um tempo de retenção para homogeneização de 3 horas.

Para evitar a perfuração da parede de concreto do tanque (15 cm de espessura) e instalação de tubulação para retirada do chorume, utilizou-se a mesma saída de chorume que alimenta a bomba de lavagem da prensa desaguadora de lodo, construída em PVC, com 3/4 de polegada de diâmetro e registro de gaveta logo na saída do tanque, demonstrado na foto 23.

A 19,5 metros do registro, no local onde estava instalado um joelho, substituiu-se essa conexão por um tê, do mesmo diâmetro e dois registros de gaveta foram instalados para permitir a utilização da prensa desaguadora quando necessário, ver foto 24.

A partir do tê instalado, foram colocados 63,0 metros de tubo de PVC de 3/4 de polegada de diâmetro, com dois joelhos para mudança de direção, de forma e conduzir o

chorume por gravidade até a entrada da caixa medidora de vazão, onde foi instalado outro registro de gaveta.

### **Chorume tratado**

O chorume tratado utilizado é o efluente do decantador secundário que passou pelos processos de homogeneização, adição de cal para clarificação do percolado, decantadores de cal, calhas de pré-sedimentação, decantador primário, tanque de aeração para desenvolvimento do processo biológico e decantador secundário. Após a saída do decantador secundário, o efluente é conduzido para o poço de sucção e bombeado para o filtro de areia a uma pressão de 10 bar.

Após a saída da bomba e antes da entrada do filtro de areia, na tubulação de PVC de 2 polegadas de diâmetro, foi feita uma derivação para retirada de um ramal de 3/4 de polegada conforme mostra a foto 25.

Nesta derivação foi utilizado um tê com redução de 2" X 3/4", um registro de gaveta de 3/4" e 67,5 metros de tubo de PVC de 3/4 de polegada até a chegada das caixas de acumulação, onde foi utilizado outro registro, como pode ser visto na foto 26.

Como a bomba de alimentação do filtro de areia tem funcionamento intermitente, função da necessidade do tanque pulmão, foram instaladas 2 caixas de PVC de 2000 e 1000 litros respectivamente, para garantir a vazão constante do chorume tratado. As caixas da foto 26 estão ligadas entre si, são alimentadas pela tubulação de 3/4" que vem da derivação feita na tubulação da bomba e tem seu volume controlado através de bóias mecânicas. Na saída das caixas reguladoras da vazão foi instalado um registro de gaveta de 3/4 de polegada antes da entrada na caixa medidora de vazão.

### **Medição da vazão**

Para o desenvolvimento da experiência, o controle da vazão, tanto do chorume bruto como do tratado, é de grande importância pois o tempo de retenção dentro das lagoas deve ser o mesmo e as vazões são variáveis devido aos volumes dos "Wetlands" serem diferentes. Para isso, tanto o chorume bruto quanto o tratado possuem no sistema de transporte registros de gaveta em PVC para regulagem da vazão de entrada na caixa medidora de vazão.

As caixas medidoras de vazão foram construídas em concreto, medindo 66 X 34 X 25 cm, com a tubulação de entrada abaixo da linha d'água, para regularizar a lâmina do líquido, quando da passagem pela placa medidora da vazão. Esta placa mede 34 X 25 cm e foi

executada em PVC, e soldada nas paredes da caixa com cola a base de silicone. Para a medição direta da vazão foi colada à placa uma régua de alumínio, com divisões em milímetros, que permite o cálculo da vazão com o auxílio da Tabela de conversão. A saída da caixa medidora de vazão mostrada na foto 27 é feita com tubo de PVC de 3/4 de polegada que conduz o chorume até o “Wetland”.

### **Distribuição do chorume**

Para a distribuição do chorume no “Wetland”, foram utilizados tubos de PVC de 3/4 de polegada, conectados a um tê na sua extremidade, de onde duas barras espargidoras, com furos de 1/8 de polegada, distribuem o chorume ao longo da célula. Este sistema foi adotado tanto para o chorume bruto quanto para o chorume tratado, que pode ser visto na foto 28.

## **5.2 Implantação do “Wetland”**

O projeto inicial da Estação de Tratamento de Chorume do AMG previa duas lagoas de polimento após o decantador secundário, mostradas na foto 29, com 83 m<sup>3</sup> e 116 m<sup>3</sup> respectivamente, instaladas em série, com o objetivo de melhorar a qualidade do efluente antes da entrada no tratamento terciário, proporcionando um melhor desempenho da Nanofiltração.

As lagoas não produziram os resultados esperados devido a grande quantidade de particulados em suspensão no ar, devido à proximidade da estrada de acesso ao interior do aterro, por onde passam cerca de 250 veículos por dia e, por esse motivo, deixaram de ser utilizadas no processo de tratamento do chorume do aterro.

Para a implantação dos “Wetlands” foram aproveitadas as duas lagoas de polimento do projeto original, com algumas modificações que necessitaram ser introduzidas para adaptação ao experimento proposto, como pode ser constatado na figura 5.

Originalmente as lagoas estavam interligadas em série, através de caixas de passagem e dutos de PVC de 100 mm de diâmetro, que foram tamponados de forma a garantir a independência do sistema. Após o fechamento dos tubos posicionados na parte da frente das duas lagoas, onde foram construídos as caixas de medição de vazão, foram instalados tubos de PVC, de 1” de diâmetro, nas caixas de passagem da extremidade oposta, para permitir a saída do percolado e o controle do nível, tanto do bruto como do tratado.

As lagoas foram esvaziadas, suas geomembranas de impermeabilização em PEAD de 2 mm de espessura foram vistoriadas e efetuados os remendos nos pontos onde havia ruptura ou desgaste excessivo da geomembrana.

Após a recuperação, iniciou-se o processo de construção dos “Wetlands” com o enchimento das lagoas com argila e pedra, em função da profundidade inadequada para esse experimento.

Primeiramente foi colocada uma camada de argila compactada com 0,50 metro de espessura para o chorume bruto e 0,60 metro para o chorume tratado, ver foto 30 com o objetivo de proteger a geomembrana e reduzir a altura da lâmina de chorume. Após a colocação, a argila foi nivelada e compactada, ocupando o volume de 41,0 m<sup>3</sup> no “Wetland” do chorume bruto e 58,0 m<sup>3</sup> no “Wetland” do chorume tratado, coincidindo o seu nível superior com a geratriz inferior do tubo de saída do percolado, como pode ser observado na foto 31.

A foto 32 mostra que após a colocação e compactação da argila, foram colocados 69 m<sup>3</sup> de rachão (pedra com diâmetro variando entre 15 e 30 cm), sendo 31 m<sup>3</sup> no “Wetland” para o chorume bruto e 38 m<sup>3</sup> para o chorume tratado. Este volume foi calculado para que a cota superior do rachão (camada de 0,50 m para o bruto e 0,60 m para o tratado) coincidissem com a saída do extravasor de cada “Wetland”, ver foto 33.

Para a cubagem dos volumes de terra, rachão e chorume adotou-se a medição dos volumes dos caminhões transportadores dos respectivos materiais, obtendo assim volumes com precisão de  $\pm 0,10$  m<sup>3</sup>. Para argila e rachão foram utilizados caminhões basculantes de 15 m<sup>3</sup> e para o chorume um caminhão pipa com tanque de 12.000 litros, que aparece na foto 34 fazendo o enchimento e cubagem do “Wetland”.

### **Definição da vazão de projeto**

Para definição da vazão de projeto foi considerado um período de permanência de 5 dias e o volume obtido, através da cubagem com o caminhão pipa, chegando a vazões de 3,66 l/min para o chorume bruto e 6,66 l/min para o chorume tratado.

$V_z = V/D.H$ , onde:

$V_z$  = vazão em litros por minuto

$V$  = volume de chorume no “Wetland” em litros

$D$  = número de dias de retenção

$H$  = horas de funcionamento do “Wetland”

$$\begin{aligned}V_z \text{ chorume bruto} &= 11.000 \text{ litros} \div (5 \text{ dias} \times 10 \text{ horas} \times 60 \text{ minutos}) \\ &= 3,66 \text{ l/min}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}V_z \text{ chorume bruto} &= 20.000 \text{ litros} \div (5 \text{ dias} \times 10 \text{ horas} \times 60 \text{ minutos}) \\ &= 6,66 \text{ l/min}\end{aligned}$$

### **Plantio de vegetação local**

Após a definição das vazões iniciou-se o plantio de espécie de vegetação rasteira comum nas ilhotas formadas no interior da lagoa de equalização do chorume ao lado da estação de tratamento. Com o auxílio de uma retro-escavadeira, das margens da lagoa de acumulação, foi possível alcançar algumas dessas ilhotas e retirá-las da lagoa colocando-as na margem. Em seguida, trabalhadores com cestos de tela retiravam as ilhotas da margem da lagoa e as transportavam para dentro dos “Wetlands”, de forma cuidadosa para não soltar os resíduos sólidos agregados as raízes. Esta operação foi realizada até que todas as superfícies dos “Wetlands” estivessem totalmente tomadas pelas plantas, como pode ser visto na foto 35.

### **“Start-up” do sistema**

Logo após o término de plantio, foram abertos os registros do tanque de homogeneização (chorume bruto) e da derivação da bomba do filtro de areia (chorume tratado) para o transporte do líquido percolado até o “Wetland”. Durante 72 horas os dois sistemas estiveram operando a plena carga para avaliação hidráulica do projeto, conforme pode ser visto na foto 36. Após a regularização de vazamentos e perdas de carga excessivas, foi dado início a regulagem das vazões para os dois fluidos. Com a utilização de um cronômetro e um recipiente graduado em décimo de litro e com capacidade para 1 litro, regulamos a vazão do chorume tratado e bruto, através do registro de gaveta existente na entrada da caixa medidora de vazão, conferindo os resultados, a cada intervalo de uma hora até a estabilização da vazão. A partir daí, foram feitas marcações nas placas medidoras de vazão, indicando com precisão a vazão de projeto. Para que as vazões não fossem alteradas por engano, foi retirada a manopla dos registros impedindo a alteração das regulagens.

## Medição das vazões

Após o “start” do sistema iniciou-se a medição das vazões de entrada e saída de cada “Wetland” (chorume bruto e chorume tratado). A foto 37 mostra que com o auxílio de um “Becker” e um cronômetro iniciou-se a medição da vazão as 10:00, 12:00, 14:00 e 16:00 na entrada e na saída do “Wetland”, tanto para o chorume bruto quanto para o chorume tratado.

Com a realização destas medições, observou-se que no chorume bruto as variações de vazão eram muito significativas devido a constantes entupimentos causados por particulados na tubulação de transporte do chorume do tanque de homogeneização até o “Wetland”. Retiraram-se então as conexões de saída do tanque e de chegada no “Wetland” e, com uma bomba de pressão, introduziu-se água na tubulação, para retirada do material depositado no interior do tubo. Esta operação foi realizada com frequência diária durante 3 dias, para tentar manter a vazão estabelecida no projeto porém não se obteve êxito, pois durante um intervalo de duas horas entre a medição das vazões, o fluxo variava de 0,8 a 3,7 litros por minuto, como pode ser constatado na tabela 7

Em função deste problema, substituímos a tubulação de ¾” de PVC foi substituída por uma mangueira com diâmetro de 1 e 1/2”, utilizada para lavagem da unidade. Esta mangueira foi ligada ao registro de saída do tanque de homogeneização, e colocada sobre o solo, provisoriamente ligada a tubulação antiga de PVC, antes do registro da entrada da caixa medidora de vazão, vide foto 38 e 39. Com esta modificação conseguimos obter vazões mais constantes conforme indicado na tabela 7 a seguir, após o quarto dia de retirada de amostras.

Quanto ao chorume tratado, a tubulação de PVC de ¾” não apresentou problemas de entupimento, sendo a variação de vazão apresentada causada pela diferença de nível da caixa no momento da medição, não registrando diferenças superiores a 10%, o que não compromete a experiência.

**Tabela 7 - Resultado da medição das vazões no Wetland**

		Chorume Bruto						Chorume Tratado						Percentual de redução		
Medição		Entrada			Saída			Entrada			Saída			Bruto	Tratado	
Data	Hora	Tempo	Litros	Vazão	Tempo	Litros	Vazão	Tempo	Litros	Vazão	Tempo	Litros	Vazão			
25/07/2002	10:00	3	3,3	1,1	3	5,1	1,7	3	20,2	6,7	3	6,7	2,2	-54,5	66,83	
	Tempo	12:00	3	2,4	0,8	3	4,0	1,3	3	18,8	6,3	3	9,8	3,3	-66,7	47,87
	Bom	14:00	3	2,3	0,8	3	2,7	0,9	3	20,8	6,9	3	14,7	4,9	-17,4	29,33
	Sol	16:00	3	3,6	1,2	3	2,5	0,8	3	19,5	6,5	3	15,3	5,1	30,6	21,54
26/07/2002	10:00	3	7,7	2,6	3	1,1	0,4	3	20,0	6,7	3	8,5	2,8	85,7	57,50	
	Tempo	12:00	3	6,5	2,2	3	3,1	1,0	3	19,8	6,6	3	11,7	3,9	52,3	40,91
	Nublado	14:00	3	10,0	3,3	3	5,1	1,7	3	17,8	5,9	3	14,1	4,7	49,0	20,79
		16:00	3	8,2	2,7	3	7,2	2,4	3	20,8	6,9	3	15,0	5,0	12,2	27,88
29/07/2002	10:00	3	11,0	3,7	3	7,9	2,6	3	20,8	6,9	3	12,0	4,0	28,2	42,31	
	Tempo	12:00	3	9,0	3,0	3	6,7	2,2	3	20,5	6,8	3	9,2	3,1	25,6	55,12
	Nub/Bom	14:00	3	5,6	1,9	3	2,1	0,7	3	19,6	6,5	3	9,0	3,0	62,5	54,08
		16:00	3	8,4	2,8	3	7,7	2,6	3	20,5	6,8	3	12,1	4,0	8,3	40,98
30/07/2002	10:00	3	10,5	3,5	3	6,7	2,2	3	20,8	6,9	3	14,6	4,9	36,2	29,81	
	Tempo	12:00	3	9,9	3,3	3	5,4	1,8	3	21,1	7,0	3	16,2	5,4	45,5	23,22
	Bom	14:00	3	10,8	3,6	3	7,5	2,5	3	22,5	7,5	3	17,7	5,9	30,6	21,33
	Sol	16:00	3	9,9	3,3	3	7,0	2,3	3	20,5	6,8	3	16,2	5,4	29,3	20,98
31/07/2002	10:00	3	9,4	3,1	3	8,0	2,7	3	19,5	6,5	3	18,2	6,1	14,9	6,67	
	Tempo	12:00	3	9,9	3,3	3	9,0	3,0	3	18,0	6,0	3	12,0	4,0	9,1	33,33
	Bom	14:00	3	10,5	3,5	3	6,6	2,2	3	17,0	5,7	3	9,5	3,2	37,1	44,12
	Sol	16:00	3	10,4	3,5	3	7,5	2,5	3	15,5	5,2	3	13,4	4,5	27,9	13,55
01/08/2002	10:00	3	10,8	3,6	3	9,0	3,0	3	19,5	6,5	3	12,0	4,0	16,7	38,46	
	Tempo	12:00	3	10,4	3,5	3	8,0	2,7	3	20,0	6,7	3	13,6	4,5	23,1	32,00
	Bom	14:00	3	6,3	2,1	3	6,0	2,0	3	17,1	5,7	3	14,8	4,9	4,8	13,45
	Sol	16:00	3	7,4	2,5	3	6,8	2,3	3	17,8	5,9	3	15,0	5,0	8,1	15,73
02/06/2002	10:00	3	9,3	3,1	3	9,0	3,0	3	18,5	6,2	3	10,5	3,5	3,2	43,24	
	Tempo	12:00	3	8,7	2,9	3	8,3	2,8	3	17,4	5,8	3	13,8	4,6	4,6	20,69
	Nublado	14:00	3	9,2	3,1	3	7,2	2,4	3	19,8	6,6	3	14,6	4,9	21,7	26,26
		16:00	3	10,1	3,4	3	7,8	2,6	3	19,6	6,5	3	14,6	4,9	22,8	25,51

Tempo em minutos

Vazão em litros/minuto

Figura 5 Desenho esquemático da ETC com os “Wetlands”

## 6. ANÁLISE DOS RESULTADOS INICIAIS

Toda a experiência foi desenvolvida a partir de técnicas de “Wetland” construído, publicadas na literatura nacional e internacional de forma a reproduzir, no modelo testado, sua aplicação em escala real, traduzindo todos os problemas de implantação e operação do sistema.

Após a solução dos problemas enfrentados, a vazão de entrada e saída foi monitorada para o chorume bruto e tratado, com o objetivo de verificar a redução do volume, causada pela evaporação e pela evapotranspiração do capim plantado. Nesta fase, foram realizadas 28 leituras da vazão para cada tipo de chorume (bruto e tratado), durante sete dias, cujos resultados estão apresentados na tabela 7, onde as primeiras 12 medições do chorume bruto foram abandonadas devido ao entupimento da tubulação. Para o chorume tratado foram consideradas as 28 medições realizadas, obtendo-se uma média de redução do volume da ordem de 32 %. Para o chorume bruto, considerando as últimas 16 medições da vazão realizadas, chegou-se a uma redução percentual do volume de chorume da ordem de 20 %.

Os valores obtidos no “Wetland” do chorume bruto merecem uma análise mais detalhada, considerando que para grandes volumes, indicariam uma redução significativa da quantidade de chorume que seria encaminhada para um tratamento complementar (terciário por exemplo).

À luz dos dados obtidos podemos considerar que para o tratamento do chorume de um aterro com produção estimada em 600 m<sup>3</sup>/dia através de “Wetland” construído, com um tempo de retenção de 5 dias, seria necessário uma área total de 6.000 m<sup>2</sup>, conforme demonstrado a seguir.

$A_{wt}$  = Área do “Wetland”

$P_{ch}$  = Produção de chorume diário: 600 m<sup>3</sup>

$T_r$  = Tempo de retenção: 5 dias

$E_{l, ch}$  = Espessura da lâmina de chorume: 0,50 m

Onde,

$$A_{wt} = (P_{ch} \times T_r) \div E_{l, ch}$$

$$A_{wt} = (600 \times 5) \div 0,50$$

$$A_{wt} = 6.000 \text{ m}^2$$

Este “Wetland” construído trataria por evaporação e evapotranspiração 120 m<sup>3</sup> de chorume diariamente. Além do volume considerável de tratamento, o custo de implantação e

operação de um sistema de “Wetland” construído para esta capacidade seria menor do que qualquer sistema de tratamento conhecido.

Para o chorume tratado, foi obtida a média de 32 % de redução da vazão de saída em comparação com a de entrada. A explicação provável para este valor está relacionada com o maior viço do capim plantado, que se mostra muito mais exuberante do que no “Wetland” do chorume bruto, devendo resultar numa taxa maior de evapotranspiração. O potencial de redução de custos de tratamento apenas pela diminuição do volume do chorume a ser tratado é bastante significativo.

Se considerarmos a ETC do Aterro Metropolitano de Gramacho que trata mensalmente 7500 m<sup>3</sup> de chorume a um custo de R\$ 9,10/m<sup>3</sup> (referente a maio/2002), valor este dentro dos padrões internacionais de tratamento (de U\$ 3.00 a U\$ 4.00/m<sup>3</sup>), é possível reduzir o volume a ser tratado em 20 % com a implantação de um “Wetland” antes da entrada do chorume na ETC, o que representaria uma redução mensal no custo operacional de R\$ 6.616,74, conforme demonstrado na tabela 8 e nos cálculos a seguir.

**Tabela 8 – Quadro comparativo de custos**

Referente a maio/02	CUSTO COM A ETC				CUSTO COM WETLAND		
	MATERIAIS	UNID.	R\$/UNID.	QUANT.	TOTAL/R\$	R\$/UNID.	QUANT.
Ácido Clorídrico	litro	R\$ 0,74	15.000	R\$ 11.100,00	R\$ 0,74	0	R\$ 0,00
Ácido Fosfórico	kg	R\$ 0,46	2.880	R\$ 1.324,80	R\$ 0,46	0	R\$ 0,00
Cal Hidratada	kg	R\$ 0,46	72.000	R\$ 33.120,00	R\$ 0,46	0	R\$ 0,00
Pré-filtro	um	R\$ 11,90	320	R\$ 3.808,00	R\$ 11,90	0	R\$ 0,00
Álcool	litro	R\$ 1,40	4.000	R\$ 5.600,00	R\$ 1,40	0	R\$ 0,00
Água não clorada	m <sup>3</sup>	R\$ 10,00	100	R\$ 1.000,00	R\$ 10,00	0	R\$ 0,00
Medidor de pH	cx	R\$ 34,00	15	R\$ 510,00	R\$ 34,00	0	R\$ 0,00
Peças reposição/Energia (*)				R\$ 2.500,00			R\$ 1.500,00
Total de Insumos				R\$ 58.962,80			R\$ 1.500,00
MÃO DE OBRA	UNID.	R\$/UNID.	QUANT.	TOTAL/R\$	R\$/UNID.	QUANT.	TOTAL/R\$
Chefe de Laboratório	hora	R\$ 15,00	200	R\$ 3.000,00	R\$ 15,00	200	R\$ 3.000,00
Ajud. de manutenção/dia	hora	R\$ 6,00	600	R\$ 3.600,00	R\$ 6,00	200	R\$ 1.200,00
Ajud. de manutenção/noite	hora	R\$ 6,60	400	R\$ 2.640,00	R\$ 6,60	200	R\$ 1.320,00
Total da mão de obra				R\$ 9.240,00			R\$ 5.520,00
<b>CUSTO TOTAL</b>				<b>R\$ 68.202,80</b>			<b>R\$ 7.020,00</b>

(\*) Custo estimado

Os dados apresentados na tabela 8 foram retirados do relatório operacional da ETC do aterro Metropolitano de Gramacho, mês de maio/2002, e os valores de peças de reposição/energia elétrica considerados para o “Wetland” levaram em conta a necessidade manutenção das bombas de recalque, tubulações, iluminação, substituição da vegetação e outras manutenções necessárias. Quanto a quantidade de pessoal mantivemos para a operação

do “Wetland” um Chefe de Laboratório e um Ajudante de Manutenção durante o dia e um ajudante de manutenção no turno da noite.

Para o cálculo do custo por metro cúbico do chorume tratado na ETC e no “Wetland” utilizamos a seguinte equação:

#### **Chorume tratado na ETC**

Capacidade da membrana de nanofiltração = 4,8 m<sup>3</sup>/hora

Número de membranas instaladas = 3 unidades

Tempo de operação = 20 horas/dia

Dias de operação = 26 dias/mês

Chorume tratado na ETC =  $4,8 \times 3 \times 20 \times 26 = 7.488 \text{ m}^3/\text{mês}$

#### **Chorume tratado no “Wetland”**

Vazão de entrada = 10,40 m<sup>3</sup>/hora

Vazão de saída = 8,33 m<sup>3</sup>/hora

Vazão tratada = 2,08 m<sup>3</sup>/hora

Tempo de operação = 24 horas/dia

Dias de operação = 30 dias/mês

Chorume tratado no “Wetland” =  $2,08 \times 24 \times 30 = 1.497 \text{ m}^3/\text{mês}$

**Tabela 9 – Quadro do custo do tratamento do chorume por m<sup>3</sup>**

<b>ITEM</b>	<b>ETC</b>	<b>“Wetland”</b>
Volume mensal tratado	7.488 m <sup>3</sup>	1.497 m <sup>3</sup>
Custo mensal do tratamento	R\$ 68.202,80	R\$ 7.020,00
Custo por m <sup>3</sup> tratado	R\$ 9,10	R\$ 4,68

#### **Redução mensal no custo operacional**

Redução =  $1.497 \text{ m}^3 \times (\text{R\$ } 9,10 - \text{R\$ } 4,68) = \text{R\$ } 6.616,74$

## 7. CONCLUSÕES

A implantação de um sistema piloto “Wetland” para tratamento do chorume do Aterro metropolitano de Gramacho foi efetuada.

Apesar da pequena representatividade da série de resultados apresentados, o tratamento do chorume através de “Wetlands” construídos em aterros onde exista disponibilidade de área para a sua instalação, pode tornar-se uma alternativa de baixo custo de implantação e operação, como parte integrante de um sistema de tratamento de chorume. Neste sistema do AMG estão sendo testados os dois tipos de chorume o bruto e o tratado.

Observou-se a redução de vazão de 20 % para o chorume bruto e de 32 % para o chorume tratado, o que na situação de Gramacho representaria uma redução mensal no custo da ETC de 10 %. Quanto à qualidade do efluente, os primeiros resultados obtidos ainda não são conclusivos, porém algumas ponderações podem ser efetuadas.

Considerando-se que a vegetação transplantada para os “Wetlands” não apresenta as características físicas da vegetação recomendada, por ser nativa da região e estar em pequenas ilhotas dentro da lagoa de equalização e, possivelmente, bastante saturada pelos componentes do chorume, espera-se obter resultados mais expressivos com a utilização da taboa, da cana ou do junco, conforme recomenda a literatura específica.

A viabilidade da utilização de “Wetlands” construídos como forma de tratamento de chorume será melhor avaliada ao término da experiência, quando durante os próximos 11 meses serão feitas análises da qualidade do afluente e do efluente dos dois “Wetlands” em operação. Ao longo de um ano serão efetuadas medições das vazões de entrada e saída, para se obter uma taxa média anual de redução do volume. Também faz parte do projeto o estudo da taboa, da cana e do junco como vegetação para “Wetlands”, que após o término das medições de vazões substituirá o capim nativo utilizado atualmente.

Considerando que 75 % do lixo recebido no Aterro Metropolitano de Gramacho é de origem domiciliar e que produz cerca de 600 m<sup>3</sup>/dia de chorume, temos uma média de 0,107 m<sup>3</sup> de chorume por tonelada de lixo domiciliar ( $600 \text{ m}^3 \div [0,75 \times 7.500 \text{ t/dia}]$ ). Se extrapolar-mos essa produção de chorume por tonelada de lixo domiciliar para uma cidade de 100.000 habitantes teremos uma produção diária de 10,7 m<sup>3</sup> de chorume que equivalem a uma vazão de 7,41 l/min.

Baseado nas considerações acima constatamos que o projeto apresentado reproduz em escala real um sistema de tratamento do chorume para a maioria das cidades brasileiras, que pode ser implantado e operado com tecnologia e custos de implantação e operação compatíveis com a situação da maioria dos municípios brasileiros.

## 8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BOBBERTEEN, S., NICKERSON, J., 1991. *Use of created cattail (Typha) wetlands in mitigation strategies; Environmental Management* 15:785-795.
- BORZACCONI, L. et al., 1999. *Anaerobic – Aerobic Treatment of municipal Waste Leachate. Environmental Technology*, v. 20, pp. 211-217.
- CAMMAROTA, M.C., RUSSO, C., SANT'ANNA JR., G.L., 1994. *Tratabilidade do Chorume Gerado no Aterro Sanitário Metropolitano do Rio de Janeiro. Anais do I Encontro Brasileiro de Ciências Ambientais*, v.2, pp453-473.
- CHUGHS. Et al., 1998. *Effect of Recirculated Leachate Volume on MSW Degradacion, Waste Management & Research*, v. 16, pp. 564-573.
- COLLIVIGNARELLI, C. et al., 1993. *Recent Developments in Landfill Leachate Treatment Tecnology. Proceedings of Fourth International Landfill Symposium, Sardinia, Italy*, pp.867-881.
- FERREIRA, J.A. 1999. *Apostila “Aterro Sanitário: Alternativa para Disposição de Resíduos Sólidos”*. Departamento de Engenharia Sanitária e do Meio Ambiente, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, 45 pp.
- FERREIRA, J.A., ROSSO, T. C. A., GIORDANO, G., RITTER, E., SAMPAIO, C.T.E., CAMPOS, J.C., DIAS, A. P., SILVA, H. R., MONTEIRO, P. Z., MENDEL, A. P. J., SÁ, A. C. F., SILVA, A. A. D., MANARINO, C. F., MAZANO, M. F. D. 2000. *Relatório técnico “Sistema de Tratamento de Chorume para Pequenos e Médios Municípios”*. Departamento de Engenharia Sanitária e do Meio Ambiente, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, 52pp.
- HAARSTAD, K., MAEHLUM, T., 1999. *Important aspects of Long-Term production and Treatment of municipal Solid Waste Leachate. Waste Management & Research*, v. 17, pp. 470-477.
- HUANG, S.,DIYAMANDOGLU, V., FILLOS, J., 1993. *Ozonation of Leachates fron Aged Domestic Landfills. Ozone Science & engineering*, v. 15, pp. 433-444.
- IGLESIAS, J. R., et al., 2000. *A Comparative Study of the Leachates Produced by Anaerobic Digestion in a Pilot Plant and at a Sanitary Landfill in Asturias, Spain. Waste Managment & Research*, v. 18, pp. 86-93.
- KADLEC, R., KNIGHT, R., 1996. *Treatment Wetlands*, Lewis Publisher, Boca Raton, Florida.

- KYLEFORS, K., GRENNBERG, K., LAGERKVIEST, A., 1994. *Local treatment of landfill leachates, in Proceedings of the Fourth International Conference of Wetland Systems for Water Pollution Control, Guangzhou, China, 539-548.*
- McBEAN, E. A. , ROVERS, F. A., FARQUHAR, G. J., 1995. *Solid Waste Landfill Engineering and design. Prentice Hall PTR, USA.*
- MACKAY, D., LEINONEN, P.J., 1975. *Rate of evaporation of low-solubility contaminants from water bodies to the atmosphere, Environmental Science and Technology 9:1178-1180.*
- MASSCHELEYN, P. H., DELAUNE, R. D., PATRICK, W. H. Jr., 1991. *Arsenic and selenium chemistry as affected by sediment redox potential and pH, Journal of Environmental Quality 20:522-527.*
- MORAES, V. A., GOMES, J. A., 1993. *Tratamento de Líquidos Percolados de Aterros Sanitários em Reator Anaeróbico Híbrido. Anais do 17º. Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 2, tomo III, pp. 342-354.*
- PETERS, T. A., 1998. *Purifications of Landfills Leachate with Reverse Osmosis and Nanofiltration. Desalination, v. 119, pp. 289-293.*
- PEVERLY, J. H., SURFACE, J. M., WANG, T., 1995. *Growth and trace metal absorption by Phragmites australis in wetlands constructed for landfill leachate treatment, Ecological Engineering 5:21-35.*
- REINHART, D. R., 1996. *Full Scale Experiences with Leachate Recirculating Landfills: Cases Studies., V. 14, pp. 347-365.*
- REINHART, D. R., AL-YOUSFI, A. B., 1996. *The Impact of Leachate Recirculation on Municipal Solid waste Management & Research v. 14, pp. 337-346.*
- ROBINSON, H. D., 1993. *The Treatment of landfill Leachates Using Reed Bed Systems. Proceedings of Fourth International Landfill Symposium, Sardinia, Italy, pp. 907-921.*
- SCRUDATO, R. J., et al., 1993. *Leachate Recirculation in a Normally Placed and Estabilized Refuze. Proceedings of Fourth International Landfill Symposium, Sardinia, Italy, pp. 969-993.*
- SHUGAI, D. Et al., 1994. *Removal of priority organic pollutants in stabilization ponds, Water Research 28:681-685.*
- SRINIVASAN, K., KADLEC, R. H., 1995. *Wetland Treatment of Oil and Gas Well Wastewaters, Report to U.S. Department of Energy, Contract DE-AC22-92MT92010.*
- STEENSEN, M., 1997. *Chemical Oxidation for the Treatment of Leachate – Process Comparison and Results from Full-Scale plants. Water science & Technology, v. 35, pp. 249-256.*

- TCHOBANOGLIOUS, G., THEISEN, H., VIGIL, S., 1993. *Integrated Solid Waste Management – Engineering Principles and Management Issues*. IRWIN/McGRAW – HILL, USA.
- TSAI, C. T., et al., 1997. *Electrolysis of Soluble Organic Matter in Leachate from Landfills*. *Water Research*, v. 31, pp. 3073-3081.
- URBANIC-BERCIC, O., 1994. *Investigation into the use of constructed reedbeds for municipal waste dump leachate treatment*, *Water Science and Technology* 29: 289-294.
- U.S. BUREAU OF MINES, 1991. *Technology Transfer announcement*. U.S. GPO: 1991-511-508.
- VIZLER, B., IVANC, M., KUAR, U., 1993. *Experiences with Sprinkling of Landfill Leachate*. *Proceedings of Fourth International Landfill Symposium, Sardinia, Italy*, pp 995-1005.

**9. ANEXO I - FOTOS.**



Foto 1 Vista aérea do aterro antes da recuperação ambiental.



Foto 2 Vista aérea do Aterro no início da recuperação ambiental.



Foto 3 Vista aérea da ETC do Aterro Metropolitano de Gramacho.



Foto 4 Limpeza da vala de coleta do chorume.



Foto 5 Tomada do chorume na lagoa de equalização



Foto 6 Tanque de homogeneização



Foto 7 Misturador da solução de cal com chorume.



foto 8 Decantador de cal.



foto 9 Calhas de pré-sedimentação com medidor de vazão.



Foto 10 Decantador primário.



Foto 11 Tanque de aeração.



Foto 12 Decantador secundário.



Foto 13 Calha periférica do decantador.



Foto 14 Poço de sucção.



Foto 15 Filtro de areia.



Foto 16 Tanque pulmão.

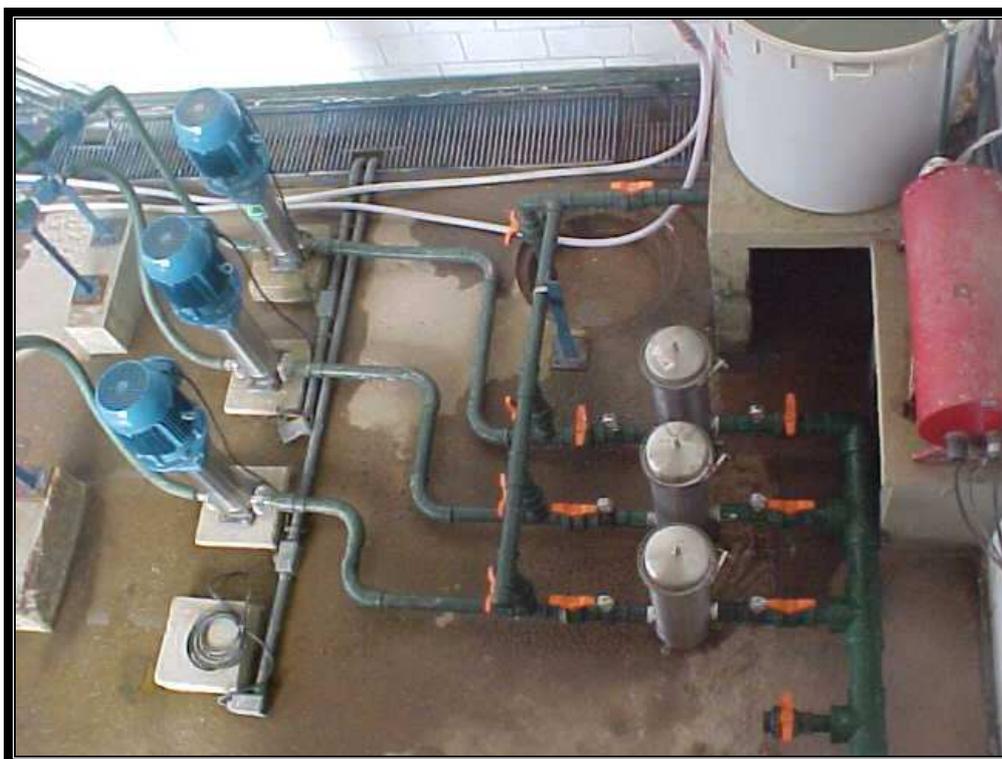


foto 17 Pré-filtros de cartuchos de 20 micras.



Foto 18 Nanofiltração.

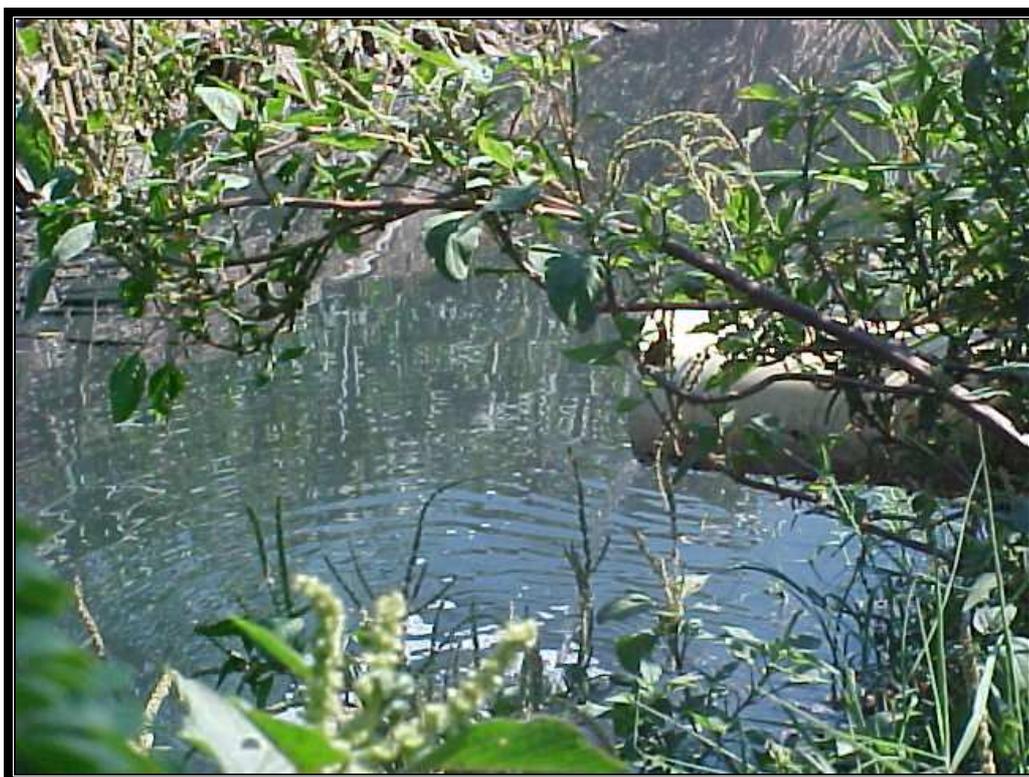


Foto 19 Descarte do efluente tratado.



Foto 20 Poço de lodo.



Foto 21 Adensador do lodo.



Foto 22 Prensa desaguadora do lodo.



foto 23 Saída do tanque de homogeneização.



Foto 24 Tê e registro de gaveta.



foto 25 Saída da bomba do filtro de areia.



Foto 26 Caixa de acumulação de chorume.



Foto 27 Caixa medidora de vazão.



Foto 28 Barra espargidora.



Foto 29 Lagoa de polimento.



Foto 30 Colocação de argila na lagoa.



Foto 31 Selo de argila no fundo do “Wetland”.



Foto 32 Chegada do rachaõ.



Foto 33 Rachão espalhado no fundo do “Wetland”.



Foto 34 Enchimento e cubagem do “Wetland”.



Foto 35 Plantio do capim no “Wetland”.



Foto 36 Descarga de chorume no “Wetland”.



Foto 37 Medição da vazão do chorume.



Foto 38 Substituição da tubulação de PVC.



Foto 39 Tubulação entupida por material depositado

# Livros Grátis

( <http://www.livrosgratis.com.br> )

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)  
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)  
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)  
[Baixar livros de Matemática](#)  
[Baixar livros de Medicina](#)  
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)  
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)  
[Baixar livros de Meteorologia](#)  
[Baixar Monografias e TCC](#)  
[Baixar livros Multidisciplinar](#)  
[Baixar livros de Música](#)  
[Baixar livros de Psicologia](#)  
[Baixar livros de Química](#)  
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)  
[Baixar livros de Serviço Social](#)  
[Baixar livros de Sociologia](#)  
[Baixar livros de Teologia](#)  
[Baixar livros de Trabalho](#)  
[Baixar livros de Turismo](#)